

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 72 Número 2

Julio - Diciembre 2021



COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

José Manuel Restrepo Abondano

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

María Ximena Lombana Villalba

Director del Departamento Nacional de Planeación

Luis Alberto Rodríguez Ospino

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Marcela Urueña Gómez

Periodo 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra Tejada (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.cenicafe72-2>

Editada en diciembre de 2021

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. 72

JULIO - DICIEMBRE 2021

No. 2

CONTENIDO

CALIDAD FÍSICA, SENSORIAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. Valentina Osorio Pérez; Jenny Paola Pabón Usaqué; Paola Andrea Calderón Tulcán; Luis Carlos Imbachí Quinchua	7
PHYSICAL AND SENSORY QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF COFFEE GROWN IN THE DEPARTMENT OF HUILA	7
CALIDAD FÍSICA, SENSORIAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ CULTIVADO EN EL ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS. Jenny Paola Pabón Usaqué; Valentina Osorio Pérez; Luis Carlos Imbachí Quinchua	27
PHYSICAL, SENSORY QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE COFFEE CULTIVATED IN THE EAST OF CALDAS	27
CRÍA EN EL LABORATORIO DE <i>Puto barberi</i> COCKERELL, 1895 (HEMIPTERA: PUTOIDAE) SOBRE TUBÉRCULOS DE <i>Solanum phureja</i>. Marisol Giraldo Jaramillo	41
LABORATORY REARING OF <i>Puto barberi</i> COCKERELL, 1895 (HEMIPTERA: PUTOIDAE) ON <i>Solanum phureja</i> TUBERS	41
CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS PARA LA PREDICCIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DE CAFÉ VERDE ALMENDRA. Claudia Rocío Gómez Parra; Aristóteles Ortiz; Claudia Patricia Gallego Agudelo; Luz Fanny Echeverri Giraldo	50
NIRS CALIBRATION CURVES FOR THE PREDICTION OF CHEMICAL COMPOUNDS OF GREEN COFFEE	50
EFFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO SOBRE LA MADURACIÓN FENOLÓGICA DE FRUTOS DE CAFÉ EN PRE-COSECHA. Carlos Andrés Unigarro Muñoz; Luis Carlos Imbachí Quinchua; Jenny Paola Pabón Usaqué; Valentina Osorio Pérez; José Ricardo Acuña Zornosa	62
EFFECT OF SALICYLIC ACID ON THE PHENOLOGICAL RIPENING OF COFFEE FRUITS IN PRE-HARVEST	62
EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA VIABILIDAD, GERMINACIÓN Y VIGOR DE SEMILLAS DE <i>Coffea arabica</i> L. Natalia Catalina Flechas Bejarano; Rubén Darío Medina Rivera	82
EFFECT OF STORAGE ON THE VIABILITY, GERMINATION AND VIGOR OF SEEDS OF <i>Coffea arabica</i> L.	82
GESTIÓN DE LA MANO DE OBRA Y EVALUACIÓN DE INDICADORES DE RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN COLOMBIA. Hernando García Osorio	94
WORKFORCE MANAGEMENT AND EVALUATION OF COFFEE HARVEST INDICATORS IN COLOMBIA	94
LA RESISTENCIA INCOMPLETA DEL CAFÉ A LA ROYA: UNA REVISIÓN. Julio Quiroga-Cardona	105
INCOMPLETE RESISTANCE OF COFFEE TO RUST: A REVIEW	105

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

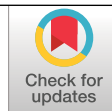
REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 72 No. 1 Y No. 2

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
Zulma N. Gil P.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Ricardo Acuña Z.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Luis Fernando Salazar G.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Hernán González Osorio,	Ph.D. Cenicafé.
Aída E. Peñuela M.,	Ph.D. Cenicafé, FNC
Santiago Jaramillo C.	M.Sc. Cenicafé, FNC
Juan Carlos Gómez Soto,	M.Sc. Cenicafé, FNC
Vanessa Catalina Díaz Poveda,	M.Sc. Cenicafé, FNC
Aristofeles Ortiz,	M.Sc. Cenicafé, FNC
Luis Carlos Imbachí Quinchua,	Estadístico, Cenicafé, FNC
Rodrigo Alarcón Suárez	Quality Coffee Assurance Office. Almacafé, FNC
Jackson Adriano Albuquerque	Ph.D. Ciencias del Suelo. Universidade do Estado de Santa Catarina. Brasil
Luis Fernando Gómez Gil	Ph.D. Ingeniero agrónomo. Agrosavia
Stanislav Magnitskiy	Ing. Agr. Ph.D. Horticultura Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá
Adriana Sánchez Andrade	Ph.D. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad del Rosario
María Sara Mejía de Tafur,	Ing. Agr. Ph.D., Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
Tatiana María Saldaña Villota,	Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. (c), Universidad Nacional de Colombia.
Félix Octavio Díaz Arango,	Ing. Alimentos, Esp. M.Sc. Ph.D., Universidad de Caldas.
Helber Enrique Balaguera L.	Ing. Agr. M.Sc., Ph.D., Universidad Nacional de Colombia.
Alexander Rebolledo Roa,	Ing. Agr. Ph.D., Agrosavia.
Alex E. Bustillo P.	Ph.D. Entomología, Cenipalma
Jairo Eduardo Leguizamón C.	Ing. Agr. M.Sc. Ph.D., Fitopatología
Tito Bacca I.	Ph.D. en Ciencias- Biología, Universidad del Tolima.
Viviana Lucía Cuarán,	Ing. Agr. M.Sc., Agrosavia.
Jaqueline Chica Lobo,	Economista, M.Sc., Universidad del Tolima.
Gabriel Alvarado Alvarado	Ing. Agr. M.Sc. Genética y Mejoramiento
Francisco Yepes Rodríguez,	M.Sc. Universidad Nacional de Colombia. Sede de Medellín
David Molina G.	Ing. Alimentos, Director calidad BBI-Tostao
Miguel Alfonso Castiblanco C.	Profesional en Bibliotecología e Ingeniero de Sistemas, Cenicafé, FNC

CALIDAD FÍSICA, SENSORIAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Paola Pabón Usaquén *, Paola Andrea Calderón Tulcán *,
Luis Carlos Imbachí Quinchua **

Osorio, V., Pabón, J., Calderón, P. A., & Imbachí, L. C. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el departamento del Huila. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72201. <https://doi.org/10.38141/10778/72201>



La Gobernación del Huila, con recursos del Sistema General de Regalías (SGR), el Comité Departamental de Cafeteros del Huila y Cenicafé, generaron actividades encaminadas a apoyar la producción cafetera del departamento ante la creciente demanda de café de alta calidad. Dentro de las estrategias generadas se realizó la caracterización de la calidad del café producido en el departamento entre los años 2016 y 2018. Para cumplir este objetivo, se seleccionaron de forma aleatoria 123 fincas de 35 municipios y se adelantaron varios muestreos en estas fincas, tomando un total de 445 muestras. Se realizaron análisis de calidad física y sensorial y determinación de la composición química. Los valores promedio del factor de rendimiento fueron 94,63 para el 2016, 86,82 para el 2017 y 88,83 para el 2018, los cuales indican una buena calidad física del café. En cuanto a la calidad sensorial, el 80,97% de las muestras no presentó defectos sensoriales, y el que se presentó con mayor proporción fue el defecto reposo, asociado a malas prácticas de secado y al almacenamiento del café con contenidos de humedad superiores al 12%. Los valores promedio de los compuestos químicos estimados en las muestras de café verde, estuvieron dentro del rango reportado para el café de variedad *Coffea arabica* L.

Palabras clave: Café, Huila, calidad sensorial, calidad física, composición química, atributos sensoriales.

PHYSICAL AND SENSORY QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF COFFEE GROWN IN THE DEPARTMENT OF HUILA

The Government of Huila, with resources from the General System of Royalties (SGR), the Departmental Coffee Growers Committee of Huila and Cenicafé generated activities aimed at supporting the coffee production of the Department in view of the growing demand for high quality coffee. Among such strategies, the characterization of the quality of the coffee produced in the Department between 2016 and 2018 was carried out; in order to meet this objective, 123 farms from 35 municipalities were chosen and several samplings were done with a total of 445 samples. Physical and sensory quality analyses as well as chemical composition determination were performed. The average values of the yield factor were 94.63 for 2016, 86.82 for 2017 and 88.83 for 2018; those values indicate the good physical quality of coffee. Regarding sensory quality, 80.97% of the samples did not show sensory defects, the aging defect associated with poor drying practices and the storage of coffee with moisture contents higher than 12% showed the highest value. The average values of the chemical compounds estimated in the green coffee samples were within the range reported for the *Coffea arabica* L. variety.

Keywords: Coffee, Huila, sensory quality, physical quality, chemical composition, sensory attributes.

* Investigador Científico I, Asistente de Investigación, y Auxiliar de Investigación, respectivamente. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>, <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>, <https://orcid.org/0000-0001-5563-2396>

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

La combinación de las condiciones ambientales de las regiones cafeteras (clima y suelo) (Pohlan & Janssen, 2010) y las diferentes prácticas en el procesamiento, permiten la máxima expresión de las cualidades del café, generando los elementos necesarios para lograr su posicionamiento en el mercado de calidad superior (FNC, 2017; OIC, 2018). La calidad del café se determina por el conjunto de características físicas y sensoriales que pueden motivar a un comprador a pagar un precio mayor por el producto (Coradi et al., 2015). La producción de café de calidad requiere un compromiso continuo con el monitoreo y seguimiento de las etapas del proceso productivo (Wintgens, 2012). Desde el cultivo hasta el almacenamiento pueden generarse defectos que afectan el cumplimiento de los requisitos de calidad del café, disminuyendo el ingreso de los caficultores, quienes pierden la posibilidad de vender su producto a un mayor precio y afectando la cadena productiva, porque se está comprando un café el cual se dificulta su comercialización posterior (FNC, 2019).

El café del Huila es uno de los cafés regionales más reconocidos de Colombia. Desde el 2013 la Superintendencia de Industria y Comercio, declaró la Denominación de Origen Protegida (DOP) al Café del Huila, bajo la Resolución 017989 (SIC, 2013). Esta protección ampara el café cultivado en los municipios cafeteros de este departamento, pues estas zonas generan características de calidad debidas esencialmente a su origen y particularidades comunes de producción. Para obtener la DOP se recolectaron más de 1.900 muestras de café durante diferentes cosechas. Estas muestras fueron analizadas física y sensorialmente, y se determinó su composición química por medio de la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés) (Villegas et al., 2014). La DOP protege el café arábigo lavado suave que se cultiva en la zona de producción cafetera ya especificada,

y que procesado se identifica sensorialmente por poseer una impresión global balanceada, con notas dulces, acidez y cuerpo medio/alto, fragancia/aroma intenso con sensaciones frutales y acarameladas (SIC, 2013). La descripción sensorial pertenece a información histórica de la oficina de calidades de Almacafé y a estudios complementarios realizados a las muestras inicialmente mencionadas. El análisis sensorial fue realizado bajo el método de análisis denominado “Análisis Cuantitativo Descriptivo” (NTC 4883) (NTC, 2000). La composición química del café está influenciada por la oferta ambiental, las variedades y las prácticas de cosecha y poscosecha. Dentro de la DOP del Café del Huila se presentan 16 compuestos químicos, entre los que se encuentran la cafeína, la trigonelina, los lípidos, la sacarosa y los ácidos clorogénicos, entre otros, su variación y asociación con la calidad (SIC, 2013).

Para la evaluación de la calidad de un producto se requiere del conocimiento de las propiedades y cualidades que permiten clasificarlo dentro de los diferentes rangos de calidad, así como aquello que constituye un defecto o una característica no aceptable para el consumo. El análisis físico, sensorial y la composición química del café describen las principales características de la calidad del café, la cual se establece a través del examen visual, y está definida como la cantidad de almendra sana libre de granos defectuosos como los granos negros, brocados y aplastados (ICONTEC, 1987). El precio del café obtenido en la comercialización depende de la calidad física del café. Dentro de los aspectos más importantes evaluados dentro de la calidad física del café están el porcentaje de humedad, que debe estar entre el rango de 10,0% al 12,0% y el factor de rendimiento definido como la cantidad de café pergamino seco que se necesita para obtener un saco de 70 kg de café excelso. Hasta ahora, el análisis sensorial

es el método más eficiente para evaluar la calidad del café.

Las características sensoriales del café no solo indican la calidad comercial del grano, sino que también permiten establecer las condiciones y controles durante el proceso productivo y poscosecha del café. El análisis sensorial es una técnica reproducible para identificar, cuantificar y describir las características de un producto, que reconoce los atributos y genera una calificación integral de la calidad, obteniendo la mayor información posible de una muestra. En este análisis se evalúan atributos como la fragancia, el aroma, el sabor, la acidez y el cuerpo lo que permite emitir una calificación integral que resume y agrupa el concepto de un juez entrenado sobre la calidad de la muestra (NTC, 2000).

La composición química del café determina el comportamiento de la calidad sensorial del producto. La cafeína, es estable al calor y se asocia generalmente con el sabor amargo distintivo del café (Puerta, 2011). Dentro del grupo de los alcaloides, la trigonelina participa en la generación de varios compuestos volátiles que hacen parte del aroma de la bebida de café, su transformación se da durante el proceso de tueste. Las proteínas, carbohidratos y ácidos clorogénicos actúan como precursores de aromas y distintas concentraciones de estos en cafés de la misma variedad dan como resultado diferentes calidades, después de realizado el proceso de tueste. (Franca et al., 2005). Otro precursor del aroma es la sacarosa, cuya transformación debido a las reacciones de Maillard durante la tostación genera compuestos que afectan el sabor y el aroma de la bebida (Puerta, 2011). Los lípidos se asocian con el transporte de aromas y la espuma de la bebida. Se ha demostrado que el genotipo y el medio ambiente influyen en la calidad del café; el análisis del metabolismo del café, los genes que rigen la acumulación de los componentes clave y la

influencia del ambiente en el desarrollo del grano, son factores que determinan la calidad del café (Cheng et al., 2016).

El monitoreo continuo a la calidad del café del departamento del Huila, mediante el análisis físico, químico y sensorial del café, permite contar con elementos para la toma de decisiones y acciones que, de manera oportuna, desde las zonas productoras, permitan avanzar en la sostenibilidad. Por lo tanto el objetivo de este trabajo fue caracterizar la calidad del café producido en el departamento del Huila entre el año 2016 y el 2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la caracterización se seleccionaron de forma aleatoria 123 fincas cafeteras, (unidad de muestreo) de los 35 municipios del departamento del Huila, de la base de información del Sistema de Información Cafetera SICA de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Durante tres años se realizaron muestreos en estas fincas, para un total de 445 muestras.

Análisis físico de café pergamino seco

Las variables de la calidad física del café que se determinaron incluyeron la humedad del café pergamino seco, empleando un equipo de medición indirecta Kett, el porcentaje de merma, la proporción de granos defectuosos como brocados, pasillas, porcentaje de almendra sana y factor de rendimiento en trilla, empleando el método estandarizado por Almacafé.

Análisis sensorial

La perfilación sensorial de las muestras fue realizada por tres catadores de la oficina de calidades de Almacafé. Cada muestra se entregó al laboratorio, debidamente codificada, y la preparación de las muestras se realizó según

la metodología descrita en la Norma Técnica Colombiana (NTC) No. 4883, en la cual se garantiza un proceso de tueste y preparación estandarizado para todas las muestras. Por cada muestra se reportó la calificación de cada atributo, además de la ausencia o presencia de defectos. En la Tabla 1 se presenta el rango establecido por la Almacafé. Las muestras que presentan defecto, obtienen un puntaje inferior a 4 puntos.

Análisis de la composición química del café verde

Se utilizó el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para estimar los contenidos de cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina, presentes en el café verde de las muestras obtenidas. Las muestras de café almendra se molieron criogénicamente, se analizaron en el rango de longitud de onda de 680–2.500 nm, en un instrumento monocromador (NIRS model 6500, NIRSystems, Silver Spring, Maryland, USA). La predicción de los compuestos químicos se realizó a partir de los espectros obtenidos de cada muestra, los cuales fueron

procesados con los programas ISISCAN v.2.71, para la captura de los espectros, y WINISI III v.1.50e para el tratamiento matemático (Infrasoft International, 2002). Los modelos fueron previamente obtenidos con datos de referencia adquiridos de los análisis químicos de los compuestos descritos. En la Tabla 2 se presenta el error absoluto de los compuestos: cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas participantes

El departamento del Huila está conformado por 37 municipios, de los cuales 35 son cafeteros, con un total de 147.094 ha y 82.366 caficultores con 99.731 fincas (Salazar et al., 2019). El promedio de área en café de las 123 fincas del muestreo fue de 6,0 ha, el valor mínimo fue de 0,24 ha y el máximo de 98,0 ha. El 66,0% de las fincas presentaron menos de 5,0 ha en café. El 73% de las fincas participantes tenían cultivos con variedades resistentes a la roya como Castillo®, Colombia y Tabi (Figura 2). El 28% de las fincas se ubicaban a altitudes

Tabla 1. Escala de evaluación sensorial de Almacafé por atributo.

Calificación	Intervalos de valoración
Defectuoso	< 4,0
Deficiente	4,0–4,5
Estándar	5,0–5,5
Bueno	6,0–6,5
Muy bueno	7,0–7,5
Excelente	8,0–8,5
Excepcional	9,0–9,5
Máximo	10,0

Tabla 2. Diferencia absoluta obtenida entre los análisis de referencia y la estimación con la tecnología NIRS.

Variable	Error absoluto (% m.s)
Cafeína	± 0,04
Ácidos clorogénicos totales	± 0,037
Lípidos totales	± 0,056
Sacarosa	± 0,019
Trigonelina	± 0,079

por encima de 1.700 m y el 70,0% entre 1.300 y 1.700 m y el 2,0% por debajo de 1.300 m (Figura 3).

La Disciplina de Agroclimatología simultáneamente y, por medio de un proyecto financiado por el Sistema General de Regalías, realizaron análisis de elementos meteorológicos,

indicadores agroclimáticos y variables biofísicas, generando seis agrupamientos conocidos como zonas agroecológicas (ZAE), cada una con similitud en sus condiciones climáticas y biofísicas. En la Tabla 3 se presenta la proporción de fincas que fueron seleccionadas para la caracterización de la calidad por cada zona agroecológica.

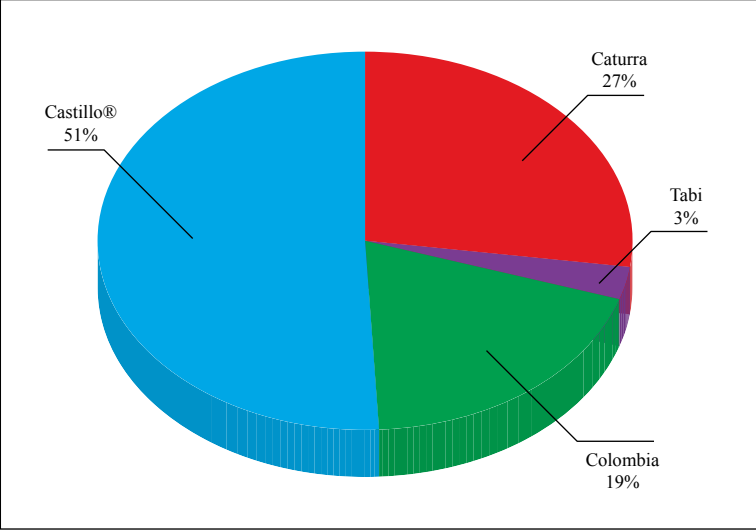


Figura 1. Distribución de las fincas muestreadas, según la variedad cultivada.

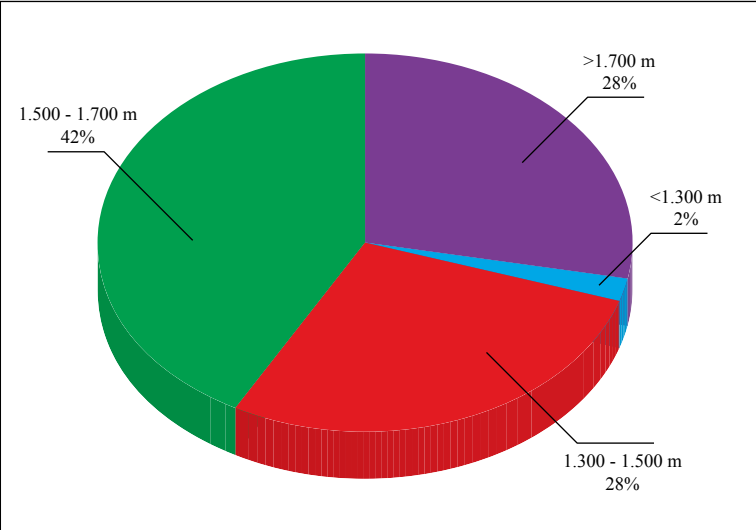


Figura 2. Distribución de las fincas muestreadas en este estudio, según la altitud.

Tabla 3. Proporción de fincas seleccionadas por municipio según la zona agroecológica para café en Huila.

Municipio	Zona Agroecológica (ZAE)					
	1	2	3	4	5	6
Acevedo				2,08%	10,42%	87,50%
Agrado	100%					
Aipe		100%				
Algeciras	25,0%		75,0%			
Altamira					100%	
Baraya			100%			
Campoalegre	100%					
Colombia			100%			
Elías						100%
Garzón			30,3%		69,7%	
Gigante	21,1%		26,3%		52,6%	
Guadalupe			26,3%		26,3%	47,4%
Hobo	100%					
Íquira		100%				
Isnos					66,7%	33,3%
La Argentina	50,0%		50,0%			
La Plata	39,5%	27,9%	32,6%			
Nátaga		100%				
Neiva	64,3%		35,7%			
Oporapa					62,5%	37,5%
Paicol		100%				
Palermo		100%				
Palestina						100%
Pital		50,0%	50,0%			
Pitalito				40,0%	8,3%	51,7%
Rivera	80,0%		20,0%			
Saladoblanco					100%	
San Agustín				20,0%		80,0%
Santa María		100%				
Suaza					20,8%	79,2%
Tarqui			45,5%	27,3%		27,3%
Tello	64,3%		35,7%			
Teruel		100%				
Tesalia		100%				
Timaná					77,8%	22,2%
Total (%)	12,99%	16,19%	16,73%	5,87%	19,04%	29,18%

La zona agroecológica con mayor número de fincas fue la ZAE6, que se configura como la zona más alta con una media altitudinal de 1.644 m, el 58% de las fincas de esta zona están ubicadas por encima de los 1.600 m de altitud, presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año. La ZAE4, es la zona con menos fincas seleccionadas para este estudio. Esta zona es la más baja de la zona sur del departamento. El 78% de los predios están ubicados por debajo de los 1.400 m de altitud (Salazar et al., 2019).

Calidad física

Del total de las muestras evaluadas, durante los años de estudio, el 60,53% estuvieron en un contenido de humedad entre el 10% al 12%. En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de muestras que se encuentran en los diferentes rangos de humedad del café pergamino seco, por cada año. El año 2016 presentó el mayor

porcentaje de muestras con humedad superior al 12%, con un valor de 42,9%.

El porcentaje de merma se refiere a la cantidad de pergamino (endocarpio) que tiene el café pergamino seco. En la Tabla 5 se muestran los resultados del porcentaje de merma por año y general para el total de muestras analizadas.

Los defectos del café verde se clasifican en defectos del primer y segundo grupo, según su impacto en la calidad sensorial. Entre los defectos del primer grupo se encuentran: negro total o parcial, cardenillo total o parcial, vinagre o parcialmente vinagre, reposado y ámbar o mantequilla. Entre los defectos del segundo grupo están: cristalizado, decolorado veteado, decolorado sobresecado, mordido o cortado, picado por insectos, averanado o arrugado, ligeramente picado por broca, averanado, aplastado y grano flojo, de acuerdo con la Norma Técnica 2324 (NTC, 2002).

Tabla 4. Cantidad de muestras por año y proporción de muestras según el rango de porcentaje de humedad de café pergamino seco.

Año	Número de muestras	<10%	10% - 12%	>12%
2016	229	10,1%	47,1%	42,9%
2017	111	13,5%	64,0%	22,5%
2018	105	11,4%	70,5%	18,1%
General	445	11,67%	60,53%	23,83%

Tabla 5. Porcentaje de merma por año de evaluación.

Merma (%)	2016	2017	2018	General
Promedio	19,14%	18,06%	18,15%	18,45%
Máximo	21,50%	21,15%	20,91%	21,19%
Mínimo	17,38%	16,45%	16,67%	16,83%

Los granos brocados se encuentran contemplados en los defectos del grupo 1 y grupo 2, su clasificación depende del grado y número de perforaciones. En la Figura 3 se presenta los intervalos de confianza obtenidos para cada año. Los mayores valores promedio se obtuvieron para el año 2016, esta variable influye directamente en el factor de rendimiento en trilla.

Los granos defectuosos se denominan comúnmente como pasillas. En la Tabla 6 se presentan los resultados del porcentaje de pasilla por año y general para el total de muestras analizadas.

Actualmente, el promedio del factor de rendimiento en Colombia es de 94 kg de café pergamino seco para la obtención de

un saco de 70 kg de café excelso. En la Figura 4 se presentan los valores promedio e intervalos de confianza para el factor de rendimiento por año. De igual forma, que con la variable granos brocados, los mayores valores se presentaron para el año 2016. Para los años 2017 y 2018 el valor de factor de rendimiento estuvo por debajo del promedio nacional, lo que comercialmente implica que los caficultores tienen la posibilidad de acceder a bonificaciones asociadas a la calidad física.

En la Figura 5 se presentan los promedios de factor de rendimiento por año y por zona agroecológica.

En general, los valores promedio fueron similares en todas las muestras obtenidas; sin

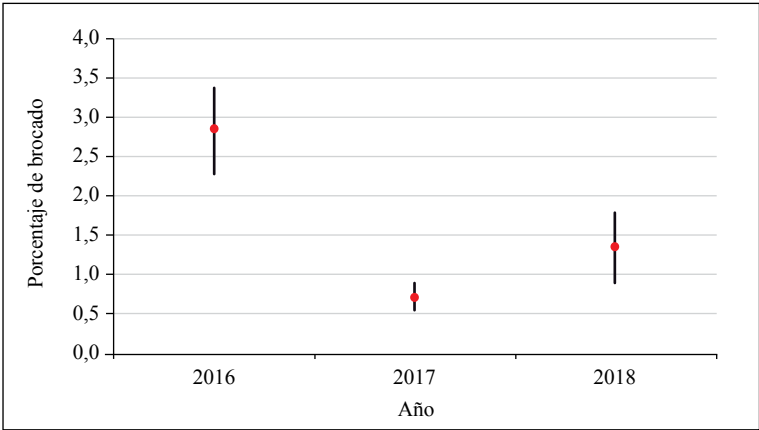


Figura 3. Intervalos de confianza para la variable proporción de grano brocado por año.

Tabla 6. Porcentaje de pasilla por año.

Pasilla (%)	2016	2017	2018
Promedio	0,18%	1,62%	1,21%
Máximo	1,67%	4,15%	10,61%
Mínimo	0,00%	0,00%	0,00%

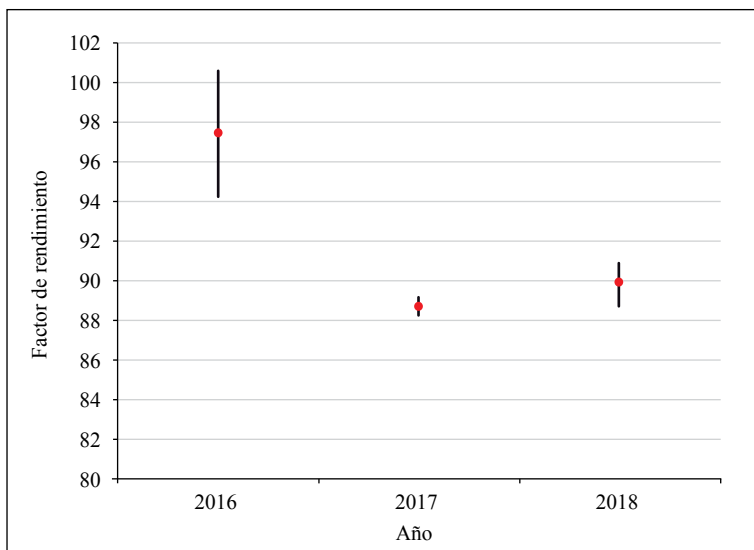


Figura 4. Valores promedio e intervalos de confianza para la variable factor de rendimiento en trilla.

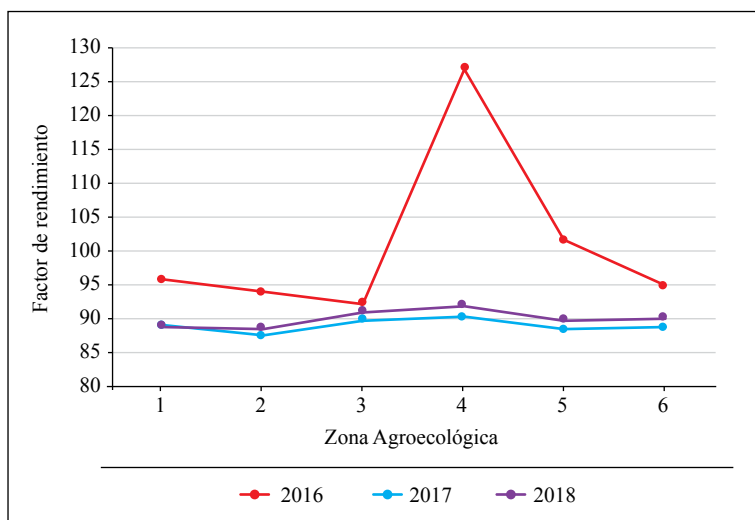


Figura 5. Promedio de factor de rendimiento por año y por ZAE en el departamento del Huila.

embargo, se observa que para el año 2016 en la zona agroecológica 4 (ZAE4), las muestras presentaron altos valores de la variable factor de rendimiento, que se relacionan con mayores valores de granos defectuosos (pasillas). Esta zona se caracteriza por tener fincas que se encuentran ubicadas a menor altitud, con oferta térmica alta y pluviométrica baja o

con deficiente distribución (Salazar et al., 2019). Adicionalmente, podría ser atribuido a las consecuencias del efecto del evento El Niño muy intenso desarrollado en el 2015, que podría explicar la calidad física de las muestras recibidas en el año 2016 provenientes de la ZAE4, con promedios superiores en todas las zonas en este mismo año.

En la Tabla 7 se presentan los porcentajes para las variables de humedad, merma, granos brocados, pasillas y factor de rendimiento por municipio. Los promedios indican que las variables físicas permiten el cumplimiento de los requisitos de calidad del café aumentando la posibilidad de los caficultores de vender su producto a un mayor precio.

Calidad sensorial

Para el análisis sensorial, en total se evaluaron 445 muestras, el 80,97% de las muestras no presentaron defectos sensoriales. La Tabla 8 muestra el porcentaje de muestras con defectos sensoriales y por porcentaje de muestras sin defectos sensoriales, en cada uno de los años del muestreo.

Los defectos sensoriales del café pueden ser originados en las diferentes etapas del proceso productivo del café, debido básicamente a la falta de control y a la baja implementación de las buenas prácticas agrícolas y de manufactura. El departamento de Huila, desde el año 2016, presenta una tendencia a disminuir el porcentaje de defectos identificados respecto al año evaluado, con valores de 30,13% a 19,05%. Con relación a los defectos de mayor frecuencia se identificaron el fenol, reposo y acre. Al realizar el análisis de acuerdo a la proporcionalidad por año, se observa la disminución de los defectos fermento, reposo y acre (Tabla 9). Los municipios de Hobo, Santa María y Tarquí no presentaron defectos sensoriales durante los años de la evaluación.

Al realizar el análisis por características sensoriales se identificaron las tendencias y proporciones de las muestras y sus calificaciones para cada atributo sensorial (Tabla 10).

En las Tablas 11 y 12 se presenta la proporción de muestras, para diferentes rangos de valoración, en cada uno de los atributos sensoriales del café, empleando la escala de calificación de Almacafé. Para el caso de atributos como la acidez, cuerpo, dulzor, sabor e impresión global se evidencia una mejora en las calificaciones obtenidas en el año 2018. En la Figura 6 se presenta la espacialización de los valores del atributo impresión global, para todas las muestras recibidas de los 35 municipios cafeteros del Huila. En todos los municipios del Huila, se presentan calificaciones en este atributo mayores a 5,7, lo que indica que en el departamento existen zonas potenciales para producir café de alta calidad.

Dentro de los criterios sensoriales para clasificar la calidad sensorial están la ausencia de defectos sensoriales y la presencia de diferentes descriptores positivos de la calidad sensorial. En la Tabla 13 se presenta la proporción de los descriptores obtenidos por año de estudio, donde las notas dulces son el principal descriptor del café evaluado, seguido, de notas cítricas, frutales, caramelo, floral, herbal, miel y avellanas. En la Figura 7 se presentan los descriptores sensoriales que se obtuvieron para todo el departamento durante la ejecución del proyecto. Adicionalmente en la Tabla 14 se presentan los descriptores sensoriales por municipio.

Composición química

Para las muestras analizadas en la Tabla 15 se presentan los valores obtenidos para ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos, sacarosa y trigonelina. Los valores promedio (en porcentaje base seca) de los compuestos químicos estimados en las muestras de café verde estuvieron dentro del rango reportado para el café de variedad *Coffea arabica* L.

Tabla 7. Porcentajes (promedio, mínimo y máximo) de la calidad física del café del Huila, por municipio.

Municipio	Humedad (%)			Merma (%)			Pasilla (%)			Broca (%)			Factor de rendimiento		
	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.
Acevedo	11,3	9,0	14,3	18,8	16,6	21,1	0,94	0,0	5,12	1,99	0,0	10,6	91,19	84,94	102,45
Agrado	11,8	11,0	13,2	17,8	17,8	17,8	0,13	0,0	0,29	1,33	0,29	3,83	85,91	85,79	86,04
Aipe	12,3	11,1	14,4	17,7	16,8	19,2	1,25	0,08	3,69	2,39	0,44	4,53	89,88	86,56	91,4
Algeciras	12,4	10,6	14,6	18,3	16,4	20,5	0,88	0,0	4,8	1,05	0,0	7,02	88,93	85,29	95,38
Altamira	11,0	10,6	11,5	18,4	18,3	18,7	1,56	0,14	4,28	1,43	0,29	2,75	90,32	88,21	91,75
Baraya	12,0	11,3	13,1	18,7	17,8	20,3	0,58	0,0	1,35	0,14	0,0	0,33	90,0	86,01	96,8
Campoalegre	11,1	9,1	13,6	17,9	16,4	20,9	2,19	0,0	5,76	3,12	0,64	5,63	92,64	91,35	93,77
Colombia	12,2	9,2	14,0	18,7	16,4	21,1	1,81	0,0	7,15	3,11	0,62	6,62	91,98	87,7	97,83
Elías	11,6	11,0	12,3	18,9	17,2	20,6	0,85	0,0	2,09	0,51	0,0	0,86	88,27	86,19	89,78
Garzón	11,4	9,0	13,8	18,5	16,2	21,2	0,41	0,0	2,31	1,72	0,0	6,24	88,35	84,72	95,86
Gigante	11,5	9,2	14,8	18,2	16,8	20,6	0,56	0,0	1,8	1,83	0,03	7,86	88,33	85,67	91,87
Guadalupe	11,4	9,0	13,7	18,7	16,8	21,0	0,58	0,0	2,49	1,26	0,0	5,35	89,28	85,82	98,87
Hobo	11,7	10,5	13,2	18,2	17,2	20,0	0,53	0,0	2,1	1,11	0,56	1,66	88,32	86,33	90,19
Íquira	11,1	9,6	12,8	18,0	17,0	19,2	0,56	0,05	1,14	1,03	0,15	3,72	87,36	84,64	90,68
Isnos	11,6	9,2	14,5	18,8	17,6	20,6	1,11	0,0	4,33	1,81	0,0	7,7	89,91	86,64	100,17
La Argentina	11,3	9,4	13,3	18,1	17,2	19,2	0,44	0,06	1,7	2,06	0,69	2,89	89,97	87,84	94,61
La Plata	11,9	9,9	14,5	18,5	16,5	21,1	0,77	0,0	7,45	1,4	0,0	6,74	90,13	85,64	102,86

Continúa...

...continuación.

Municipio	Humedad (%)			Merma (%)			Pasilla (%)			Broca (%)			Factor de rendimiento		
	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.
Nátaga	12,6	10,2	14,6	18,2	17,1	19,7	0,87	0,0	2,56	0,9	0,0	3,13	89,97	86,75	91,87
Neiva	12,6	10,0	14,1	18,9	17,2	20,2	1,63	0,0	7,46	1,46	0,04	8,81	89,68	85,41	97,55
Oporapa	11,3	9,0	13,8	18,4	16,6	21,4	0,6	0,0	3,87	1,1	0,0	3,76	88,65	84,69	96,12
Paicol	11,6	9,0	14,3	17,9	16,6	20,2	0,61	0,0	2,27	1,52	0,03	6,42	88,66	84,82	95,81
Palermo	12,2	10,4	13,5	19,2	16,5	20,9	0,83	0,0	1,92	0,89	0,08	1,34	89,76	84,96	94,38
Palestina	11,7	9,0	14,0	19,0	17,6	20,8	0,79	0,0	3,15	2,78	0,0	8,13	91,85	87,62	98,17
Pital	11,7	10,1	14,3	18,6	17,2	20,9	0,57	0,0	1,68	0,78	0,0	3,32	88,56	85,37	93,05
Pitalito	11,7	9,6	14,7	18,6	16,3	21,4	1,15	0,0	8,63	1,62	0,0	8,53	89,45	84,48	103
Rivera	12,6	11,4	13,9	18,0	17,2	18,7	1,41	0,0	4,08	0,64	0,05	1,94	88,78	86,87	91,73
Saladoblanco	11,3	9,3	12,7	18,4	17,0	21,0	0,69	0,0	4,04	1,09	0,19	3,76	89,42	84,59	99,01
San Agustín	11,5	9,0	13,6	18,8	17,5	19,5	0,78	0,0	2,13	1,4	0,07	6,25	90,44	87,23	102,71
Santa María	11,7	9,5	13,9	18,8	16,2	21,0	0,61	0,0	1,68	1,76	0,05	7,39	91,15	87,03	96,94
Suaza	11,6	10,2	13,8	18,4	16,7	20,5	0,78	0,0	4,05	1,18	0,0	4,38	89,45	85,78	94,7
Tarqui	12,0	10,2	13,5	18,5	16,9	20,6	0,36	0,0	1,17	0,98	0,0	6,76	87,87	84,92	96,38
Tello	12,0	11,0	13,6	18,4	16,4	21,4	1,10	0,0	4,2	1,71	0,0	5,92	89,86	85,88	94,4
Teruel	11,6	9,8	14,6	17,6	16,5	19,3	1,02	0,0	3,65	0,61	0,13	1,25	89,96	86,77	97,65
Tesalia	12,0	10,1	15,0	18,3	16,8	19,7	0,66	0,09	1,32	1,84	0,07	4,19	87,49	85,47	92,45
Timaná	11,4	9,0	13,4	18,4	17,0	21,4	0,72	0,14	1,36	1,44	0,15	5,19	89,51	85,8	102,29

Tabla 8. Calidad sensorial del café del Huila, por año.

	2016	2017	2018
Muestras sin defecto (%)	69,87%	74,77%	80,95%
Muestras con defecto (%)	30,13%	25,23%	19,05%

Tabla 9. Proporción de defectos sensoriales del café por año de evaluación.

Defecto	2016	2017	2018
Acre	2,62%	9,91%	3,81%
Fenol	1,75%	1,80%	1,90%
Fermento	5,24%	6,31%	3,81%
Inmaduro	5,24%	5,41%	2,86%
Reposo	13,54%	-	5,71%
Terroso	1,75%	1,80%	0,95%
Sin defecto	69,87%	74,77%	80,95%

Tabla 10. Valores promedio, máximo, mínimo para los atributos sensoriales del café del Huila.

Atributo	Promedio	Máximo	Mínimo
Fragancia y aroma	5,22	8,0	4,0
Acidez	5,28	7,5	4,0
Cuerpo	5,09	7,5	4,0
Impresión global	5,33	7,5	4,5

Tabla 11. Proporción de calificaciones de los atributos: fragancia/aroma, acidez y cuerpo del café del Huila, por año.

Calificación	Fragancia y aroma			Acidez			Cuerpo		
atributo	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
< 4,0	6,10%	3,60%	3,80%	6,60%	2,70%	3,80%	18,30%	13,50%	13,30%
4,0–5,5	79,00%	84,70%	79,00%	86,00%	86,50%	74,30%	69,00%	77,50%	66,70%
6,0–6,5	13,10%	11,70%	13,30%	7,00%	10,80%	21,00%	11,80%	8,10%	18,10%
> 7,0	1,70%	0,00%	3,80%	0,40%	0,00%	1,00%	0,90%	0,90%	1,90%

Tabla 12. Proporción de calificaciones de los atributos: dulzor, sabor e impresión global por año.

Calificación	Dulzor			Sabor			Impresión global		
Atributo	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
< 4,0	9,20%	7,20%	7,60%	9,60%	8,10%	7,60%	19,70%	11,70%	13,30%
4,0–5,5	72,10%	77,50%	72,40%	78,20%	82,00%	71,40%	62,90%	75,70%	58,10%
6,0–6,5	15,70%	13,50%	18,10%	10,50%	9,90%	19,00%	14,80%	11,70%	25,70%
> 7,0	3,10%	1,80%	1,90%	1,70%	0,00%	1,90%	2,60%	0,90%	2,90%

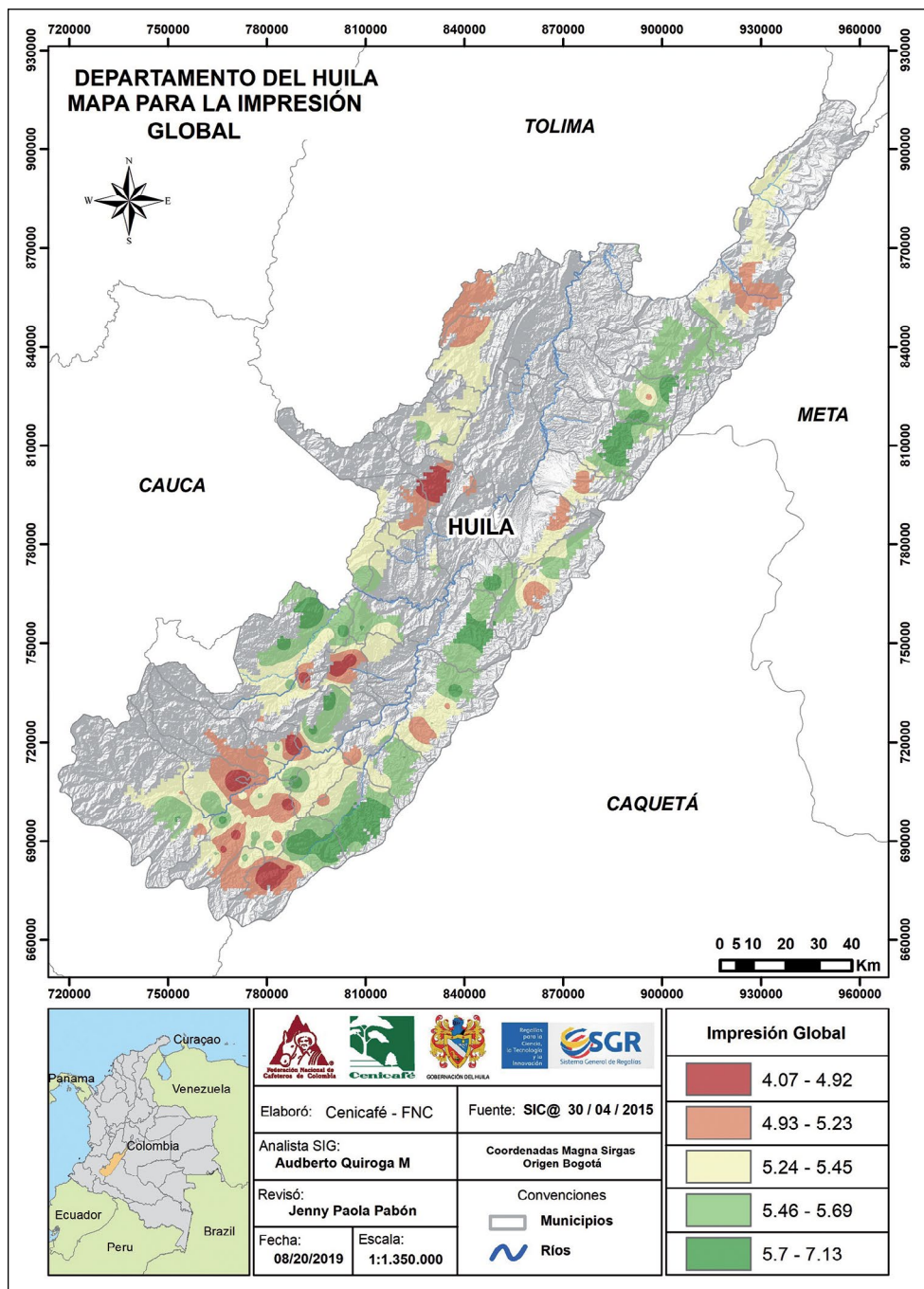


Figura 6. Calificación de impresión global obtenida para todas las muestras del departamento del Huila, durante los años 2016, 2017 y 2018.

Tabla 13. Principales descriptores sensoriales del café del Huila, por año de evaluación.

Descriptor	Año		
	2016	2017	2018
Dulce	61,3%	71,1%	52,9%
Cítrica	7,5%	13,3%	21,2%
Frutal	7,5%	2,4%	3,5%
Caramelo	6,3%	6,0%	11,8%
Floral	6,3%	2,4%	2,4%
Herbal	5,0%	2,4%	7,1%
Miel	4,4%	2,4%	1,2%
Avellanas	1,9%	0,0%	0,0%

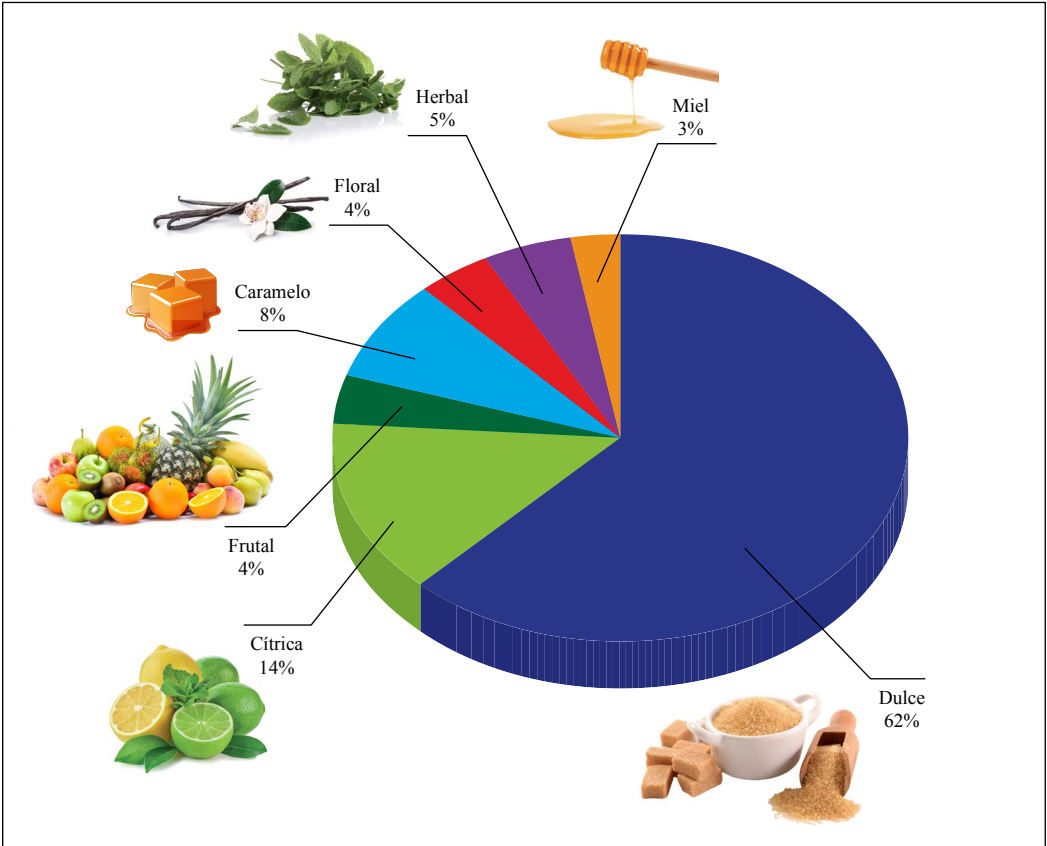


Figura 7. Distribución porcentual de los descriptores sensoriales del café del Huila entre 2016 y 2018.

Tabla 14. Proporción de descriptores sensoriales por municipio.

Municipio	Avellanas	Caramelo	Cítrica	Dulce	Floral	Frutal	Herbal	Miel
Acevedo		8,00%	24,00%	56,00%	4,00%	4,00%	4,00%	
Agrado				100,00%				
Aipe			50,00%	50,00%				
Algeciras		16,60%	16,67%	66,67%				
Altamira				100,00%				
Baraya				66,67%				33,33%
Campoalegre				83,33%		16,67%		
Colombia		20,00%	20,00%	40,00%			20,00%	
Elías				100,00%				
Garzón		11,70%	5,88%	52,94%	5,88%	5,88%	17,65%	
Gigante		7,60%	23,08%	46,15%		23,08%		
Guadalupe		7,60%	7,69%	46,15%		15,38%	15,38%	7,69%
Hobo				75,00%		25,00%		
Íquira		16,60%	16,67%	50,00%		16,67%		
Isnos		14,20%	14,29%	57,14%				14,29%
La Argentina		20,00%	40,00%	40,00%				
La Plata	4,00%	4,00%	16,00%	52,00%	8,00%	4,00%	4,00%	8,00%

Continúa...

...continuación.

Municipio	Avellanas	Caramelo	Cítrica	Dulce	Floral	Frutal	Herbal	Miel
Nátaga		20,00%		40,00%	40,00%			
Neiva	12,50%		25,00%	12,50%	25,00%	12,50%	0,00%	12,50%
Oporapa		12,50%	12,50%	62,50%				12,50%
Paicol			28,57%	71,43%				
Palermo			28,57%	71,43%				
Palestina			15,38%	69,23%			7,69%	7,69%
Pital		10,00%		90,00%				
Pitalito		6,45%		77,42%	6,45%	3,23%	6,45%	
Rivera		50,00%	50,00%					
Saladoblanco				100%				
San Agustín		5,88%	5,88%	64,71%	11,76%		5,88%	5,88%
Santa María				75,00%	12,50%		12,50%	
Suaza		5,88%	5,88%	64,71%	5,88%	11,76%	5,88%	
Tarqui		12,50%	12,50%	62,50%		12,50%		
Tello		22,22%	22,22%	44,44%				11,11%
Teruel				40,00%		20,00%	40,00%	
Tesalia			33,33%	66,67%				
Timaná	10,00%	10,00%	20,00%	60,00%				

Tabla 15. Valores promedios, máximo y mínimos obtenidos para los compuestos químicos del café del Huila.

Variables	Valores observados			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana
Ácidos clorogénicos (%)	5,4	6,5	5,9	5,9
Cafeína (%)	1,1	1,4	1,3	1,3
Lípidos (%)	13,6	16,4	15,2	15,3
Sacarosa (%)	6,0	7,1	6,5	6,5
Trigonelina (%)	0,8	1,4	1,1	1,1

Análisis de componentes principales

En la Figura 8 se presentan los resultados obtenidos del análisis de componentes principales. Los dos primeros componentes principales explicaron el 51,3% de la varianza. El primero está correlacionado con las variables de la composición química, como la cafeína, lípidos, ácidos clorogénicos y sacarosa. El segundo componente está relacionado con las variables de calidad sensorial (cuerpo, acidez, sabor, dulzor). En la Tabla 18 se muestran los cuatro grupos de municipios clasificados en este análisis. Las características pertenecientes a las variables químicas están fuertemente marcadas en los municipios pertenecientes al grupo 1, mientras que las características asociadas a las variables de calidad parecen ser características pertenecientes en los municipios del grupo 4.

Las variables de calidad sensorial como sabor, puntaje de catador y cuerpo se relacionan de forma inversa con las variables físicas como la proporción de granos brocados y pasilla, es decir, que a medida que se tienen las mejores prácticas agronómicas en el cultivo, combinado con procesos de clasificación para la separación de granos defectuosos en el proceso de poscosecha, los atributos sensoriales como los anteriormente mencionados tendrán una mejor calificación.

Con la información obtenida durante la ejecución del proyecto puede concluirse que las variables asociadas a la calidad física, sensorial y composición química, permiten que el café producido en el departamento del Huila cumpla con los criterios que se establecieron para obtener la Denominación de Origen Café del Huila.

Tabla 18. Clasificación de municipios del departamento del Huila, de acuerdo con el análisis de componentes principales.

Grupo 1	Altamira, Campoalegre, Isnos, La Argentina, Palestina, Pitalito, San Agustín.
Grupo 2	Agrado, Aipe, Garzón, Oporapa, Pital, Rivera, Saladoblanco, Teruel, Timaná
Grupo 3	Acevedo, Algeciras, Baraya, Colombia, Neiva, Paicol, Palermo, Tello, Tesalia
Grupo 4	Elias, Gigante, Guadalupe, Hobo, Iquira, La Plata, Nataga, Santa Maria, Suaza, Tarqui.

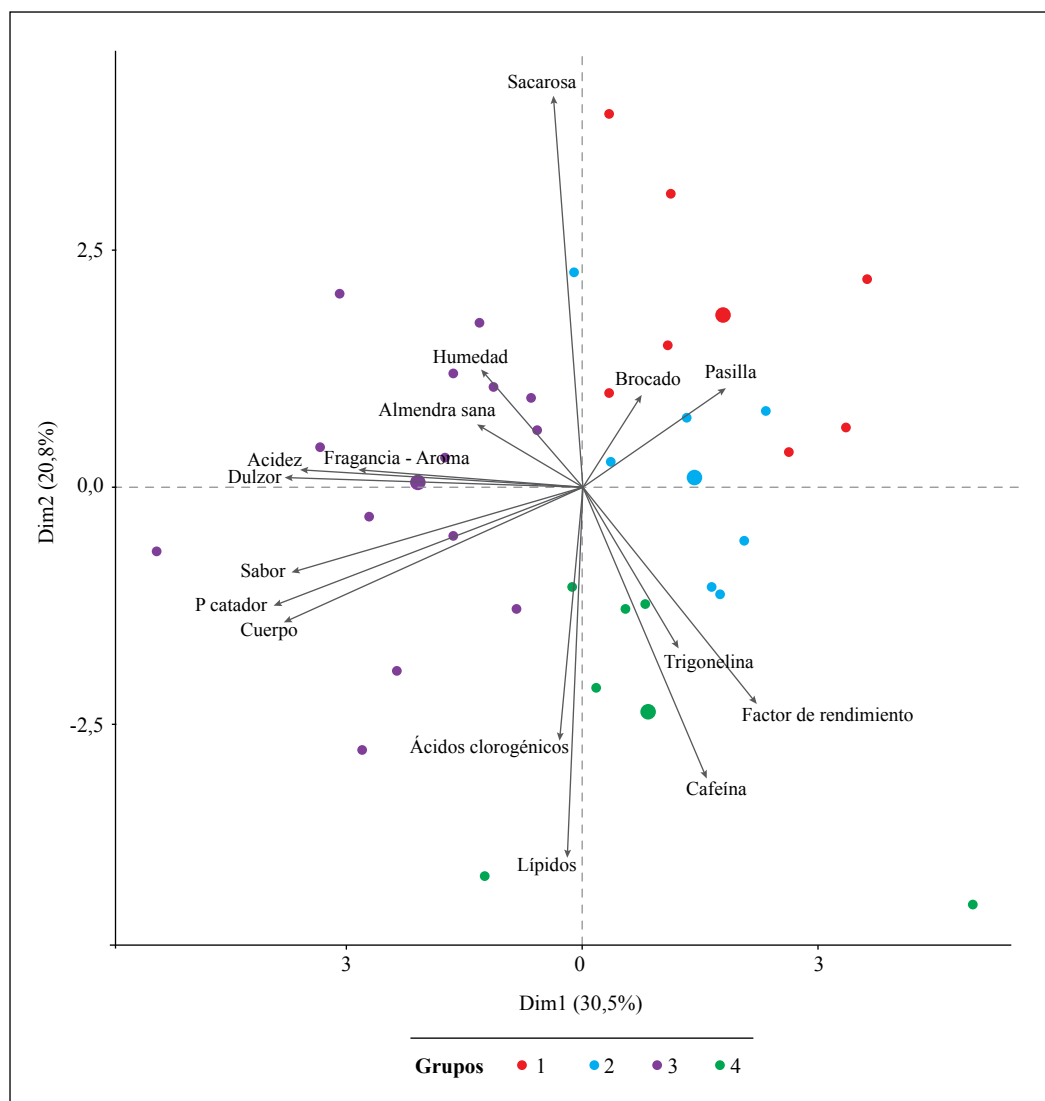


Figura 8. Componentes principales para las variables de calidad del café en el Huila, para los grupos de municipios descritos en la Tabla 18.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio de Extensión del Comité Departamental de Cafeteros del Huila, especialmente a los doctores Mauricio Salazar e Iván Álvarez. Al auxiliar del proyecto, Alexis Urriago. Al proyecto “Aplicación de Ciencia,

Tecnología e Innovación en el Cultivo de café ajustado a las condiciones particulares de la caficultura del Huila” financiado por la Gobernación del Huila, el Sistema General de Regalías, Cenicafé y el Comité del Huila. A la coordinadora del proyecto la Dra. Zulma Nancy Gil.

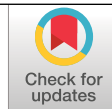
LITERATURA CITADA

- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- 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>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2017). Comportamiento de la industria cafetera colombiana 2017. https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Informe_Industria_2017.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros. (2019). Informe del Gerente al 87 Congreso Nacional de Cafeteros. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2019/12/Informe-del-Gerente-al-87-Congreso-Nacional-de-Cafeteros-2019.pdf>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonça, J. C. F., & Silva, X. A. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry*, 90(1), 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). NTC 4883:2000 Análisis sensorial. Café. Metodología para análisis sensorial cuantitativo descriptivo del café. <https://tienda.icontec.org/gp-analisis-sensorial-cafe-metodologia-para-analisis-sensorial-cuantitativo-descriptivo-del-cafe-ntc4883-2000.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1987). NTC 2324: Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-1987.html>
- Organización Internacional del Café. (2018). El mercado de café finalizó 2017/18 en excedente (Informe del mercado de Café, pp. 1–7). <https://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0918-c.pdf>
- Pohlan, H. a J., & Janssesn, M. J. J. (2010). Growth and Production of Coffee in Soils. En W.H. Verheyde (Eds.), *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Plant Growth and Crop Production Vol 3* (p. 485–510).
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/340>
- Salazar, S., Hoyos, J., Quiroga-Mosquera, A., & García-López, J. C. (2019). Zonas agroecológicas. 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. 08–31). *Cenicafé*. https://doi.org/10.38141/10791/0005_1
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2013). Resolución 17989 de 16 de abril de 2013 por la cual se decide una solicitud de protección de una denominación de origen del café del Huila. https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Denominacion%20de%20Origen/Agro%20-%20Alimenticios/Caf%C3%A9%20del%20Huila/cafe_de_huila.pdf
- Villegas, A. M., Pérez, C., Arana, V., Sandoval, T., Posada, H., Garrido, A., Guerrero, J., Pérez, D., & Olmo, J. (2014). Identificación de origen y calibración para tres compuestos químicos en café, por espectroscopia de infrarojo cercano. *Revista Cenicafé*, 65(1), 7–16. <http://hdl.handle.net/10778/551>
- Wintgens, J. N. (Ed.). (2012). *Coffee: Growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers* (2a ed.). Wiley.

CALIDAD FÍSICA, SENSORIAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ CULTIVADO EN EL ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Jenny Paola Pabón Usaquén  *, Valentina Osorio Pérez  *, Luis Carlos Imbachí Quinchua  **

Pabón, J., Osorio, V., & Imbachí, L. C. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el Oriente del departamento de Caldas. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72202. <https://doi.org/10.38141/10778/72202>



El Oriente de Caldas está conformado por los municipios de Manzanares, Marquetalia, Marulanda, Pensilvania, Samaná y Victoria, que en conjunto representan el 22% del área cafetera del departamento. Con el fin de caracterizar la calidad del café en esta zona, se tomaron 310 muestras de café de 65 fincas cafeteras. Las fincas seleccionadas tenían un área promedio de café de 2,02 ha, y altitudes superiores a los 1.800 m, en el 39% de los casos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física, sensorial SCA (Specialty Coffee Association) y química del café, determinando el contenido de cafeína, trigonelina, lípidos y sacarosa, mediante la técnica NIRS. El valor de almendra sana en promedio fue de 76,92%. El 75,16% de las muestras no presentó defectos sensoriales. Los defectos que se presentaron fueron: fermento (8,06%), inmaduro (7,74%), terroso (5,81%) y reposo (2,58%). Los valores de puntaje total en las muestras sin defecto estuvieron entre 80,69 y 82,07 puntos que, según la escala de la SCA, los clasifica como muy buenos. Las muestras de café del municipio de Victoria mostraron el contenido más bajo de cafeína (1,11%), mientras que el café de Marquetalia presentó el contenido más alto de sacarosa (6,90%). El análisis de componentes principales con todas las variables evaluadas clasificó tres grupos de municipios según la calidad del café: el grupo 1 conformado por Marulanda, Pensilvania, Samaná y Marquetalia, el grupo 2 por Victoria y el grupo 3 conformado por el municipio de Manzanares.

Palabras clave: Almendra sana, altitud, secado, fermentación, buenas prácticas agrícolas, Specialty Coffee Association.

PHYSICAL, SENSORY QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE COFFEE CULTIVATED IN THE EAST OF CALDAS

The eastern part of Caldas is made up of the municipalities of Manzanares, Marquetalia, Marulanda, Pensilvania, Samaná and Victoria, which together represent 22% of the coffee growing area of the department. In order to evaluate the quality of coffee in the eastern zone of Caldas, 310 coffee samples were taken from 65 coffee farms. The farms selected had an average coffee area of 2.02 ha, and altitudes above 1.800 m in 39% of the cases. The objective of this work was to evaluate the physical, sensory SCA (Specialty Coffee Association) and chemical quality of coffee, determining the content of caffeine, trigonelline, lipids and sucrose using NIRS technology. The average healthy bean value was 76.92%. Of the samples, 75.16% showed no sensory defects. The defects present were: ferment (8.06%), unripe (7.74%), earthy (5.81%) and aging (2.58%). The total score values in the samples without defects were between 80.69 and 82.07 points, which according to the SCA scale, classifies them as very good. The coffee samples from the municipality of Victoria showed the lowest caffeine content (1.11%), while the coffee from Marquetalia presented the highest sucrose content (6.90%). The principal components analysis with all the variables evaluated classified three groups of municipalities according to the quality of the coffee: group 1 was formed by Marulanda, Pensilvania, Samaná and Marquetalia, group 2 by Victoria and group 3 by Manzanares.

Keywords: Green coffee, altitude, drying, fermentation, good agricultural practices, SCA (Specialty Coffee Association).

* 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>

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



El departamento de Caldas tiene dos zonas cafeteras definidas: la zona del Paisaje Cultural cafetero (cuenca del río Cauca, ubicada en la vertiente Occidental de la cordillera Central y vertiente Oriental de la cordillera Occidental) y el Oriente (vertiente Oriental de la cordillera Central). En el Oriente del departamento de Caldas se encuentran los municipios de Manzanares, Marquetalia, Marulanda, Pensilvania, Samaná y Victoria que, en conjunto representan el 22% del área cafetera del departamento. Esta región es reconocida como un lugar importante para producción de café de alta calidad, con condiciones climáticas y geográficas particulares. Esta zona se caracteriza por tener una caficultura menos tecnificada (77%), comparada con el resto del departamento que tenía el 88,7%, en el 2016 (Comité departamental de Cafeteros de Caldas, 2016). Adicionalmente, la zona del Oriente de Caldas ha recibido reconocimientos por la calidad del café producido en los municipios de Manzanares, Marquetalia y el corregimiento de Montebonito en Marulanda (Comité departamental de Cafeteros de Caldas, 2017).

La calidad del café es un resultado que depende de varios factores, entre los cuales se encuentran el genotipo (variedad), el clima (altitud, temperatura ambiente, etc.), las prácticas de poscosecha: madurez del fruto, despulpado, remoción del mucílago, lavado, secado, tostación y la preparación de la bebida (Osorio et al., 2021; Puerta, 1999). La medición de la calidad puede determinarse por cuatro enfoques: calidad física, calidad sensorial, composición química e inocuidad (Pabón & Osorio, 2019). La calidad física, se relaciona con el peso, la humedad, tamaño, apariencia y olor del grano de café pergamino seco y de la almendra. La composición química del grano verde o almendra, influye en la composición química

del café tostado y, por lo tanto, contribuye con la calidad sensorial del café. La cafeína es un alcaloide, termoestable, inoloro y amargo en estado puro (dePaula & Farah, 2019), comúnmente asociado al sabor amargo del café, sin embargo, es responsable de sólo el 10% del amargo percibido en la bebida (Farah, 2012). La trigonelina es un alcaloide cuya importancia está relacionada con su degradación durante el proceso de tostación, para dar varios compuestos volátiles que influyen en el aroma de la bebida (Perrone et al., 2008). La presencia de lípidos es asociada con la duración del aroma y la espuma de la bebida, su acumulación depende de varios factores, particularmente de la especie (Selmar et al., 2014). Los carbohidratos son el mayor constituyente del café verde, actúa como precursor del aroma, originando varias sustancias en el proceso de tostación, debido a las reacciones de Maillard que afectan el sabor y aroma de la bebida (Farah, 2012).

La determinación de la calidad sensorial se realiza por medio del proceso de catación de la bebida de café (Puerta, 2009). La metodología de la Asociación de Cafés Especiales (SCA, por sus siglas en inglés), califica los siguientes atributos: fragancia, aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, y reporta el puntaje total que corresponde a la sumatoria de la calificación de cada atributo (Specialty Coffee Association SCA, 2003).

Con el objetivo de reconocer y potenciar una región promisorio y tradicional de la caficultura, como lo es el Oriente caldense, a continuación, se presentan los principales resultados de la caracterización de la calidad física, sensorial y composición química del café de la zona del Oriente de Caldas, durante los años 2015, 2016 y 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el 2015, 2016 y 2017, se obtuvieron muestras de café provenientes de 65 fincas, de los seis municipios cafeteros del Oriente de Caldas, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de municipios y número de fincas donde se realizó la caracterización.

Municipio	Número de fincas
Manzanares	9
Marquetalia	11
Marulanda	2
Pensilvania	21
Samaná	18
Victoria	4
Total	65

Durante la ejecución del proyecto se tomaron 310 muestras de las fincas seleccionadas durante la época de cosecha de la zona. Se manejaron dos tipos de muestras, una denominada **productor** que estaba conformada por café pergamino seco procesado por el caficultor, y otra **estándar**, la cual era una muestra de frutos maduros de café entregada por cada caficultor. La muestra tipo estándar se procesó en un módulo de beneficio portátil, donde se realizó el proceso de despulpado, fermentación natural monitoreada con FermaestroTM, lavado mecánico y secado, hasta llegar a una humedad entre el 10% y el 12%. En total, se obtuvieron 129 muestras tipo estándar y 181 muestras tipo productor.

Todas las muestras de café pergamino codificadas con el código SICA (Sistema de Información Cafetera) y con información para asegurar la trazabilidad, se almacenaron en un cuarto frío con humedad y temperatura monitoreada, hasta el momento de los análisis físicos, químicos y sensoriales. Adicionalmente,

se obtuvo la información del tipo de beneficio que realizaba cada caficultor en la finca, mediante una encuesta aplicada por el Servicio de Extensión de cada municipio, donde se recolectaron datos sobre la variedad cultivada, el tamaño de las fincas y los diferentes procesos en el beneficio del café.

Análisis físico de café pergamino seco. Los análisis físicos y sensoriales se realizaron en el Laboratorio Ritual del Café del Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. Se determinó el porcentaje de merma, almendra sana, la proporción de granos negros y vinagres, brocados y pasilla, así como el porcentaje de humedad del café, mediante un medidor KETT calibrado para café.

Análisis sensorial de café. Las muestras fueron analizadas por tres catadores certificados Q – Grader, por el Coffee Quality Institute del Ritual del Café del Comité de Cafeteros de Caldas. Cada muestra se entregó al laboratorio debidamente codificada, cada una se procesó siguiendo la metodología de la asociación de cafés especiales (Specialty Coffee Association SCA, 2003), garantizando que el proceso de tueste y preparación se realizara de forma estandarizada en todas las muestras; se analizaron cinco tazas por cada muestra para evaluar la uniformidad. Por cada muestra se reportó la calificación de cada atributo y la ausencia o presencia de defectos. En la Tabla 2 se presenta el rango establecido por la SCA, para el puntaje total. Cuando una muestra presentó defecto sensorial, su calificación disminuyó a los 53 puntos.

Análisis de la composición química del café verde. Se utilizó el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para predecir los contenidos de cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina presentes en el café verde de las muestras obtenidas. Las muestras de café almendra verde

Tabla 2. Clasificación del puntaje total de la escala SCA, (SCA, 2003).

Puntaje total	Descripción de la especialidad	Clasificación
90–100	Excepcional	
85 – 89,99	Excelente	Especialidad
80 – 84,99	Muy Buena	
< 80,0	Debajo de la calidad especial	No especialidad

se molieron criogénicamente, se analizaron en el rango de longitud de onda de 680–2.500 nm (NIRS model 6500, NIRSystems, Silver Spring, Maryland, USA).

Análisis de la información. Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva. Por municipio y para todas las variables evaluadas, se determinaron promedios, máximo, mínimo y desviaciones estándar. Adicionalmente, para explorar las asociaciones de las variables de interés con los municipios, se realizó la técnica con la reducción de dimensionalidad, por componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas participantes

El área promedio en café de las fincas de la zona del Oriente que participaron en el proyecto fue de 2,02 ha, con un máximo de 6,88 y un mínimo de 0,40 ha. En la Figura 1 se presenta la proporción de las fincas según el área de café. Se resalta que el 89,61% son fincas con menos de 4,01 ha cultivadas en café.

El 77% de las fincas tenían sembradas variedades resistentes a la roya, principalmente Variedad Castillo® y Colombia. En cuanto a

la altitud, el 39% de las fincas están ubicadas por encima de 1.800 m y el 21% debajo de 1.300 m (Figura 2). Las fincas del municipio de Victoria estaban ubicadas a una altitud de 1.300 m y todas las fincas de Marulanda estuvieron entre 1.500 y 1.800 m. En la Figura 2 se presenta la proporción de fincas por altitud, por cada municipio.

En cuanto al proceso de beneficio del café, en todas las fincas emplearon la fermentación espontánea como método de remoción de mucílago y en el 58,9% de las fincas realizaron este proceso en tanques de mampostería de cemento sin algún recubrimiento. En el 53,3% de las fincas tardaron entre 13 y 15 horas para la fermentación, las demás presentaron tiempos superiores. En todos los casos se empleó el secado solar para obtener el café pergamino seco y en el 52% poseían secador parabólico, seguido por casa heldas (39,23%), patio de cemento y por paseras con el 6,63% y 2,21%, respectivamente.

Calidad física del café pergamino seco

La humedad final del café pergamino seco debe estar entre el 10% al 12%, para garantizar la inocuidad y asegurar la vida útil del café durante su acopio y almacenamiento (Puerta, 2013). En la Tabla 3 se presenta la proporción

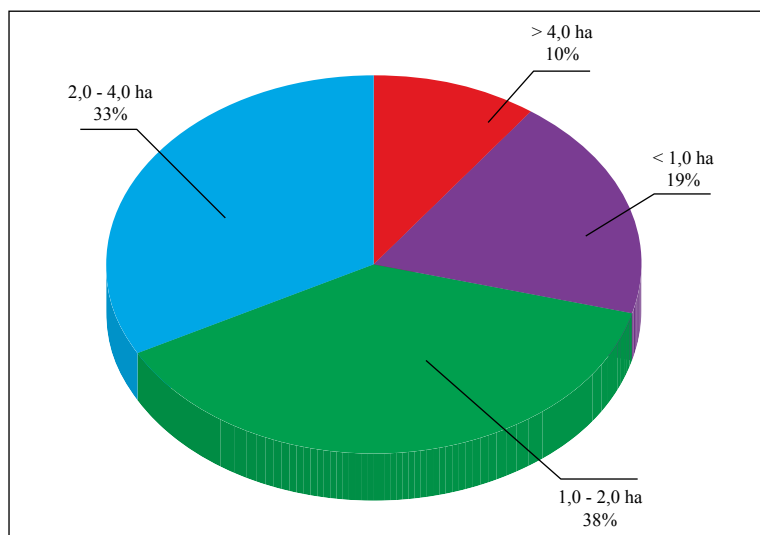


Figura 1. Proporción de fincas según el área de café.

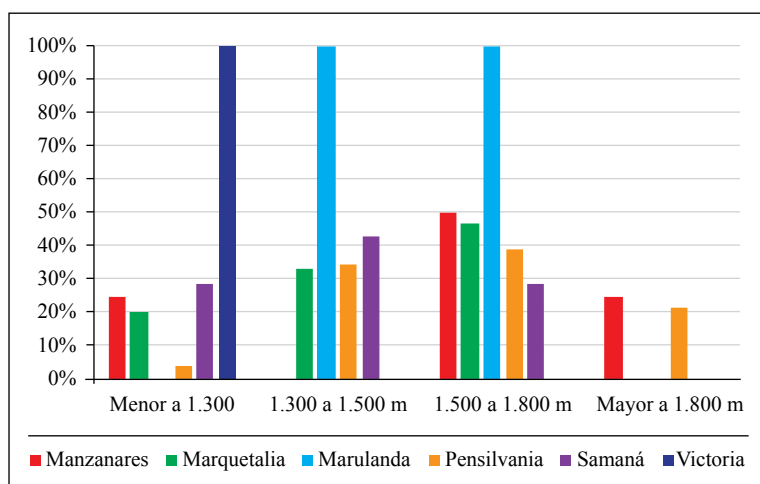


Figura 2. Proporción de fincas según la altitud, por cada municipio del Oriente de Caldas.

de muestras por rango de humedad estimado para cada año de evaluación. En particular, el 65,19% de las muestras presentaron una humedad del café pergamino entre el 10% y el 12%. Se evidenció que es necesario mejorar el sistema de identificación del punto final del secado, ya que hubo una cantidad importante de muestras fuera del rango requerido. Por esta razón en las actividades de socialización de resultados con los caficultores se impulsó

el uso de la metodología Gravimet (Jurado et al., 2009).

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio, máximo y mínimo de las variables de calidad física para todas las muestras recibidas durante los tres años del proyecto. Los resultados promedio, indican que las variables físicas permiten el cumplimiento de los requisitos de calidad del café, aumentando la posibilidad

de los caficultores de vender su producto a un mayor precio (FNC, 2002).

La variable almendra sana hace referencia a la cantidad de café en ausencia de defectos físicos, el valor promedio debe ser mayor al 75%, lo que indica buena calidad, los mayores valores de esta variable se presentaron en muestras procedentes de los municipios de Marulanda, Samaná, Pensilvania y Marquetalia (Tabla 5). En general, el promedio para esta variable fue de 75,91%, descriptivamente mayor a lo reportado para el café de la zona del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas (Puerta & Pabón, 2018) y para siete departamentos cafeteros del país (Puerta, 2016), con valores promedio de 73,7% y 74,0%, respectivamente.

Los defectos físicos se clasificaron en granos brocados, negros y vinagres, y los

demás se denominaron pasillas. Las principales causas de la generación de estos daños son los insectos, defectos genéticos, enfermedades de la planta, factores ambientales o errores en el proceso de beneficio (Puerta, 2013a). Las muestras de café provenientes de fincas del municipio de Victoria presentaron mayor contenido de granos brocados y de negros y vinagres (Tabla 6), posiblemente generados por los insuficientes procesos de clasificación y las condiciones ambientales, debido a que todas las fincas de este municipio están ubicadas a una altitud menor a 1.300 m (Puerta, 2016).

En todos los municipios se presentaron valores medios de granos brocados mayores a 1,0%, a excepción de Marulanda y Pensilvania. El promedio para la zona del Oriente fue de 1,87%, descriptivamente menor a lo reportado por Puerta y Pabón (2018) para los municipios

Tabla 3. Proporción de muestras de café según el rango de humedad final.

Rango de Humedad	2015	2016	2017	General
< 10 %	44,12%	9,80%	12,90%	23,76%
10%–12%	54,41%	70,59%	72,58%	65,19%
> 12 %	1,47%	19,61%	14,52%	11,05%

Tabla 4. Calidad física del café de los municipios del Oriente de Caldas.

Variable	Mín.	Máx.	Prom.	D.E.	Rango
Humedad (%)	8,40	14,00	10,73	0,96	10% al 12%
Merma (%)	15,48	23,76	18,49	1,33	Menor a 19%
Brocado (%)	0,00	8,00	1,49	1,68	Menor a 2%
Pasilla (%)	0,24	15,21	4,72	3,00	Menor a 5,5%
Negros y vinagres (%)	0,00	5,04	0,57	0,82	Menor a 1,5%
Almendra sana (%)	56,04	82,72	75,90	4,19	Igual o mayor a 75%

D.E.: desviación estándar.

Tabla 5. Valores promedio de proporción de almendra sana, por municipio, del Oriente de Caldas.

Municipio	Promedio	D.E.
Manzanares	74,02	5,69
Marquetalia	75,43	4,72
Marulanda	77,49	2,41
Pensilvania	76,70	3,15
Samaná	76,99	2,44
Victoria	71,21	6,58
General	75,91	4,20

D.E.: desviación estándar.

Tabla 6. Valores promedio y desviación estándar (D.E.) de las variables granos brocados y granos negros y vinagres, por municipio.

Municipio	Brocado (%)	D.E.	Pasillas (%)	D.E.	Negros y vinagres (%)	D.E.
Manzanares	1,18	1,97	5,80	3,60	1,14	0,69
Marquetalia	1,83	1,78	5,22	3,64	0,58	0,89
Marulanda	0,92	0,92	4,11	2,43	0,27	0,27
Pensilvania	0,97	1,16	4,38	2,68	0,67	0,60
Samaná	1,28	1,31	4,16	2,48	0,27	0,24
Victoria	4,10	2,22	5,77	3,08	1,48	1,23

de la zona del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas, en la caracterización de calidad realizada en los mismos años, donde el valor de la proporción de broca reportado fue de 3,8%.

Calidad sensorial

El 75,16% de las muestras no presentaron defectos sensoriales. Los defectos que se presentaron con mayor proporción fueron: fermento, inmaduro, terroso y reposo (Figura 3). El fermento pertenece al grupo de los defectos sensoriales denominado sobrefermentados, en el cual además se encuentran: pulpa, vinagre y *stinker* (Osorio & Silva, 2018). Se caracterizan

por sabores a frutas sobrefermentadas, materia orgánica descompuesta, indeseables en la bebida de café. Causados generalmente por fermentaciones excesivas y/o deficientes condiciones del beneficio (Puerta, 2001).

El inmaduro hace parte del grupo de los defectos acre/áspero, tienen sensación olfativa y gustativa áspera, amarga, astringente, picante y pesada. Suele estar asociado a la presencia de granos defectuosos, especialmente negros, por la presencia de frutos de café verdes y pintones que producen infusiones astringentes e indeseables en la bebida del café (Osorio & Silva, 2018).

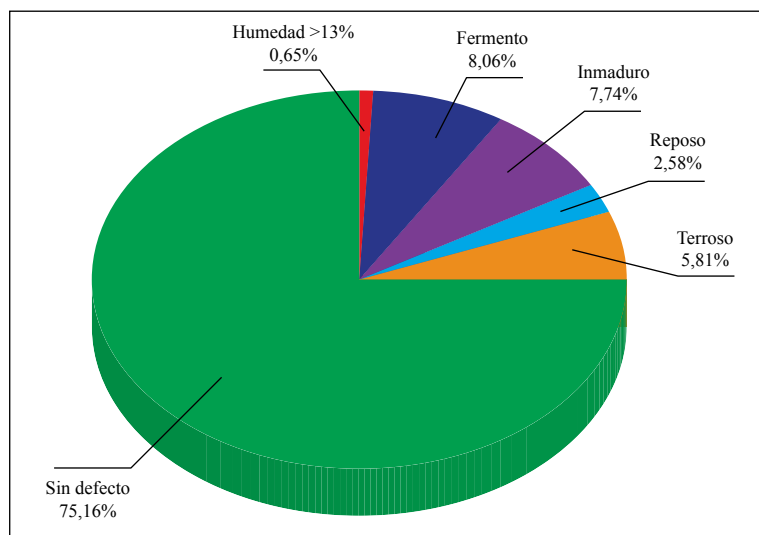


Figura 3. Proporción de muestras con cada defecto y sin defectos sensoriales.

Dentro de los grupos del defecto terroso también se clasifican el sucio, paja, moho y reposo. Los retrasos en el secado del café conducen a la decoloración y al enmohecimiento de los granos, y a la presencia de estos defectos en la bebida (Puerta, 2015). El defecto reposo está relacionado con la disminución del sabor, acidez y aroma, debido al tiempo o a condiciones inadecuadas de almacenamiento (Osorio & Silva, 2018). Adicionalmente, Agudelo y Valencia (2021) reportaron que las muestras con reposo presentan menores valores de almendra sana respecto a muestras sin este defecto. En este estudio fue el defecto que se presentó en menor proporción, debido a que las muestras de café no sufrieron períodos largos de almacenamiento.

Los municipios de Marulanda, Samaná y Marquetalia presentaron mayor proporción de muestras sin defectos, con el 100%, 84,1% y 83,3%, respectivamente. El defecto fermento estuvo presente en todos los municipios, a excepción de Marulanda, que no presentó defectos. Así como, en la variable de almendra sana, las muestras de las fincas de Victoria

alcanzaron la menor proporción de muestras sin defectos sensoriales (Tabla 8).

Para las muestras sin defectos sensoriales, en la Tabla 9 se presentan los valores promedio para las variables: fragancia y aroma, sabor, acidez y puntaje total por cada municipio. Los valores para el puntaje total estuvieron entre 80,69 y 82,07 puntos, que según la escala de la SCA, los clasifica como muy bueno.

En los municipios de la zona del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas, el 79,4% de las muestras no presentaron defectos sensoriales y los defectos que se presentaron con mayor proporción fueron: vinagre (6,7%), terroso (5,5%), inmaduro (4,8%), fenol (0,2%) y acre (0,2%).

Composición química

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la composición química del café verde en las sustancias cafeína, trigonelina, lípidos y sacarosa estimada mediante espectroscopia infra-roja cercana (NIRS).

Tabla 8. Proporción de tazas sin defectos y con defectos de las muestras de café, en los municipios del Oriente en Caldas.

Municipio	Humedad >13%	Fermento	Inmaduro	Reposo	Terroso	Sin defecto
Manzanares	-	7,7%	-	-	15,4%	76,9%
Marquetalia	-	4,8%	9,5%	-	2,4%	83,3%
Marulanda	-	-	-	-	-	100,0%
Pensilvania	1,5%	12,3%	7,7%	1,5%	1,5%	75,4%
Samaná	-	2,3%	9,1%		4,5%	84,1%
Victoria	7,7%	30,8%	-	-	-	61,5%
General	1,1%	8,8%	7,2%	0,6%	3,3%	79,0%

Tabla 9. Valores promedio para los atributos SCA, para las muestras que no obtuvieron defectos sensoriales, por municipio.

Municipio	Frag/ Aroma	D.E.	Sabor	D.E.	Acidez	D.E.	Puntaje total	D.E.
Manzanares	7,40	0,21	7,40	0,17	7,48	0,22	81,60	1,07
Marquetalia	7,34	0,23	7,32	0,24	7,36	0,24	81,13	1,44
Marulanda	7,50	0,20	7,44	0,24	7,50	0,35	81,94	1,74
Pensilvania	7,48	0,30	7,47	0,25	7,47	0,29	82,07	1,71
Samaná	7,34	0,25	7,31	0,24	7,36	0,25	81,20	1,44
Victoria	7,19	0,22	7,22	0,16	7,31	0,18	80,69	1,00

D.E.: desviación estándar.

Tabla 10. Composición química del café verde del Oriente de Caldas, estimada por NIRS.

Compuesto	Mín.	Máx.	Med.	D.E.	%Error Absoluto	Límite inf. (95%)	Límite sup. (95%)
Cafeína (%)	0,87	1,42	1,22	0,09	0,045	1,21	1,24
Trigonelina (%)	0,75	1,65	0,99	0,09	0,079	0,99	1,00
Lípidos (%)	9,86	17,6	14,26	0,87	0,056	14,22	14,29
Ácidos clorogénicos (%)	3,87	6,39	5,22	0,39	0,037	5,20	5,23
Sacarosa (%)	5,92	7,65	6,83	0,24	0,019	6,81	6,84

D.E.: desviación estándar.

El café de Victoria presentó el menor contenido medio de cafeína (1,11%), comparado con los obtenidos en el café de los municipios de Pensilvania y Samaná, mientras que el contenido de sacarosa fue mayor en el café de Marquetalia comparado con el obtenido en Pensilvania. El café de Marquetalia presentó los mayores contenidos de sacarosa (6,94%), similares a lo reportado en los municipios de la zona del Paisaje Cultural Cafetero del departamento de Caldas que en promedio fue de 6,81%.

Con el objetivo de conocer las posibles relaciones de las variables de calidad física y sensorial con las medidas de composición química, se realizó la técnica con la reducción de dimensionalidad por componentes principales conjunto. En la Tabla 10 se observan las agrupaciones obtenidas en el análisis, se presentan tres agrupaciones definidas, donde uno de los grupos conformado por Marulanda, Pensilvania, Samaná y Marquetalia, se diferencia de otros dos grupos conformados únicamente por el municipio de Victoria (grupo 2) y Manzanares (grupo 3).

Tabla 11. Agrupaciones por municipio.

Grupo	Municipios
1	Marulanda, Pensilvania, Samaná y Marquetalia
2	Victoria
3	Manzanares

En la Figura 4 se muestra la representación de las dos primeras componentes que explican el 85,5% de la variación. El primer componente está correlacionado con las variables cafeína, fragancia y aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, taza limpia y puntaje catador, indicando que el componente está asociado principalmente a la calidad sensorial del café.

El segundo componente está relacionado con las variables trigonelina, lípidos, ácidos clorogénicos y sacarosa, variables asociadas a la composición química del grano. Las características de los municipios que conforman cada uno de los grupos (Tabla 11) pueden identificarse a partir de los vectores asociados a las variables, es decir, el municipio del grupo 3 (Manzanares), representado en la Figura 4 con el símbolo ●, en general, presenta altos contenidos de sacarosa, humedad, porcentaje de almendra sana y cafeína, y a su vez bajos contenidos de pasilla, trigonelina, lípidos y merma. Los municipios del grupo 1 presentaron altos valores de almendra sana, cafeína y fragancia/aroma.

Adicionalmente, en el conjunto de datos de las variables registradas, hay una separación evidente cuando las muestras presentan o no, defectos sensoriales. Cuando se realizó el análisis de componentes principales se obtuvo una clasificación de tres grupos de defectos (Tabla 12).

Tabla 12. Grupos de defectos.

Grupo	Defectos
1	Inmaduro, reposo
2	Sin defecto
3	Terroso y fermento

Los dos primeros componentes explican el 83,4% de la variabilidad presente en el conjunto de datos (Figura 5). En consecuencia la aparición de los defectos reposo e inmaduro (grupo 1) se debe a altos contenidos de humedad y pasilla. Así mismo, los defectos sensoriales terroso y fermento están relacionados con altos valores de broca, negros y vinagres y merma. Las muestras que no presentaron defecto también tenían altos valores de trigonelina, sacarosa y lípidos.

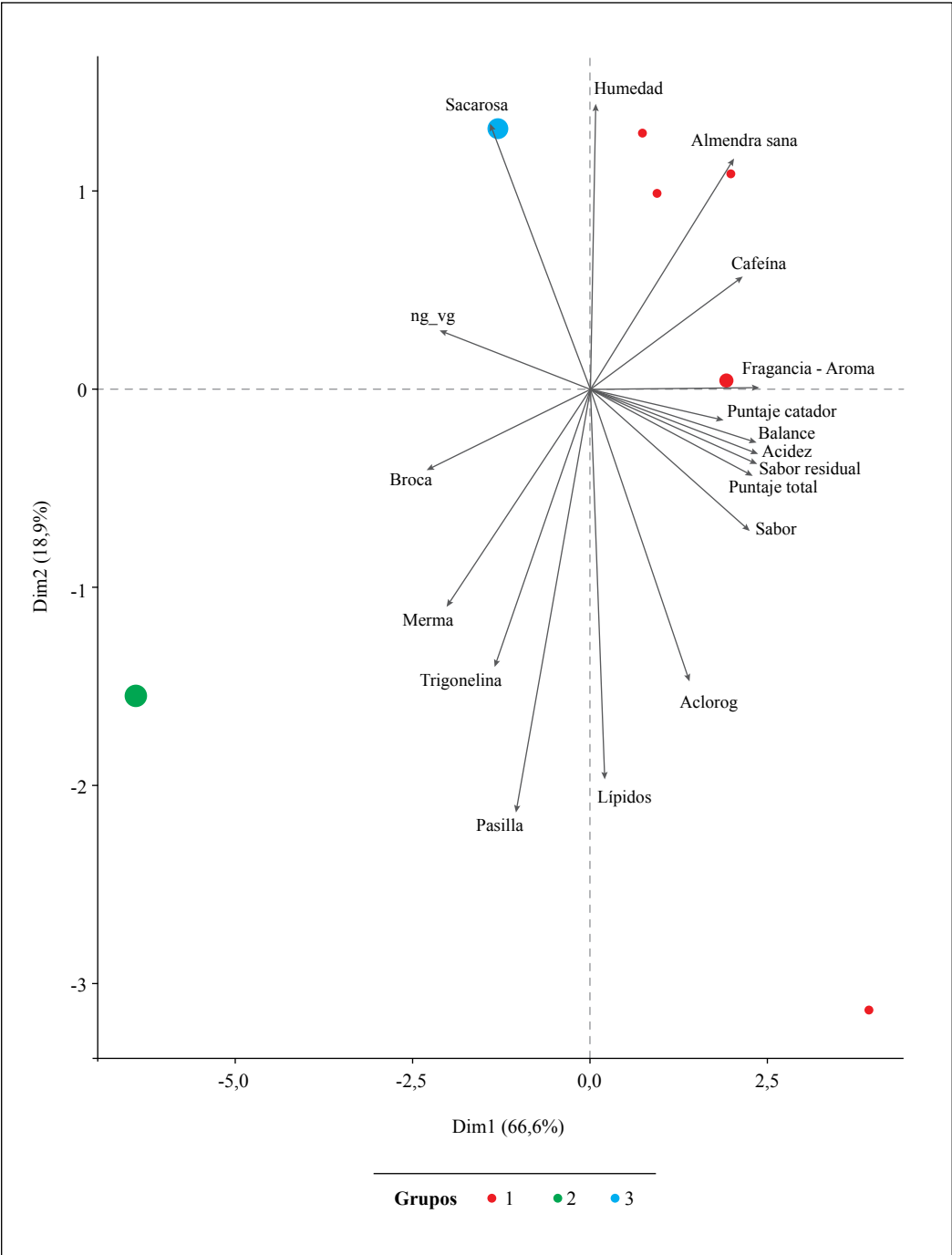


Figura 4. Representación de los dos componentes principales, para los grupos de municipios descritos en la Tabla 11.

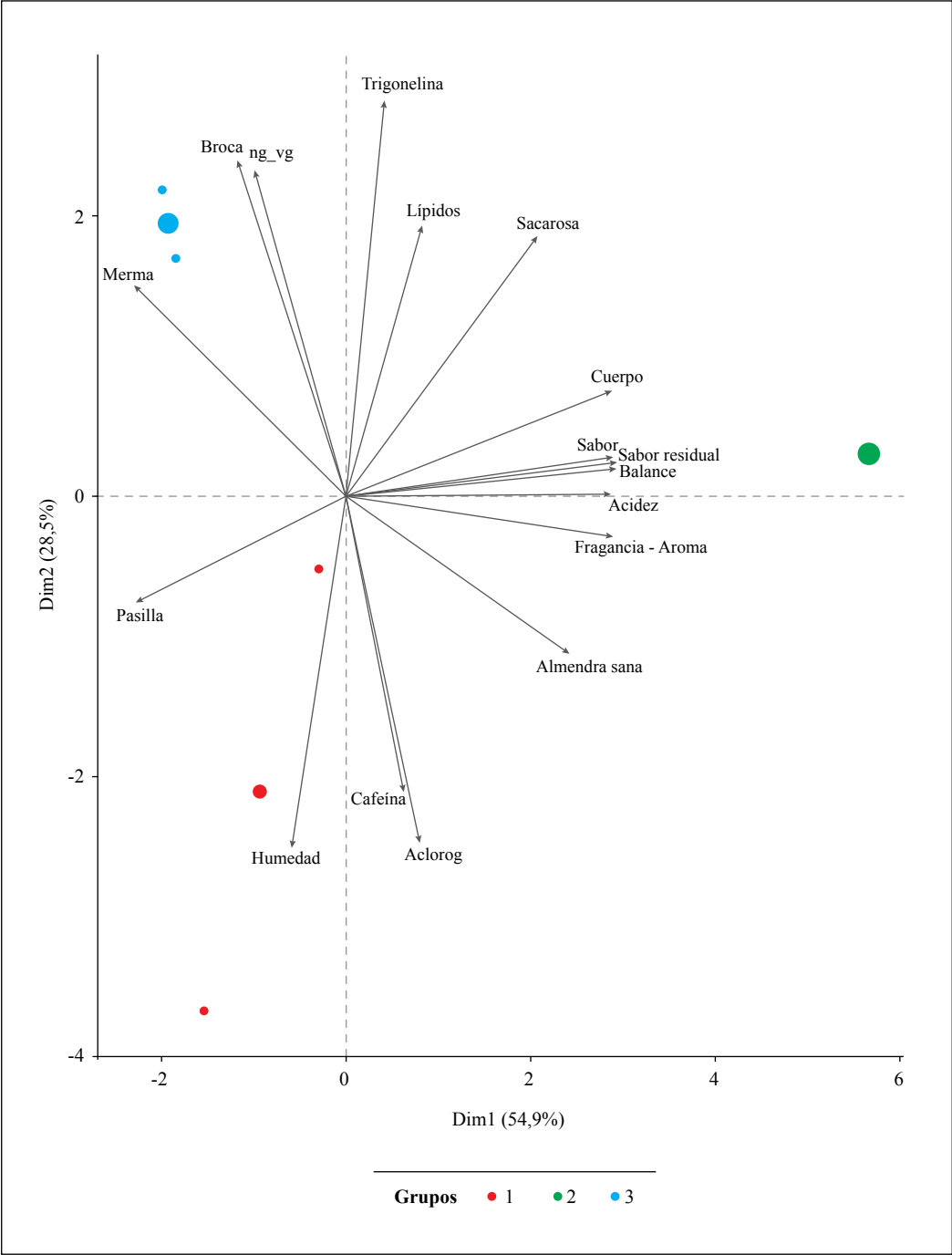


Figura 5. Representación de los dos componentes principales, para los grupos de defectos descritos en la Tabla 12.

Los análisis sensoriales se realizaron bajo la metodología SCA y para el procedimiento de preparación de las muestras se empleó almendra sana, es decir, café sin defectos físicos. Los defectos sensoriales se detectaron en almendras sanas, lo que implica que, aunque los granos no tengan daños visibles, inadecuados procesos de cosecha y beneficio tuvieron impacto negativo en la calidad sensorial. En el caso de defectos como el inmaduro la presencia de granos pintones y verdes se relaciona con el porcentaje de pasillas, pues estos frutos durante el despulpado pueden sufrir daños a su integridad. El defecto reposo se puede asociar con contenidos de humedad por fuera de los rangos óptimos, pues al no cumplirlos se afecta su conservación durante el almacenamiento disminuyendo su vida útil. De igual manera los fermentos pueden asociarse con altos contenidos de granos negros y vinagres que pueden ser causados por inadecuadas condiciones de limpieza de los equipos y/o fermentaciones excesivas durante la remoción del mucílago.

Con los resultados se verificó que para el café del Oriente de Caldas hay relación directa entre la calidad física del café y la ausencia de defectos sensoriales.

Estos resultados indican que la implementación o mejoramiento de las prácticas de poscosecha y las continuas clasificaciones durante todo el proceso de beneficio para evitar los defectos físicos, contribuye de manera simultánea a conservar la calidad sensorial del café de la zona del Oriente de Caldas.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores del Oriente de Caldas, al Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, por apoyar y cofinanciar este proyecto. Al doctor Hernando Duque Orrego, Gerente Técnico de la FNC. Al Servicio de Extensión de Caldas, especialmente a los Coordinadores de Extensión, Extensionistas y Auxiliares de los municipios de Manzanares, Marquetalia, Marulanda, Pensilvania, Samaná y Victoria.

LITERATURA CITADA

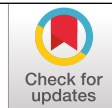
- Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. (2016). *Informe de gestión 2016*. <http://www.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/Informes/2016.pdf>
- Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. (2017). *90 años construyendo bienestar y calidad de vida para las familias cafeteras de Caldas*. <https://www.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/ElCaficultor/Periodico/2017-08-11-90anos-comite-caldas.pdf>
- dePaula, J., & Farah, A. (2019). Caffeine Consumption through Coffee: Content in the Beverage, Metabolism, Health Benefits and Risks. *Beverages*, 5(2), 37. <https://doi.org/10.3390/beverages5020037>
- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. En Y.-F. Chu (Ed.), *Coffee* (pp. 21–58). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2002). *Resolución Número 5 de 2002. Por medio de la cual se modifica la Resolución No. 02 de 2002 del Comité Nacional de Cafeteros*. <https://federaciondecafeteros.org/static/files/RESOL5-2002.pdf>
- Gallego, C. P., & Rodríguez-Valencia, N. (2021). Identificación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con el defecto reposo en el café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72105. <https://doi.org/10.38141/10778/72105>
- 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>
- Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C. P., & Echeverri-Giraldo, L. F. (2021). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste

- en la composición química del café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72103. <https://doi.org/10.38141/10778/72103>
- Osorio, V., & Silva, J. C. (2018). La Huella del Café. En Servicio Geológico Colombiano & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *De la Geología al Café* (pp. 145–173). Imprenta Nacional de Colombia. https://doi.org/10.38141/10791/0011_4
- 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
- Perrone, D., Donangelo, C. M., & Farah, A. (2008). Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography–mass spectrometry. *Food Chemistry*, 110(4), 1030–1035. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.012>
- Puerta, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Revista Cenicafé*, 50(1), 78–88. <http://hdl.handle.net/10778/58>
- Puerta, G. I. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 284, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/562>
- Puerta, G. I. (2009). Los catadores de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 381, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/367>
- Puerta, G. I. (2013a). 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.
- Puerta, G. I. (2013b). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 352, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/418>
- Puerta, G. I. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento reposado fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafé*, 461, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/675>
- Puerta, G. I. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. *Revista Cenicafé*, 67(1), 7–40. <http://hdl.handle.net/10778/676>
- Puerta, G. I., & Pabón, J. (2018). Calidad física y sensorial del café cultivado en el paisaje cultural cafetero de Colombia en Caldas. *Revista Cenicafé*, 69(1), 16–31. <http://hdl.handle.net/10778/1089>
- Selmar, D., Kleinwächter, M., & Bytof, G. (2014). Metabolic responses of coffee beans during processing and their impact on coffee flavor. In R. F. Schwan & G. H. Fleet (Eds.), *Cocoa and coffee fermentations* (pp. 73–81). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17536-17>
- Specialty Coffee Association SCA. (2003). *Cupping Protocols*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practice>

CRÍA EN EL LABORATORIO DE *Puto barberi* COCKERELL, 1895 (HEMIPTERA: PUTOIDAE) SOBRE TUBÉRCULOS DE *Solanum phureja*

Marisol Giraldo-Jaramillo  *

Giraldo-Jaramillo, M. (2021). Cría en el laboratorio de *Puto barberi* Cockerell, 1895 (Hemiptera: Putoidae) sobre tubérculos de *Solanum phureja*. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72203. <https://doi.org/10.38141/10778/72203>



Las cochinillas son consideradas plagas de importancia en diferentes cultivos alrededor del mundo. En Colombia, hay varias especies asociadas a las raíces del cultivo del café, que pueden ser limitantes en plantaciones menores de 24 meses, siendo necesario desarrollar investigaciones para generar estrategias de manejo. Se requiere desarrollar métodos de cría en el laboratorio que permitan suministrar una cantidad suficiente de insectos para los estudios. El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de tubérculos germinados de papa criolla como hospedante para *P. barberi*, determinando el ciclo de vida y la tabla de vida de fertilidad en el laboratorio ($21,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$, $65\% \pm 10\%$ HR y 0:24 (L:D)). Se instalaron 50 ninfas sobre 50 tubérculos germinados de papa criolla (unidades experimentales), para determinar la duración y sobrevivencia de cada estado biológico, contabilizar número de ninfas/hembra y estimar los parámetros de tabla de vida de fertilidad. Se realizó un análisis descriptivo de la duración de cada estado, se construyó la curva de sobrevivencia y se estimaron los parámetros de la tabla de vida de fertilidad. La duración del ciclo de vida fue de $82,9 \pm 0,6$ días y sobrevivencia del 74%. La duración de la fase adulta fue de $53,1 \pm 0,4$ días y la duración promedio de ninfas/hembra fue de $63,6 \pm 6$ días; con una tasa reproductiva neta de $R_0 = 47,5$ ($32,1 - 62,9$) y tiempo generacional $T = 81,9$ ($77,9 - 85,6$) días. Se concluye que el uso de tubérculos de papa criolla como hospedantes es una buena alternativa para el establecimiento de una colonia de *P. barberi* en el laboratorio, con fines experimentales.

Palabras clave: Tubérculos de papa germinados, cochinillas, plaga de la raíz, tabla vida, café.

LABORATORY REARING OF *Puto barberi* COCKERELL, 1895 (HEMIPTERA: PUTOIDAE) ON *Solanum phureja* TUBERS

Mealybugs are considered major pests in different crops around the world. In Colombia, there are several species associated with the roots of coffee plants, which can be limiting in plantations less than 24 months old and makes research necessary to design management strategies. Laboratory rearing methods that allow supplying enough insects for studies is required. The objective of this work was to evaluate the use of sprouted creole potato tubers as a host for *P. barberi* by determining their life cycle and their fertility life table under laboratory conditions ($21.0 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$, $65\% \pm 10\%$ RH and 0:24 (L: D)). Fifty nymphs were installed on 50 germinated tubers (experimental units) to determine the duration and survival of each biological stage, count the number of nymphs / female and estimate the fertility life table parameters. A descriptive analysis of the duration of each stage was performed, the survival curve was constructed and the parameters of the fertility life table were estimated. The life cycle duration was 82.9 ± 0.6 days and the survival rate was 74%. The duration of the adult phase was 53.1 ± 0.4 days and the average duration of nymphs / female was 63.6 ± 6 days; with a net reproductive rate of $R_0 = 47.5$ ($32.1 - 62.9$) and generation time $T = 81.9$ ($77.9 - 85.6$) days. The use of potato tubers as hosts is a good alternative for the establishment of a colony of *P. barberi* under laboratory conditions for experimental purposes.

Keywords: Sprouted potato tubers, mealybugs, root blight, life table, coffee.

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

Las cochinillas son insectos pertenecientes al orden Hemiptera, suborden Sternorrhyncha (Triplehorn & Johnson, 2005); siendo consideradas plagas de importancia económica en diferentes cultivos alrededor del mundo (Mani & Shivaraju, 2016), por los daños que ocasionan directamente a la planta al succionar la savia de hojas, raíces y tallos, lo que ocasiona debilitamiento, retrasos en el desarrollo, pérdida de follaje y algunas veces muerte del hospedante (Herrbach et al., 2016).

Las cochinillas presentan reproducción sexual o partenogénica (Ross et al., 2010); además, exhiben una variedad de tipos reproductivos incluyendo ovíparos, vivíparos y ovovivíparos (Gavrilov & Trapeznikova, 2007; Suroshe et al., 2016; Mansour et al., 2017), algunas especies producen una estructura denominada ovisaco, donde las ninfas recién nacidas están contenidas.

En Colombia, las cochinillas asociadas a raíces en cultivos de café son consideradas la segunda plaga más importante después de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) (Gil et al., 2016). A la fecha, se han encontrado 65 especies en diferentes regiones del país (Caballero et al., 2019). Las cochinillas son una seria amenaza para los cultivos jóvenes de café (0-24 meses), ya que altas infestaciones pueden ocasionar la muerte de estas plantas (Villegas-García et al., 2009; Villegas-García & Benavides 2011; Gil et al., 2015).

Las especies de cochinillas de mayor importancia económica en cultivos de café en Colombia son *Puto barberi* Cockerell, 1895 (Hemiptera: Putoidae), varias especies del género *Dysmicoccus* (Hemiptera: Pseudococcidae), *Neochavesia caldasiae* Balachowsky, 1957 (Hemiptera: Rhizocidae), *Pseudococcus elisae* Borchsenius, 1948 (Hemiptera: Pseudococcidae) y *Pseudococcus*

jackbeardsleyi Gimpel & Miller, 1996 (Villegas-García et al., 2009; Villegas-García & Benavides, 2011; Gil et al., 2015; Caballero et al., 2019). Las cochinillas de las especies *P. barberi*, *Dysmicoccus brevipes* Cockerell, 1893 y *Dysmicoccus texensis* Tinsley, 1900 (Hemiptera: Pseudococcidae) son las especies más abundantes en las regiones cafeteras colombianas (Caballero et al., 2019). Varias de estas especies de cochinillas también se han encontrado en asociación con arvenses dentro del sistema productivo del café (Acevedo et al., 2020), por ejemplo, Mora et al. (2018) encontraron *P. barberi* asociado con 17 especies de arvenses y *Dysmicoccus* sp. asociado con siete especies de arvenses que crecen cerca de plantas de café.

La especie *P. barberi* es una especie polífaga, de origen Neotropical (Ben-Dov, 1994), para Colombia ha sido reportada en cultivos de café (Caballero et al., 2019) y otros cultivos (Villegas et al., 2013), de acuerdo con Gil et al. (2021), es la especie más abundante y prevalente en los cafetales jóvenes (menos de 24 meses) en Colombia; además, Villegas et al. (2013), adelantaron una investigación sobre la biología y reproducción de este insecto en condiciones de laboratorio, determinando que esta especie es ovovivípara con partenogénesis telitoca y la presencia de ovisaco al momento de colocar las ninfas recién nacidas.

Debido a la importancia económica de las cochinillas, actualmente se recomienda el uso de productos químicos en almacigos y plantaciones jóvenes para controlar las poblaciones (Gil et al., 2015); además, se realiza búsqueda activa de nuevas opciones de control con el uso de controladores biológicos como hongos entomopatógenos e identificación de enemigos naturales, que podrían usarse en estrategias integradas de manejo de la plaga (Gil et al., 2016; Góngora & Gil, 2020).

Para comprobar la eficacia de las diferentes opciones de control que se recomiendan en el manejo de estos insectos, es necesario realizar experimentación a nivel de laboratorio y campo, la cual depende de un suministro constante de individuos de cochinillas en buenas condiciones de sanidad. Es por esta razón que se hace necesario el establecimiento de una colonia en el laboratorio; sin embargo, para establecer una colonia en condiciones controladas se requiere realizar la búsqueda de hospedantes alternativos, ya que el uso de raíces del café dificulta las condiciones de control de los experimentos, como ha sido relatado con otros insectos de hábitos subterráneos de la familia Margarodidae (Texeira et al., 2002). Los hospedantes alternativos se caracterizan por ser capaces de suplir las necesidades nutricionales de los insectos, generando individuos de calidad y con bajo costo de producción (Parra, 1997).

Diversos autores han empleado para la cría de estos insectos plantas vivas o partes de plantas (Rose & Stauffer, 1997); los tubérculos de papa *Solanum tuberosum* Linneo, 1753 (Solanales: Solanaceae) han sido usados para criar en condiciones de laboratorio algunas especies de escamas pertenecientes a la familia Coccidae y la cochinilla de los cítricos *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) (Fischer, 1963).

Para determinar el potencial del uso de hospedantes alternativos para cría de un organismo, es necesario conocer si el desarrollo del insecto es favorable y es allí donde el uso de tablas de vida de fertilidad se perfila como un método apropiado para estudiar la dinámica poblacional del artrópodo a criar, ya que estima los potenciales de crecimiento de la población en una condición específica (Giraldo-Jaramillo et al., 2019).

El objetivo del presente estudio fue determinar la biología y la tabla de vida de fertilidad de *P. barberi* utilizando papa criolla

como hospedante alternativo, y confirmar su viabilidad en el establecimiento de una colonia de laboratorio con fines experimentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en cámara climatizada tipo BOD, adaptadas en el laboratorio de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, en Manizales (Caldas). Las condiciones ambientales fueron: temperatura $21\pm 1^{\circ}\text{C}$, HR $65\%\pm 5\%$ y 0 h luz: 24 h oscuridad.

Colonia de *Puto barberi*. Individuos de diferentes estadios de vida de *P. barberi* (F_0) procedentes de raíces de café, recolectados en la Estación Experimental La Catalina de Cenicafe ($4^{\circ}44'51.5''\text{N}$; $75^{\circ}44'15.0''\text{O}$) Pereira (Risaralda), se llevaron al laboratorio para obtener una nueva generación (F_1). Los insectos se acondicionaron sobre tubérculos germinados de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov, 1929) empleando cajas plásticas. Los tubérculos tenían de 2,0 a 4,0 cm de diámetro y longitud de brotes de 0,5-1,0 cm. Esa nueva generación de insectos F_1 fue depositada nuevamente sobre tubérculos de papa criolla para obtener una siguiente generación (F_2), las ninfas neonatas obtenidas fueron utilizadas para este estudio. La identificación de *P. barberi* se realizó de acuerdo con morfología externa (Williams & Granara de Willink, 1992).

Biología y tabla de vida de fertilidad de *P. barberi* sobre tubérculos de *Solanum phureja*. Las ninfas neonatas (instar I) de *P. barberi* procedentes de la colonia se individualizaron con un pincel #0 y se depositaron 50 ninfas, una a una sobre 50 tubérculos germinados de *S. phureja*; cada tubérculo con un insecto, se introdujo en un vaso de plástico de 8,0 onzas (Marca Darnel®, copa veneciana Ref. 570051, diámetro 10,1 cm y 4,6 cm de altura), que contenía un círculo de papel servilleta en la

base. Los vasos se cubrieron con organza para permitir aireación. Cada ninfa y su tubérculo correspondió a una unidad experimental; para un total de 50 unidades experimentales, que se desarrollaron hasta el estado adulto (Figura 1a).

Mediante observación diaria, se verificaron muda (presencia de exuvia) (Figura 1b), sobrevivencia de ninfas y adultos. En la fase adulta se contabilizó el número de ninfas nacidas por hembra. El experimento concluyó cuando todas las hembras de las unidades experimentales murieron. Con esta información se calcularon los parámetros biológicos: duración de los estados ninfales, sobrevivencia de ninfa-adulto, longevidad de las hembras (la muerte del adulto hembra se tomó cuando no existía respuesta al toque con un pincel #0) y número de ninfas por hembra. Los tubérculos se reemplazaron cada vez que estaban deteriorados y los individuos se acondicionaron en una nueva papa utilizando un pincel (#0).

Con base en los datos de supervivencia (lx) y el número de días (x) fue elaborada la curva de sobrevivencia (Rabinovich, 1980). Para calcular la tabla de vida de fertilidad, de acuerdo con la metodología propuesta por Maia et al. (2000), se determinó el promedio de ninfas nacidas por hembra (mx) en cada día (x), considerándose el total de hembras, el índice de supervivencia acumulado de las hembras (lx) durante el período de deposición y el número de descendientes que continúan a la siguiente generación ($lx.mx$). Estos valores constituyen las columnas de la tabla de vida y, con esa información, se estimaron los siguientes parámetros: tasa neta de reproducción (R_0), intervalo entre generaciones (T), tasa intrínseca de crecimiento (rm) y tasa finita de aumento (λ) (Maia et al., 2000).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis descriptivo para cada variable evaluada: medidas de tendencia central y medidas de variación (error estándar), mediante el



Figura 1. a. Recipiente usado para la cría de *P. barberi*, detalle de tubérculo germinado de papa criolla con individuo; b. Especimen de *P. barberi* en proceso de muda, detalle de la exuvia. (flecha). Fotografías M. Giraldo, 2020 y J.C. Ortiz, 2020.

programa estadístico R 3.4.4 (2018). Con los valores obtenidos del índice de supervivencia acumulado de las hembras (Ix) y la duración del ciclo de vida, se construyó la curva de sobrevivencia de *P. barberi* con ayuda del programa Microsoft Excel 2016©. Para la tabla de vida de fertilidad se calculó la varianza asociada a cada parámetro, usando la técnica de Bootstrap, de acuerdo con Meyer *et al* (1986), usando el software estadístico R versión 3.4.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biología de *Puto barberi*

La duración de la fase inmadura de *P. barberi* sobre tubérculos de *S. phureja*, que incluye el tiempo de desarrollo de las ninfas de instares I y II fue de $29,8 \pm 0,2$ días, con una sobrevivencia de 82%. Villegas et al. (2013), reportan una duración de la fase inmadura de $42,2 \pm 0,46$ días, sobre trozos de raíces de la planta *Talinum paniculatum* (Jacquin) Gaertner (Caryophyllales: Talinaceae), conocida comúnmente como cuero sapo, bajo condiciones controladas de laboratorio de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa de $70 \pm 10\%$ y fotoperíodo 12:12.

La longevidad de la hembra adulta de *P. barberi* en este estudio fue de $53,1 \pm 0,4$ días, donde $20,0 \pm 0,2$ días son previos para iniciar la puesta de las ninfas, denominado pre-deposición. El período de deposición de ninfas duró en promedio $30,1 \pm 0,1$ días y siendo depositadas en promedio $63,3 \pm 6$ ninfas por hembra; la hembra sobrevivió en promedio $3,0 \pm 0,2$ días después de finalizado el nacimiento de las ninfas, denominado pos-deposición (Tabla 1). Villegas et al. (2013), reportan valores de duración de esta fase adulta de $98,9 \pm 1,6$ días y una media de ninfas por hembra de $83,6 \pm 8,40$.

La diferencia entre los resultados obtenidos en este estudio y los publicados por Villegas

et al. (2013) puede deberse a que los sustratos alimenticios usados en los dos experimentos son diferentes; Villegas et al. (2013) usaron fragmentos de raíces de *T. paniculatum*, mientras que en este trabajo las papas criollas estaban completas, lo cual podría ser una ventaja ya que el material vegetal puede conservarse mayor tiempo, al usarse los tubérculos. Además, las condiciones de temperatura fueron diferentes en los dos trabajos, y la temperatura es el principal factor abiótico que afecta el desarrollo y reproducción de los insectos (Parra, 1997).

La duración del ciclo total sobre tubérculos de *S. phureja* fue de $82,9 \pm 0,6$ días, lo cual difiere con lo relatado por Villegas et al. (2013), quienes obtuvieron una duración de $141 \pm 0,99$ días. La sobrevivencia total de ninfa hasta adulto fue del 74% (Tabla 1).

Las diferencias en la duración del ciclo de vida en estos hospedantes pueden estar directamente relacionada con la calidad nutricional de los mismos, que a su vez se refleja en el número de ninfas (F_1) obtenidas. De igual manera, no se conoce información sobre los aspectos biológicos y reproductivos de esta especie en el campo.

La curva de sobrevivencia obtenida para esta cochinilla fue de tipo I, de acuerdo con Rabinovich (1980), que corresponde a aquella en la cual la población tiene una probabilidad constante de sobrevivir durante todas las etapas de desarrollo, y solo al final de la fase adulta se registran las mayores mortalidades; en otras palabras, este tipo de curva de sobrevivencia refleja una mortalidad concentrada en los individuos viejos (Figura 2).

Es importante recordar que, *P. barberi* es un insecto de hábito subterráneo y, por esta razón, variaciones en la temperatura y la humedad afectan su desarrollo. Dentro de los factores abióticos más influyentes, la

Tabla 1. Parámetros biológicos de *P. barberi* alimentados con *S. phureja* bajo condiciones de laboratorio (temperatura 21±1°C, HR 65%±5% y fotoperíodo 0:24 [D: N] n = 50; X ± EE).

Parámetro biológico	Duración (días)	Sobreviviencia (%)
Instar I	16,4 ± 0,9	88
Instar II	13,4 ± 0,8	93
Fase ninfal (I-II)	29,8±0,2	82
Hembra pre-producción de ovisaco	20,0±0,2	95
Hembra producción de ovisaco	30,1±0,1	95
Hembra post-producción de ovisaco	3,0±0,2	
Ciclo total (Ninfa-adulto)	82,9±0,6	74
Razón sexual (♂:♀)	0:1*	

*Durante este experimento no se registraron machos.

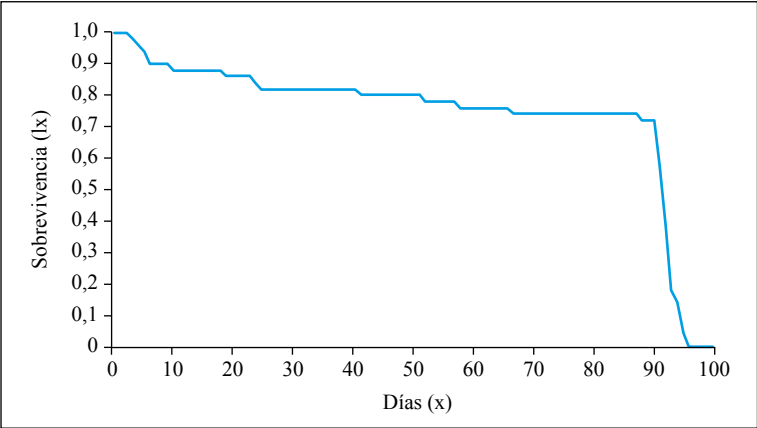


Figura 2. Supervivencia de *Puto barberi* alimentado en papa criolla. Temperatura 21,0±1,0°C, HR 65%±5% y fotoperíodo 0:24 [D: N].

temperatura juega un papel crucial en las tasas de desarrollo, supervivencia y reproducción de insectos (Giraldo-Jaramillo et al., 2018). Por otro lado, las condiciones de humedad del suelo afectan la biología, comportamiento y la distribución horizontal o vertical (profundidad) dentro del suelo (Ávila y Parra, 2004), para *P. barberi* no existe información de cómo estos

factores afectan estos aspectos. En estudios de campo realizados en árboles de café variedad Castillo®, de seis años de edad, se encontró que el 75% de los individuos se encuentran en los primeros 20 cm del suelo y la abundancia de insectos a esta profundidad podría estar correlacionada con la abundancia de raíces en la planta (Acevedo et al., 2020).

Otro factor fueron las condiciones de regímenes de luminosidad. Los insectos se mantuvieron en condiciones de oscuridad total, las 24 horas del día, buscando simular las condiciones del suelo, ya que de acuerdo con Beck (1980) y Tauber et al., (1986) condiciones desfavorables de fotoperíodo pueden afectar el desarrollo, comportamiento y reproducción de los insectos.

Tabla de vida de fertilidad de *Puto barberi* sobre tubérculos de *Solanum phureja*

El tiempo generacional (T) de *P. barberi* en *S.phureja* fue de 81,98 días, pudiéndose obtener hasta 4,4 generaciones por año, en condiciones de laboratorio, tiempo durante el cual la población puede multiplicarse 47,5 veces (R_0), es decir, un individuo es reemplazado por 47,5 individuos en cada generación (Tabla 2).

La población de *P. barberi* mostró que la tasa intrínseca de crecimiento (r_m) fue mayor que cero (0,05) (Tabla 2), indicando que la población crece a cada generación (Gotelli 2001) sobre el hospedante alternativo de *S. phureja*; adicionalmente, dicho incremento mostró darse a una tasa del 50%, valor dado por la tasa finita de aumento (λ) (Tabla 2).

Se desconocen valores de parámetros poblacionales de *P. barberi* sobre otros hospedantes como café u otras especies vegetales reportadas por Acevedo et al. (2020) y Mora et al. (2018).

Puede concluirse que el uso de diferentes especies del género *Solanum* es reportado en la literatura con resultados favorables para la cría de diferentes especies de cochinillas y escamas, que son utilizadas para producción

Tabla 2. Valores medios de los parámetros (95% ICI) de la tabla de vida de fertilidad de *Puto barberi* alimentado sobre *S. phureja*. Temperatura 21,0±1,0°C, HR 65%±5% y fotoperíodo 0:24 [D: N].

Parámetro	Valor
T	81,9 (77,9–85,6)
R_0	47,5 (32,1–62,9)
r_m	0,05 (0,04– 0,06)
λ	1,05 (1,04-1,06)

IC: Intervalo de confianza, T = Tiempo generacional, R_0 = Tasa reproductiva neta, r_m = Tasa intrínseca de crecimiento, λ = Tasa finita de aumento (n = 35 hembras).

masiva de parasitoides o depredadores. En este estudio el uso del hospedante alternativo de tubérculos de *S. phureja* es una buena opción para el establecimiento de una colonia de *P. barberi* en el laboratorio, ya que presenta una alta sobrevivencia del insecto.

Los parámetros de fertilidad evaluados mostraron que la población de insectos establecida en cada generación se incrementa, permitiendo tener disponibilidad de individuos permanentemente, para los diferentes bioensayos. Además, el sustrato de papa criolla es de fácil consecución en los mercados colombianos, siendo un producto fácilmente manipulable. Sería recomendable comparar los valores obtenidos en esta investigación

con los de otros hospedantes, en especial raíces de café.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). La autora agradece a los colaboradores de la Disciplina de Entomología, Diana Soraya Rodríguez, Mauricio Jiménez y Carlos Alberto Quintero por el apoyo en el desarrollo de este trabajo. Al señor Antonio Montoya por la manutención de la cría de cochinillas. Esta investigación se realizó bajo el código de Cenicafé ENT101013.

LITERATURA CITADA

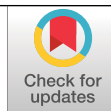
- Acevedo, F. E., Jiménez, M., Pimentel, J. P., & Benavides, P. (2020). Spatial Distribution of Mealybugs (Hemiptera: Coccoomorpha: Coccoidea) in the Root System of Pruned and Non-pruned *Coffea arabica* Trees. *Journal of Economic Entomology*, 113(1), 172–184. <https://doi.org/10.1093/jee/toz242>
- Ávila, C.J., & Parra, J.R.P. (2004). Influência de fatores edáficos sobre pragas de solo. En J. R. Salvadori, C. J. Avila, & M. T. B. Silva (Eds.), *Pragas do solo no Brasil* (pp. 66–97). Embrapa.
- Beck, S. D. (1980). *Insect Photoperiodism* (2a ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-084380-0.50004-1>
- Ben-Dov, Y. (1994). *A systematic catalogue of the mealybugs of the world (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidae) with data on geographical distribution, host plants, biology and economic importance*. Intercept.
- Caballero, A., Ramos-Portilla, A. A., Suárez-González, D., Serna, F., Gil, Z. N., & Benavides, P. (2019). Los insectos escama (Hemiptera: Coccoomorpha) de raíces de café (*Coffea arabica* L.) en Colombia, con registros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en asociación. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 69–92. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1250
- Fischer, T. W. (1963). Mass Culture of *Cryptolaemus* and *Leptomastix*: Natural Enemies of Citrus Mealybug. *Agriculture Experiment Station Bulletin*, 797, 1–39.
- Gavrilov, I. A., & Trapeznikova, I. V. (2007). Karyotypes and reproductive biology of some mealybugs (Insecta: Coccinea: Pseudococcidae). *Comparative Cytogenetics*, 1(2), 139–148. <https://www.zin.ru/journals/compcyt/pdf/1/gavrilovtrapeznikova.pdf>
- Giraldo-Jaramillo, M., García-González, J., & Rugno, J. B. (2019). Fertility Life Table of *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) at Seven Temperatures in Coffee. *American Journal of Entomology*, 3(4), 70–76. <https://doi.org/10.11648/j.aje.20190304.12>
- Gil-Palacio, Z., Benavides Machado, P., & Constantino, L. M. (2016). Hemiptera: Coccoidea de las raíces del café y sus parasitoides en el Valle del Cauca. *Revista Cenicafé*, 67(1), 73–80. <http://hdl.handle.net/10778/680>
- Gil-Palacio, Z., Benavides Machado, P., & Villegas-García, C. (2015). Manejo integrado de las cochinillas de las raíces del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 459, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/637>
- Gil-Palacio, Z., Caballero, A., Ramos, A. A., Arcila, A., & Benavides Machado, P. (2021). Diagnóstico de las cochinillas de las raíces del café en ocho departamentos

- cafeteros de Colombia. *Avances técnicos Cenicafé*, 524, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0524>
- Giraldo-Jaramillo, M., García, A., & Parra, J.R. (2018). Biology, thermal requirements, and estimation of the number of generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the state of São Paulo, Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 111(5), 2192–2200. <https://doi.org/10.1093/jee/toy162>
- Góngora, C. E., & Gil-Palacio, Z. (2020). Control biológico de cochinillas de las raíces del café con hongos entomopatógenos. *Revista Cenicafé*, 71(2), 53–65. <https://doi.org/10.38141/10778/71204>
- Gotelli, N. J. (2001). *A primer of ecology* (3rd ed). Sinauer Associates.
- Herrbach, E., Maguet, J. L., & Hommay, G. (2016). Virus transmission by mealybugs and soft scales (Hemiptera: Coccoidea). En J. K. Brown (Ed.), *Vector-mediated transmission of plant pathogens* (pp. 147–161). APS Press. <https://doi.org/10.1094/9780890545355.011>
- Maia, A. de H. N., Luiz, A. J. B., & Campanhola, C. (2000). Statistical Inference on Associated Fertility Life Table Parameters Using Jackknife Technique: Computational Aspects. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 511–518. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.511>
- Mani, M., & Shivaraju, C. (2016). Damage. En M. Mani & C. Shivaraju (Eds.), *Mealybugs and their Management in Agricultural and Horticultural crops* (pp. 117–122). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2677-2>
- Mansour, R., Grissa-Lebdi, K., Suma, P., Mazzeo, G., & Russo, A. (2017). Key scale insects (Hemiptera: Coccoidea) of high economic importance in a Mediterranean area: host plants, bio-ecological characteristics, natural enemies and pest management strategies – a review. *Plant Protection Science*, 53(1), 1–14. <https://doi.org/10.17221/53/2016-PPS>
- Meyer, J. S., Ingersoll, C. G., McDonald, L. L., & Boyce, M. S. (1986). Estimating Uncertainty in Population Growth Rates: Jackknife vs. Bootstrap Techniques. *Ecology*, 67(5), 1156–1166. <https://doi.org/10.2307/1938671>
- Mora, O. H., Ramos, A. A., & Bacca, T. (2018). Chinchas harinosas en raíces de café y su flora arvense asociada en el departamento de Nariño. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural*, 22(2), 15–23. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.2.1>
- Parra, J. R. P. (1997). Técnicas de criação de *Anagasta kuehniella*, hospedeiro alternativo para a produção de *Trichogramma*. En J. R. P. Parra & R. A. Zucchi (Eds.), *Trichogramma e controle biológico aplicado* (pp. 121–150). FEALQ.
- R Software Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (3.6.1.) [Computer software]. <https://www.r-project.org>
- Rabinovich, J. E. (1980). *Introducción a la ecología de poblaciones animales*. Compañía Editorial Continental S.A.
- Rose, M., & Stauffer, S. (1997). Laboratory and Mass Rearing. En Y. Ben-Dov & C. J. Hodgson (Eds.), *Soft Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control*. (Vol. 7, pp. 397–416). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/soft-scale-insects/ben-dov/978-0-444-89303-1>
- Ross, L., Pen, I., & Shuker, D. M. (2010). Genomic conflict in scale insects: The causes and consequences of bizarre genetic systems. *Biological Reviews*, 807–828. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00127.x>
- Suroshe, S. S., Gautam, R. D., & Fand, B. B. (2016). Biology of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* tinsley on *Parthenium*. *Indian Journal of Entomology*, 78(3), 264–267. <https://doi.org/10.5958/0974-8172.2016.00070.5>
- Tauber, M. J., Tauber, C. A., & Masaki, S. (1986). *Seasonal adaptations of insects*. Oxford University Press.
- Teixeira, I., Botton, M., & Loeck, A. E. (2002). Avaliação de Inseticidas Visando ao Controle de *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Hemiptera: Margarodidae) em Novos Plantios de Videira. *Neotropical Entomology*, 31(3), 457–461. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000300017>
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (7th ed). Thomson, Brooks/Cole.
- Villegas-García, C., Zabala Echavarría, G., Ramos, A. A., & Benavides Machado, P. (2009). Identificación y hábitos de cochinillas harinosas asociadas a raíces del café en Quindío. *Revista Cenicafé*, 60(4), 362–373. <http://hdl.handle.net/10778/153>
- Villegas-García, C., & Benavides Machado, P. (2011). Identificación de cochinillas harinosas en las raíces de café en departamentos cafeteros de Colombia. *Revista Cenicafé*, 62(1), 48–55. <http://hdl.handle.net/10778/512>
- Villegas-García, C., Peña, H. D., Muñoz, R. I., Martínez, H. E., & Benavides Machado, P. (2013). Aspectos del ciclo de vida de *Puto barberi* Cockerell (Hemiptera: Putoidae). *Revista Cenicafé*, 64(1): 31–41. <http://hdl.handle.net/10778/524>
- Williams, D. J., & Granara de Willink, M. C. (1992). *Mealybugs of Central and South America*. CAB International.

CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS PARA LA PREDICCIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DE CAFÉ VERDE ALMENDRA

Claudia Rocío Gómez Parra *, Aristóteles Ortiz **, Claudia Patricia Gallego Agudelo *,
Luz Fanny Echeverri Giraldo *

Gómez, C. R., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Echeverri, L. F. (2021). Validación de curvas de calibración por NIRS para la predicción de compuestos químicos de café almendra. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72204. <https://doi.org/10.38141/10778/72204>



La técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS se ha consolidado como una técnica analítica secundaria confiable, objetiva, reproducible, verificable, económica y de bajo impacto ambiental. Esta investigación tuvo como objetivo realizar la validación de la ecuación desarrollada a partir de la técnica NIRS para café verde almendra, que predice actualmente 13 compuestos químicos (cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, ácidos grasos -palmitico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico y araquídico-, isómeros -3-CQA, 4-CQA y 5-CQA- y sacarosa). La validación se realizó con 70 muestras de café verde arábigo (*Coffea arabica* L.), variedades Castillo®, Cenicafé 1 y Tabi, producidas en los departamentos de Cauca, Cesar y Caldas, analizadas para la determinación de los compuestos químicos por métodos analíticos internacionales de la AOAC y estandarizados en Cenicafé; simultáneamente las muestras fueron analizadas en el equipo NIRS. A partir de los análisis estadísticos descriptivos, análisis de concordancia de Blan Altman y de correlación de Pearson entre el sesgo y magnitud, pudo establecerse la concordancia entre los métodos analíticos internacionales y el NIRS. El error relativo obtenido por la técnica NIRS para los compuestos cafeína, sacarosa, ácidos clorogénicos totales, isómeros de ácidos clorogénicos 4-CQA y 5-CQA, lípidos totales, ácidos grasos araquídico, esteárico y palmitico fue inferior al 6,0%. Los compuestos trigonelina y el ácido linoleico presentaron un error del 7,0% y el ácido oleico del 10,0%. Los resultados que soportan la investigación confirman que, con la calibración de la curva, la técnica NIRS puede constituirse como un método analítico secundario.

Palabras clave: Absorbancia, longitud de onda, café verde, concordancia, cafeína, lípidos totales, trigonelina, azúcares, ácidos grasos, ácidos clorogénicos.

NIRS CALIBRATION CURVES FOR THE PREDICTION OF CHEMICAL COMPOUNDS OF GREEN COFFEE

Near-infrared spectroscopy (NIRS) has been consolidated as a reliable, objective, reproducible, verifiable, inexpensive and low-environmental impact secondary analytical technique. This research aimed to carry out the validation of the equation developed from the NIRS technique for green coffee, which currently predicts 13 chemical compounds (caffeine, trigonelline, total chlorogenic acids, total lipids, fatty acids -palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic and arachidic-, isomers -3-CQA, 4-CQA and 5-CQA- and sucrose). The validation was carried out with 70 samples of Arabica green coffee (*Coffea arabica* L.), Castillo®, Cenicafé 1 and Tabi varieties, produced in the departments of Cauca, Cesar and Caldas, which were analyzed to determine chemical compounds by international methods of analysis of the AOAC and standardized in Cenicafé; the samples were simultaneously analyzed in the NIRS equipment. The concordance between international analytical methods and NIRS was established from descriptive statistical analyses, Blan Altman concordance analysis and Pearson's correlation between bias and magnitude. The relative error obtained by the NIRS technique for the compounds caffeine, sucrose, total chlorogenic acids, isomers of chlorogenic acids 4-CQA and 5-CQA, total lipids, arachidic, stearic and palmitic fatty acids was lower than 6.0%. The trigonelline compounds and linoleic acid showed an error of 7.0% and oleic acid 10.0%. The results confirm that with the calibration of the curve the NIRS technique can become a secondary analytical method.

Keywords: Absorbance, wavelength, green coffee, concordance, caffeine, total lipids, trigonelline, sugars, fatty acids, chlorogenic acids.

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

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



A nivel analítico, la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), como un método secundario, se ha posicionado en la industria alimentaria para la determinación de compuestos químicos, control de calidad y determinación de adulteraciones (Bolaños Alfaro, 2016), se ha utilizado como una ayuda rápida y económica a las técnicas analíticas tradicionales (método de referencia o patrón). La técnica NIRS se basa en el principio en el que al irradiar con un haz de luz infrarroja, de diferentes longitudes de onda en los materiales orgánicos, estos absorben una cantidad de energía, que según la composición del alimento o material a analizar, está relacionada con la naturaleza de los enlaces y las cargas electrostáticas existentes entre los átomos y moléculas; el valor puede expresarse en términos de reflectancia (log reflectancia estándar/reflectancia de la muestra), esta es transformada en un espectro característico del material, el cual refleja su composición química (Barbin et al., 2014; Vásquez et al., 2004). La representación de la luz absorbida es reflejada en el espectro que muestra los picos de absorbancia y las bandas de absorción a diferentes frecuencias, dependiendo de la composición química de la muestra analizada (Givens et al., 1997). Una molécula puede vibrar de forma única en la región del infrarrojo cercano de los espectros; en la región visible (400 – 800 nm) se presenta una intensidad de banda más débil, si se comparan con la región NIRS (800 – 2.500 nm) (Osborne et al., 1993; Weyer, 1985).

La espectroscopia se basa en la ley de Beer-Lambert de la óptica, que establece la proporcionalidad de la absorción de luz a cualquier longitud de onda con el número de moléculas absorbentes presentes en el camino recorrido por la radiación. De esta manera, la dispersión de la luz dependerá de las propiedades físicas y químicas de la muestra, entre ellas, el tamaño de la partícula, la humedad contenida en la muestra y la temperatura (Alomar &

Fuchslöcher, 1998; Cozzolino, 2002; Givens et al., 1997).

El fundamento de la técnica NIRS está dado en la quimiometría, la cual es definida como la aplicación de las matemáticas en la química analítica, es decir que, al combinar la espectroscopia y la estadística se generan modelos matemáticos que relacionan los grupos químicos activos con los cambios de energía en la región NIRS. La quimiometría es explicada también como el puente entre la química y la matemática, es una disciplina metrológica que aplica conocimientos matemáticos, especialmente estadísticos a procesos químicos, para extraer la mayor cantidad posible de información y extender el conocimiento del sistema químico (Jiménez, 2007; Vásquez et al., 2004; Mongay Fernández, 2011). La técnica NIRS ofrece muchas ventajas debido a su rapidez de análisis, permite determinaciones más frecuentes en todas las etapas de procesamiento de la muestra, desde la compra de materias primas y componentes, hasta el control de los productos acabados (Büning-Pfaue, 2003), y no emplea reactivos químicos, por lo tanto no genera residuos químicos durante el análisis. Requiere menos tratamiento en el proceso y menos transformación de la muestra, comparados con los métodos analíticos tradicionales, es una técnica que puede cuantificar varios compuestos simultáneamente. Una vez calibrado el espectrofotómetro, el uso del NIRS redundará en bajos costos de análisis para los usuarios que los requieran, por lo que es una metodología que tiene amplia acogida (Reeves & Van Kessel, 2000). El proceso de calibración en espectroscopia de infrarrojo cercano – NIRS es un procedimiento complejo, que requiere realizar un mantenimiento y calibración permanente a las bases de datos a mediano y largo plazo (Cao, 2013).

La etapa de validación consiste en verificar qué tanto concuerdan las medidas obtenidas

con ambos métodos, esto es, comparar para cada una de las variables de interés, el valor verdadero y el valor estimado. Específicamente en NIRS, el valor verdadero se refiere al valor de referencia (química analítica tradicional) y el valor estimado, corresponde al valor predicho por la ecuación de calibración NIRS (Massart et al., 1988; García Olmo, 2002).

La principal importancia de los compuestos químicos analizados en café verde, es que se les ha asociado con diferentes atributos de la calidad sensorial; a la sacarosa se le atribuye el dulzor de la bebida, la fracción lipídica contribuye al transporte de los aromas, sabores y al cuerpo de la bebida, la cafeína al amargo y los ácidos clorogénicos al sabor, cuerpo y astringencia (Echeverri-Giraldo et al., 2020; Holscher et al., 1990; Marín G. & Puerta Q., 2008; Sunarharum et al., 2014; Villarreal et al., 2014).

En Cenicafé se desarrollaron las primeras curvas de calibración con la técnica NIRS para 13 compuestos químicos en café verde molido. Las muestras evaluadas pertenecían a un ensayo de evaluación de progenies ubicadas en cinco localidades de la región cafetera colombiana y fueron tomadas en la época de cosecha principal del año 2006 (Villarreal et al., 2014). Los resultados de la composición química del café por técnicas analíticas primarias de esta investigación fueron la base para el desarrollo de las ecuaciones para la estimación de los compuestos cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos, lípidos totales y ácidos grasos como el palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico y araquídico (Villegas et al., 2014).

En este artículo se presentan los resultados de la validación de la curva de calibración realizada a partir de la caracterización química de tres variedades de café producidos en tres zonas cafeteras. Se evalúa si el error relativo

de la estimación obtenida con el modelo matemático es menor al 6% con respecto a los resultados por química analítica tradicional, para todos los componentes químicos evaluados. Se estableció el valor relativo, de acuerdo a las recomendaciones establecidas en la Guía de Buenas Prácticas de Laboratorio (Rovalo & Rojas, 1982).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 70 muestras de café verde de las variedades Castillo®, Cenicafé 1 y Tabi, producidas en los departamentos de Cauca, Cesar y Caldas, evaluadas en cosecha principal y mitaca, en los años 2017 al 2019.

Las muestras fueron procesadas y analizadas, de acuerdo con los protocolos de referencia indicados en la Tabla 1 y estandarizadas por la Disciplina de Calidad de Cenicafé. Las principales actividades fueron: la recolección de frutos maduros y beneficio por vía húmeda (despulpado, fermentación espontánea y secado mecánico). A la muestra de café pergamino seco (cps) se le determinó el contenido de humedad, luego fue trillado y se realizó el análisis físico separando la almendra sana y la defectuosa. La muestra se dividió en dos partes: 1. Para análisis de química analítica tradicional y 2. Para análisis NIRS.

Para el análisis NIRS, las muestras de café verde fueron preparadas para molienda criogénica. Las muestras se almacenaron a -80°C en el congelador por 2 horas. Posteriormente se colocaron en el tanque de nitrógeno líquido por 20 minutos, se molieron criogénicamente con el molino (Retsch Centrifugal Grinding Mill Zm 200), se empacaron en frascos plásticos y se dejaron por un período de dos horas en el laboratorio NIRS, para que las muestras alcanzaran la temperatura ambiente antes de ser analizadas.

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). Las muestras de café se colocaron en tres celdas redondas, 5,0 g de muestra por celda, se leyeron por triplicado, en un rango de longitud de onda de 400 – 2.500 nm, para un total de 210 lecturas. Posteriormente, con el software WinISI (versión 4 Foss Infrasoftware International, USA) incorporado en el equipo, se analizaron los datos obtenidos de cada muestra con la ecuación de predicción desarrollada en el año 2012 y los resultados se utilizaron para el posterior análisis estadístico.

Análisis de química analítica tradicional.

Los datos de los análisis químicos empleados para la validación de la ecuación, se obtuvieron de acuerdo a los métodos descritos en Tabla 1 y realizados en el laboratorio de Instrumental de Cenicafé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis descriptivo para cada compuesto y método de química analítica tradicional y NIRS; se observa la similitud de los valores promedios y los valores mínimos y máximos obtenidos para cada compuesto con ambos métodos, exceptuando el ácido linoleico, para el cual el valor mínimo observado con el método NIRS fue de 27,08% y el valor con el método de química analítica fue de 35,27%. Al analizar cuáles de los compuestos presentan mayor variabilidad, el compuesto isómero 4-CQA presentó valores de coeficiente de variación más altos respecto a los demás compuestos, los compuestos ácidos grasos palmítico y esteárico, isómero 5-CQA y lípidos totales presentaron menores valores en el coeficiente de variación.

Con el fin de determinar si el método NIRS puede emplearse como una técnica indirecta

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

Compuestos químicos	Metodología	Técnica /Equipo
Cafeína y trigonelina	ISO 20481:2008	Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de arreglo de diodos (PDA)
Sacarosa	Waters Application Notes: Analysis of sugars LAH-0210	Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de índice de refracción
Lípidos totales	Método AOAC 963.15	Gravimétrico Soxhlet
Ácidos grasos	AOAC 969.33	Cromatografía de gases (GC) acoplada a un detector selectivo de masas (MSD)
Ácidos clorogénicos totales	AOAC 2003.05	Espectrofotometría (UV/VIS)
Isómeros de ácidos clorogénicos 3-CQA, 4-CQA, 5-CQA,	AOAC 14.025, (Marín G. & Puerta Q., 2008)	Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de arreglo de diodos (PDA)

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las variables químicas por compuesto químico y método evaluado (química analítica - QCAA y NIRS).

Compuesto químico	Método	Promedio (%) b.s.*	Mínimo (%) b.s	Máximo (%) b.s	Desviación estándar	Coefficiente de variación CV (%)
Cafeína	QCAA	1,32	1,07	1,61	0,14	10,98
	NIRS	1,26	1,09	1,50	0,09	7,45
Trigonelina	QCAA	0,89	0,66	1,12	0,11	12,82
	NIRS	0,96	0,74	1,19	0,09	9,46
Lípidos totales	QCAA	12,11	8,56	15,64	1,58	13,08
	NIRS	12,84	10,86	15,27	0,87	6,78
Ácido palmítico	QCAA	39,92	35,69	45,78	2,17	5,43
	NIRS	39,84	30,10	39,58	2,16	5,43
Ácido linoleico	QCAA	35,97	27,08	41,79	2,78	7,74
	NIRS	38,62	35,27	43,36	2,07	5,35
Ácido oleico	QCAA	11,25	9,35	13,01	0,94	8,32
	NIRS	10,01	8,75	11,78	0,71	7,12
Ácido esteárico	QCAA	8,51	6,61	10,66	0,96	11,32
	NIRS	8,46	6,04	10,15	0,90	10,60
Ácido araquídico	QCAA	4,37	3,38	5,75	0,57	13,01
	NIRS	4,34	3,46	4,87	0,37	8,46
Ácidos clorogénicos totales	QCAA	5,01	4,32	5,90	0,27	5,45
	NIRS	4,82	4,21	5,42	0,31	6,52
Isómero 3-CQA	QCAA	1,25	1,05	1,44	0,09	7,23
	NIRS	1,24	1,16	1,32	0,04	2,83
Isómero 4-CQA	QCAA	0,48	0,22	0,70	0,12	24,09
	NIRS	0,46	0,11	0,76	0,12	25,22
Isómero 5-CQA	QCAA	3,28	2,69	3,82	0,21	6,43
	NIRS	3,25	2,76	3,72	0,23	6,95
Sacarosa	QCAA	8,18	7,41	9,62	0,50	6,13
	NIRS	8,11	6,16	9,87	0,83	10,25

*El contenido de los compuestos químicos (promedio, mínimo y máximo) están expresados en porcentaje en base seca (bs).

de medición o, en otras palabras, si puede constituirse en un instrumento de medida equivalente al método de química analítica, se utilizó el método de Bland-Altman, el cual permite conocer la concordancia y comparar los dos métodos sobre una misma variable, cuantifica la diferencia media entre los métodos y evalúa la reproducibilidad del método. La interpretación de los límites de concordancia es que, para un individuo seleccionado al azar de la población sobre la que se espera inferir los resultados, la diferencia entre las dos evaluaciones se encuentre entre los límites con un 95% de probabilidad. Luego, si las diferencias entre los dos métodos considerando estos límites, no son significativamente relevantes, el método nuevo podría ser usado en reemplazo o como complemento al de referencia (Giavarina, 2015).

En la Figura 1 se presentan la dispersión de las diferencias y el promedio de ambos métodos para cada compuesto, para analizar el comportamiento a lo largo del rango de medias, es decir, si los errores no están asociados a la magnitud de la medida en el eje de las ordenadas (Y), se ubica la diferencia entre el método química analítica tradicional y el método técnica NIRS (M1-M2), y en el eje de las abscisas (X) se encuentra el valor promedio de la medición obtenida con los dos métodos $(M1+M2/2)$. La línea de color azul continua representa el valor esperado de las diferencias entre ambos métodos (cero), la línea roja continua representa las diferencias observadas del método NIRS respecto al analítico, las líneas rojas punteadas representan los límites establecidos al 90% y la verde, los límites establecidos al 95%. Para diez compuestos, el 95% de las observaciones se encuentran entre diferencias que fluctúan, más o menos, en 1,5% (Figura 1). Aquellas figuras que muestran que las magnitudes son constantes a lo largo del rango de medida, significa que

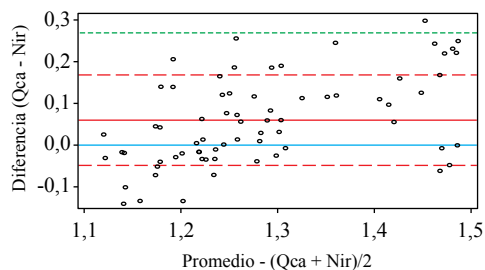
las estimaciones son correctas. Por ejemplo, para el compuesto 4-CQA.

El compuesto 3-CQA muestra que las diferencias no son constantes, con una tendencia creciente, lo que significa que la magnitud de la medida está asociada con un error mayor, es decir, para valores mayores de este compuesto el error aumenta. En las figuras donde se presenta la línea roja continua (diferencia observada) por debajo de la línea continua azul (diferencia esperada cero), indica que el método NIRS sobreestima las medidas, y si los puntos son constantes a lo largo del rango de medida, quiere decir que dichos errores son sistemáticos, constantes o proporcionales, y pueden corregirse para ajustar las estimaciones. En las figuras donde la línea roja es superior a la línea azul, indican que el método subestima las medidas con respecto al método de química analítica.

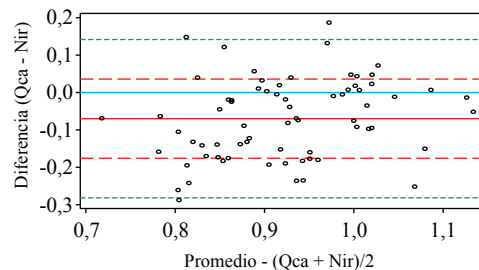
Se realizó el análisis de correlación de Pearson para probar independencia entre sesgo y magnitud de las diferencias medias de los dos métodos evaluados para cada uno de los compuestos químicos. En este caso se evidenció que los compuestos cafeína, lípidos totales, ácido graso araquídico, isómero 3-CQA y sacarosa, presentaron dependencia, es decir, cuando aumenta la diferencia aumenta el valor de los métodos evaluados; los demás compuestos presentaron independencia entre el sesgo y la magnitud (Tabla 3), comportamiento que puede evidenciarse en las gráficas de Bland-Altman.

Al analizar el comportamiento de las diferencias entre análisis estadísticos realizados a los dos métodos evaluados, se estableció y se confirmó que los ácidos grasos palmítico y esteárico, los isómero 3-CQA y 5-CQA y la sacarosa, existía un error sistemático, es decir, un valor constante de diferencia entre el valor de referencia y el valor predicho

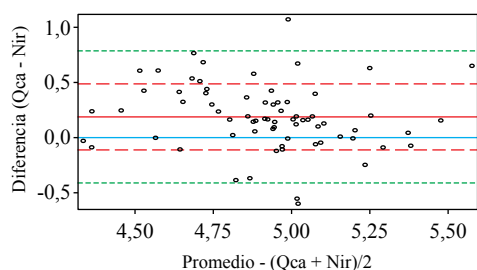
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Cafeína



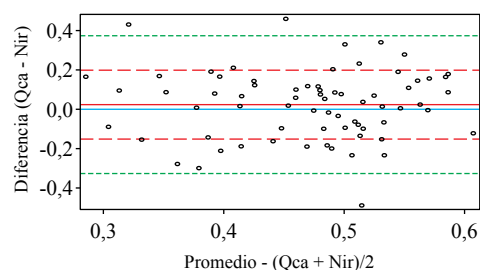
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Trigonelina



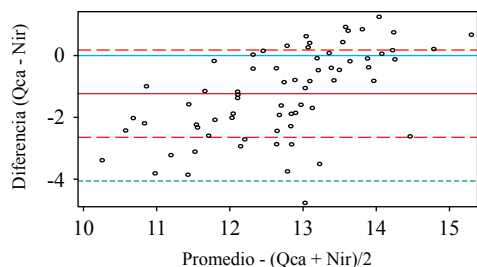
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = CQA TOTAL



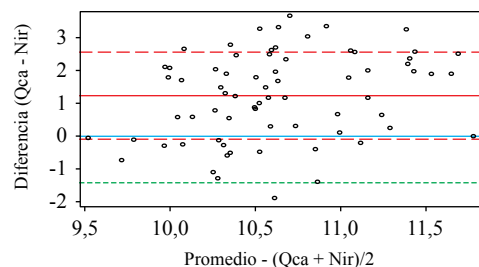
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = 4-CQA



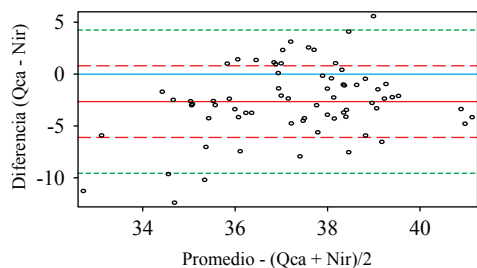
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Lípidos



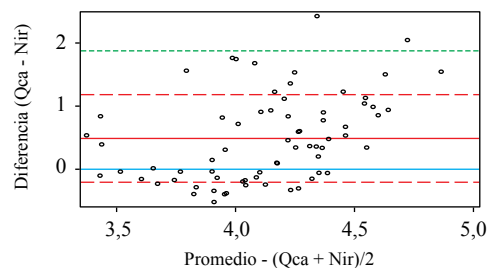
Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Oleic



Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Linoleic



Bland-Altman: Gráfico de Diferencia vs. Promedio de Qca y Nir
VBLE = Araquídico



Continúa...

...continuación.

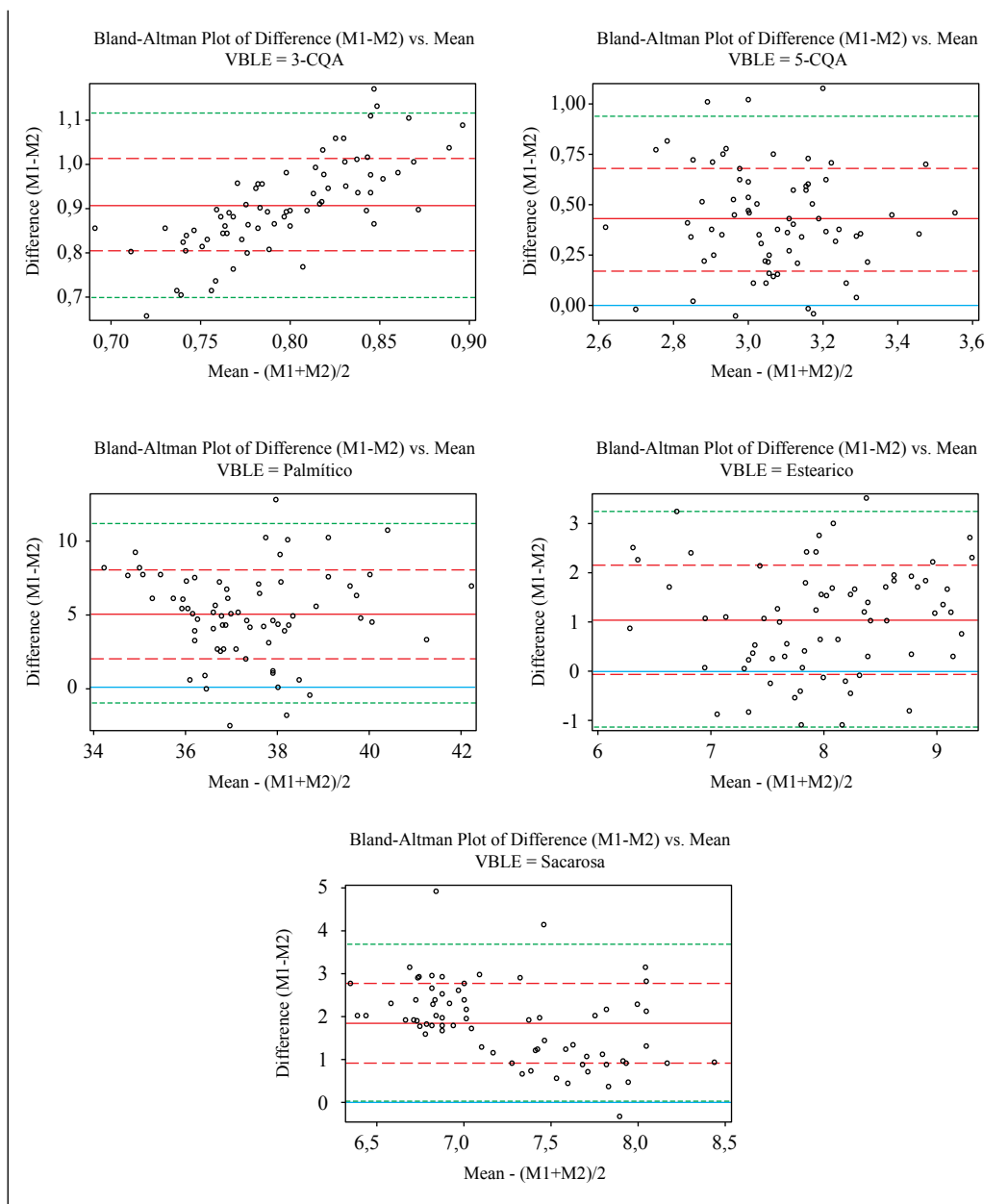


Figura 1. Gráficos de correlación de Bland-Altman de los métodos evaluados. La línea de color azul continua representa el valor esperado de las diferencias entre ambos métodos (cero), la línea roja continua muestra las diferencias observadas del método NIRS respecto al analítico, las líneas rojas punteadas representan los límites establecidos al 90% y la verde los límites establecidos al 95%.

por NIRS, valor que se utilizó para ajustar la curva de calibración del NIRS (en forma sumatoria). Los valores utilizados se encuentran en la Tabla 4.

Una vez ajustados los compuestos se determinó el error relativo para dar respuesta a la hipótesis planteada en la investigación, en la que se estableció que el error relativo de la estimación obtenida con el modelo matemático es del 6,0% con respecto a los resultados por química analítica, para todos los componentes químicos. Como se observa en la Tabla 5, se destaca que de los compuestos trigonelina y ácidos grasos oleico y linoleico no cumplen con la hipótesis planteada en la investigación. Los otros diez compuestos presentaron errores inferiores al 6,0%. Estos resultados confirman que la

curva de calibración que permite predecir 13 compuestos químicos para café verde puede ser utilizada como un método secundario (técnica NIRS) para determinar los compuestos químicos evaluados, de igual forma se confirma la confiabilidad de la técnica NIRS, como un método analítico secundario (Alessandrini et al., 2008; Esteban-Díez et al., 2004; Huck et al., 2005; Pizarro et al., 2007). Con un monitoreo continuo para la realización de estos ajustes a las curvas de calibración en la técnica NIRS, permite tener confiabilidad en los datos obtenidos por la técnica, además disminuye los costos que requeriría realizar análisis químicos por química analítica tradicional, cumpliendo con los objetivos principales de la técnica NIRS, como es ser una técnica de bajo costo, reproducible y verificable (Ocampo, 2015).

Tabla 3. Correlación de Pearson, para probar independencia entre sesgo y magnitud.

Compuesto químico	Magnitud de las diferencias	Rho=0	Criterio
Cafeína	0,05	<0,0001	Dependencia
Trigonelina	0,06	0,0337	Independiente
Lípidos totales	1,23	<0,0001	Dependencia
Ácido palmítico	5,00	0,9878	Independiente
Ácido linoleico	2,64	0,015	Independiente
Ácido oleico	1,23	0,0212	Independiente
Ácido esteárico	1,05	0,533	Independiente
Ácido araquídico	0,48	0,004	Dependencia
Ácidos clorogénicos totales	1,00	0,1888	Independiente
Isómero 3-CQA	0,90	<0,0001	Dependencia
Isómero 4-CQA	0,02	0,972	Independiente
Isómero 5-CQA	0,42	0,551	Independiente
Sacarosa	1,87	<0,0001	Dependencia

Tabla 4. Valores de ajuste para la curva de calibración de cinco compuestos químicos.

Compuesto químico	Valor del error sistemático
Ácido palmítico	5
Ácido esteárico	1
Isómero 3-CQA	0,9
Isómero 5-CQA	0,4
Sacarosa	1,8

Tabla 5. Error relativo de predicción para cada una de las variables químicas evaluadas.

Compuesto químico	Error relativo de (%)
Cafeína	4,5
Trigonelina	7,9
Lípidos totales	5,6
Ácido palmítico	0,5
Ácido esteárico	1,9
Ácido araquídico	1,6
Ácido oleico	11,0
Ácido linoleico	7,4
Ácidos clorogénicos totales	3,7
Isómero 3-CQA	0,7
Isómero 4-CQA	4,9
Isómero 5-CQA	1,3
Sacarosa	2,9

Puede concluirse que, en lo relacionado con el coeficiente de variación, para los dos métodos evaluados, se destaca el isómero 4-CQA que presentó los mayores valores del análisis estadístico descriptivo (QCAA 24,09 y NIRS 25,02), evidenciando que para ambos métodos la variación tiende a tener el mismo comportamiento. Otros compuestos como ácidos grasos palmítico y esteárico, isómero 5-CQA y lípidos totales presentaron

menor coeficiente de variación, pero entre los métodos las mismas tendencias de variación.

Con los diagramas de Bland-Altman se identificó que diez de los compuestos evaluados presentaron mayor correlación entre los dos métodos (cafeína, trigonelina, lípidos totales, ácidos grasos araquídico, oleico y esteárico, ácidos clorogénicos totales y los isómeros 4-CQA y 5-CQA y lípidos totales), confirmando

que el método secundario puede utilizarse para la determinación de estos compuestos. También se evidenció que, compuestos como la cafeína, ácidos clorogénicos totales, isómeros 4-CQA y 5-CQA, ácidos grasos oleico, araquídico, palmítico, esteárico y sacarosa, tienden a predecir por encima del valor de referencia.

Se estableció que los compuestos isómeros 3-CQA y 5-CQA, ácidos grasos oleico, palmítico, esteárico y sacarosa presentaron un error sistemático, los cuales fueron ajustados para la predicción final.

La hipótesis de la investigación se cumplió para diez compuestos: cafeína,

lípidos totales, ácidos grasos (palmítico, esteárico, araquídico) ácidos clorogénicos totales, isómeros de ácidos clorogénicos (3-CQA, 4-CQA y 5-CQA) y sacarosa, con valores del 6,0%. Los compuestos trigonélina y ácidos grasos oleico y linoleico, presentaron un valor mayor de error relativo.

Estos resultados confirman que la curva de calibración de la técnica NIRS, con los ajustes realizados, puede predecir los compuestos químicos para café verde. Además, confirman la confiabilidad de la técnica NIRS, como un método analítico secundario para predecir los compuestos químicos evaluados.

LITERATURA CITADA

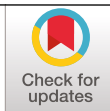
- Alessandrini, L., Romani, S., Pinnavaia, G., & Rosa, M. D. (2008). Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. *Analytica Chimica Acta*, 625(1), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.07.013>
- Alomar, D., & Fuchslocher, R. (1998). Fundamentos de la espectroscopia 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>
- Barbin, D. F., Felicio, A. L. de S. M., Sun, D.-W., Nixdorf, S. L., & Hirooka, E. Y. (2014). Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview. *Food Research International*, 61, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.005>
- 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), 163–172. <https://doi.org/10.15517/pa.v16i26.25764>
- Büning-Pfaue, H. (2003). Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 82(1), 107–115. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00583-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00583-6)
- Cao, N. (2013). *Calibration optimization and efficiency in near infrared spectroscopy* [Tesis de Doctorado]. Iowa State University. <https://lib.dr.iastate.edu/etd/13199>
- Cozzolino, D. (2002). Uso de la espectroscopia 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>
- Echeverri-Giraldo, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Esteban-Díez, I., González-Sáiz, J. M., & Pizarro, C. (2004). Prediction of Roasting Colour and other Quality Parameters of Roasted Coffee Samples by near Infrared Spectroscopy. A Feasibility Study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 12(5), 287–297. <https://doi.org/10.1255/jnirs.437>
- García Olmo, J. (2002). *Clasificación y autenticación de canales de cerdo ibérico mediante espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de Doctorado], Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/2340>

- Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*, 25(2), 141–151. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>
- Givens, D. I., De Boever, J. L., & Deaville, E. R. (1997). The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutrition Research Reviews*, 10(1), 83–114. <https://doi.org/10.1079/NRR19970006>
- Holscher, W., Vitzthum, O. G., & Steinhart, H. (1990). Identification and sensorial evaluation of aroma-impact compounds in roasted Colombian coffee. *Café Cacao The*, 34(3), 205–212.
- Huck, C. W., Guggenbichler, W., & Bonn, G. K. (2005). Analysis of caffeine, theobromine and theophylline in coffee by near infrared spectroscopy (NIRS) compared to high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled to mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 538(1), 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.01.064>
- Jiménez, P. A. (2007). *Identificación de harinas de yuca (Manihot esculenta crantz) con alto contenido proteico mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2473>
- Marin, C., & Puerta, G. I. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *Coffea arabica* L. y *C. Canephora*, según el desarrollo del fruto. *Revista Cenicafé*, 59(1), 7–28. <http://hdl.handle.net/10778/60>
- Massart, D. L., Vandeginste, B. G. M., Deming, S. M., & Kaufman, L. (Eds.). (1988). *Chemometrics: A textbook*. Elsevier.
- Mongay Fernández, C. (2005). *Quimiometría*. Universidad de Valencia.
- Ocampo, J. F. (2015). *Estandarización de las curvas de calibración por la metodología NIR y la química húmeda en las materias primas y carnes frías para la optimización de las respuestas de análisis* [Tesis de especialización]. Corporación Universitaria Lasallista. <http://hdl.handle.net/10567/1571>
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. T. (1993). *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis* (2a ed.). Longman Scientific & Technical ; Wiley.
- Pizarro, C., Esteban-Díez, I., González-Sáiz, J.-M., & Forina, M. (2007). Use of Near-Infrared Spectroscopy and Feature Selection Techniques for Predicting the Caffeine Content and Roasting Color in Roasted Coffees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7477–7488. <https://doi.org/10.1021/jf071139x>
- Reeves, J. B., & Van Kessel, J. S. (2000). Near-Infrared Spectroscopic Determination of Carbon, Total Nitrogen, and Ammonium-N in Dairy Manures. *Journal of Dairy Science*, 83(8), 1829–1836. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75053-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75053-3)
- Rovalo, M., & Rojas, M. (1982). *Fisiología vegetal experimental; prácticas de laboratorio*. Editorial Limusa.
- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>
- 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
- Villarreal, D., Baena, L. M., & Posada, H. E. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de *Coffea arabica* cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(1), 19–40. <http://hdl.handle.net/10778/520>
- Villegas, A. M., Pérez, C., Arana, V. A., Sandoval, T., Posada, H. E., Garrido, A., Guerrero, J., Pérez, D., & García, J. (2014). Identificación de origen y calibración para tres compuestos químicos en café por espectroscopia de infrarrojo cercano. *Revista Cenicafé*, 65(1), 7–16. <http://hdl.handle.net/10778/551>
- Weyer, L. G. (1985). Near-Infrared Spectroscopy of Organic Substances. *Applied Spectroscopy Reviews*, 21(1-2), 1–43. <https://doi.org/10.1080/05704928508060427>

EFFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO SOBRE LA MADURACIÓN FENOLÓGICA DE FRUTOS DE CAFÉ EN PRE-COSECHA

Carlos Andrés Unigarro Muñoz *, Luis Carlos Imbachí Quinchua **, Jenny Paola Pabón Usaquén ***, Valentina Osorio Pérez ***, José Ricardo Acuña Zornosa *

Unigarro, C. A., Imbachí, L. C., Pabón, J., Osorio, V., & Acuña-Zornosa, J. R. (2021). Efecto del ácido salicílico sobre la maduración fenológica de frutos de café en pre-cosecha. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72205. <https://doi.org/10.38141/10778/72205>



En el presente estudio se evaluó el efecto del ácido salicílico (AS), en dos tiempos de aplicación, sobre la maduración fenológica de frutos de café, al retardar un pase de recolección durante la pre-cosecha. En las Estaciones Experimentales Paraguaicito y La Catalina sobre café variedad Castillo®, se instalaron seis tratamientos correspondientes a tres dosis de AS [0,5, 1,0 y 2,0 mmol L⁻¹], aplicadas en dos tiempos [una semana antes y durante el evento de recolección principal (ERP)] con un pase de recolección retenido; más dos controles sin aplicación de inhibidores [C1: recolección normal, C2: recolección con retención de pase], en parcelas bajo un diseño completamente al azar. En los muestreos a nivel de rama y muestra de 1,0 kg, se evaluaron las variables: porcentaje de frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros, cosechables y secos; además del porcentaje de frutos caídos a nivel de rama, la producción de café cereza por parcela y la calidad de la bebida según la escala SCA. Los resultados mostraron que el AS aplicado una semana antes del ERP, a una dosis de 1,0 mmol L⁻¹, y en la semana del ERP, a una dosis de 2,0 mmol L⁻¹, retardaron el desarrollo fenológico de los frutos cosechables y secos a nivel de rama, y levemente el desarrollo de los frutos sobremaduros a nivel de muestra de 1,0 kg, pero no en los frutos cosechables de la muestra para La Catalina. Mientras que en Paraguaicito no hubo efecto a ningún nivel. Esto indica que el efecto del AS sobre la maduración es bajo cuando la retención del pase se extiende por más de 20 días después del ERP, y por lo tanto su uso no sería recomendable bajo estas condiciones. La producción y puntaje SCA no presentaron diferencias estadísticas asociadas con el efecto del AS.

Palabras clave: *Coffea arabica*, desarrollo de frutos, inhibidor de etileno, retención de recolección.

EFFECT OF SALICYLIC ACID ON THE PHENOLOGICAL RIPENING OF COFFEE FRUITS IN PRE-HARVEST

In the present study, the effect of salicylic acid (SA) in two application times on the phenological maturation of coffee fruits by delaying a picking pass during pre-harvest was evaluated. At Paraguaicito and La Catalina Experiment Stations on Castillo® variety coffee, six treatments were installed corresponding to three doses of SA [0.5, 1.0, and 2.0 mmol L⁻¹] applied during two times [one week before and during the main picking event (ERP)] with a retained picking pass; plus, two controls without application of inhibitors [C1: normal picking, C2: picking with pass retention], applied to parcels under a completely random design. In the samplings at the branch level and sample level of 1.0 kg, the variables: percentage of green, pintones, ripe, over-ripe, and dry fruits were evaluated, in addition to the percentage of fallen fruits at the branch level, the production of cherry coffee per parcel and the quality of the drink according to the SCA scale. The results showed that the SA applied one week before the ERP at a dose of 1.0 mmol L⁻¹ and in the week of the ERP at a dose of 2.0 mmol L⁻¹ delayed the phenological development of the harvestable and dried fruits at the branch level, but not at the sample level at La Catalina, while in Paraguaicito there was no effect at any level. This indicates the low effect of SA on ripening when harvesting retention is extended for more than 20 days after the ERP, and therefore its use is not recommended under these conditions. The production and SCA score did not show any significant effect associated to the effect of SA.

Keywords: *Coffea arabica*, fruit development, ethylene inhibitor, delaying a picking.

* Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-7344-3211>, <https://orcid.org/0000-0001-6935-2264>

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

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



El café es una de las materias primas agrícolas más comercializadas en el mundo y se produce en más de 68 países, ubicados entre las latitudes 22°Norte y 24°Sur, sobre un total de 10,6 millones de hectáreas (Lashermes et al., 2008). De las 124 especies que componen el género *Coffea* (Davis et al., 2011), solo las especies *Coffea arabica* L. (café arábigo) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta) producen el café que se consume en el mundo (Lashermes et al., 2008); con un 58 % y 42% de la producción global, de acuerdo con la International Coffee Organization-ICO (2019).

En Colombia, el tercer productor de café a nivel mundial (ICO, 2019), se produjeron 14.752.000 sacos (un saco = 60 kg) de café arábigo, procedentes de cultivos establecidos en 853.698 hectáreas a 2019, según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC (2020). El beneficio económico del café no solo proviene de la productividad del cultivo, también lo hace de la calidad de la bebida, la cual es afectada en parte por el estado de maduración de los frutos cuando son recolectados (DaMatta et al., 2010; Pereira et al., 2005).

Una proporción mayor al 2,5% de frutos verdes en la masa recolectada disminuye la calidad sensorial de la bebida (Puerta, 2000), debido a los sabores amargos y astringentes presentes (Farah et al., 2006). Bebidas de café preparadas con frutos en estado pintón, maduro y sobre-maduro no presentaron problemas de calidad o defectos, mientras que las bebidas elaboradas con frutos verdes y secos se caracterizaron por su baja calidad sensorial (Marín et al., 2003). Esto tiene particular relevancia para la zona cafetera colombiana, donde la diversidad climática hace que se presenten múltiples eventos de floración a lo largo del año (Camayo et al., 2003), hecho que conlleva a que siempre haya frutos de café en la planta, pero en diferentes estados de

maduración (Sanz & Duque, 2020). Lo cual, hace que varias recolecciones selectivas de frutos sean necesarias durante los periodos de cosecha (Upegui & Valencia, 1972). Para solventar esta situación, se han desarrollado diversos sistemas de recolección manual y con maquinaria agrícola (Sanz & Duque, 2020), así como técnicas, entre las que se destaca la retención de pases, que consiste en mantener por más tiempo los frutos maduros en los árboles, a fin de incrementar su disposición al momento de la recolección (Sanz et al., 2018). En todos los casos mencionados, la maduración de los frutos ocurre de forma natural.

La maduración del fruto es un proceso coordinado e irreversible, donde ocurren cambios bioquímicos, fisiológicos, estructurales y organolépticos, que influyen en las características de calidad deseables por los consumidores (Lelievre et al., 1997; Prasanna et al., 2007). Los frutos según el patrón respiratorio y la síntesis de etileno durante la maduración pueden ser clasificados en climatéricos o no-climatéricos; sin embargo, se ha reportado que una especie puede tener variedades climatéricas y no climatéricas (Giovannoni, 2004), como en los casos del melón (Périn et al., 2002) y la pera (Yamane et al., 2007). Así mismo pueden presentarse algunas variedades con un fenotipo climatérico suprimido, el cual ocurre cuando la biosíntesis del etileno durante la maduración aumenta, pero de forma lenta y baja respecto a las variedades propiamente climatéricas, un ejemplo de ello son las variedades de ciruela “Early Golden” (climatérico) y “Shiro” (no-climatérico) (El-Sharkawy et al., 2007). En *C. arabica* L., los frutos logran la madurez fisiológica cuando alcanzan el 90% de su tamaño final y tienen un color verde leve (estado BBCH-79), aunque en términos organolépticos, la madurez se logra cuando el exocarpo adquiere un color rojo (estado BBCH-88) (Arcila et al., 2002). El cambio de coloración está asociado con la

regulación de los genes involucrados en la biosíntesis del etileno (Pereira et al., 2005) y con los picos en las tasas de respiración y producción de etileno (Ságio et al., 2013), además del efecto positivo que tienen las aplicaciones exógenas de “Ethephon” (ácido 2-cloroetilfosfónico) (Scudeler et al., 2004; Winston et al., 1992). Lo anterior, sugiere que el café es un fruto constitutivamente del tipo climatérico (Ságio et al., 2014). Sin embargo, debe considerarse que entre las variedades de *C. arabica* L. hay diferencias en las tasas de respiración y producción de etileno respecto al típico comportamiento climatérico, así, por ejemplo, la variedad Catucaí 785-15 muestra un pico definido en las tasas de respiración y de producción de etileno común a los frutos climatéricos, mientras que la variedad Acauã exhibe un comportamiento similar, pero con menores niveles de CO₂ y etileno, en lo que podría considerarse una fase climatérica atenuada (Ságio et al., 2013). Esto también implica que el etileno está directamente implicado en la determinación del tiempo de maduración, puesto que las mayores concentraciones de etileno en la variedad Catucaí 785-15 permitirían que un mayor número de frutos alcancen el estado de cereza (estado BBCH-88) al mismo tiempo (Ságio et al., 2014).

El proceso de maduración de los frutos climatéricos puede modificarse en pre-cosecha o pos-cosecha, al intervenir en los mecanismos de acción del etileno, usando precursores o inhibidores químicos (Balaguera et al., 2014; Serna et al., 2012). Los inhibidores químicos retardan el proceso natural de maduración en los frutos, posibilitando que mantengan su madurez organoléptica por más tiempo, tanto en precosecha como en poscosecha, adicionalmente también pueden disminuir la abscisión de los frutos (Abeles et al., 1992). En Brasil, el inhibidor de etileno acetato de potasio en su formulación comercial MATHURY® (SATIS,

Brasil), logró reducir la caída de frutos en café variedad Catucaí Vermelho IAC 15 (Dias et al., 2014); sin embargo, en la variedad Tupi Amarelo (IAC 5162) este producto no produjo ningún cambio en la maduración respecto al testigo (Rodrigues, 2015). En Colombia, los inhibidores aminoetoxi-vinil-glicina (100 µg L⁻¹) y ácido salicílico (1 mM), lograron retardar el proceso de maduración, al reducir entre 16,0% y 16,6% el porcentaje de frutos sobre-maduros e incrementar entre 12,8% y 14,3% el porcentaje de frutos maduros cuando se retuvo un pase de recolección en café variedad Castillo® respecto al testigo (pase retenido sin aplicación de inhibidores), mientras que los inhibidores acetato de potasio y ácido aminooxiacético no mostraron diferencias (Unigarro et al., 2018).

El ácido salicílico (AS) es un regulador de crecimiento en las plantas, con un importante rol en el incremento del vigor bajo condiciones de estrés biótico y abiótico, en los procesos de desarrollo y en la regulación del crecimiento vegetativo (Hayat et al., 2010). De igual forma, el AS mejora el color y el sabor del fruto (Chamkha et al., 2003), así como las propiedades físicas como la firmeza (Shafiee et al., 2010), el peso (Elwan & El-Hamahmy, 2009) y el tamaño (Marzouk & Kassem, 2011), y en la bioquímica de los frutos con la disminución de la respiración y biosíntesis del etileno (Srivastava & Dwivedi, 2000). Esto sugiere un rol antagonista con la síntesis del etileno, que tendría potenciales beneficios en los procesos de maduración tanto de frutos climatéricos [banano (Srivastava & Dwivedi, 2000), pera (Leslie & Romani, 1988), tomate (Wang et al., 2011)] como de no climatéricos [fresa (Karlidag et al., 2009), uva (Lo'ay, 2017)]. A pesar de las pocas investigaciones sobre la acumulación del AS durante el desarrollo de los frutos y su rol en la maduración (Davies & Böttcher, 2014), se conoce que la concentración endógena de AS libre es mayor durante el desarrollo del

fruto y que a partir del inicio de la maduración comienzan a decrecer progresivamente hacia el momento de cosecha (Pérez-Llorca et al., 2019). Aplicaciones exógenas de AS podrían retardar el proceso de maduración al reducir la actividad respiratoria como ocurre en banano (Srivastava & Dwivedi, 2000). El presente estudio tuvo por objetivo evaluar el efecto de tres dosis del inhibidor de etileno AS, en dos tiempos de aplicación, sobre la maduración fenológica de frutos de café cuando se retiene un pase de recolección.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en las Estaciones Experimentales de La Catalina (04°44'00" N, 75°44' W, 1.315 m de altitud, municipio de Pereira – Risaralda) y Paraguaicito (04°23' N, 75°44' W, 1.203 m de altitud, municipio de Buenavista – Quindío), sobre cultivos de café (*Coffea arabica* L.) variedad Castillo®, con 36 meses de edad. En las localidades se evaluó el inhibidor de etileno AS (ácido 2-hidroxibenzoico, Sigma Chemical Co. UK) asperjado en tres dosis (0,5 mM, 1,0 mM y 2,0 mM), cada una aplicada en dos tiempos diferentes, dependiendo del evento de recolección principal (ERP) [a: una semana antes del ERP, b: durante el ERP] para un total de seis tratamientos, más dos controles, como se describe en la Tabla 1. En todos los tratamientos se realizó la retención del pase de recolección, la cual consistió en dejar durante 22 días los frutos maduros en planta, desde el ERP hasta el evento de recolección secundario (ERS), entendiéndose que el ERP y el ERS hacen referencia al momento de realizar la labor y no a la ejecución de la labor. La aplicación de los tratamientos se realizó con un equipo de aspersión manual operado a 2,0 bares de presión, apuntando la boquilla desde la parte ventral de la rama hacia los frutos, a 10,0 cm de distancia. Adicionalmente, al AS se le adicionó etanol al 96% (0,1 mL L⁻¹)

previo a su mezcla con el solvente (agua), para facilitar su solubilización (Leslie & Romani, 1986). En la mezcla de AS con el solvente se agregó el coadyuvante agrícola SILWET® L-77 AG (0,5 cc L⁻¹), como adherente a la superficie del fruto. Para los controles no se aplicaron inhibidores, pero difirieron en los tiempos de recolección de frutos maduros como se describe en la Tabla 1 y se detalla a continuación. En el Control 1 de recolección normal (C1) se recolectaron los frutos maduros en el ERP y en ERS, haciendo una cosecha normal sin retención de pase; en el Control 2, de recolección con retención de pase (C2), no se realizó la primera recolección de frutos maduros en ERP y se los mantuvo como en los tratamientos hasta el ERS.

Los tratamientos y controles fueron establecidos en parcelas efectivas de nueve plantas (3 x 3) con diez repeticiones, bajo un diseño completamente al azar. El ERP para Paraguaicito se llevó a cabo el 4 de noviembre de 2019, con base en los registros de floración y por el estado de madurez en los frutos, mientras que para La Catalina fue hecho el 30 de noviembre de 2019. Tanto en los tratamientos como en los controles, los frutos sobre-maduros y secos en la planta fueron retirados previamente a la primera aplicación de los inhibidores, dejando únicamente los frutos verdes, pintones y maduros. Esto con el fin de evaluar el efecto del inhibidor en el proceso de maduración de los frutos pintones y maduros, los cuales son los estados de madurez sobre los cuales el inhibidor tendría el mayor efecto.

En la parcela efectiva se seleccionó el árbol central y en él se marcó una rama en el tercio medio superior. En esta rama se realizó un primer registro en la semana del ERP, contando el número total de frutos por rama, y luego en el ERS se hizo un segundo registro de los frutos por rama, pero esta vez por estado de maduración (verdes, pintones, maduros, sobre-

maduros y secos), según los estados de Sanz et al. (2018). El número de frutos caídos o absición se calculó como la diferencia entre el número total de frutos en el primer registro y el número total de frutos del segundo. En el Control 1, este procedimiento varió, porque además de contar el número total de frutos por rama en el primer registro, también se contaron y retiraron los frutos maduros de la rama, los cuales fueron posteriormente adicionados al conteo de frutos maduros realizado en el segundo registro para su análisis. Al dividir el número de frutos por estado de madurez del segundo registro y el número de frutos caídos por el número total de frutos por rama del primer registro, se calcularon las **variables a nivel de rama**: porcentaje de frutos verdes (Verdes_R), porcentaje de frutos pintones (Pintones_R), porcentaje de frutos maduros (Maduros_R), porcentaje de frutos sobremaduros (Sobremaduros_R), porcentaje de frutos cosechables (Cosechable_R = Pintones_R + Maduros_R + Sobremaduros_R), porcentaje de frutos secos (Secos_R) y porcentaje de frutos caídos (Caídos_R).

Una vez finalizado el segundo conteo de frutos en las ramas en ERS, se realizó la recolección del café cereza producido por la parcela efectiva, el cual fue registrado en kilogramos para la variable producción de café cereza (producción). Del café cereza recolectado por parcela, se tomó una muestra de 1,0 kg. En la muestra, los frutos se clasificaron y pesaron según su estado de madurez en verdes, pintones, maduros, sobremaduros (Sanz et al., 2018), y además se clasificaron los frutos secos encontrados. Con estos datos se determinaron las **variables a nivel de muestra**: porcentaje de frutos verdes en muestra (Verdes_M), porcentaje de frutos pintones en muestra (Pintones_M), porcentaje de frutos maduros en muestra (Maduros_M), porcentaje de frutos sobremaduros en muestra (Sobre-maduros_M), porcentaje de frutos cosechables en muestra (Cosechable_M = Pintones_M + Maduros_M + Sobremaduros_M) y porcentaje de frutos secos en muestra (Secos_M), con base en el peso de la muestra. El resto del café cereza recolectado por parcela fue beneficiado por vía húmeda

Tabla 1. Descripción de dosis de ácido salicílico, tiempo de aplicación y tiempo de recolección para los tratamientos y controles evaluados en café variedad Castillo®.

Tratamiento / control	Dosis ácido salicílico	Tiempo de aplicación	Tiempo de recolección
1	0,5 mmol L ⁻¹ *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
2	1,0 mmol L ⁻¹ *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
3	2,0 mmol L ⁻¹ *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
4	0,5 mmol L ⁻¹ *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
5	1,0 mmol L ⁻¹ *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
6	2,0 mmol L ⁻¹ *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
C1	-	Ninguno	En ERP* y 22 días después ERP*
C2	-	Ninguno	Solo 22 días después ERP*

* Evento de recolección principal.

y secado hasta que los granos alcanzaron una humedad final entre el 12%-13% (café pergamino seco). Para la evaluación de la calidad sensorial se extrajo una muestra de 2,0 kg de frutos maduros de la masa cosechada por parcela, esta muestra fue beneficiada para obtener de 600-700 g de café pergamino seco. Luego, se procesó de acuerdo con protocolos de la Asociación Americana de Cafés Especiales (Specialty Coffee Association–SCA) en el Laboratorio de Calidad de Cenicafé. La valoración SCA para el puntaje total de la muestra se dio en una escala de 0 a 100 y se registró en la variable llamada Calidad SCA. Los datos meteorológicos de precipitación y de temperatura diarios se obtuvieron de la red meteorológica automática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y se presentan en la Figura 1.

El análisis estadístico se realizó mediante un modelo de análisis de varianza paramétrico

de una-vía, usando el estadístico F ($Pr > F$), cuando el supuesto de normalidad y heterogeneidad se cumplió. En caso contrario, se procedió de dos formas diferentes, según la naturaleza de los datos: 1) transformando los datos con la función arcoseno de la raíz cuadrada de la variable original para lograr la normalidad (Sabin & Stafford, 1990), y realizando el modelo paramétrico de una-vía con el estadístico F ($Pr > F$); o 2) analizando los datos originales mediante el modelo no paramétrico de una vía con la prueba de Kruskal-Wallis usando el estadístico X^2 , cuando no se logró la normalidad en los datos transformados. Las comparaciones *post-hoc* con los controles, se realizaron a un nivel de significancia de 5%, y dependiendo de la naturaleza paramétrica o no de los datos, se ejecutó la prueba de Dunnett o de Holm (Brunner et al., 2018), respectivamente. Los análisis estadísticos fueron realizados con el producto SAS/STAT® del software SAS® 9.4 (SAS Institute Inc, 2018).

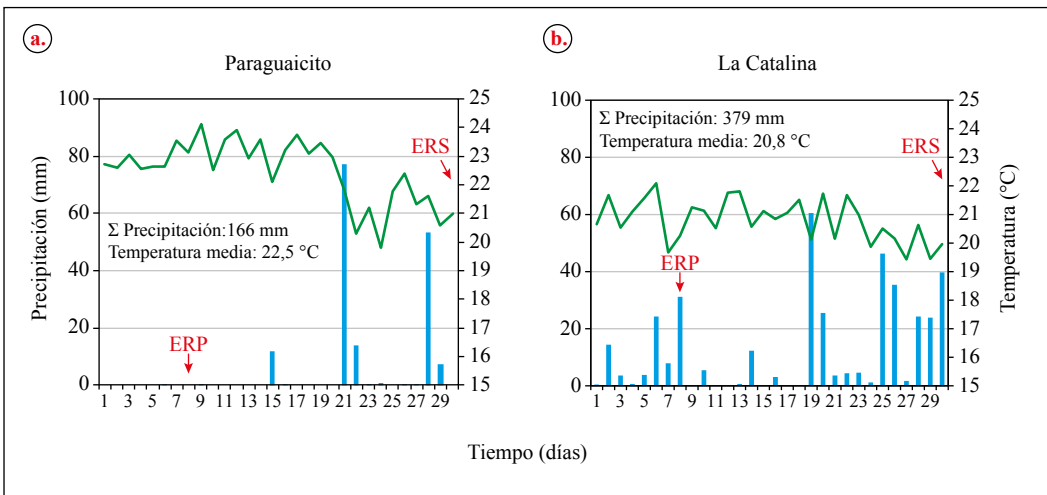


Figura 1. Registro diario de precipitación (barras) y temperatura (línea) en las localidades de **a)** Paraguaicito y **b)** La Catalina durante el período de estudio (los días en el eje x son registros independientes generalizados para las fechas de recolección de datos de las variables de interés de cada localidad). ERP: evento de recolección principal, ERS: evento de recolección secundario.

RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra la proporción de frutos en ramas clasificados según tres grados de maduración (verdes, cosechables y secos), además del porcentaje de frutos caídos. En Paraguaicito, las tres variables de desarrollo de frutos (Verdes_R, Cosechable_R y Secos_R) y la de abscisión frutos (Caídos_R) no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos y controles (Figura 2 a, c, e, g). En La Catalina, la variable Cosechable_R mostró que el C1 (recolección normal) fue significativamente mayor (25%) que el C2 (retención de pase) y que a la mayoría de los tratamientos con AS (1, 3, 4 y 5) (entre 26% y 34%), a excepción de los tratamientos 2 y 6, los cuales presentaron el porcentaje de frutos cosechables más próximo al de una recolección normal (C1) con diferencias del 21% y 16%, respectivamente, y aunque ninguno de los tratamientos llegó a ser estadísticamente diferente del C2, el Tratamiento 6 presentó la mayor diferencia positiva (8%) con respecto a este (Figura 2 d). La falta de diferencias estadísticas en los tratamientos 2 y 6 con respecto al C1, muestra un efecto detectable en el desarrollo, puesto que, de no haber ningún efecto las diferencias estarían presentes como en el caso de los controles (ver C1 vs C2) o en el resto de los tratamientos (Figura 2 d). Por otra parte, la variable Secos_R mostró que el tratamiento 3 y el C2 fueron significativamente mayores (19% y 15%, respectivamente) que el C1, en tanto que el tratamiento 6 y el C1 fueron significativamente menores (16% y 15%, respectivamente) que el C2 (Figura 2 f), en este último caso la diferencia del tratamiento 6 indica un efecto positivo del AS sobre desarrollo fenológico de los frutos, puesto que fue menor que el valor obtenido con una recolección con retención de pase (C2) y muy similar al de una recolección normal (C1). Para las variables Verdes_R y Caídos_R no hubo diferencias en este sitio

(Figura 2 b, h). Sin embargo, la variable Caídos_R mostró que los tratamientos 2 y 6 presentaron una abscisión de frutos menor que la del C2 (retención de pase) con valores de 8% y 11%, respectivamente, y muy similares a la observada en el C1 (recolección normal) (Figura 2 g, h).

En la Tabla 2 se analizó el porcentaje de desarrollo de los frutos cosechables en ramas a través de los tres estados de maduración que lo componen (Pintones_R, Maduros_R y Sobre-maduros_R). En Paraguaicito, la variable Maduros_R mostró que los tratamientos 1, 4 y 5 fueron estadísticamente inferiores (22% a 24%) que el C1, mientras que los tratamientos 2, 3 y 6 con diferencias entre el 17% y 18% fueron estadísticamente iguales al C1 y lo más próximo a una recolección normal, aunque ninguno de los tratamientos o el C1 difirieron del C2 (Tabla 2). En cuanto a la variable Sobre-maduros_R, los tratamientos 1, 2 y 4 fueron significativamente mayores (entre 19% y 27%) que el C1, señalando que en estos tratamientos el desarrollo de los frutos fue más acelerado que lo observado en los tratamientos 3, 5 y 6, los cuales no difirieron de la recolección normal (C1), con diferencias del 7% al 12%. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos con AS y el C1 no difirieron significativamente de la recolección con retención de pase (C2), excepto por el tratamiento 1, el cual llegó a presentar una proporción de sobre-maduros significativamente mayor (21%) (Tabla 2). En el contexto, cabe resaltar el comportamiento del tratamiento 2, el cual a pesar de mostrar el desarrollo obtenido en el C1 logró acumular un buen porcentaje de frutos maduros y sobre-maduros en conjunto, con respecto al C2 (15%, respectivamente) (Tabla 2), hecho que se refleja descriptivamente en una mayor proporción cosechables (10%, respectivamente) (Figura 2 c). En La Catalina todos los tratamientos y el C2 fueron significativamente menores (entre 18% a 36%) que el C1 en la variable

Maduros_R, no obstante, cabe mencionar que el tratamiento 6 evidenció la menor diferencia descriptiva (Tabla 2). En el resto de las variables de la Tabla 2 no se encontraron diferencias significativas.

El porcentaje de frutos para tres grados de maduración (verdes, cosechables y secos), en una muestra de 1,0 kg se presenta en la Figura 3. En La Catalina se observó que todos los tratamientos y el C2 fueron estadísticamente menores (entre 8% y 14%) al C1 en la variable Cosechable_M (Figura 3 d), mientras que el porcentaje de frutos secos presentó un comportamiento inverso, al mostrar que los tratamientos y el C2 fueron significativamente mayores que C1 (Figura 3 f), así mismo, se observó en estas dos variables que ninguno de los tratamientos difirió estadísticamente de la recolección con retención de pase (C2) (Figura 3 d, f). Esto indica que los tratamientos con AS no tuvieron ningún efecto en cuanto al desarrollo de los frutos con respecto a los controles. En el resto de las variables evaluadas a nivel de muestra, tanto en Paraguaicito como en La Catalina, no se encontraron diferencias estadísticas (Figura 3 a, b, c, e).

En la Tabla 3 se analizan los tres grados de maduración (Pintones_M, Maduros_M y Sobre-maduros_M) que componen el porcentaje de frutos cosechables en la muestra de 1,0 kg. En Paraguaicito, la variable Pintones_M mostró que C1 fue estadísticamente mayor que el tratamiento 1 y 5 (15% y 13%, respectivamente), mientras que el C2 no difirió estadísticamente de los tratamientos o el C1 (Tabla 3); para la variable Sobre-maduros_M, todos los tratamientos y el C2 fueron significativamente mayores (entre el 12% al 22%) que el C1, pero en ningún caso los tratamientos difirieron estadísticamente del C2 (Tabla 3), además, ninguna diferencia fue encontrada para la variable Maduros_M (Tabla 3). Esto indica que ninguno de los tratamientos tuvo un efecto

destacable en el desarrollo de los frutos con respecto a la retención de pase (C2) o con la recolección normal (C1). Por otra parte, en La Catalina las diferencias estadísticas de la variable Maduros_M indicaron que el C1 fue significativamente mayor que todos los tratamientos y el C2 (entre 14% y 23%), lo cual no resalta ningún cambio de interés por acción de los tratamientos con AS (Tabla 3). Sin embargo, en la variable Sobre-maduros_M donde el C1 fue estadísticamente inferior (entre 10% al 14 %) que los tratamientos 1, 3, 4 y 5 y el C2, pero no que los tratamientos 2 y 6 con diferencias del 9% y 8% respectivamente, sugiere un leve pero perceptible retardo en la maduración fenológica de los frutos sobre-maduros de los tratamientos 2 y 6, aunque ningún tratamiento llegó a ser significativamente diferente al C2 (Tabla 3).

En cuanto a la producción por parcela, La Catalina mostró que los tratamientos con AS y el C2 fueron significativamente menores que el C1 (Figura 4 b), lo cual fue esperado debido a la pérdida de peso fresco y de humedad que sufren los frutos maduros de los tratamientos con AS y el C2 cuando avanzan de edad (estado sobre-maduro o seco) y no son recolectados en la primera retención del pase, hecho que no ocurrió con el C1, donde los frutos maduros al ser recolectados en el primer pase no perdieron humedad o materia seca por acción de la maduración. Además, si se considera que la cantidad de masa cosechada en la primera recolección (media= 7,5 kg) del C1 fue un 31% más pesada que la recolectada en el segundo pase (media= 5,2 kg), puede deducirse que en el C1 la pérdida de peso de los frutos fue menor, puesto que una menor cantidad de frutos maduros se expuso al efecto de la pérdida de peso por acción de la maduración hasta la segunda recolección. Por el contrario, en Paraguaicito no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos y controles (Figura 4 a), muy posiblemente

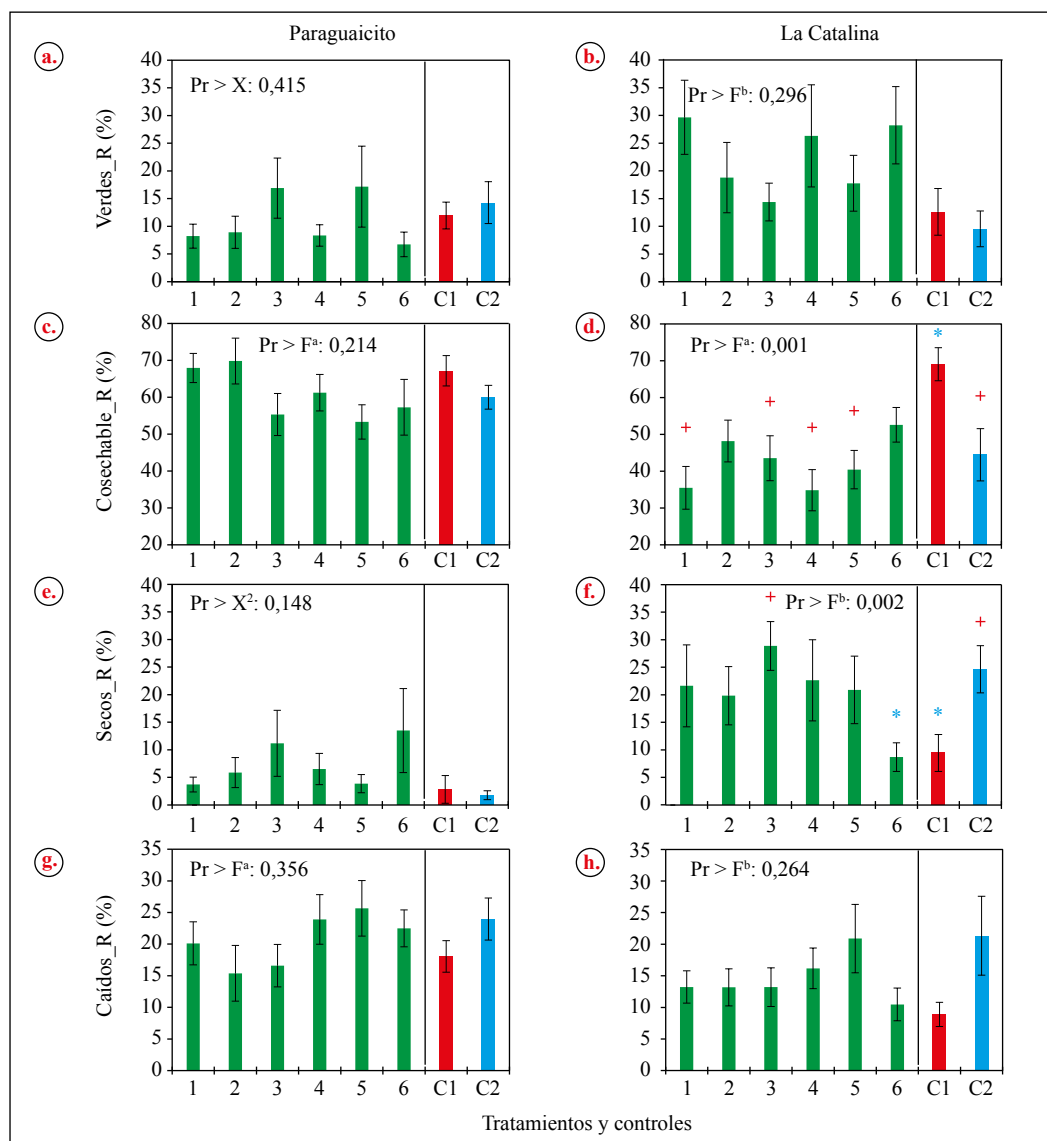


Figura 2. Porcentaje de frutos verdes (Verde_R) [a, b], cosechables (Cosechable_R) [c, d], secos (Secos_R) [e, f] y caídos (Caídos_R) [g, h] en ramas de café variedad Castillo®, para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1,0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con retención de pase) en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales. $Pr > F^a$: Significancia de la prueba de F para datos originales. $Pr > F^b$: Significancia de la prueba de F para datos transformados. $Pr > X^2$: Significancia de la prueba de X^2 para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ($\alpha=0,05$). *: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ($\alpha=0,05$).

Tabla 2. Porcentaje de frutos pintones (Pintones_R), maduros (Maduros_R) y sobre-maduros (Sobre-maduros_R) en ramas de café variedad Castillo®, para seis tratamientos y dos controles, en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. Los valores en la tabla corresponden a las medias ± error estándar de los valores originales.

Loc.	Tratamiento / Control	Pintones_R			C1	C2	Maduros_R			C1	C2	Sobre-maduros_R			C1	C2
Paraguaicito	1	17	±	6	ns	ns	20	±	5	+	ns	32	±	7	+	x
	2	20	±	8	ns	ns	25	±	5	ns	ns	24	±	4	+	ns
	3	17	±	4	ns	ns	24	±	6	ns	ns	14	±	4	ns	ns
	4	17	±	6	ns	ns	18	±	3	+	ns	26	±	6	+	ns
	5	17	±	4	ns	ns	19	±	2	+	ns	17	±	4	ns	ns
	6	20	±	6	ns	ns	25	±	9	ns	ns	12	±	5	ns	ns
	C1	21	±	6		ns	42	±	7		ns	5	±	2		ns
	C2	25	±	5	ns		23	±	5	ns		11	±	4	ns	
Pr		ns			c		* a					** b				

Continúa...

...continuación.

Loc.	Tratamiento / Control			Pintones_R			C1	C2	Maduros_R			C1	C2	Sobre-maduros_R			C1	C2
La Catalina	1	7	± 2	ns	ns	25	± 4	+	ns	4	± 1	ns	ns					
	2	5	± 1	ns	ns	31	± 4	+	ns	13	± 3	ns	ns					
	3	3	± 1	ns	ns	27	± 4	+	ns	13	± 4	ns	ns					
	4	5	± 2	ns	ns	22	± 4	+	ns	8	± 3	ns	ns					
	5	6	± 2	ns	ns	27	± 5	+	ns	7	± 2	ns	ns					
	6	4	± 1	ns	ns	40	± 6	+	ns	8	± 3	ns	ns					
	C1	3	± 2		ns	58	± 4		x	8	± 3		ns					
	C2	3	± 1	ns		33	± 7	+		9	± 2	ns						
Pr	ns	c			**	a			ns	b								

Tratamientos: 1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM; 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM; 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM; 4: semana del ERP-AS 0,5 mM; 5: semana del ERP-AS 1,0 mM; 6: semana del ERP-AS 2,0 mM; C1: Control 1 recolección normal; C2: Control 2 recolección con retención de pase; ns: no significativo; * y **: indica diferencias significativas al 5% (Pr < 0,05) y al 1% (Pr < 0,01), respectivamente; ^a: Según la prueba de F para datos originales; ^b: Según la prueba de F para datos transformados; ^c: Según la prueba de X² para datos no normales; †: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 (α=0,05); x: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 (α =0,05).

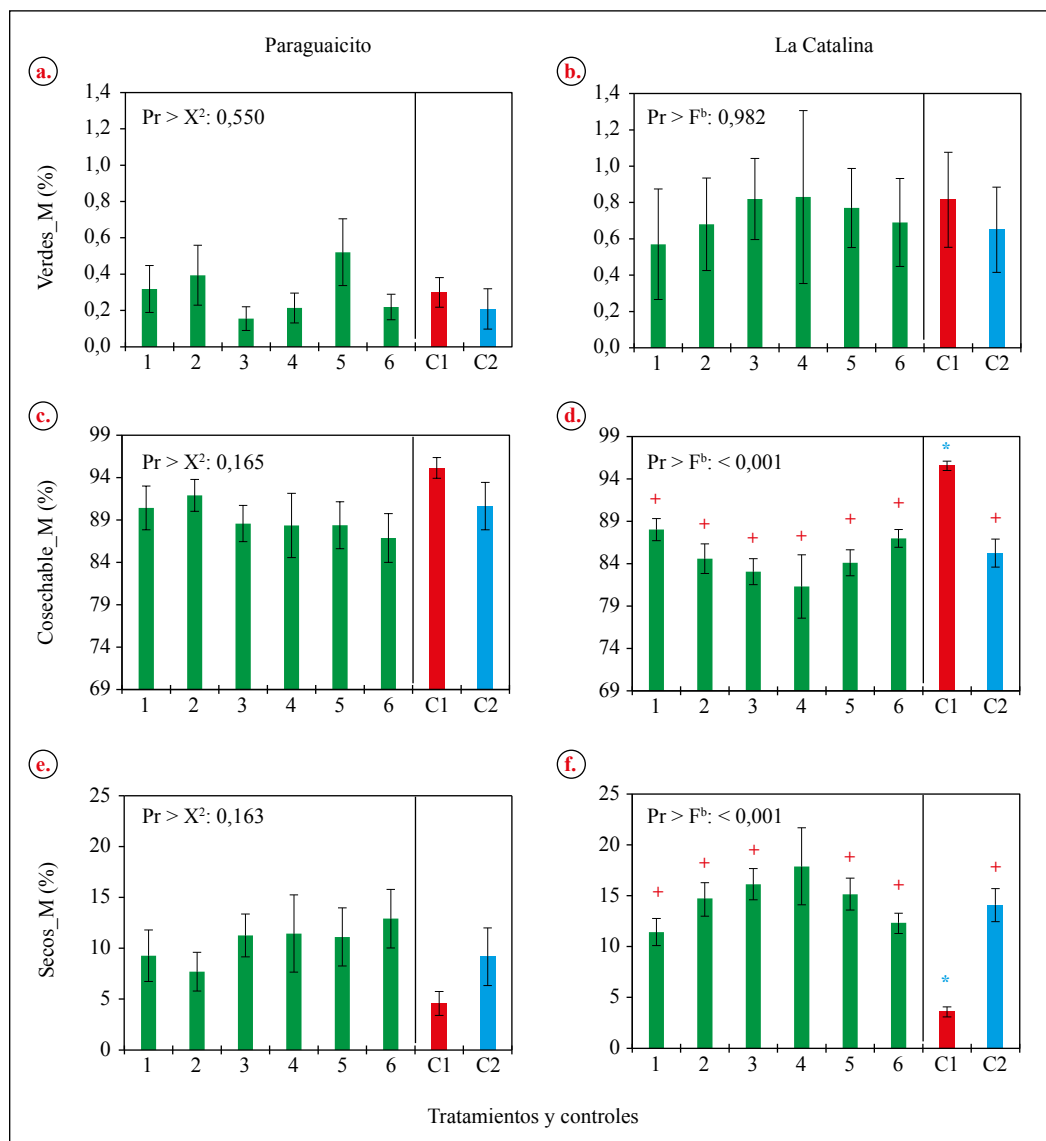


Figura 3. Porcentaje de frutos verdes (Verde_M) [a, b], cosechables (Cosechable_M) [c, d] y secos (Secos_M) [e, f] en muestra de 1,0 kg de café variedad Castillo®, para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1.0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con retención de pase) en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales. $Pr > F^a$: Significancia de la prueba de F para datos originales. $Pr > F^b$: Significancia de la prueba de F para datos transformados. $Pr > X^2$: Significancia de la Prueba de X^2 para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ($\alpha=0,05$). *: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ($\alpha=0,05$).

Tabla 3. Porcentaje de frutos pintones (Pintones_M), maduros (Maduros_M) y sobre-maduros (Sobre-maduros_M) en muestra de 1,0 kg de café variedad Castillo®, para seis tratamientos y dos controles, en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. Los valores en la tabla corresponden a las medias $\pm$ error estándar de los valores originales.

Loc.	Tratamiento / Control	Pintones_M			C1	C2	Maduros_M			C1	C2	Sobre-maduros_M			C1	C2
Paraguaicito	1	4	$\pm$	1	+	ns	59	$\pm$	5	ns	ns	27	$\pm$	3	+	ns
	2	9	$\pm$	2	ns	ns	53	$\pm$	4	ns	ns	30	$\pm$	3	+	ns
	3	10	$\pm$	3	ns	ns	56	$\pm$	5	ns	ns	23	$\pm$	3	+	ns
	4	7	$\pm$	3	ns	ns	50	$\pm$	6	ns	ns	32	$\pm$	3	+	ns
	5	6	$\pm$	1	+	ns	51	$\pm$	4	ns	ns	32	$\pm$	3	+	ns
	6	7	$\pm$	2	ns	ns	58	$\pm$	3	ns	ns	22	$\pm$	2	+	ns
	C1	19	$\pm$	2		ns	66	$\pm$	3		ns	10	$\pm$	2		x
	C2	9	$\pm$	2	ns		54	$\pm$	5	ns		28	$\pm$	3	+	
Pr		**	c				ns	a				**	a			

Continúa...

...continuación.

Loc.	Tratamiento / Control	Pintones_M			C1	C2	Maduros_M			C1	C2	Sobre-maduros_M			C1	C2
La Catalina	1	13	±	1	ns	ns	49	±	4	+	ns	26	±	3	+	ns
	2	11	±	1	ns	ns	53	±	3	+	ns	21	±	2	ns	ns
	3	12	±	1	ns	ns	50	±	3	+	ns	22	±	2	+	ns
	4	11	±	2	ns	ns	47	±	3	+	ns	23	±	3	+	ns
	5	12	±	1	ns	ns	50	±	2	+	ns	23	±	1	+	ns
	6	11	±	1	ns	ns	56	±	2	+	ns	20	±	2	ns	ns
	C1	14	±	2		ns	70	±	2		x	12	±	1		x
	C2	10	±	1	ns		48	±	3	+		26	±	3	+	
Pr		ns			a		**			a		**			a	

Tratamientos: 1: una semana antes ERP - AS 0,5 mM; 2: una semana antes ERP - AS 1,0 mM; 3: una semana antes ERP - AS 2,0 mM; 4: semana del ERP - AS 0,5 mM; 5: semana del ERP - AS 1,0 mM; 6: semana del ERP - AS 2,0 mM; C1: Control 1 recolección normal; C2: Control 2 recolección con retención de pase; ns: no significativo; * y **: indica diferencias significativas al 5% (Pr < 0,05) y al 1% (Pr < 0,01), respectivamente; a: Según la prueba de F para datos originales; b: Según la prueba de F para datos transformados; c: Según la prueba de X² para datos no normales; +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ($\alpha=0,05$); x: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ($\alpha=0,05$).

debido a que los frutos recolectados en el primer pase del C1 pesaron un 47% menos que aquellos de la segunda recolección, hecho que influyó en la menor pérdida de agua y materia seca sobre la masa de los frutos maduros en los tratamientos con AS y el C2. De esta forma, una menor cantidad de frutos maduros perdieron peso desde la primera hasta la segunda recolección, y como resultado de esto las diferencias no fueron apreciables (Figura 4 a). Así como, la mayor

carga de frutos en la segunda recolección de Paraguaicito podría ser la causa de que la diferencia esperada entre el C1 y el C2 en la variable Maduros_M de Paraguaicito no se hayan presentado (Tabla 3). La calidad sensorial expresada como puntaje total SCA no mostró diferencias significativas entre tratamientos y controles en cuanto a la calidad sensorial en ninguna de las localidades, para las muestras sin defectos en taza (Figura 4 c, d).

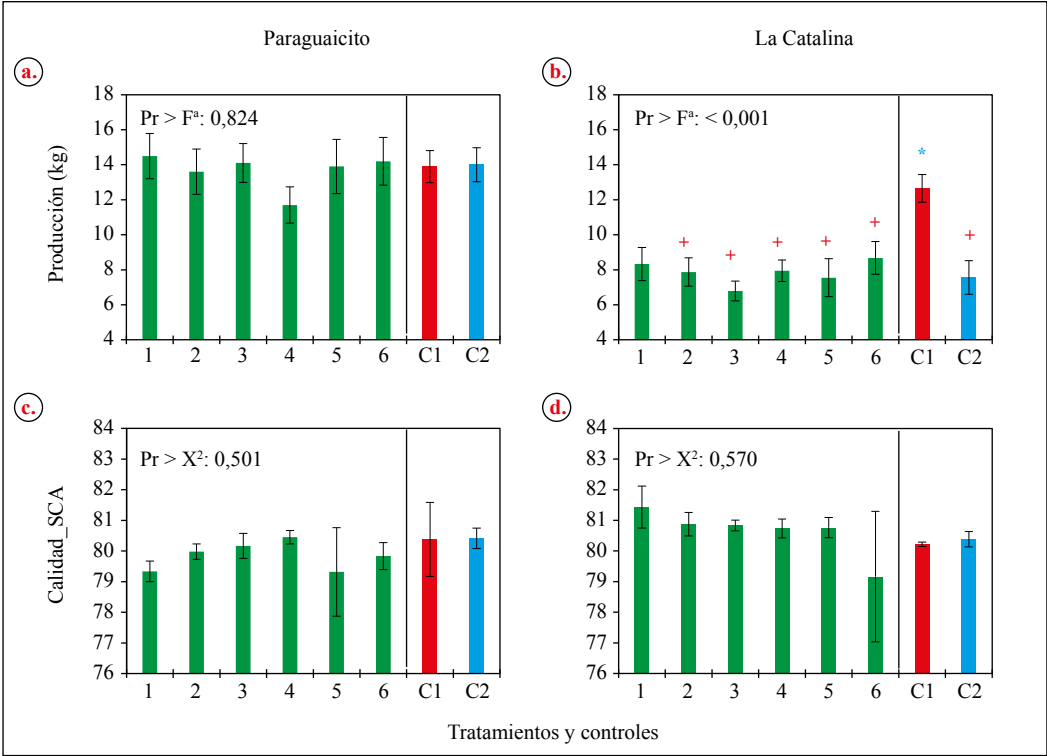


Figura 4. Producción por parcela y puntaje para la calidad de la muestra según la escala SCA de café variedad Castillo® para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1,0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con tratamientos) en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales. Pr > F^a: Significancia de la prueba de F para datos originales. Pr > F^b: Significancia de la prueba de F para datos transformados. Pr > X²: Significancia de la prueba de X² para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ($\alpha=0,05$). *: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ($\alpha=0,05$).

DISCUSIÓN

El nulo efecto del AS respecto a los controles (C1 y C2) en Paraguaicito (Figura 2 a, c, e, g) sería en parte explicado por el acelerado desarrollo fenológico de los frutos a nivel de ramas, a causa de la mayor temperatura durante el periodo de evaluación (Figura 1 a); este hecho se evidencia con un mayor porcentaje de frutos caídos en promedio para Paraguaicito (media= 21%) con respecto a La Catalina (media= 15%), donde la temperatura fue menor (Figura 1 b), además de una menor proporción de frutos verdes en Paraguaicito (media= 11%) en relación con La Catalina (media= 19%). De acuerdo con Silva et al. (2017), el incremento en la temperatura disminuyó la fuerza de desprendimiento de los frutos verdes y maduros, debido al estímulo que tiene este factor en la producción de etileno, y como resultado la abscisión de frutos se incrementó. El efecto de la temperatura también pudo haber influido en los resultados obtenidos en las muestras de 1,0 kg para Paraguaicito, donde tampoco se detectaron diferencias significativas (Figura 3 a, c, e). Además, en este sitio se observó que la masa recolectada en el primer pase del C1 fue menor que la recolectada en el segundo, indicando que una menor cantidad de frutos fue afectada por el AS en Paraguaicito.

En el caso de La Catalina, las aplicaciones de AS de los tratamientos 2 y 6 presentaron un efecto reducido sobre el desarrollo, aunque detectable en la proporción de los frutos cosechables a nivel de ramas, puesto que no llegaron a presentar diferencias estadísticas con el control de recolección normal (C1) (Figura 2 d). Por otra parte, la proporción de frutos secos a nivel de ramas en el tratamiento 6 no presentó diferencias con el C1, mientras que ambos fueron estadísticamente inferiores al control de recolección con retención de pase (C2) (Figura 2 f). Lo anterior implica que, el

desarrollo de los frutos fue retardado, y como resultado, se aprecia un ligero incremento de los frutos cosechables (Figura 2 d) y de menores proporciones de frutos en estados más senescentes (frutos secos y caídos) a nivel de rama (Figura 2 f). Aunque para los frutos caídos no se encontraron diferencias estadísticas, el tratamiento 6 exhibe una menor proporción respecto al control de recolección con pase retenido (C2). La concentración de AS del tratamiento 2 ($1,0 \text{ mmol L}^{-1}$) se ha reportado previamente retardando el desarrollo de los frutos de café durante precosecha a nivel de muestra (Unigarro et al., 2018) y retardando el cambio de color en *Malus domestica* Borkh (manzano) “Golden Delicious” (Berlanga et al., 2011) y *Prunus armeniaca* L. (albaricoque) (Cui et al., 2020). Por otra parte, la concentración de AS del tratamiento 6 ($2,0 \text{ mmol L}^{-1}$) ha mejorado el índice de calidad general y reducido la producción de etileno en fresa, cuando se aplicó durante el desarrollo del fruto y en poscosecha (Babalar et al., 2007). No obstante, lo observado a nivel de ramas solo mostró concordancia a nivel de muestra con una leve reducción de frutos sobremaduros (Tabla 3), pero no con respecto a la proporción de frutos cosechables o al resto de las características de desarrollo (Figura 3, Tabla 3). Esto muy posiblemente se debe a que, a nivel de rama, el efecto de los tratamientos 2 y 6 solo fue leve (sin diferencias con C1), pero sin llegar a ser estadísticamente significativo respecto a la recolección con pase retenido (C2), hecho que no habría permitido una modificación notable en la proporción de frutos cosechables a nivel de muestra, más aún si se toma en cuenta, que las proporciones de muestra no consideran la abscisión de frutos. Adicionalmente, es importante resaltar el papel de la precipitación durante el periodo de maduración, puesto que al ser tan alta (Figura 1 b) podría haber reducido los potenciales efectos del AS. En el estudio de Unigarro et al. (2018) cuando la precipitación fue de

364 mm, durante el período de maduración, el desarrollo de los frutos en muestra de 1,0 kg no fue afectado por efecto del AS, caso que podría aplicar al presente estudio donde la precipitación fue de 379 mm (Figura 1 b).

Todo lo anterior muestra que, a pesar de encontrarse algunos efectos por parte del AS en el desarrollo fenológico de frutos a nivel de rama, las condiciones de precipitación y temperatura durante el período de maduración limitaron notablemente un efecto general sobre la masa cosechada, siempre y cuando, esta consideración se enmarque bajo la permanencia de los frutos maduros en la planta (precosecha) por más de 20 días a partir de ERP, tanto en el presente estudio como en anteriores (Unigarro et al., 2018). Puesto que cabe la posibilidad de que al reducir el tiempo de permanencia de los frutos maduros en la planta (e.i. 15 días a partir del ERP), se mejore el efecto del AS, no obstante, esto requiere ser evaluado. También debe considerarse que algunas condiciones de precipitación y temperatura podrían limitar el desempeño del AS, así como de otros inhibidores de etileno. Esto podría explicar en parte la variedad de respuestas encontradas para el acetato de potasio, otro inhibidor de etileno probado en café, que ha mostrado tanto respuestas positivas (Barbosa et al., 2011; R. A. Silva et al., 2013) como negativas (Rodrigues, 2015; Unigarro et al., 2018).

Puede concluirse que el inhibidor AS aplicado una semana antes del evento de recolección principal a una dosis de 1,0 mmol L⁻¹ (tratamiento 2) y en la semana del evento de recolección principal a una dosis de 2,0 mmol L⁻¹ (tratamiento 6) tuvo efectos sobre el desarrollo fenológico de los frutos cosechables y secos a nivel de rama; y levemente al nivel de muestra en el porcentaje de los frutos sobremaduros, pero no en el porcentaje de los frutos cosechables

para La Catalina, indicando que el efecto del AS fue limitado. En Paraguaicito tanto a nivel de rama como al de muestra, no se destaca ninguna respuesta en relación con la maduración fenológica de los frutos. En este sentido podría concluirse que, a pesar de los efectos encontrados en el presente estudio con respecto al AS sobre el desarrollo fenológico de los frutos de café a nivel de rama, no son lo suficientemente contundentes para recomendar su uso, principalmente porque su desempeño a nivel de muestra fue bajo y posiblemente afectado por las condiciones de precipitación y temperatura que ocurrieron durante la retención del pase. No obstante, esta consideración se limita a pases retenidos por más de 20 días a partir del evento de recolección principal, por ello, períodos menores de tiempo deberían ser considerados en futuros estudios. De igual manera, una prueba de concepto debería ser realizada para verificar si el AS inhibe eficientemente las rutas metabólicas de la síntesis de etileno en café. Las variables producción de café cereza y el puntaje total SCA no presentaron ninguna respuesta destacable por acción de los inhibidores.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Los autores agradecen a los colaboradores de la Disciplina de Experimentación (Mélsar Santamaría y Daniel Franco), al personal de la Disciplina de Fisiología Vegetal (Claudia Valencia, Aristóteles Ortiz y Mario Franco), al equipo de Calidad de Cenicafé (Claudia Gallego, Claudia Gómez, Luz Echeverri y Paola Calderón) y al personal de apoyo a la investigación en las Estaciones Experimentales de Paraguaicito y La Catalina, por su valiosa colaboración.

LITERATURA CITADA

- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, J. (1992). *Ethylene in Plant Biology* (2nd ed). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-03226-7>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., & Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea spp.*). *Annals of Applied Biology*, 141(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., & Khosroshahi, A. (2007). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry*, 105(2), 449–453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.021>
- Balaguera, H. E., Salamanca, F. A., García, J. C., & Herrera, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302–313. <https://doi.org/10.17584/rceh.2014v8i2.3222>
- Barbosa, D. H. S. G., Barbosa, D. S. G., Ribeiro, J. N., & Lauar, A. N. (2011). Efeito do Mathury na uniformidade de maturação do cafeeiro. 37 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6173>
- Berlanga, D. I., Guerrero, V. M., & Ornelas, J. J. (2011). Productos alternativos a la aminoetoxivinilglicina para el control de la producción de etileno en manzana 'Golden Delicious'. *Tecnociencia*, 5(2), 83–89. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/698>
- Brunner, E., Bathke, A. C., & Konietzschke, F. (2018). *Rank and Pseudo-Rank Procedures for Independent Observations in Factorial Designs: Using R and SAS*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02914-2>
- Camayo, G. C., Chaves, B., Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Revista Cenicafe*, 54(1), 35–49. <http://hdl.handle.net/10778/264>
- Chamkha, M., Cathala, B., Cheynier, V., & Douillard, R. (2003). Phenolic Composition of Champagnes from Chardonnay and Pinot Noir Vintages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10), 3179–3184. <https://doi.org/10.1021/jf021105j>
- Cui, K., Shu, C., Zhao, H., Fan, X., Cao, J., & Jiang, W. (2020). Preharvest chitosan oligochitosan and salicylic acid treatments enhance phenol metabolism and maintain the postharvest quality of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 267, 109334. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109334>
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2010). Coffee: Environment and Crop Physiology. En F. DaMatta (Ed.), *Ecophysiology of tropical tree crops* (pp. 181–216). Nova Science Publishers.
- Davies, C., & Böttcher, C. (2014). Other hormonal signals during ripening. En P. Nath, M. Bouzayen, A. K. Mattoo, & J. C. Pech (Eds.), *Fruit ripening: Physiology, signalling and genomics*. (pp. 202–216). CABI, Oxfordshire.
- Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: Psilanthus (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffea. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167(4), 357–377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Dias, R. E. B. A., Silva, F. M. da, Cunha, J. P. B., Avelar, R. C., & Fernandes, F. C. (2014). Eficiência da colheita mecanizada do café com uso do inibidor de biossíntese de etileno. *Coffee Science*, 9(4), 527–536. <http://www.coffeescience.ufra.br/index.php/Coffeescience/article/view/746>
- El-Sharkawy, I., Kim, W. S., El-Kereamy, A., Jayasankar, S., Svircev, A. M., & Brown, D. C. W. (2007). Isolation and characterization of four ethylene signal transduction elements in plums (*Prunus salicina* L.). *Journal of Experimental Botany*, 58(13), 3631–3643. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm213>
- Elwan, M. W. M., & El-Hamahmy, M. A. M. (2009). Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 521–526. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.07.001>
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>

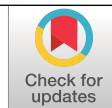
- Federación Nacional de Cafeteros. (2020). *Estadísticas Cafeteras*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic Regulation of Fruit Development and Ripening. *The Plant Cell*, 16(suppl_1), S170–S180. <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, Mohd., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- International Coffee Organization. (2019). *Trade Statistics Tables*. http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics
- Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 270–276. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800058>
- Lashermes, P., Andrade, A. C., & Etienne, H. (2008). Genomics of Coffee One of the World's Largest Traded Commodities. En P. H. Moore & R. Ming (Eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants* (Vol. 1, pp. 203–226). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2_9
- Lelievre, J.-M., Latche, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J.-C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101(4), 727–739. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x>
- Leslie, C. A., & Romani, R. J. (1986). Salicylic acid: A new inhibitor of ethylene biosynthesis. *Plant Cell Reports*, 5(2), 144–146. <https://doi.org/10.1007/BF00269255>
- Leslie, C. A., & Romani, R. J. (1988). Inhibition of Ethylene Biosynthesis by Salicylic Acid. *Plant Physiology*, 88(3), 833–837. <https://doi.org/10.1104/pp.88.3.833>
- Lo'ay, A. A. (2017). Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3), 227–230. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2017.04.006>
- Marín, S. M., Arcila, A., 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. *Revista Cenicafé*, 54(4), 297–315. <http://hdl.handle.net/10778/254>
- Marzouk, H. A., & Kassem, H. A. (2011). Improving yield, quality, and shelf life of Thompson seedless grapevine by preharvest foliar applications. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 425–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.013>
- Pérez-Llorca, M., Muñoz, P., Müller, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Biosynthesis, Metabolism and Function of Auxin, Salicylic Acid and Melatonin in Climacteric and Non-climacteric Fruits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00136>
- Pereira, L. F. P., Galvão, R. M., Kobayashi, A. K., Cação, S. M. B., & Vieira, L. G. E. (2005). Ethylene production and acc oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(3), 283–289. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000300002>
- Périn, C., Gomez-Jimenez, M., Hagen, L., Dogimont, C., Pech, J.-C., Latché, A., Pitrat, M., & Lelièvre, J.-M. (2002). Molecular and Genetic Characterization of a Non-Climacteric Phenotype in Melon Reveals Two Loci Conferring Altered Ethylene Response in Fruit. *Plant Physiology*, 129(1), 300–309. <https://doi.org/10.1104/pp.010613>
- Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit Ripening Phenomena—An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Puerta, 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>
- Rodrigues, J. P. B. (2015). *Efeito do mathurytm e ethephon na maturação dos frutos e qualidade da bebida de café* [Tesis de maestría]. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11284>
- Sabin, T. E., & Stafford, S. G. (1990). *Assessing the need for transformation of response variables* (Número 20; Special publication, p. 31). Forest Research Laboratory, Oregon State University. <http://hdl.handle.net/1957/32209>
- Ságio, S. A., Barreto, H. G., Lima, A. A., Moreira, R. O., Rezende, P. M., Paiva, L. V., & Chalfun-Junior, A. (2014). Identification and expression analysis of ethylene biosynthesis and signaling genes provides insights into the early and late coffee cultivars ripening pathway. *Planta*, 239(5), 951–963. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2026-1>

- Ságio, S. A., Lima, A. A., Barreto, H. G., de Carvalho, C. H. S., Paiva, L. V., & Chalfun-Junior, A. (2013). Physiological and molecular analyses of early and late *Coffea arabica* cultivars at different stages of fruit ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(11), 3091–3098. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1342-6>
- Sanz-Urbe, 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>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4218>
- SAS Institute Inc. (2018). *SAS/STAT® 15.1 User's Guide*. SAS Institute Inc.
- Scudeler, F., Raetano, C. G., Araújo, D. de, & Bauer, F. C. (2004). Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. *Bragantia*, 63(1), 129–139. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000100013>
- Serna, L., Torres, L. S., & Ayala, A. A. (2012). Effect of pre- and postharvest application of 1-methylcyclopropene on the maturation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Vitae*, 19(1), 49–59.
- Shafiee, M., Taghavi, T. S., & Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.004>
- Da Silva, F. C., Da Silva, F. M., Sales, R. S., Ferraz, G. A., & De Barros, M. M. (2017). Variáveis meteorológicas e da umidade do solo na força de desprendimento dos frutos do café. *Coffee Science*, 12(4), 480–485. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1351>
- Silva, R. A., Matsumoto, S. N., Marques, G., de Oliveira, P. N., & de Oliveira, L. S. (2013). Efeito do Mathury® na maturação de frutos de café variedade Catuaí Vermelho. *Cultivando o Saber*, 6(3), 66–74.
- Srivastava, M. K., & Dwivedi, U. N. (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158(1–2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00304-6)
- Unigarro, C. A., Flórez, C. P., Oliveros, C. E., & Cañón, M. (2018). Efecto de cuatro inhibidores de etileno en la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante precosecha. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 500–507. <https://doi.org/10.17584/rchh.2018v12i2.7667>
- Upegui, G., & Valencia, G. (1972). Anticipación de la maduración de la cosecha de café con aplicaciones de Ethrel. *Revista Cenicafé*, 23(1), 19–26. <http://hdl.handle.net/10778/787>
- Wang, Y.-Y., Li, B.-Q., Qin, G.-Z., Li, L., & Tian, S.-P. (2011). Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.021>
- Winston, E., Houlst, M., Howitt, C., & Shepherd, R. (1992). Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(3), 401–408. <https://doi.org/10.1071/EA9920401>
- Yamane, M., Abe, D., Yasui, S., Yokotani, N., Kimata, W., Ushijima, K., Nakano, R., Kubo, Y., & Inaba, A. (2007). Differential expression of ethylene biosynthetic genes in climacteric and non-climacteric Chinese pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.010>

EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA VIABILIDAD, GERMINACIÓN Y VIGOR DE SEMILLAS DE *Coffea arabica* L.

Natalia Catalina Flechas Bejarano *, Rubén Darío Medina Rivera **

Flechas-Bejarano, N., & Medina-Rivera, R. (2021). Efecto del almacenamiento en la viabilidad, germinación y vigor de semillas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72206. <https://doi.org/10.38141/10778/72206>



El almacenamiento de semillas de café bajo condiciones idóneas de temperatura y humedad relativa mantiene por largos períodos de tiempo la calidad fisiológica para su propagación. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en la viabilidad de la semilla, de tres ambientes con temperatura y humedad relativa contrastantes, durante 14 meses de almacenamiento, mediante: la prueba topográfica con tetracloruro de tetrazolio; la germinación por la emergencia de la radícula en cajas plásticas y por conteo de plántulas en germinador de arena; y el vigor por mediciones morfométricas en plántulas de *Coffea arabica* L. var Castillo®. Para la viabilidad de la semilla, las categorías de tinción absoluta (A) y sin tinción (E) fueron diferentes, independientemente de los ambientes y del efecto de almacenamiento. La emergencia de la radícula y la germinación señalaron que la condición ambiental $10 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 7\%$ HR favorece una mayor proliferación de semillas con radículas emergentes y plántulas ($>75\%$) en los 400 y 320 días, respectivamente. En cuanto a la medición de las variables morfométricas, sólo la longitud del hipocótilo y de la raíz pivotante mostraron una tendencia descriptiva por tratamiento y mes de almacenamiento. La condición ambiental $10 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 7\%$ HR conservó la calidad fisiológica de las semillas para propagación durante cuatro meses.

Palabras clave: Tetrazolio, incubación, humedad relativa, temperatura, plántulas, almacenamiento, semilla, café.

EFFECT OF STORAGE ON THE VIABILITY, GERMINATION AND VIGOR OF SEEDS OF *Coffea arabica* L.

Storing coffee seeds under ideal conditions of temperature and relative humidity maintains the physiological quality for their propagation over extended periods of time. The objective of this research was to evaluate the effect of three environments with contrasting temperature and relative humidity on the viability of the seed, during 14 storage months, by means of: the topographic test with tetrazolium chloride; germination by the emergence of the radicle in plastic boxes and by counting the seedlings in a sand germinator; and vigor by morphometric measurements in seedlings of *Coffea arabica* L. var Castillo®. For the viability of the seed, the categories of absolute staining (A) and no staining (E) were different regardless of the environments and the storage effect. The emergence of the radicle and germination indicated that the environmental condition $10 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 7\%$ RH favors greater proliferation of seeds with emerging radicles and seedlings ($>75\%$) in the 400 and 320 days, respectively. Regarding the measurement of the morphometric variables, only the length of the hypocotyl and the taproot showed a descriptive trend by treatment and storage month. The environmental condition $10 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 7\%$ RH preserved the physiological quality of the seeds for propagation for four months.

Keywords: Tetrazolium, incubation, relative humidity, temperature, seedlings, storage, seed, coffee.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3080-4988>

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



El almacenamiento de las semillas ha sido una tecnología fundamental dentro de la producción de material de propagación, que ha demandado del conocimiento de la fisiología celular involucrada en la integridad de membranas y en la retención de la viabilidad de la semilla en interacción con la temperatura y la humedad relativa.

Las semillas de cultivos de interés agronómico, como los cereales y las legumbres, poseen una alta tolerancia a la desecación, pues mantienen la estructura celular intacta, aun cuando contienen menos de 0,1 g H₂O por gramo de peso seco (p.s.), siendo clasificadas como ortodoxas. Se ha distinguido otro grupo de semillas altamente sensibles a la deshidratación, cuyo margen de seguridad hídrica es superior a 0,25 g H₂O por gramo de peso seco, denominadas recalcitrantes, y en su mayoría provienen de especies vegetales forestales, que constantemente tienen recurso hídrico a su disposición (Marques et al., 2018). Una tercera categoría definida como intermedia, a la cual pertenecen las semillas del género *Coffea*, siendo *Coffea arabica* L. el modelo biológico (Dussert et al., 2018; Ellis et al., 1990). Estas semillas se caracterizan por tener un rango de tolerancia a la deshidratación entre 0,1-0,3 g H₂O por gramo de peso seco, lo cual se ha explicado a través de la formación de cristales de sacarosa que incrementan la viscosidad citoplasmática por la unión con glicoproteínas, manteniendo la fluidez de las membranas celulares, en ese margen de deshidratación, con la menor afectación fisiológica posible (Walters, 2015).

Se ha encontrado que las semillas de *C. arabica* de diferentes variedades son diversas en cuanto al margen de tolerancia a la deshidratación, como lo evidenciaron Huang et al. (2014), donde la variedad Blue Mountain fue la más tolerante a la desecación y al almacenamiento, en contraste con Catimor

y Jamaica, pues un contenido de humedad de 11,0%-12,0% a 15°C fue favorable para almacenar durante 18 meses las semillas de la variedad Blue Mountain.

Se han realizado más estudios que dan evidencia de la respuesta característica de la germinación de *C. arabica* donde su naturaleza intermedia radica exclusivamente en el endospermo, pues los sistemas antioxidantes de reparación, la transcripción genética parcial de las proteínas de la embriogénesis tardía (LEA), la síntesis y la regulación del ácido abscísico (ABA), la regulación hormonal de las giberelinas, etileno, brasinosteroides, en sinergia con las trigonelinas, entre otros, son consecuencia del control del endospermo, el principal responsable de la modulación metabólica, de la adquisición de la tolerancia a la desecación y la integridad de los procesos bioquímicos de germinación y desarrollo de las plántulas de café (Dussert Stéphane et al., 2006; Eira et al., 2006; Shimizu and Mazzafera, 2008; Joët et al., 2009; Farias et al., 2015; Dussert et al., 2018).

En cuanto a la emergencia de las plántulas, se ha encontrado que es dependiente de la interacción del embrión y del endospermo, en la ruptura de la dormancia (Steinbrecher & Leubner-Metzger, 2017), en respuesta a condiciones ambientales óptimas para la germinación, el cual es un proceso fisiológico crítico que está regulado hormonalmente por moléculas primarias y antagonistas entre sí, como el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (GA), además de una intrincada red hormonal secundaria, en la que se destaca la acción de las auxinas en la retención de la dormancia bajo condiciones desfavorables (Shu et al., 2016) y de las moléculas involucradas en las respuestas por estrés oxidativo que favorecen la tolerancia ante condiciones perjudiciales, modulando las interacciones bioquímicas en la emergencia (Wojtyla et al., 2016).

El vigor de la plántula se define como la culminación morfológica y fisiológica del proceso germinativo y, así mismo, es la caracterización de la calidad de la semilla y describe la velocidad, la uniformidad de la germinación y el establecimiento de plántulas fuertes en ambientes específicos (Mahender et al., 2015). El vigor de la plántula es susceptible a las condiciones ambientales a lo largo del tiempo de almacenamiento de las semillas, que en algunos casos puede incrementar la longitud del epicótilo y la longitud de la raíz pivotante por un tiempo determinado por la especie vegetal (Beedi et al., 2018), o en su defecto, como sucede en trigo, las condiciones de almacenamiento prolongados disminuyen significativamente el vigor de las plántulas, dependiendo de las técnicas de almacenamiento (Cheyed, 2019).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres condiciones ambientales contrastantes en la viabilidad de los embriones, germinación y vigor, a través de la medición de variables morfométricas de las plántulas de las semillas de *C. arabica* variedad Castillo®, teniendo en cuenta la necesidad de estimar la relación entre estas variables con el tiempo y condición de almacenamiento, para describir el potencial fisiológico y la toma de decisiones sobre el manejo de las semillas para propagación a corto y mediano plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se utilizaron 43 kg de semilla de *C. arabica* variedad Castillo®, recién beneficiada con un contenido de humedad de 11%-12%, en presentación de bolsas de 1,0 kg (~4.200 semillas) en empaque de papel.

Tratamientos. En la sede Cenicafé - Planalto se desarrolló el experimento en tres ambientes de almacenamiento, en los cuales se controló la temperatura y la humedad relativa durante

un período de 14 meses. Los tratamientos de almacenamiento fueron el TTO1 [$7,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$; $90 \pm 3,5\%$ Humedad relativa (HR)], el TTO2 [$10 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $65 \pm 7\%$ HR] y el TTO3 [$25 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$; $55 \pm 1\%$ HR]. La temperatura y humedad relativa fueron controlados con un termohigrógrafo de precisión, de cabello natural marca Lambrecht ($-20/+60^{\circ}\text{C}-0/100\%$ HR), durante el tiempo que duró el experimento. La unidad experimental estuvo conformada por 1,0 kg de semilla.

Metodología. Por cada mes y tratamiento de almacenamiento se seleccionó aleatoriamente 1,0 kg de semilla el cual, a través del método del cuadrante, se distribuyó la totalidad de las semillas en una forma circular, teniendo cuidado de formar una monocapa, el círculo resultante fue dividido en cuatro partes iguales. De cada cuadrante se obtuvo un peso de 250 g, equivalente a 1.000 semillas, aproximadamente, para realizar los ensayos de viabilidad de los embriones, conteo de la emergencia de la radícula, y germinación en arena. Para la medición del vigor a través de las variables morfométricas, se seleccionaron aleatoriamente 200 plántulas de las 1.000 semillas sembradas en germinador de arena.

Viabilidad de la semilla. La prueba de viabilidad se realizó teniendo en cuenta la metodología descrita en la normatividad internacional ISTA (2005), que consiste en identificar o clasificar el estado de un embrión de semilla de café, de acuerdo con su tinción. Se preparó una solución de tetracloruro de tetrazolio (TZ) al 0,5% en búfer de fosfato de potasio ajustado a un pH de 6,5. Se trillaron manualmente 1.000 semillas, que fueron embebidas en agua destilada durante 48 horas (Clemente et al., 2012); posteriormente, se realizó la extracción de los embriones, los cuales fueron sumergidos en la solución TZ y se incubaron por cuatro horas a 40°C . Finalmente, se realizó el conteo y la discriminación de

los patrones de pigmentación conforme a lo expuesto en la Figura 1.

Germinación. De acuerdo con el protocolo de evaluación de la germinación de semillas de Cenicafé, se trillaron manualmente 1.000 semillas, consecutivamente fueron sometidas a una desinfección con hipoclorito de sodio al 2,5% durante una hora, y posteriormente, se lavaron con abundante agua destilada. Las 1.000 semillas se sembraron en diez cajas de plástico, cuyo sustrato fue papel de germinación, y se incubaron en oscuridad a una temperatura de 25,5°C durante 30 días, con revisión periódica cada dos días. Al finalizar el período de incubación, se realizó el conteo de las semillas que mostraron una radícula de 2,0 mm, encorvada y rosada.

Emergencia de plántulas. Se sembraron 1.000 semillas en un germinador de arena, dispuestos dentro de un cuarto climatizado de la Disciplina de Fisiología Vegetal, con el manejo agronómico determinado por Cenicafé, en el Avance Técnico No. 368 (referencia bibliográfica). Las condiciones ambientales de 400 $\mu\text{mol m}^{-1}$ de fotones, fotoperíodo de 14 horas luz/ 10 horas de oscuridad, temperatura de 30/20°C y humedad relativa de 85% fueron constantes durante el desarrollo del experimento. El tiempo de incubación de las semillas fue de 120 días, al finalizar este período se hizo el conteo de las plántulas emergentes.

Vigor de la plántula. Con base en lo realizado por da Rosa et al. (2011) y Nasiro (2017), se seleccionaron 200 plántulas, se les midió el

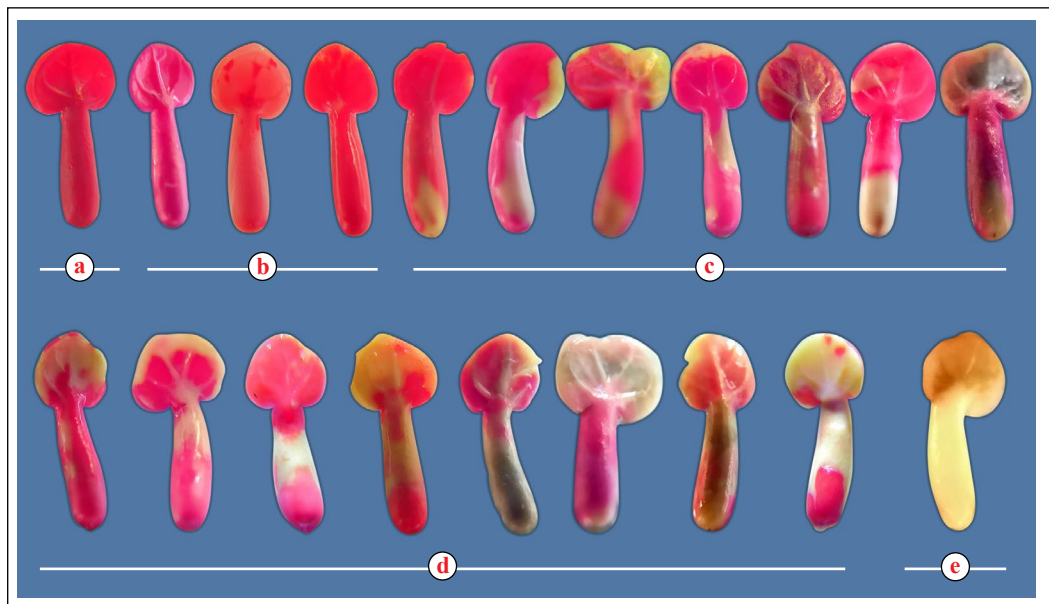


Figura 1. Discriminación de patrones de pigmentación en embriones de café teñidos con la solución TZ al 0,5%. a. Tinción completa e intensa de la totalidad del embrión; b. Embriones de color rosado y/o decoloraciones en el contorno de los cotiledones o radícula; c. Despigmentación marcada en los cotiledones, radícula o ambos sin perder la conectividad en todo el embrión; d. Parches de despigmentación que superan el 50% del área total del embrión, o en su defecto, desconecta los cotiledones de la radícula; e. Embrión sin teñir.

área de las hojas cotiledonales, a través de la captura de imágenes y posterior procesamiento usando el software ImageJ®. La longitud del hipocótilo y de la raíz pivotante se midió con una regla de $\pm 0,1$ cm de incertidumbre. El diámetro de la base del hipocótilo se midió con un calibrador pie de rey de $\pm 0,05$ mm de incertidumbre, y el contenido de biomasa se determinó a través de la medición del peso seco de la plántula con una balanza analítica AB204S Mettler posterior a un período de secado en estufa a 65°C , durante 10 días.

Análisis estadístico de resultados. Se realizó un análisis de correspondencias múltiples de las categorías de tinción obtenidas de los embriones, en relación con los tratamientos y meses de almacenamiento de los resultados obtenidos en la prueba de viabilidad. En la emergencia de la radícula y germinación de las plántulas se realizó un análisis de supervivencia con censura tipo II a través del ajuste de las curvas por el método Kaplan-Meier. Para la evaluación del efecto de los tratamientos en la respuesta de las semillas almacenadas durante 14 meses, se realizó un análisis Log-Rank con una significancia del 5%. De cada una de las variables morfométricas, se realizaron intervalos de confianza de los valores obtenidos con la prueba *t* al 5%, para aquellos intervalos que no se cruzaron con el referente (el testigo) se valoró su incremento y/o disminución descriptivamente. El análisis de la información se realizó a través de la plataforma de programación R Core Team®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Viabilidad de la semilla. En cuanto a las categorías de tinción de los embriones observadas en la Figura 1, sólo los patrones A y E manifestaron una asociación con el tiempo y tratamientos de almacenamiento, reuniendo un 70% de la variación ($\chi^2=28.146$, $g\text{I}=168$, $p=2,2 \times 10^{-16}$). En la Figura 2 se observa

la tendencia de los conteos a lo largo del tiempo en cada uno de los tratamientos, en contraste con los embriones de las semillas recién beneficiadas.

Con base en los resultados, se encontró que los criterios de tinción más informativos fueron las categorías A y E, mientras que las categorías B, C y D no aportaron información, indicando explícitamente que la categorización puede estar subestimando el grado de actividad metabólico de los embriones, ya que la actividad respiratoria de la enzima deshidrogenasa que en solución con TZ otorga una coloración roja carmesí, mostrando a través de una reacción colorimétrica la respiración del embrión y, por ende, su viabilidad. Sin embargo, no es el único componente involucrado en la activación metabólica, pues se desconoce el efecto de la estabilidad de la membrana celular que es fundamental para la comunicación hormonal y señalización molecular, y no es evaluada a través de esta prueba (Busso et al., 2015). Además, se ha encontrado en *C. arabica* que en los embriones con baja calidad fisiológica (germinación $<70\%$), las pruebas de tinción con la sal TZ no coinciden con la germinación de las semillas, de manera que la evaluación del desempeño fisiológico no puede restringirse sólo a la prueba de tetrazolio (Fantazzini et al., 2020).

En café, el material de reserva es el mayor factor que incide en el deterioro del embrión a lo largo del tiempo, evidenciado a través de las pruebas de tinción con la sal TZ, como lo reportaron Guimarães et al. (2020), dado que se encontró que entre todos los componentes del tejido de reserva como proteínas, carbohidratos y lípidos, principalmente el ácido linoleico es el responsable de la disminución de la calidad fisiológica de las semillas durante el almacenamiento, pues su peroxidación progresiva en el endospermo, desencadenó una reacción que impulsó la degradación

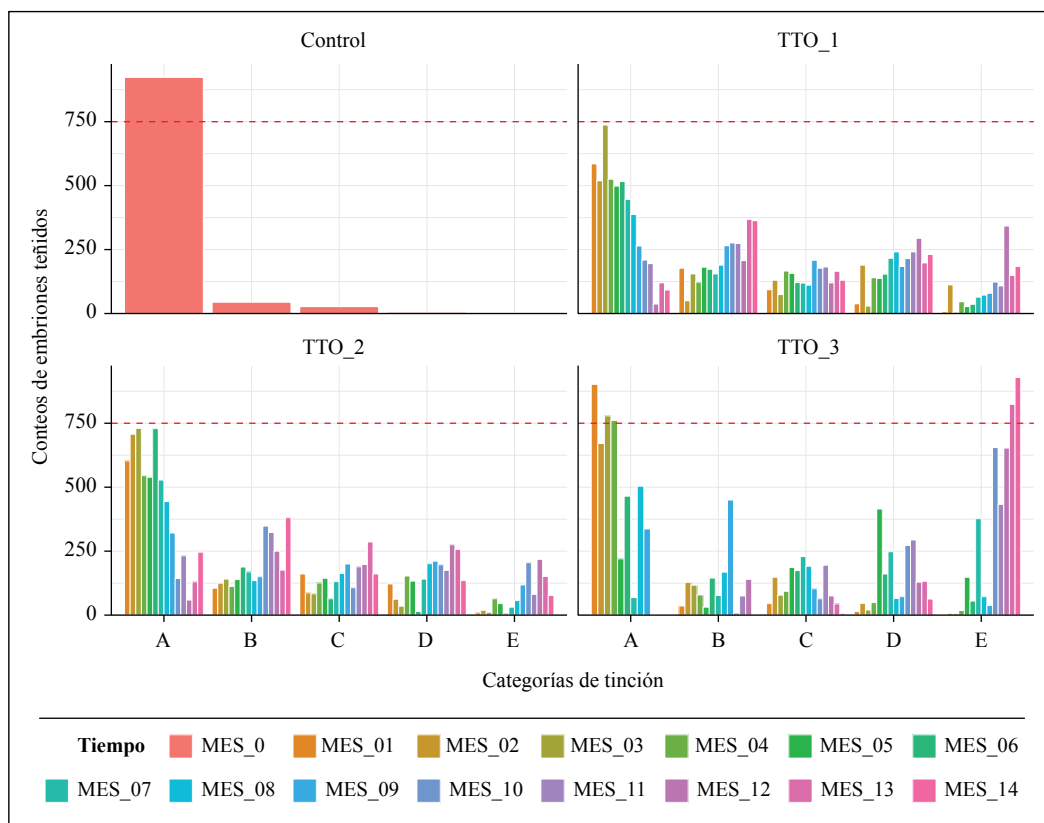


Figura 2. Frecuencia de conteos de las diferentes categorías de tinción en solución de TZ al 0,5% en los diferentes meses de almacenamiento y tratamientos, en contraste con los embriones de semillas recién beneficiadas. La línea roja horizontal indica el 75% de los conteos en general.

de los lípidos contenidos en los embriones, evidenciado a través del bajo conteo de embriones viables.

Germinación. Hay evidencia estadística que señaló diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos de almacenamiento, estimados a través de la prueba Log-rank en las curvas de supervivencia obtenidas por el método Kaplan-Meier ($\chi^2=120$, $g/l=2$, $p=2 \times 10^{-16}$), cuya tendencia se observa en la Figura 3. El tiempo medio estimado de dormancia en semillas para el TTO1 fue $311 \pm 8,81$ días, en el TTO2 de $402 \pm 5,27$ días y del TTO3 fue $243 \pm 9,78$ días.

El almacenamiento prolongado de las semillas indujo un deterioro en la capacidad germinativa para todos los tratamientos en diferente magnitud (Figura 3). De forma similar, da Rosa et al. (2011), reportan que en semillas de *C. arabica* var. Rubi con un contenido de humedad del 12%, almacenadas por nueve meses, en temperaturas de 10°C, mantuvieron un porcentaje de germinación del 80%, en contraste con semillas almacenadas a 20°C, cuyo porcentaje de germinación fue del 75%, señalando que las bajas temperaturas favorecen la emergencia radicular, mientras que las temperaturas elevadas tienen efectos nocivos en las semillas, favoreciendo un retraso en la

germinación como se observó en el TTO3, donde hubo mayor inhibición de emergencia radicular en contraste con los TTO1 y TTO2, durante el tiempo de almacenamiento.

La emergencia radicular es posible gracias a la acción de la enzima β -endo-mananasa, siendo los mananos y galactomananos de la pared celular los sustratos principales, cuya actividad es favorecida por la hidrólisis que tiene lugar en el endospermo (Ferreira et al., 2018), no obstante, se ha encontrado un incremento de la concentración de la enzima en semillas deterioradas (Freitas et al., 2017), sugiriendo que la calidad fisiológica de la germinación de las semillas de café es dependiente de la movilidad del agua a través del endospermo, pues el deterioro inhibe la actividad embrionaria durante la germinación, lo cual se ve reflejado en un bajo porcentaje de emergencia radicular a lo largo del tiempo en los tres tratamientos, y la coloración azul verdosa en almendras, al sumergirlas en solución de hipoclorito después del período de lavado.

Emergencia de las plántulas. Se encontró evidencia estadística de diferencias significativas entre los tres tratamientos de almacenamientos evaluados ($\chi^2=1930$, $gl=2$, $p=2 \times 10^{-16}$) como puede observarse en la Figura 4. El tiempo medio de dormancia calculado para el TTO1 fue de $409,24 \pm 0,97$ días, TTO2: $426,46 \pm 1,1$ días y TTO3: $374,57 \pm 0,95$ días.

Las curvas de supervivencia reportaron que las semillas almacenadas en los TTO1 y TTO2 mantuvieron su probabilidad de emergencia mayor al 75% durante los primeros seis meses, mientras que el TTO3 sólo por cuatro meses, lo cual ha sido observado en otras variedades de *C. arabica* como el cultivar 74110 de Etiopía, donde las temperaturas mayores de 15°C favorecieron el deterioro de las semillas en su almacenamiento, inhibiendo a futuro la

emergencia de plántulas vigorosas (Nasiro et al., 2017).

Vigor de la plántula. El TTO2 mostró un incremento en la longitud del hipocótilo durante los primeros ocho meses de almacenamiento, este mismo comportamiento se obtuvo en las plántulas emergentes del TTO1, en donde la disminución se observó en el séptimo mes. En el TTO3 hubo un incremento durante los primeros cuatro meses de almacenamiento, y a partir del quinto mes hubo una disminución sostenida en el tiempo hasta el décimo mes.

La longitud de la raíz fue variable para los TTO1 y TTO3, encontrándose fluctuaciones entre los meses de evaluación; en el caso del TTO2 se encontró un incremento constante de la longitud de la raíz durante los primeros ocho meses, a partir del noveno mes, los valores fueron indeterminados hasta el final de las evaluaciones.

Los valores obtenidos de diámetro del hipocótilo, contenido de materia seca y área cotiledonar oscilaron a lo largo del experimento, sin indicar una tendencia definida en el tiempo.

Pocos son los estudios que se han realizado en *C. arabica* en los que se evalúe el efecto de diferentes tratamientos de almacenamiento de las semillas en relación con variables morfométricas. Sin embargo, el estudio realizado en *C. arabica* por Nasiro (2017), describe una tendencia de disminución proporcional de las dimensiones de la longitud del hipocótilo, diámetro del hipocótilo, longitud de la raíz pivotante, área foliar y del contenido de materia seca durante los primeros seis meses de almacenamiento, independientemente de los tratamientos de temperatura (15 y 25°C). En otro estudio realizado en *C. arabica* variedad Rubi, se encontró que el área foliar,

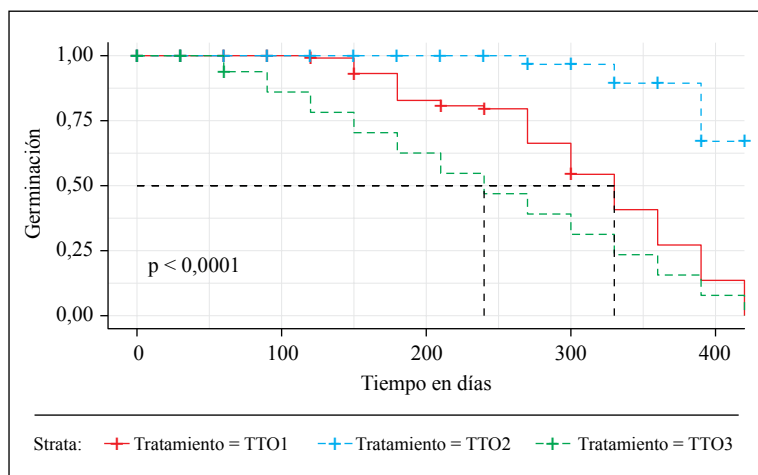


Figura 3. Curvas de supervivencia estimadas para la germinación de las “almendras” de *C. arabica* var. Castillo® en los 15 meses de evaluación. Strata señala los tratamientos de evaluación como corresponde: TTO1 color rojo, TTO2 color azul y TTO3 color verde.

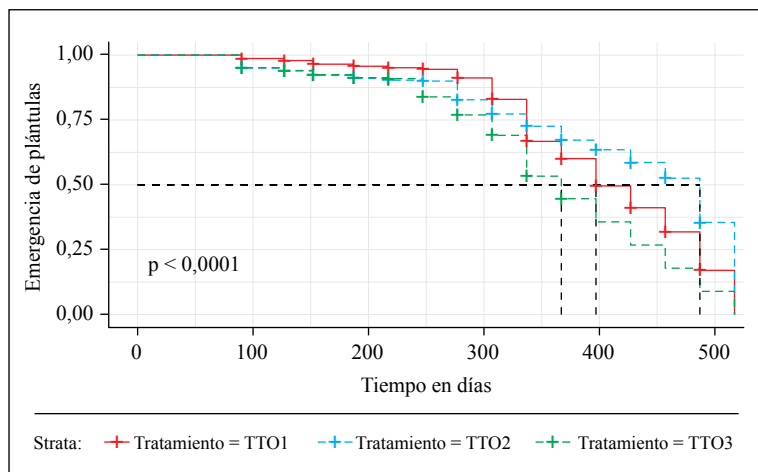


Figura 4. Curvas de supervivencia estimadas para la emergencia de las plántulas de *C. arabica* var. Castillo® en los 15 meses de evaluación. Strata señala los tratamientos de evaluación como corresponde: TTO1 color rojo, TTO2 color azul y TTO3 color verde.

la longitud del hipocótilo, el diámetro del hipocótilo y el contenido de materia seca, no presentaron variación significativa a pesar de las temperaturas evaluadas, 10°C y 20°C (da Rosa et al., 2011). Otros estudios realizados en *C. arabica* se limitan a la detección de la radícula y sus dimensiones como indicadores tempranos de vigor, dado el período de tiempo prolongado para obtener una plántula completa (Trujillo et al., 2019),

sin embargo, no discriminan entre estados fenológicos tempranos y posibles plántulas germinadas, sobrestimando la proporción de semillas vigorosas. Hasta la fecha es limitada y diversa en respuestas, la información sobre el efecto de las condiciones de almacenamiento en algunos parámetros morfológicos, limitando la comprensión de estos fenómenos y sus implicaciones en el desarrollo de plantas de café a futuro.

Tabla 1. Diagrama de medianas y desviaciones estándar ($\pm$ DE) de los parámetros morfométricos medidos en las plántulas (longitud del hipocótilo, diámetro del hipocótilo, longitud de la raíz, peso seco de la plántula [PS. Plántula] y área de los cotiledones). En color amarillo se encuentran los valores derivados de las plántulas obtenidas de semillas recién beneficiadas (control), en contraste con las plántulas emergentes de los tratamientos de almacenamiento en los 14 meses posteriores de evaluación. En color verde se resaltan los valores en los que hubo un incremento y en rojo se resaltan los valores en los que hubo disminución, en contraste con los valores control de acuerdo con la prueba t al 5% de intervalos de confianza. No se resaltan los valores iguales a los iniciales. SG indica “sin germinación”. N=4.200.

Parámetros	Ttos	Mes_0	Mes_1	Mes_2	Mes_3	Mes_4	Mes_5	Mes_6	Mes_7	Mes_8	Mes_9	Mes_10	Mes_11	Mes_12	Mes_13	Mes_14
Longitud del hipocótilo (cm)	TTO1	5,80	8,00	8,00	7,00	8,00	8,00	7,50	6,50	6,50	4,50	5,50	4,50	5,50	5,20	SG
	$\pm$ DE	0,67	1,24	1,09	1,00	1,24	1,16	1,48	0,93	0,93	0,57	0,75	0,63	1,51	0,54	SG
	TTO2	5,80	7,50	7,50	7,00	6,50	8,00	7,50	6,25	8,00	5,50	5,50	5,50	5,50	5,84	SG
	$\pm$ DE	0,67	1,04	1,13	1,08	0,90	1,49	1,07	1,14	1,18	0,98	0,67	1,07	1,64	0,68	SG
	TTO3	5,80	7,00	8,50	6,00	7,00	5,50	5,00	4,50	5,50	4,00	3,50	SG	SG	SG	SG
	$\pm$ DE	0,67	0,98	1,22	0,94	0,90	0,79	1,20	0,87	0,93	0,76	0,80	SG	SG	SG	SG
Diámetro del hipocótilo (mm)	TTO1	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,21	SG
	$\pm$ DE	0,03	1,12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	SG
	TTO2	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	SG
	$\pm$ DE	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	SG
	TTO3	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,16	SG	SG	SG	SG
	$\pm$ DE	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	SG	SG	SG	SG
Longitud de la raíz (cm)	TTO1	9,50	11,50	9,80	11,50	9,00	8,00	9,30	9,30	9,00	7,00	7,00	9,00	7,00	9,50	SG
	$\pm$ DE	1,99	2,67	2,33	2,69	1,96	1,91	2,16	2,04	1,99	1,50	1,71	2,17	2,25	1,84	SG
	TTO2	9,50	11,50	11,00	12,50	12,00	11,00	12,00	10,50	10,50	9,00	8,00	10,00	8,00	9,45	SG
	$\pm$ DE	1,99	2,45	2,36	2,56	2,45	2,31	2,33	2,33	1,98	2,36	2,03	2,35	2,15	1,93	SG
	TTO3	9,50	11,25	7,25	13,00	8,50	10,00	8,00	8,50	10,00	9,00	9,00	SG	SG	SG	SG
	$\pm$ DE	1,99	2,59	2,23	2,03	2,03	2,28	1,92	2,28	2,34	1,80	1,57	SG	SG	SG	SG

Continúa...

...continuación.

Parámetros	Ttos	Mes_0	Mes_1	Mes_2	Mes_3	Mes_4	Mes_5	Mes_6	Mes_7	Mes_8	Mes_9	Mes_10	Mes_11	Mes_12	Mes_13	Mes_14
Contenido de materia seca de la chapola (g)	TTO1	0,13	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12	0,09	0,11	0,10	0,12	0,18	SG
	±DE	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,02	0,09	0,09	0,05	0,20	SG
	TTO2	0,13	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,10	0,11	0,09	0,10	0,11	0,12	0,10	0,11	SG
	±DE	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,10	0,04	0,08	SG
	TTO3	0,13	0,10	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09	0,17	0,14	0,15	SG	SG	SG	SG
	±DE	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,07	0,06	0,04	0,07	SG	SG	SG	SG
Área cotiledones (mm ²)	TTO1	895,01	951,80	952,50	893,40	779,79	861,61	811,53	997,23	794,36	744,79	894,53	829,01	1734,27	2458,57	SG
	±DE	123,15	156,09	171,74	134,30	141,80	153,21	146,66	165,79	157,39	142,00	175,82	190,30	372,44	601,20	SG
	TTO2	895,01	944,60	912,98	846,35	797,37	722,33	786,75	759,43	763,21	847,91	897,18	871,27	1255,24	2188,94	SG
	±DE	123,15	145,71	165,40	141,46	133,49	131,90	115,40	188,11	122,22	148,37	195,55	132,69	323,00	459,41	SG
	TTO3	895,01	896,67	880,69	853,93	820,11	861,00	670,81	758,28	947,90	888,05	987,20	SG	SG	SG	SG
	±DE	123,15	204,06	118,82	139,19	161,46	173,10	114,40	118,60	159,27	33,22	177,07	SG	SG	SG	SG

Puede concluirse que:

- Los criterios de pigmentación derivados de la tinción con el cloruro de tetrazolio al 0,5%, que aportaron más información de la viabilidad de las semillas, fueron la categoría A Tinción completa e intensa de la totalidad del embrión y la categoría E Embrión sin teñir.
- El TTO2 ($10\pm 2^{\circ}\text{C}$; $65\pm 7\%$ HR) fue el ambiente que presentó mayores valores de emergencia radicular y germinación de las plántulas, durante el tiempo de evaluación.
- La emergencia de las plántulas se mantuvo sobre el 75% de germinación en el TTO1

$7,5\pm 1,2^{\circ}\text{C}$; $90\pm 3,5\%$ HR] y TTO2 [$10\pm 2^{\circ}\text{C}$; $65\pm 7\%$ HR] hasta el cuarto mes de almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Disciplina de Experimentación, en especial a Carlos Gonzalo Mejía, por su colaboración y aportes en la logística de la ejecución del experimento. A los integrantes de la Disciplina de Fisiología, por la colaboración en la ejecución de todas las evaluaciones involucradas, y en especial al doctor Ricardo Acuña por su atento acompañamiento en el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

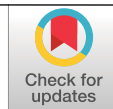
- Beedi, S., Macha, S. I., Gowda, B., Savitha, A. S., & Kurnallikar, V. (2018). Effect of seed priming on germination percentage, shoot length, root length, seedling vigour index, moisture content and electrical conductivity in storage of kabuli chickpea cv., MNK-1 (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2005-2010.
- Busso, C., Torres, Y., Ithurrart, L., & Richards, J. H. (2015). The TTC-technique might not appropriately test the physiological stage of plant tissues. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62(4), 551-556. <https://doi.org/10.1134/S1021443715040068>
- Castro, A. M., Rivillas, C. A., Serna-Giraldo, C., & Mejía, C. G. (2008). Germinadores de café: construcción, manejo de *Rhizoctonia solani* y costos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 368, 1-12. <http://hdl.handle.net/10778/4176>
- Cheyed, S. H. (2019). Field emergence and seedling vigour of bread wheat as influenced by method and longevity of storage. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50(6), 1495-1500 <https://doi.org/10.36103/ijas.v50i6.837>
- da Rosa, S. D. V. F., Carvalho, A. M., McDonald, M. B., von Pinho, E. R. V., Silva, A., P., & Veiga, A. D. (2011). The effect of storage conditions on coffee seed and seedling quality. *Seed Science and Technology*, 39(1), 151-164. <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.1.13>
- Dussert, S., Serret, J., Bastos-Siqueira, A., Morcillo, F., Déchamp, E., Rofidal, V., Lashermes, P., Etienne, H., & JOët, T. (2018). Integrative analysis of the late maturation programme and desiccation tolerance mechanisms in intermediate coffee seeds. *Journal of Experimental Botany*, 69(7), 1583-1597. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx492>
- Dussert, S., Davey, M. W., Laffargue, A., Doulbeau, S., Swennen, R., & Etienne, H. (2006). Oxidative stress, phospholipid loss and lipid hydrolysis during drying and storage of intermediate seeds. *Physiologia Plantarum*, 127(2), 192-204. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00666.x>
- Eira, M. T. S., da Silva, E. A., de Castro, R. D., Dussert, S., Walters, C., Bewley, 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>
- Ellis, R. H., Hong, T. D., & Roberts, E. H. (1990). An Intermediate Category of Seed Storage Behaviour?. *Journal of Experimental Botany*, 41(9), 1167-1174. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.9.1167>
- Fantazzini, T. B., Franco da Rosa, S. D. V., Carvalho, G. R., Liska, G. R., de Carvalho, M. L. M., Coelho, S. V. B., Cirillo, M. A., & Ribeiro, F. A. S. (2020). Correlation between historical data of the germination test and of the tetrazolium test in coffee seeds by GAMLSS. *Seed Science and Technology*, 48(2), 179-188. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.2.05>
- Farias, E. T., da Silva, E. A. A., Toorop, P. E., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. M. (2015). Expression studies in the

- embryo and in the micropylar endosperm of germinating coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seeds. *Plant Growth Regulation*, 75(2), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9960-6>
- Ferreira, V. F., Ricaldoni, M. A., Rosa, S. D. V. F. da, Figueiredo, M. A. de, Coelho, S. V. B., & Fantazzini, T. B. (2018). Endo- β -mannanase enzyme activity in the structures of *Coffea arabica* L. seeds under different types of processing and drying. *Ciência Rural*, 48(12). e20170839. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170839>
- Freitas, M. N., Rosa, S. D., Clemente, A. C. S., & Pereira, C. C. (2017). Relevance of endo- β -mannanase enzyme in coffee seed deterioration process. *African Journal of Agricultural Research*, 12(15), 1253–1258. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10949>
- Guimarães, C. C., Franco da Rosa, S. D. V., de Carvalho, M. H., Malta, M. R., & Evangelista Oliveira, R. M. (2020). Total lipid and fatty acid profiles of *Coffea arabica* endosperm and embryo tissues and their relationship to seed desiccation sensitivity. *Seed Science and Technology*, 48(2), 209–219. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.2.08>
- Huang, Y., Lan, Q. Y., Hua, Y., Luo, Y. L., & Wang, X. F. (2014). Desiccation and storage studies on three cultivars of Arabica coffee. *Seed Science and Technology*, 42(1), 60–67. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.06>
- International Seed Testing Association. (2005). *International rules for seed testing 2005*. ISTA.
- Joët, T., Laffargue, A., Salmona, J., Doulbeau, S., Descroix, F., Bertrand, B., de Kochko, A., & Dussert, S. (2009). Metabolic pathways in tropical dicotyledonous albuminous seeds: *Coffea arabica* as a case study. *The New Phytologist*, 182(1), 146–162. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02742.x>
- Mahender, A., Anandan, A., & Pradhan, S. K. (2015). Early seedling vigour, an imperative trait for direct-seeded rice: An overview on physio-morphological parameters and molecular markers. *Planta*, 241(5), 1027–1050. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2273-9>
- Marques, A., Buijs, G., Ligterink, W., & Hilhorst, H. (2018). Evolutionary ecophysiology of seed desiccation sensitivity. *Functional Plant Biology*, 45(11), 1083–1095. <https://doi.org/10.1071/FP18022>
- Nasiro, K. (2017). The Interaction Effects of Storage Condition, Storage Time and Initial Seed Moisture Content on Seedling Growth Performances of Coffee (*Coffea arabica* L.). *Food Science and Quality Management*, 70(1), 1–8. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/40238>
- 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. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 6(6), 304–310. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183083796>
- Rasband, W. (2018). *ImageJ* [Java plugins]. National Institute of Mental Health. <https://imagej.nih.gov/ij/docs/intro.html>
- RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. <http://www.rstudio.com/>
- Selmar, D., Bytof, G., & Knopp, S. E. (2008). The Storage of Green Coffee (*Coffea arabica*): Decrease of Viability and Changes of Potential Aroma Precursors. *Annals of Botany*, 101(1), 31–38. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm277>
- Shimizu M. M., & Mazzafera P. (2008). A Role for Trigonelline During Imbibition and Germination of Coffee Seeds. *Plant Biology*, 2(6), 605–611. <https://doi.org/10.1055/s-2000-16645>
- Shimizu, M. M., & Mazzafera, P. (2000). A Role for Trigonelline During Imbibition and Germination of Coffee Seeds. *Plant Biology*, 2(6), 605–611. <https://doi.org/10.1055/s-2000-16645>
- Shu, K., Liu, X., Xie, Q., & He, Z. (2016). Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
- Steinbrecher, T., & Leubner-Metzger, G. (2017). The biomechanics of seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 765–783. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw428>
- Trujillo, H. A., Gomes-Junior, F. G., & Cicero, S. M. (2019). Digital images of seedling for evaluating coffee seed vigor. *Journal of Seed Science*, 41(1), 60–68. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1204651>
- Walters, C. (2015). Orthodoxy, recalcitrance and in-between: Describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta*, 242(2), 397–406. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>
- Wojtyła, Ł., Lechowska, K., Kubala, S., & Garnczarska, M. (2016). Different Modes of Hydrogen Peroxide Action During Seed Germination. *Frontiers in Plant Science*, 7(1), 66. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00066>

GESTIÓN DE LA MANO DE OBRA Y EVALUACIÓN DE INDICADORES DE RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN COLOMBIA

Hernando García Osorio  *

García-Osorio, H. (2021). Gestión de la mano de obra y evaluación de indicadores de recolección de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72207. <https://doi.org/10.38141/10778/72207>



Para contribuir a la búsqueda de alternativas que permitan compensar la escasez de la mano de obra en la recolección de café en Colombia, se estableció en dos estaciones experimentales de Cenicafé una estrategia de gestión de la mano de obra para esta labor, asignando a diferentes parcelas del mismo tamaño, una cantidad determinada de recolectores (grupos de 1, 2, 4 y 6) para evaluar los indicadores de la recolección y establecer la relación con el rendimiento operativo (kg h^{-1}). Se registró el número de frutos maduros dejados en el árbol (eficacia), número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo (pérdidas), número de frutos verdes en la masa cosechada (calidad de la recolección) y el tiempo en realizar la labor. No se observó una relación del rendimiento operativo de cada grupo de recolectores con los indicadores de la recolección; sin embargo, se encontró que al analizar por sí sola la eficiencia en la recolección, los rendimientos promedio operativo de los recolectores en los grupos con uno, dos y seis operarios asignados por parcela, fueron estadísticamente mayores al rendimiento promedio nacional de la recolección de café ($11,8 \text{ kg h}^{-1}$), indicando que grupos de uno o dos recolectores podrían llegar a recolectar la misma cantidad de café que grupos de hasta seis operarios por parcela. Este resultado muestra la posibilidad de establecer estrategias para la cosecha de café con pocos recolectores y adoptar conjuntamente los nuevos sistemas de recolección generados por Cenicafé, ante escenarios de escasez de mano de obra.

Palabras clave: Caficultura, café, Colombia, estrategias, rendimiento, recolectores.

WORKFORCE MANAGEMENT AND EVALUATION OF COFFEE HARVEST INDICATORS IN COLOMBIA

To contribute to the search for alternatives that make it possible to compensate for workforce shortage in coffee harvesting in Colombia, a workforce management strategy for coffee harvest was employed in two Cenicafé experiment stations. Different plots of the same size were assigned to a certain number of pickers (groups of 1, 2, 4 and 6) to evaluate the collection indicators and to establish the relationship with operational performance (kg h^{-1}). The number of ripe fruits left on the tree (efficiency), number of ripe and green fruits left on the ground (losses), number of green fruits in the harvested mass (harvest quality) and the time to carry out the work were recorded. No relationship was observed between the operational performance of each group of pickers with the picking indicators. However, the analysis of the harvesting efficiency alone showed that the average operational yields in the groups of 1, 2 and 6 pickers assigned per plot, were statistically higher than the national average yield of coffee harvesting (11.8 kg h^{-1}), which indicates that groups of 1 or 2 pickers could collect the same amount of coffee as groups of up to 6 operators per plot. This result shows the possibility of establishing strategies for coffee harvesting with few pickers and jointly implement new picking systems developed by Cenicafé in workforce shortage scenarios.

Keywords: Coffee growing, coffee, Colombia, strategies, performance, pickers.

* Auxiliar de Investigación. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-5092-6341>



Una de las principales problemáticas estructurales que enfrenta el sector cafetero colombiano es la escasez de mano de obra para la recolección y su impacto sobre los costos de producción (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC, 2017). Mejores condiciones de pago por su labor, seguridad social, buen trato (alimentación y hospedaje adecuados) y otras variables ambientales, están entre las razones por las que los recolectores migran del campo a la ciudad, buscando otros frentes de trabajo y mejores fuentes de ingresos (Castaño, 2010). Coyunturalmente, la llegada de inmigrantes que han estado dispuestos a trabajar para obtener un ingreso, ha atenuado el fenómeno de encarecimiento de la mano de obra para la recolección (FNC, 2017); sin embargo, los caficultores colombianos demandan estrategias para suplir esa fuerza laboral, sin la cual la caficultura colombiana perdería competitividad en el contexto mundial.

Frente al anterior panorama, el LXX Congreso Nacional Cafetero (FNC, 2008), encomendó a la Federación y específicamente al Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, dar prioridad a la implementación de nuevas investigaciones en recolección de café y generar tecnologías que permitan suplir y racionalizar la mano de obra en la cosecha, dada la importancia que tiene esta actividad en los costos de producción.

Vélez et al. (1999), con la presentación de los resultados de la investigación “Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual de café”, iniciaron trabajos tendientes a disminuir los costos de recolección en la finca. Con este estudio se aportaron los primeros conocimientos sobre la dinámica operativa del proceso y se identificaron las operaciones realizadas durante las jornadas de trabajo de los recolectores, en cinco fincas, registrando el tiempo (minutos) invertido en cada una de ellas. Encontraron que las

variables que mejor representan el proceso, según el análisis multivariado, son: porcentaje de frutos maduros, porcentaje de frutos verdes y porcentaje de frutos pintones y maduros, que en su conjunto explican el indicador de la calidad en el proceso; el recorrido, el rendimiento y el tiempo de operación, que en conjunto explican el indicador de eficiencia; la proporción de frutos maduros y verdes cosechados, los cuales explican el indicador de eficacia en el proceso.

Los indicadores construidos por Vélez et al. (1999) fueron reevaluados por Montoya (2001) en el estudio “Disminución de los costos de recolección mediante la cosecha manual asistida”, de manera que se cambiaron las variables que permiten cuantificar a cada uno de ellos. De esta forma, la calidad tiene como variable asociada el porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, mientras que a la eficacia la define el número de frutos aptos para ser cosechados dejados en el árbol, y a las pérdidas y el número de frutos verdes y maduros dejados en el suelo.

Este trabajo contribuye a dar cumplimiento al precepto dejado por el Congreso Nacional Cafetero, por cuanto mediante una estrategia administrativa de gestión de la mano de obra en la recolección de café, pretende encontrar el número mínimo de operarios por grupo que, con los mejores indicadores y el mejor rendimiento operativo aporte a la disminución de los costos de recolección y a la sostenibilidad de la caficultura colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante la cosecha principal de café entre octubre y diciembre de 2016, en dos Estaciones Experimentales de Cenicafe: Naranjal, ubicada en la vereda La Floresta del municipio de Chinchiná (Caldas), Latitud 04°59'N, Longitud 75°39'O, a 1.400 m

de altitud; y La Catalina, ubicada en la vereda Morelia del municipio de Pereira (Risaralda), Latitud 4°45'N, Longitud 75°44'O, a 1.310 m de altitud.

En cada Estación Experimental se seleccionaron cuatro lotes, así: en La Catalina, sobre terreno ligeramente inclinado (pendientes de 3% al 7%), se encontraron lotes con 1.319, 929, 1.369 y 1.146 árboles en segunda cosecha, permitiendo adecuar parcelas de 15 surcos, para obtener un número efectivo de 540, 722, 584 y 722 árboles por parcela, respectivamente (Tabla 1).

En Naranjal, sobre terrenos entre ligeramente inclinados (pendientes de 3% al 7%) y fuertemente inclinados (pendientes de 12% al

25%), se encontraron lotes con 980, 660, 660 y 840 árboles en tercera cosecha, permitiendo adecuar parcelas de 13 surcos, para obtener un número efectivo de 590, 540, 600 y 600 árboles por parcela, respectivamente (Tabla 2).

Asignación de grupos de recolectores. Se rotularon las parcelas de A hasta D, en cada estación, y luego se asignó aleatoriamente el número de recolectores a trabajar por parcela (Tabla 3).

Recolección de café en las parcelas. La recolección se realizó en los picos de cosecha de las dos estaciones, de manera que una semana después del inicio del pico de cosecha en la Estación Naranjal se inició en la Estación La Catalina, alternándose la toma de información

Tabla 1. Características de los lotes evaluados en La Catalina.

Nombre Lote	Variedad	Edad años	Distancia de siembra (m)	Árboles efectivos	Tallos por sitio	Densidad (sitios/ha)	Área m²	Área (ha)
91-2	Castillo®	3	1 x 1	540	2	10.000	2.767	0,28
Aguacate	Colombia	3	2 x 1	722	2	5.000	2.149	0,21
Canephora				584	1		1.965	0,20
91-1	Castillo®	3	1 x 1	722	2	10.000	2.512	0,25

Tabla 2. Características de los lotes evaluados en Naranjal.

Nombre Lote	Variedad	Edad años	Distancia de siembra (m)	Árboles efectivos	Tallos por sitio	Densidad (sitios/ha)	Área m²	Área (ha)
2-1	Colombia	4	1 x 1	590	1	10.000	1.667	0,17
2-2				540			924	0,09
2-3				600			933	0,09
2-4				600			1.096	0,11

entre las dos estaciones para obtener así, seis observaciones (repeticiones), por grupo de recolectores.

Al inicio de la jornada de recolección a cada operario se le asignó aleatoriamente la parcela donde trabajar. Al final de la recolección se registró el tiempo observado en el cual se hizo la labor, los kilogramos de café cereza recolectado y para evaluar el indicador de calidad de la recolección se registró el número y peso de los frutos verdes encontrados en una muestra de un kilogramo tomado del café cereza recolectado.

Al día siguiente de terminada la recolección se evaluó la calidad de la labor, registrando: las variables número de frutos maduros dejados en el árbol y su peso para evaluar el indicador de eficacia, y el número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo y su peso, para evaluar el indicador de pérdidas. Para esta evaluación se aplicó el método de los surcos, desarrollado por Medina et al. (2015), el cual consiste en realizar un recorrido en línea recta a través de los surcos, ubicándose en el árbol central del primer surco y evaluar k árboles en cada surco, para obtener al final del recorrido de la parcela 50 árboles evaluados.

Análisis de la información. Por ser una investigación de índole exploratoria descriptiva, se estimaron promedios y error estándar para el análisis de las variables asociadas a los indicadores de calidad, eficacia, y pérdidas, y se elaboró el esquema base de exploración (Figura 1) con el cual se explicó que la ubicación de las observaciones sobre cualquiera de los cuadrantes indica descriptivamente el desempeño operativo de los recolectores, tomando como base el promedio nacional de la recolección ($11,8 \text{ k h}^{-1}$) (FNC, 2017) en el eje de las abscisas (X) y los valores máximos y mínimos permitidos para las variables de recolección en la caficultura colombiana en el eje de las ordenadas (Y).

Por ser de tipo correlacional, se estudió la existencia de algún tipo de relación mediante gráficas de distribución de observaciones entre las variables asociadas a los indicadores de la recolección y el rendimiento operativo de los recolectores. Además, mediante la prueba de t-Student, (SAS v. 9.4) se confrontó si los promedios por parcelas asociadas al número de operarios en las variables de interés, difieren de los criterios de calidad establecidos para los diferentes indicadores.

Tabla 3. Grupos de recolectores asignados por parcela en cada estación.

Estación	Nombre lote	Parcela	Recolectores asignados
La Catalina	91-2	A	1
	Aguacate	B	2
	Canephoras	C	4
	91-1	D	6
Naranjal	2-1	A	1
	2-2	B	4
	2-3	C	6
	2-4	D	2

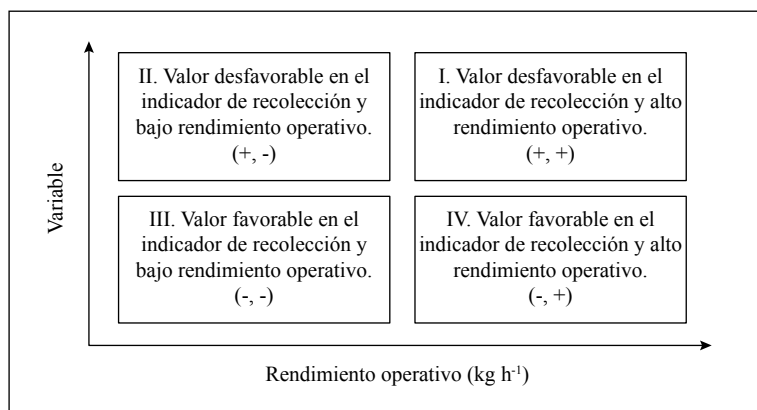


Figura 1. Esquema de análisis exploratorio de las variables asociadas a los indicadores de la recolección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis exploratorio

Calidad de la recolección

Según Puerta (2000), contenidos superiores al 2,5% en peso de café verde en la cosecha deteriora la calidad y el rendimiento del café. Luego del análisis de la variable número de frutos verdes dejados en un kilogramo de la masa cosechada, se observa que, en general, para todos los grupos de recolectores el indicador asociado a la calidad de la recolección es favorable, es decir, en promedio menos de 2,5% de café verde en la masa cosechada (Figura 2). Además, se registraron rendimientos por encima del promedio nacional de la recolección (FNC, 2017) (Cuadrante IV).

La Figura 3 no muestra una tendencia específica que indique la relación entre el porcentaje de café verde recolectado (calidad) y el rendimiento operativo de los recolectores.

En la Tabla 4 se observa el porcentaje de café verde en la masa cosechada, de acuerdo con el número de operarios asignado por parcela. El porcentaje promedio de frutos verdes en la masa cosechada para cada parcela, con diferente número de operarios, no superó el

mínimo permitido de 2,5%, de acuerdo a lo planteado por Puerta (2000), según prueba t al 5%.

Eficacia en la recolección

El análisis del número de frutos maduros dejados por árbol, muestra en la Figura 4 que, los grupos de operarios se sitúan en los cuadrantes superiores (I, II), mostrando que el indicador de eficacia es desfavorable por cuanto supera el valor recomendado por Bustillo (2007), de dejar en promedio cinco frutos maduros por árbol para mantener un adecuado manejo integrado de la broca del café. Además, se observa que, a diferencia de un grupo de cuatro recolectores, los demás estuvieron por encima del promedio nacional de recolección (11,8 kg h⁻¹) (FNC, 2017).

La distribución de las observaciones en la Figura 5 no muestra una tendencia específica que indique una relación entre el número de frutos maduros dejados en el árbol (eficacia) y el rendimiento operativo de los recolectores.

Los promedios de frutos maduros dejados en el árbol, para cada grupo de operarios, fueron mayores estadísticamente al valor permitido, según prueba t, al 5%, como se observa en la Tabla 5.

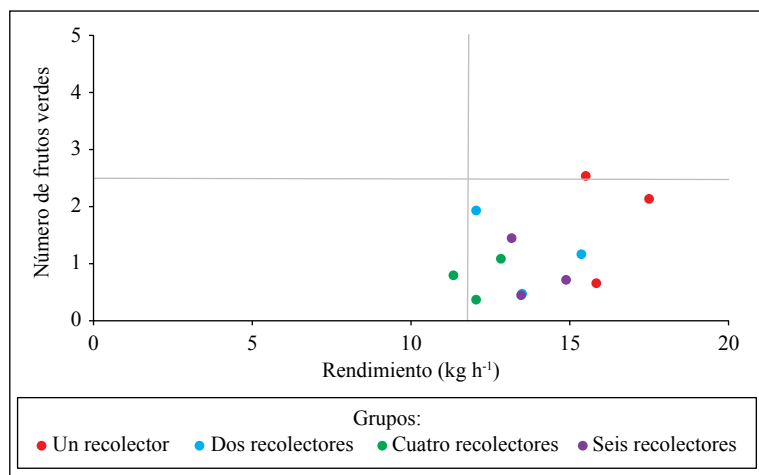


Figura 2. Análisis de la calidad de la recolección con respecto al rendimiento operativo de grupos con diferente número de operarios.

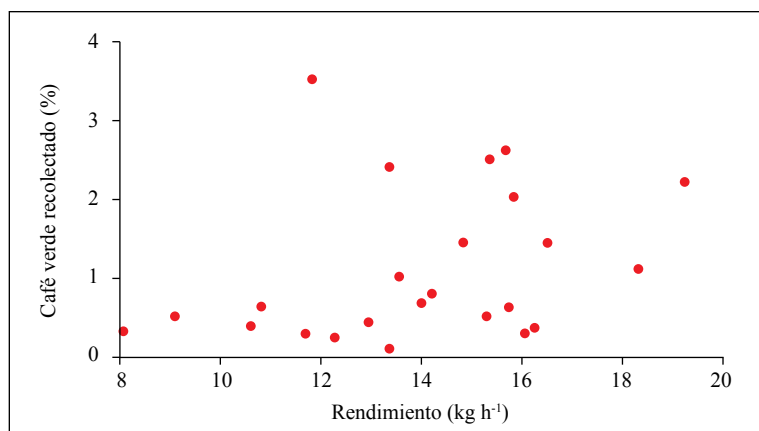


Figura 3. Porcentaje de café verde en la masa cosechada versus rendimiento operativo de los recolectores.

Tabla 4. Estadísticas descriptivas del porcentaje de café verde en la masa cosechada (calidad), de acuerdo al número de operarios asignados por parcela (N= seis evaluaciones).

Número de operarios	Café verde en la masa cosechada	
	Promedio	Error Estándar
1	1,75	0,40
2	1,13	0,34
4	0,75	0,13
6	0,83	0,15

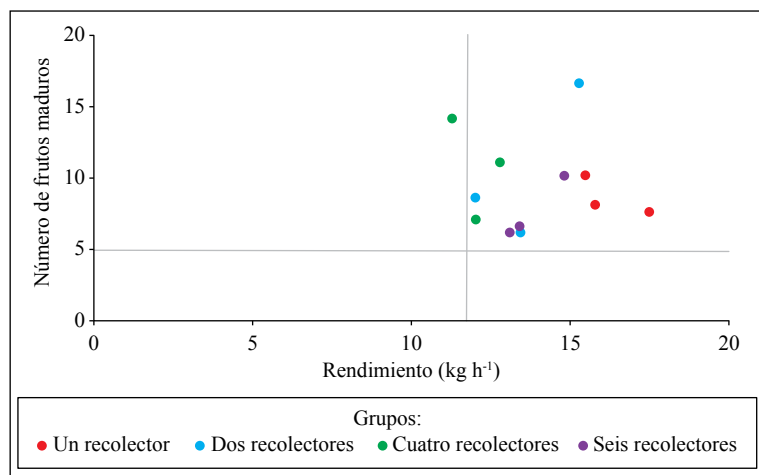


Figura 4. Análisis de la eficacia en la recolección y su dependencia del rendimiento operativo de grupos con diferente número de operarios.

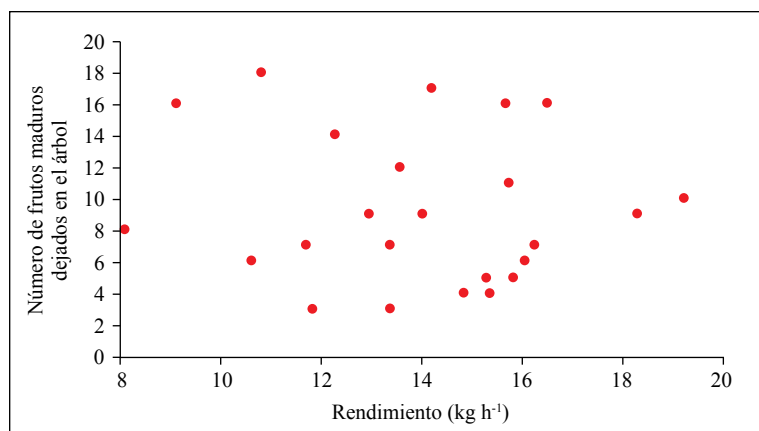


Figura 5. Número de frutos maduros dejados en el árbol vs rendimiento operativo de los recolectores.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas del número de frutos maduros dejados en el árbol, de acuerdo al número de operarios asignados por parcela (N= seis evaluaciones).

Número de operarios	Frutos maduros dejados en el árbol	
	Promedio	Error Estándar
1	8,38 *	1,73
2	10,38 *	1,72
4	10,71 *	1,08
6	7,27 *	0,44

* Promedio estadísticamente mayor a cinco frutos, según prueba t, al 5%.

Pérdidas en la recolección

“Para mantener un adecuado manejo integrado de la broca del café y, además, reducir pérdidas en la producción de al menos una arroba de café pergamino seco, en un lote con 10.000 plantas por hectárea, el valor máximo recomendado por sitio es de cinco frutos maduros y verdes dejados en el suelo”, de acuerdo con Bustillo (2007). Acorde con lo anterior, la Figura 6 indica que esta variable fue desfavorable para todos los grupos de operarios (cuadrantes I, II). Se observa que, excepto un grupo con

cuatro recolectores, los demás superaron el promedio nacional de recolección ($11,8 \text{ kg h}^{-1}$).

En la Figura 7 se observa la distribución de las observaciones entre el número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo (pérdidas) y el rendimiento operativo de los recolectores, pero no se registra una tendencia definida.

En cuanto al número medio de frutos maduros y verdes dejados en el suelo, estuvieron entre 10 y 14 frutos, registros mayores al

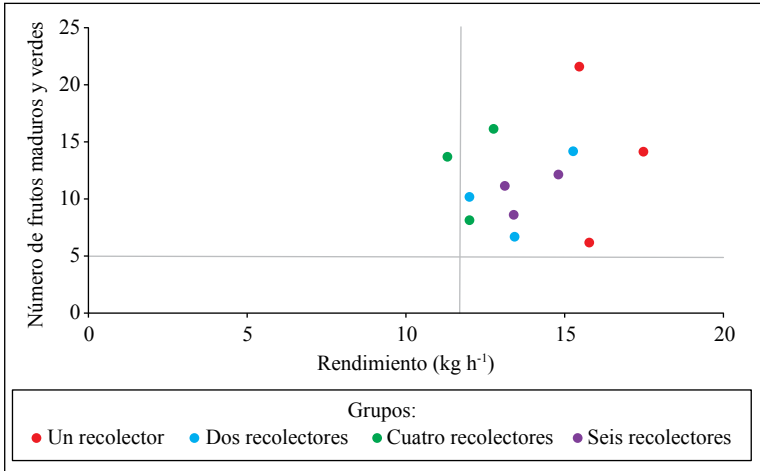


Figura 6. Análisis de las pérdidas en la recolección y su dependencia del rendimiento operativo de grupos con diferente número de operarios.

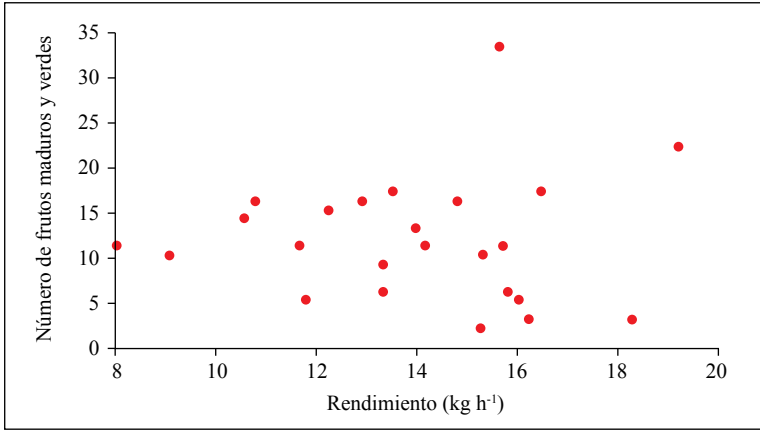


Figura 7. Número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo vs rendimiento operativo de los recolectores.

número máximo de frutos dejados en el suelo recomendados por Bustillo (2007), según prueba t al 5% (Tabla 6).

Eficiencia en la recolección

El análisis de la productividad operativa de los recolectores asociada al indicador de eficiencia, el cual se expresa mediante la relación entre la cantidad de café recolectado y el tiempo invertido en la labor, mostró variaciones en los rendimientos por operario desde 8,0 kg h⁻¹ en un grupo de cuatro recolectores, hasta 19,0 kg h⁻¹ para un operario asignado a una parcela.

El rendimiento promedio de recolección en todos los grupos de operarios fueron

superiores al rendimiento promedio general nacional; sin embargo, en la Tabla 7 se observa que el rendimiento promedio de uno, dos y seis operarios asignados por parcela, fue estadísticamente mayor al promedio general nacional de la recolección de café, según prueba t, al 5%.

Los resultados obtenidos del análisis muestran que las variables asociadas a los indicadores de la recolección y el rendimiento operativo de los recolectores son independientes. Es decir, el tiempo invertido en recolectar la parcela y los indicadores de calidad, eficacia y pérdidas, no dependen del número de operarios asignados para realizar la labor de recolección.

Tabla 6. Estadística descriptiva del número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo, de acuerdo al número de operarios asignados por parcela (N= seis evaluaciones).

Número de operarios	Número de frutos maduros y verdes dejados en el suelo	
	Promedio	Error Estándar
1	13,94 *	4,69
2	10,08 *	1,60
4	12,66 *	0,89
6	10,48 *	0,74

* Promedio estadísticamente mayor a cinco frutos, según prueba t, al 5%.

Tabla 7. Estadística descriptiva de los kilogramos de café recolectado por hora (N= seis evaluaciones).

Número de operarios	Kilogramos de café recolectados por hora (eficiencia)	
	Promedio	Error Estándar
1	16,30 *	0,82
2	13,62 *	0,69
4	12,08	0,99
6	13,82 *	0,58

* Estadísticamente mayor al promedio general nacional, según prueba t al 5%.

La carencia de relaciones específicas entre las variables asociadas a los indicadores de recolección y el rendimiento operativo de los recolectores se corrobora con lo observado en las gráficas de dispersión, en las cuales no se sugiere algún tipo de tendencia.

Los resultados del análisis de la eficiencia muestran los valores mayores de recolección por hora, en aquellos grupos formados por un operario, resultado de esperarse en este tipo de investigación, que encuentran respaldo en los trabajos que desde la perspectiva antropológica se han realizado entre poblaciones de recolectores. Según Castaño (2017), sus observaciones en el campo han identificado en los recolectores actitudes positivas para responsabilizarse solos de la recolección de un lote de café. Además, afirma que “a pesar de los recolectores trabajar en cuadrillas no trabajan en equipo y prefieren en estos casos el trabajo individual”.

En consecuencia, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2017) encontró que, “sin importar la región o el género, la labor de recolección se considera fundamentalmente una actividad individual, cerca del 70% de los recolectores de café encuestados nunca ha trabajado en asoció con otros, algunos porque desconfían de los demás y creen que ganan más dinero solos, pero la gran mayoría de ellos (57,8%) porque ni siquiera lo han intentado”.

Lo anterior llevaría a considerar que se replanteara un cambio en la forma de recolección tradicional con canasto plástico, en la cual se asignan grupos numerosos de personas (cuadrillas) a lotes de café guiados por una bandera y supervisados por un capataz, por estrategias de aprovechamiento óptimo del recurso humano y ejecución de prácticas reales de trabajo en equipo en la recolección de café, como:

1. La adopción de sistemas que incluyan el uso de uno o varios métodos de recolección (lonas, canasto, dispositivos, máquinas, entre otros) en las cuales se requiere de destrezas específicas y trabajo coordinado de un número pequeño de personas que conforman equipos, quienes deben extender lonas al piso, desplazarse en el lote, derribar café y recoger, obteniendo mayores cantidades de café al final de la jornada.
2. La asignación de uno o máximo dos recolectores con los mayores rendimientos de recolección por jornal a parcelas que no justifican la recolección con otros métodos por su tamaño o por difícil acceso con máquinas.
3. La asignación de uno o máximo dos recolectores con los mayores rendimientos de recolección por jornal durante los pases no pico, a las parcelas que se van a acceder con otros métodos durante los pases pico de recolección.

La adopción de opciones como las mencionadas o alternativas que se deriven de estas, aportan a la solución del problema de escasez de mano de obra en épocas de cosecha, además, entregando al caficultor la oportunidad de reconvertir la estructura funcional de su empresa cafetera, puesto que, contar con menos recolectores en la finca representa la disminución de gastos como los siguientes, entre otros:

- Menores gastos en infraestructura: menos dormitorios por cuartel o menos cuarteles.
- Menores gastos en servicios públicos: menos consumo de agua, energía y otros servicios.
- Menores gastos en alimentación: menos comensales.
- Menores gastos ambientales: menos factores contaminantes.

- Menores gastos sociales: disminuyen los conflictos surgidos por matoneo, diferencias raciales, religiosas, políticas, etc.
- Menores costos administrativos: se facilitaría la supervisión de la labor, pues se evalúa el trabajo de un equipo o grupos de uno o dos operarios por lote, y no de muchos individuos inmersos en grandes cuadrillas.

Conjuntamente, se trasciende a mejores ambientes de trabajo en la finca, en los cuales, condiciones laborales favorables para los recolectores se expresan en mayor cantidad y mejor calidad del café recolectado por jornada y mayores ingresos, tanto para el productor como para el recolector.

Adoptar estrategias de manejo de la mano de obra para la recolección de café implica buen conocimiento de los lotes de la finca y del rendimiento promedio de los recolectores, de manera que la opción elegida y las decisiones tomadas no se reviertan en contra de contribuir a la disminución de los costos de producción de café.

El resultado de los indicadores obtenidos en esta investigación muestra el desempeño de los recolectores en un marco de tiempo relativamente corto, con respecto a la operatividad de los mismos en jornadas reales de trabajo, por el tamaño de las parcelas seleccionadas en las estaciones experimentales. Se recomienda validar este trabajo en jornadas y parcelas bajo condiciones reales de operación en el campo.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a quienes con su conocimiento y experiencia contribuyeron para llevar a buen final este estudio: Diego Fabián Montoya y Jhon Félix Trejos P. de la Disciplina de Experimentación. A los patrones de corte, responsables de la recolección en las Estaciones Experimentales de Cenicafé, Naranjal y La Catalina. A los grupos de 13 recolectores en cada estación experimental que apoyaron en todo momento esta forma de trabajar.

LITERATURA CITADA

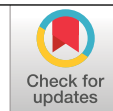
- Bustillo-Pardey, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Castaño, G. E. (2010). La pobreza en las representaciones sociales de los recolectores de café en torno a sí mismos y a su actividad. *Antropología y Sociología: Virajes*, 12, 89–125. <https://revistasoj.s.ualdas.edu.co/index.php/virajes/article/view/940>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2008). Recomendaciones del LXX Congreso Nacional de Cafeteros. *Boletín de información cafetera*, 5–11.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2017). La recolección de café en Colombia: Una caracterización del mercado laboral. *Ensayos sobre economía cafetera*, 32(1), 35–63.
- Medina, R. D., Montoya, E. C., & García, H. (2015). Validación en el campo de un método de muestreo para evaluar la calidad en la recolección de café. *Revista Cenicafé*, 66(2), 110–120. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Montoya, E. C. (2001). Disminución de los costos de recolección mediante la cosecha manual asistida—Enfoque teórico. *Informe anual de actividades de la Disciplina de Biometría Cenicafé*, 11–15.
- Puerta, 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>
- SAS Institute. (2014). SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Vélez, J. C., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (1999). Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. *Boletín Técnico Cenicafé*, 21, 1–91. <http://hdl.handle.net/10778/593>

LA RESISTENCIA INCOMPLETA DEL CAFÉ A LA ROYA: UNA REVISIÓN

Julio Quiroga-Cardona  *

Artículo de Revisión

Quiroga-Cardona, J. (2021). La resistencia incompleta del café a la roya: una revisión. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72208. <https://doi.org/10.38141/10778/72208>



En los programas de mejoramiento genético vegetal, los objetivos son diversos, entre ellos se encuentra el desarrollar genotipos altamente productivos, de amplia adaptabilidad y con resistencia genética a patógenos limitantes para el cultivo. Para el caso de resistencia a enfermedades, es relativamente fácil de lograr cuando se cuenta con fuentes de genes y la expresión de estos es monogénica – dominante. En este caso, pueden obtenerse variedades con resistencia genética de tipo vertical; sin embargo, este tipo de resistencia rápidamente puede ser vencida por patotipos compatibles, y cuando esto sucede, debe recurrirse a un cambio en la estrategia, con el fin de lograr que la resistencia de plantas a patógenos perdure en el tiempo y su durabilidad se logra mediante el uso de la resistencia genética horizontal o cuantitativa. Este tipo de resistencia sólo estará presente en variedades poseedoras de diversidad genética, factor condicionante que las hace más aptas para enfrentar a futuro factores de riesgo. En esta revisión se hace una recopilación de conceptos generales, factores que afectan la resistencia y avances logrados en la comprensión de la resistencia genética de tipo horizontal de *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner.

Palabras clave: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, resistencia vertical, resistencia horizontal, resistencia monogénica, resistencia poligénica, inóculo, período de incubación, período de latencia.

INCOMPLETE RESISTANCE OF COFFEE TO RUST: A REVIEW

In plant genetic breeding programs, the objectives are diverse, among them, to develop highly productive genotypes, with wide adaptability and with genetic resistance to limiting pathogens for the crop. In the case of resistance to diseases, it is relatively easy to achieve when there are sources of genes and their expression is monogenic–dominant. In this case, varieties with vertical type genetic resistance can be obtained. However, this type of resistance can quickly be overcome by compatible pathogens and when this happens, a change in strategy must be resorted to in order to ensure that plant resistance to pathogens lasts over time and its durability is achieved through the use of horizontal or quantitative genetic resistance. This type of resistance will only be present in varieties with genetic diversity, a determining factor that makes them more suitable to face future risk factors. In this review, a compilation of general concepts, factors that affect resistance and advances made in the understanding of horizontal-type genetic resistance of *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre ex Froehner are made.

Keywords: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, vertical resistance, horizontal resistance, monogenic resistance, polygenic resistance, inoculum, incubation period, latency period.

* Investigador Científico I. Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-2418-2318>

Browning (1990) mencionaba que la única protección contra el riesgo futuro de una enfermedad es la diversidad, y es precisamente la diversidad genética la que ha permitido el desarrollo de plantas resistentes a plagas, enfermedades y a factores climáticos adversos, a lo largo de la historia del fitomejoramiento. La resistencia genética como herramienta para el control de enfermedades es la forma más económica y ambientalmente sostenible, y los genes que condicionan esa resistencia, en conjunto, participan en una red de factores que interactúan entre ellos. La resistencia genética de plantas a patógenos, en la mayoría de casos, está controlada por genes mayores, los cuales a menudo se heredan de forma dominante, con menos frecuencia de forma recesiva. Igualmente, se ha reportado la herencia de tipo poligénico de la resistencia, pero su frecuencia es mucho más baja (Parlevliet, 1993; Vale et al., 2001). En otras palabras, la resistencia genética, como otros rasgos, se expresa de forma cualitativa o cuantitativa. Este tipo de resistencia, ocurre en distintos niveles para casi todos los patógenos y en la mayoría de las especies cultivadas (Vale et al., 2001).

Vanderplank (1963) postuló que habían dos tipos de resistencia genética, a las cuales denominó resistencia vertical y resistencia horizontal. No obstante, Niederhauser et al. (1954) y Stakman et al. (1960), ya habían definido la resistencia vertical como resistencia racial o resistencia específica; este tipo de resistencia fue descrito por Vanderplank (1963), como la resistencia que permitía el control contra unas razas de un patógeno, pero no contra otras, y que podía ser llamada resistencia vertical. La resistencia vertical es oligogénica (Vanderplank, 1984), explicada también como la relación de gen por gen (Flor, 1956). Esta relación fue propuesta como explicación a los resultados obtenidos en estudios de herencia de la patogenicidad en la roya del lino

(*Melampsora lini*), que permitieron concluir que por cada gen que condiciona una reacción de resistencia en un hospedero, hay un gen que condiciona virulencia en el patógeno (Flor, 1956; Flor, 1971). Esta relación (gen por gen) se observa con mayor frecuencia en los patosistemas donde está involucrado un patógeno biotrófico altamente especializado, como ocurre en los cereales con las diversas royas que los afectan. La resistencia en estos sistemas generalmente es específica a una raza del patógeno y fácilmente se neutraliza por la aparición de nuevos patotipos (Vale et al., 2001).

En la actualidad, se sabe que la resistencia a patógenos se basa en un sistema regulado, que controla las respuestas de defensa de las plantas, basándose en gran medida en el modelo de gen por gen (Flor, 1956; Flor, 1971; Andersen et al., 2018), y la identificación de plantas con resistencia genética a patógenos, implica necesariamente la realización de mediciones. Idealmente debe medirse la cantidad de patógeno presente en un momento dado, en comparación con la cantidad presente en una variedad extremadamente susceptible. Cuanto mayor sea la diferencia de cantidad, mayor será la diferencia de susceptibilidad o resistencia. Normalmente no es posible medir la cantidad del patógeno, porque no es visible o lo es parcialmente; sin embargo, pueden evaluarse los efectos directos o indirectos del patógeno en el huésped, incluso si el patógeno no es visible (Parlevliet, 1993; Vale et al., 2001).

En esta revisión se recopilan diversos aspectos de la resistencia genética a las enfermedades, enfocándose particularmente en los trabajos realizados en café. Este cultivo en Colombia, es de gran importancia socio-económica para más de 700 mil familias, que dependen económicamente de su producción (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2020), siendo la roya causada por el hongo

Hemileia vastatrix Berk. & Broome, la principal enfermedad limitante. Esta enfermedad estuvo restringida a África y Asia por más de un siglo, desde que se registró la primera epidemia en Sri Lanka, India e Indonesia, llegando finalmente a América en 1970 (van der Vossen, 2005). En Colombia, la enfermedad causa pérdidas económicas de hasta el 50% en un ciclo acumulado de cuatro cosechas, afectando la cantidad y calidad de la producción de café, en variedades susceptibles, cuando no se realiza un oportuno y adecuado manejo de la enfermedad (Rivillas - Osorio, 2017).

La resistencia vertical

A través del tiempo, a la resistencia vertical se le ha denominado de distintas formas. Los nombres más usados, generalmente son: resistencia cualitativa, resistencia específica, resistencia total o resistencia debida a genes de efecto mayor. La resistencia vertical es específica contra algunas razas patogénicas, frenando su reproducción, lo que equivale a una reacción de inmunidad (Vanderplank, 1963). Clásicamente, el desarrollo de una enfermedad está descrito por la curva del interés compuesto (Ecuación <1>).

$$X = X_0 e^{rt} <1>$$

Donde **X** es la cantidad de enfermedad y depende de la cantidad inicial de inóculo **X₀** y **r** es la tasa de incremento, que depende del área esporulante y la cantidad de esporas por unidad de área y del período de latencia (Vanderplank, 1963; Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011).

El principal efecto asociado al uso de la resistencia vertical, está relacionado con la reducción del inóculo inicial **X₀** (Vanderplank, 1963) y, consecuentemente, el retraso del inicio de una epidemia. Este atraso inicial

es considerado determinante, pues reduce el daño en una fase crítica para la producción del cultivo (Ríos & Debona, 2018).

La resistencia a las enfermedades conferida por genes de efecto mayor, está reportada en un gran número de especies de plantas cultivadas, entre ellas: *Zea mays* L. (maíz) (Wisser et al., 2006; Yang et al., 2017; Galiano Carneiro & Miedaner, 2017), *Oryza sativa* L. (arroz) (Jiang et al., 2020), *Avena sativa* L. (avena) (Hsam et al., 2014), *Triticum aestivum* L. (trigo) (Samborski & Dyck, 1982), *Manihot esculenta* (yuca) (Akano et al., 2002), *Mussa acuminata* (plátano) (Dwivany et al., 2016) y *Coffea arabica* L. (café) (Noronha Wagner & Bettencourt, 1967; Rodrigues Jr. et al., 1975).

Este tipo de resistencia también puede ser parcial. Existen razas avirulentas que pueden producir lesiones y estas esporular, no obstante, lo hacen en menor cantidad que las lesiones causadas por una raza virulenta. La resistencia vertical parcial es a menudo confundida con la resistencia horizontal, la cual es comúnmente parcial (Vanderplank, 1984). Se conocen casos de resistencia vertical parcial, donde se ha observado que se presenta un efecto de resistencia acumulativo por efecto de genes específicos (Krenz et al., 2008). Estos genes cuando actúan individualmente producen efectos intermedios de resistencia, sin embargo, usados en combinaciones permiten la obtención de plantas más resistentes (Samborski & Dyck, 1982). Este comportamiento fue estudiado en cruzamientos de *T. aestivum* (trigo), donde se usaron líneas parentales portadoras cada una de un único gen de resistencia (*Lr11* / *Lr30*). Cada línea separada mostraba baja resistencia a *Puccinia recondita*, pero la progenie obtenida a partir de cruzamientos entre ellas permitió obtener progenies altamente resistentes, comparadas con las

líneas progenitoras (Samborski & Dyck, 1982; Vanderplank, 1984).

Una variedad puede presentar resistencia vertical únicamente a razas de un patógeno, cuando este proviene de una variedad distinta o lo que es lo mismo, el inóculo inicial (X_0). La resistencia vertical será efectiva durante el primer ciclo de la enfermedad, pero no lo será contra el inóculo originado dentro del cultivo (misma variedad) en ciclos posteriores (Vanderplank, 1984). En otras palabras, los genes que confieren la resistencia vertical solo serán efectivos cuando el inóculo proviene de plantas hospederas con genes diferentes (Vanderplank, 1963; Vanderplank, 1984).

Un efecto directo asociado al uso variedades con resistencia vertical, tiene que ver con la preferencia por parte de los productores. La mayor popularidad de las variedades con resistencia vertical, se asocia con un aumento en la frecuencia de las razas virulentas compatibles. En consecuencia, a través del tiempo se producirá una rápida y significativa reducción en el efecto de la resistencia vertical en el campo (Vanderplank, 1984; Rios & Debona, 2018); es en esos casos, que los programas de mejoramiento genético deben anticiparse, con el fin de desarrollar variedades que posean nuevos genes de resistencia, que sean eficaces contra las razas virulentas predominantes.

Sin embargo, no siempre que se hace uso de variedades con resistencia vertical se producen cambios rápidos hacia a otras variedades. Vanderplank (1963), menciona la existencia de casos reportados de resistencia vertical que acompañan genotipos con resistencia estable. Esto puede ocurrir particularmente, si el inóculo sobrevive fuera del cultivo mismo, como en malezas y hospederos alternos, por ejemplo. De otra parte, aunque la resistencia vertical permite que las variedades sean resistentes a algunas razas de patógenos, las deja susceptibles

a otras (Vanderplank, 1984). De esta manera, cuando se busca obtener espectros de resistencia más amplios la mejor alternativa es hacer uso de la resistencia horizontal.

La resistencia horizontal

Cuando la base de los programas de mejoramiento genético en el cultivo de *Solanum tuberosum* L. (papa) era la resistencia vertical, se iniciaron trabajos que involucraban la resistencia horizontal (Niederhauser et al., 1954), creando variedades de papa que diferían considerablemente en la cantidad de roya que desarrollaban después de que la resistencia vertical era vencida. Fue la primera vez que se utilizó la resistencia horizontal en papa, para obtener niveles cada vez más altos de resistencia cuantitativa, variable para muchos genes (Robinson, 1996). Esta resistencia fue atribuida a la existencia de una segunda línea de defensa contra la enfermedad, a la que se le denominó resistencia "parcial" al tizón, y posteriormente, cuando se aplicó este concepto a todas las plantas, se reconocería como resistencia horizontal (Vanderplank, 1963).

La resistencia horizontal se define como un tipo de resistencia incompleta o parcial, en la que el huésped presenta una reacción de susceptibilidad, presentando baja tasa de desarrollo de la enfermedad (Parlevliet, 1979; Martinelli et al., 2009). Este tipo de resistencia también es conocida como cuantitativa, raza parcial, horizontal, no específica, debida a genes de efecto menor, resistencia constitutiva y poligénica. Su naturaleza genética, implica que se requieren muchos cambios genéticos en la población del patógeno para adquirir la capacidad de superar la resistencia; sin embargo, la evidencia de que los patógenos logran superar la resistencia cuantitativa es escasa en comparación con lo reportado para la resistencia cualitativa. Esto respalda la hipótesis de que la resistencia cuantitativa

tiende a ser más duradera (Ríos & Debona, 2018). Es decir, sigue siendo efectiva durante períodos prolongados de uso contra las enfermedades. No obstante, la adaptación de patógenos virulentos puede ocurrir, pero este proceso es mucho más lento si se compara con la resistencia monogénica. La principal desventaja de la resistencia horizontal, además de la dificultad en el desarrollo de variedades comerciales, que presentan varios genes con diferentes efectos de resistencia, radica en su naturaleza cuantitativa, por lo que se requiere un mayor esfuerzo al evaluar la intensidad de la enfermedad para lograr el reconocimiento de la resistencia cuantitativa, siendo una práctica a veces considerada difícil de realizar (Ríos & Debona, 2018). Por otra parte, la resistencia cuantitativa no puede evaluarse en términos absolutos, siempre es una medida relativa comparada con la de una variedad estándar de comportamiento conocido, que a menudo es la variedad susceptible (Vale et al., 2001).

Al igual que los genes de efecto mayor, se han identificado genes responsables de la resistencia horizontal a enfermedades limitantes en diversos cultivos, entre ellos *O. sativa* L. (arroz) (Li et al., 2019), *T. aestivum* (trigo) (Krenz et al., 2008), *Z. mays* (maíz) (Yang et al., 2017), *Hordeum vulgare* L. (cebada) (Dinglasan et al., 2019) y *Solanum lycopersicum* (tomate) (Panthee & Chen, 2010), entre otros. En general, la resistencia horizontal opera contra todas las razas de un patógeno, permitiendo menores tasas de infección (i), debido a que el hospedero resiste la formación de lesiones causadas por el patógeno y en las lesiones causadas se producen pocos esporangios, a los cuales les toman mayor tiempo producir esporas (Vanderplank, 1963).

La resistencia horizontal no implica uniformidad genética. Es así, como pueden tenerse plantas con fenotipo similar, pero con diversidad genotípica. Por ejemplo, la

resistencia horizontal en una planta puede proveer la resistencia a la infección, producir retraso en la esporulación o permitir escasa esporulación. Estos factores, se presume, están gobernados por diferentes genes (poligénicos) de efecto menor (Vanderplank, 1963; Maciel & Durante Danelli, 2018), pero todos tienen el mismo efecto: aumentan la reacción de la resistencia horizontal (Vanderplank, 1963) y producen grados intermedios de resistencia y, en ellos, es posible encontrar reacciones desde máxima susceptibilidad, hasta máxima resistencia (Maciel & Durante Danelli, 2018). Este último comportamiento fue documentado con el tizón de la papa, causado por *Phytophthora infestans*, lo cual permitió definir los componentes de la resistencia horizontal (Vanderplank, 1963).

Los componentes de la resistencia horizontal

Una epidemia es el resultado combinado de varios componentes. En una variedad resistente, estos componentes se manifiestan en menor formación de lesiones cuando las plantas se inoculan con igual número de esporas, menores tasas de lesiones esporulantes, escasa esporulación en las lesiones, mayores tiempos desde la inoculación hasta esporulación y, por último, cuando hay tejido infectado, deja de ser infeccioso rápidamente (Vanderplank, 1963; Parlevliet & Zadoks, 1977). Estos componentes, en conjunto, limitan la velocidad de desarrollo de la enfermedad y debido a estas características, también se le denomina resistencia dilatoria (Marchetti, 1983; Alvarado Alvarado, 2011). Este tipo resistencia causa que las epidemias sean lentas y permite que la planta produzca normalmente, sin demasiada afectación (Alvarado Alvarado et al., 2000; Alvarado Alvarado & Solórzano Buítrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011).

Después de los trabajos publicados sobre la resistencia horizontal (Vanderplank, 1963;

Vanderplank, 1968; Vanderplank, 1984), se iniciaron nuevas líneas de investigación para probar o refutar estos planteamientos y la resistencia horizontal se convirtió en un tema respetable de investigación en el área del fitomejoramiento (Zadocs & Schein, 1988).

FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA INCOMPLETA

Estado de desarrollo de la planta y edad de los órganos

Uno de los factores menos estudiados que determinan la resistencia, es el ontogénico o de resistencia del huésped relacionada con la edad. La resistencia ontogénica puede operar a nivel de toda la planta en órganos o tejidos específicos (Ficke et al., 2002). La gran mayoría de los genes de resistencia a enfermedades funcionan en todas las partes de la planta y en cada etapa de desarrollo; sin embargo, existen algunas excepciones donde la resistencia se manifiesta de manera específica en tejidos o etapas de desarrollo (Marla et al., 2018). En este caso, las hormonas vegetales tienen un papel fundamental en la regulación del crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas, están interconectadas en una red compleja, que proporciona a las plantas un enorme potencial regulador para adaptarse rápidamente a su entorno biótico y utilizar sus recursos para el crecimiento y la supervivencia (Pieterse et al., 2012).

En la mayoría de los casos de resistencia regulada por el desarrollo, las plantas son susceptibles en la etapa de plántula, pero se vuelven cada vez más resistentes hacia la madurez (Marla et al., 2018). Se reconocen distintos estados de crecimiento relacionados con la resistencia, plantas jóvenes son susceptibles, plantas adultas son más resistentes y plantas viejas nuevamente se vuelven susceptibles

(Umaerus, 1970). Igualmente, la edad de los órganos es determinante en la respuesta de susceptibilidad, la cual cambia con la edad (Parlevliet & Kuiper, 1977).

Estas respuestas han sido estudiadas en diversos cultivos, entre ellos *S. tuberosum* (papa) (Lamberti et al., 1983), *S. lycopersicum* (tomate) (Shah et al., 2015), *Glycine max* (soya) (Bonde et al., 2012), *Z. mays* (maíz) (Marla et al., 2018), *H. vulgare* (cebada) (Parlevliet & Kuiper, 1977) y *C. arabica* (café) (Eskes & Toma-Braghini, 1982; Coutinho et al., 1994). Se ha sugerido que los cambios en la resistencia a enfermedades asociados con la edad de la planta se deben a que los genes de resistencia están presentes en plantas más viejas, pero son insuficientes para codificar los niveles de resistencia que se observan en las plantas más jóvenes (Millett et al., 2009). Este comportamiento conceptualmente es similar a las observaciones en estudios de herencia en *C. arabica*, en los cuales se sugiere que la resistencia incompleta podría estar relacionada con genes de efecto mayor, cuya efectividad puede depender de la dosis del gen y los antecedentes genéticos de la planta (Eskes & Da Costa, 1983).

En complemento, en las diferentes etapas de desarrollo a lo largo del ciclo de vida, las plantas enfrentan cambios dinámicos en las condiciones bióticas y abióticas que crean nichos ecológicos distintos para las interacciones huésped-patógeno (Hu & Yang, 2019). Esto, puede en parte estar mediado por cambios en las relaciones fuente-vertedero dentro de la planta a lo largo de su desarrollo (Berger et al., 2007; Millett et al., 2009). En particular, el desarrollo de los órganos de almacenamiento y la transferencia coordinada de energía de otras actividades metabólicas pueden alterar la resistencia a las enfermedades (Millett et al., 2009).

Diferencia de resistencia entre órganos

En *T. aestivum* (trigo) se ha observado que la resistencia a la roya puede variar entre hojas, tallos y espigas. Se ha demostrado que la eficiencia de la resistencia, en general, puede ser diferente en cada órgano de la planta, lo que significa especificidad en respuesta de resistencia a nivel de órgano (Strugala et al., 2015). Las diferencias en órganos pueden tener una respuesta diferencial en la resistencia incompleta (Lamberti et al., 1983; Juyo Rojas et al., 2019), llegándose a sugerir que es posible lograr genotipos con resistencia en órganos específicos (Gao et al., 2013).

Efectos ligados a la producción

El uso de variedades altamente resistentes es un método económico para controlar eficazmente las enfermedades, pero los incrementos en resistencia genética a patógenos, a menudo traen consigo la reducción del rendimiento (Brown, 2002; Ning et al., 2017; Li et al., 2019), y son diversos los reportes que mencionan los efectos de la producción en la resistencia y viceversa; considerándose que existe variación entre ambientes, variedades e interacción genotipo/ambiente (GxA) (Ficke et al., 2018).

En *T. aestivum* (trigo) la presencia del gen de resistencia *Wsm1* se asocia con la reducción en el rendimiento del 21,0%, el gen *Sr26* penaliza el rendimiento en un 9,0% (Ning et al., 2017) y en *H. vulgare* (cebada) el gen *mlo* reduce el rendimiento en 4,2% (Brown, 2002; Ning et al., 2017). En *S. tuberosum* (papa), el incremento de la susceptibilidad a *P. infestans* ha sido asociado con altos rendimientos y se ha sugerido una relación similar entre los tiempos de madurez del grano y la resistencia en *Avena sativa* L. (avena) a *Puccinia coronata avenae* (Lamberti et al., 1983).

Efecto del estado nutricional de la planta

Son diversos los efectos de los nutrientes sobre la resistencia de plantas a patógenos, estos participan directamente en la fisiología y bioquímica de la planta, y no existe una regla general sobre el efecto del estado nutricional de planta y la respuesta sobre la resistencia a patógenos. Sin embargo, algunos nutrientes pueden disminuir o incrementar la incidencia de determinadas enfermedades (Dordas, 2008). Cuando un patógeno entra en contacto con una planta, por lo general carece de nutrientes, de modo que la asimilación rápida de los nutrientes del huésped es esencial para que se dé una exitosa interacción planta-patógeno (Thomma et al., 2006).

El nitrógeno es un nutriente básico para el metabolismo primario de las plantas, influye en las defensas constitutivas e inducidas como componente en las moléculas señalizadoras de defensa, y las concentraciones del elemento son esenciales para lograr una adecuada defensa de la planta contra patógenos (Mur et al., 2016). La cantidad del elemento que requieren los hongos patógenos de plantas, provienen en su totalidad del hospedero y su extracción dependerá del órgano que esté infectando (Mur et al., 2016), sin embargo, los excesos del elemento favorecen el crecimiento de los tejidos, siendo más susceptibles en etapas jóvenes (Huber & Watson, 1974; Ficke et al., 2002; Dordas, 2008; Singh, 2015; Gupta et al., 2017) y modifican la intensidad con la que los patógenos obligados afectan a las plantas, como se ha documentado en *S. lycopersicum* (tomate) (Thomma et al., 2006). Por lo tanto, la aplicación exógena de fertilizantes nitrogenados puede cambiar el equilibrio a favor de la planta o del patógeno (Thomma et al., 2006).

Caso contrario, se ha documentado con el potasio (K), dosis adecuadas del elemento

pueden mejorar la resistencia de las plantas (Dordas, 2008; Singh, 2015; Gupta et al., 2017), y en el caso del fósforo (P) los resultados no son consistentes respecto a la respuesta en los niveles de resistencia en la planta (Singh, 2015). En café, elementos como calcio (Ca), silicio (Si), potasio (K), boro (B), zinc (Zn) y manganeso (Mn) pueden intervenir en la severidad causada por la roya (Pérez et al., 2020; Ghuftron Rosyady et al., 2020).

En general, los nutrientes pueden determinar la resistencia o susceptibilidad de las plantas a diversos patógenos, y la manifestación de síntomas de una enfermedad, con frecuencia reflejan el estado nutricional de la planta, sin embargo, actualmente muchos factores que influyen en esta respuesta no se conocen del todo (Gupta et al., 2017).

Efecto del ambiente

El ambiente puede influenciar ampliamente los efectos de las enfermedades y la resistencia a ellas (Ficke et al., 2018). Un huésped susceptible no será infectado por un patógeno si las condiciones ambientales no son propicias para la enfermedad (Velásquez et al., 2018). Los factores ambientales individuales pueden cambiar la condición del patógeno de la resistencia o pueden cambiar la relación entre ambos. La temperatura afecta la resistencia completa e incompleta, como está reportado en *T. aestivum* (trigo). Plantas con los genes *Sr6*, *Sr10*, *Sr15* y *Sr17* son susceptibles a *P. recondita* con altas temperaturas, mientras que plantas con los genes *Sr13* y *Sr9* tienen un efecto contrario (Lamberti et al., 1983).

El efecto de la intensidad de la luz sobre la resistencia incompleta ha sido poco estudiado (Lamberti et al., 1983). No obstante, se ha observado que la resistencia de *T. aestivum* (trigo) a *Puccinia striiforme* disminuye con la baja intensidad de luz y en *H. vulgare*

(cebada) se ha observado el efecto inverso (Stubbs et al., 1977). En papa, la frecuencia de infección y tamaño de lesiones de *P. infestans* se expresan mejor con alta intensidad lumínica (Lamberti et al., 1983); en *C. arabica* (café), este mismo factor puede modular la expresión de resistencia a *H. vastatrix* (Esques, 1977; Esques, 1982).

La resistencia genética del café a *Hemileia vastatrix* Berk y Broome

Los primeros reportes sobre identificación de genes de resistencia en *C. arabica* a *H. vastatrix* se realizaron alrededor de 1960 (Noronha Wagner & Bettencourt, 1967), y desde entonces, son diversas las investigaciones que se han desarrollado para lograr el entendimiento de la resistencia vertical y horizontal a la roya del café.

Actualmente, se conoce que el control genético a la roya del café está regulado por al menos diez genes, designados genes S_H “Susceptibilidad a *Hemileia*” y corresponden a factores de virulencia del patógeno como genes “v” (Esques, 1989). Los genes S_{H1} , S_{H2} , S_{H4} y S_{H5} , fueron reportados en *C. arabica*, el gen S_{H3} en *Coffea liberica* y genotipos derivados de este (Noronha Wagner & Bettencourt, 1967). Estos genes fueron identificados en el Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC—por sus siglas en Portugués), mediante la reacción inducida de distintas razas de *H. vastatrix* en híbridos F1 provenientes de los clones 87/6 [(Geisha) x 32/1 (D.K1/6)] – [128/1 (Dilla & Alghe) x 33/1 (S.288-23)] – [87/6 (Geisha) x 113/2 (S.6 Cioiccie)] – [34/18 (S.353 4/5) x 35/2 (S.286-7)] – [187/8 (Blue Mountain) x 113/1 (S.6 Cioiccie)] – [33/1 (S.288-23) x 110/5 (S.4 Agaro)] – [34/13 (S.353 4/5) x 128/1 (Dilla & Alghe)] – [35/2 (S.286-7) x 134/4 (S.12 Kaffa)] – [34/4 (S.353 4/5) x 134/4 (S.12 Kaffa)] – [34/13 (S.353 4/5) x 110/5 (S.4 Agaro)] – [34/13 (S.353 4/5) x

134/4 (S.12 Kaffa)] – [19/1 (Caturra) x 87/6 (Geisha)] – [339/1 (Bourbon) x 35/2 (S.286-7)] – [339/1 (Bourbon) x 33/1 (S.288-23)] – [19/1 (Caturra) x 110/2 (S.4 Agaro)] – [34/13 (S.353 4/5) x 311/1 (Bourbon)] – [19/1 (Caturra) x 134/4 (S.12 Kaffa)].

Los genes S_{H6} al S_{H9} , que provienen de *C. canephora*, se encuentran también en el Híbrido de Timor (HdT) (Bettencourt & Noronha Wagner, 1971; Rodrigues Jr. et al., 1976; Bettencourt & Rodrigues Jr., 1988; Bettencourt & Lopez, 1982; Conceição et al., 2005). Por último, el gen S_{H10} fue reportado en el Híbrido de Kawisari, clon diferencial CIFIC 644/18 (Barka, 2017; Barka et al., 2020). En la actualidad, la resistencia horizontal a la roya del café es poco conocida. Este tipo de resistencia se considera genéticamente compleja, a menudo sin especificidad de un patotipo, e implica mecanismos de defensa tanto constitutivos como inducidos (Herrera Pinilla et al., 2009), y en café a menudo es expresada por tipos

de reacciones heterogéneas (Esques, 1983). Este tipo de resistencia se ha identificado en *C. canephora* y *C. arabica*, así como en genotipos producto del cruzamiento natural o artificial entre estas dos especies (Esques, 1983). Sin embargo, los estudios sobre la expresión de los genes de resistencia, son relativamente recientes (Marraccini, 2020).

Entre los genes de café estudiados y expresados en las hojas afectadas por roya, se encuentran los que codifican para proteínas relacionadas con la patogénesis y enzimas del transporte para el metabolismo de carbohidratos, aminoácidos y lípidos, como se presentan en la Tabla 1 (Fernandes-Brum et al., 2017). Se ha observado la activación de estas proteínas de defensa alrededor 16 horas después de la infección, cuando el hospedero es incompatible con el hongo (Ganesh et al., 2006), en hospederos compatibles la activación es tardía, entre 24 y 72 horas (Ganesh et al., 2006; Diola et al., 2013; Couttolenc-Brenis et al., 2020).

Tabla 1. Genes identificados que se expresan en hojas de *Coffea* infectadas por *H. vastatrix*.

Nombre del Gen	Función	Especie	Referencia
CaR111	Proteína con función desconocida	<i>C. arabica</i>	Ganesh et al., 2006
CaNDR1	Proteína de resistencia sin especificidad de raza	<i>C. arabica</i>	Ganesh et al., 2006; Couttolenc-Brenis et al., 2020
CaWRKY1	Proteína de transcripción	<i>C. arabica</i>	Ganesh et al., 2006
CaWRKY1a	Proteína de transcripción	<i>C. arabica</i> , <i>C. canephora</i> , <i>C. eugenioides</i>	Petitot et al., 2008
CaWRKY1b	Proteína de transcripción	<i>C. arabica</i> , <i>C. canephora</i> , <i>C. eugenioides</i>	Petitot et al., 2008
CaNBS-LRR	Gen de resistencia	<i>C. arabica</i>	Diola et al., 2013; Couttolenc-Brenis et al., 2020
CC-NBS-LRR	Proteína de resistencia	<i>C. arabica</i>	Barka et al., 2020

Fuente: Marraccini, 2020; Barka et al., 2020.

Adicionalmente, se han detectado proteínas presentes en el Híbrido de Timor y ausentes en la variedad Caturra, que sugieren pueden estar involucradas en los mecanismos de defensa de la planta contra *H. vastatrix* (Florez et al., 2017). En estudios más recientes, el efecto de la roya sobre los genotipos susceptibles Catuai rojo (Caturra x Mundo Novo) y el híbrido F1 (Caturra x Etíope 531), se identificó que la expresión de genes relacionados con la patogenicidad se incrementó en plantas susceptibles, mientras que las proteínas codificantes involucradas en la resistencia aumentaron en el híbrido F1 (Echeverría-Beirute et al., 2018; Marraccini, 2020). Las diferencias en respuesta se deben a distintos factores, entre ellos el fondo genético de las plantas (Marraccini, 2020; Toniutti et al., 2017), la producción (Avelino et al., 2006) y el ambiente (Eskes, 1982).

La resistencia incompleta de *C. canephora* y *C. arabica* a *H. vastatrix* Berk y Broome.

Estudios previos reportan la presencia de resistencia vertical y horizontal en *C. canephora*; aunque en la mayoría de los trabajos se reporta que *C. canephora* presenta alta resistencia a *H. vastatrix*, algunos genotipos de esta especie son gravemente afectados por esta enfermedad (Eskes, 1983; Zambolim et al., 2016). No obstante, la raza XXXIII (v5,7,9) se aisló de variedades resistentes a la roya con genes de resistencia de origen en *C. canephora* (Várzea & Marques, 2005), es por ello que esta raza constituye un riesgo para las áreas cultivadas con estos genotipos u otros materiales que contienen los mismos genes de resistencia (Zambolim et al., 2016).

Estudios realizados en *C. canephora* var. Conilón, sugieren que esta variedad presenta resistencia horizontal contra la roya (Cadena Gómez, 1978). Es por ello que genotipos de la variedad Conilón muestran amplia variación en reacciones de resistencia a la enfermedad

(Eskes, 1983). Adicionalmente, en *C. canephora* se han observado comportamientos diferenciales cuando se inocula con las razas II y XXXIII de *H. vastatrix* (Zambolim et al., 2016), y su susceptibilidad a la raza II ha sido tomada como indicio de que su resistencia puede ser horizontal (Cadena Gómez & Buriticá Céspedes, 1980; Eskes, 1983). Adicionalmente, se ha encontrado especificidad de razas y resistencia asociada a *C. canephora* var. Conilón (Eskes, 1983).

En esta misma variedad se determinaron los coeficientes de correlación, siendo altamente significativos para índices de infección, índices de esporulación y período de incubación de la roya (Cadena Gómez & Buriticá Céspedes, 1981). Los análisis de correlación permitieron identificar que el período de incubación (PI) y el índice de esporulación están altamente correlacionados en forma negativa, es decir, a mayor período de incubación (PI) menor índice de esporulación. Se concluyó que estos parámetros son los que mejor expresan la resistencia incompleta a *H. vastatrix* en plantas jóvenes en el campo (Cadena Gómez, 1978).

Cuando se analizó la correlación de *C. canephora* var. Conilón y *C. arabica* var. Mundo Novo con distintas combinaciones de variables (Tabla 2), se registró alta significancia entre el número de lesiones causadas por roya esporuladas y la variedad ($r=0,51$), número de hojas con lesiones esporuladas y la variedad ($r=0,57$), y defoliación causada por roya y la variedad ($r=0,63$) (Cadena Gómez, 1978). Los resultados obtenidos permitieron identificar que la resistencia incompleta de *C. canephora* var. Conilón podría proporcionar una resistencia más duradera que la proporcionada por la resistencia genética completa (Eskes, 1983). En esta variedad, los niveles de roya y la caída de hojas debido a la enfermedad fueron mucho más bajos que en el genotipo empleado como testigo (Mundo Novo). No obstante, algunos

genotipos en la var. Conilón muestran genes dominantes de resistencia, por lo que no toda la resistencia puede ser parcial (Eskes, 1983).

Cuando se estudiaron seis componentes de resistencia horizontal y se analizaron mediante análisis de correlación de Pearson: período de incubación (PI), período de latencia (PL), densidad de síntomas (DS), densidad de esporulación (DE), área esporulada (SA) y cantidad de esporas producidas por disco foliar total (AUA), bajo condiciones controladas en 40 híbridos de *C. canephora* (Tabla 3), obtenidos del cruzamiento entre el clon 83 (clon 3 V cultivar Vitoria Incaper 8142) resistente a la roya, y clon 02 (clon 12 V cultivar Vitoria Incaper 8142) susceptible a la enfermedad usando discos foliares. El porcentaje de discos con lesiones esporuladas (DE) fue el componente de resistencia que presentó la mayor correlación ($r=0,95$; $P < 0,01$) mediante el análisis de componentes principales (CP1)(Zambolim et al., 2016).

Este componente de resistencia es el mismo (HLE) estudiado por Cadena Gómez (1978),

que también encontró correlaciones altas con los datos obtenidos de plantas en el campo estudiando las lesiones por roya con esporas (HLE=DE) como componente de resistencia (Tabla 4), por lo tanto, el porcentaje de lesiones esporulantes puede utilizarse como referencia para realizar la selección de genotipos de *C. canephora* con resistencia horizontal a *H. vastatrix* (Cadena Gómez, 1978; Zambolim et al. 2016).

Como ya se mencionó, la resistencia a patógenos es a menudo afectada por el estado de desarrollo de los órganos de la planta (Zadoks, 1963; Hooker, 1967; Umaerus, 1970; Parlevliet & Kuiper, 1977; Ficke et al., 2002; Marla et al., 2018), y en cultivos perennes, la edad de los órganos puede ser más importante que la edad de toda la planta (Eskes & Toma-Braghini, 1982). En *C. arabica*, la influencia de la edad de la hoja en la resistencia incompleta a la raza II se estudió sobre hojas en tres estados de desarrollo: hojas jóvenes o recién abiertas, hojas adultas (1 a 4 meses) y hojas maduras (6 a 12 meses de edad), empleando dos métodos de inoculación,

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre las variables: Variedad (Var), lesiones por roya (LR), lesiones por roya con esporas (LRE), hojas con lesiones esporuladas (HLE) y defoliación por roya (DF) en *C. canephora* var. Conilón.

Variables	Variedad	Lesiones (LR)	Lesiones (LRE)	Hojas con lesiones (HLE)	Defoliación (DF)
Variedad	-	0,11	0,51**	0,57**	0,63**
Lesiones (LR)	0,11	-	0,56**	0,51**	0,27**
Lesiones (LRE)	0,51**	0,56**	-	0,89**	0,56**
Hojas con lesiones (HLE)	0,57**	0,51**	0,89**	-	0,57**
Defoliación (DF)	0,63**	0,27**	0,56**	0,57**	-

Fuente: Cadena Gómez (1978); **Significativo al 1%.

con esporas en solución mediante aspersión y mediante la aplicación de esporas en seco y posterior humectación (Eskes & Toma-Braghini, 1982). Aunque, se han documentado resultados diferentes cuando la inoculación se realiza con inóculo en seco y posterior humectación por aspersión. Las hojas jóvenes presentaron los mayores valores de lesiones

por hoja (LD), que disminuyeron a medida que la hoja era más madura. En *C. arabica*, se reportó que la variedad Mundo Novo (Tabla 5) presentó efectos relacionados con la edad de la hoja cuando se analizó el período de latencia (PL). Las diferencias encontradas, aunque pequeñas fueron estadísticamente significativas.

Tabla 3. Tiempo, en días registrados, a la observación del 50% de síntomas asociados a los componentes de resistencia en genotipos de *C. canephora* a las razas II y XXXIII de *H. vastatrix*.

Razas de <i>H. vastatrix</i>	Componentes de resistencia					
	PI	PL	DS	DE	SA	AUA
II	23,4	30,2	80,4	42,7	2,1	564
XXXIII	23,5	29,8	86,4	47,4	3,3	950

PI: Tiempo en días desde la inoculación hasta la observación del 50% de incidencia de los síntomas. PL: Tiempo en días desde la inoculación hasta la observación del 50% de incidencia de lesiones esporulantes. DS: Porcentaje de discos foliares con síntomas de enfermedad. DE: Porcentaje de discos foliares con lesiones esporuladas. SA: Porcentaje de área esporulada. AUA: Cantidad de uredosporas producidas por la lesión esporulante (uredosporas/cm²). Fuente: Zambolim et al. (2016).

Tabla 4. Correlación entre los componentes de resistencia y el componente principal (CP1) para los genotipos de *C. canephora* inoculados con la raza II y XXXIII de *H. vastatrix*.

Componentes de resistencia	Correlación CP1 a la raza II	Correlación CP1 a la raza XXXIII
PI	0,90	0,89
PL	0,89	0,92
DS	-0,82	-0,84
DE	-0,95	-0,95
SA	-0,88	-0,85
AUA	-0,89	-0,84
Confiabilidad (%)	79	78

PI: Tiempo en días desde la inoculación hasta la observación del 50% de incidencia de los síntomas. PL: Tiempo en días desde la inoculación hasta la observación del 50% de incidencia de lesiones esporulantes. DS: Porcentaje de discos foliares con síntomas de enfermedad. DE: Porcentaje de discos foliares con lesiones esporuladas. SA: Porcentaje de área esporulada. AUA: Cantidad de uredosporas producidas por la lesión esporulante (uredosporas/cm²). Significancia $P < 0,01$. Fuente: Zambolim et al. (2016).

Tabla 5. Densidad de la lesión (DL = Número de lesiones por hoja) y Período de latencia (PL en días) de hojas de la variedad Mundo Novo, en diferentes posiciones en la rama, inoculadas por dos métodos bajo condiciones de invernadero.

Experimento	Método de inoculación	Componente de resistencia	Posición de la hoja*				
			1	2	3	4	5
Experimento 1	Aplicación de esporas en solución	DL	27a	33a	37a	29a	11b
		PL	35a	35a	35a	35a	36b
Experimento 2	Aplicación de esporas en seco	DL	38a	19ab	20ab	10b	-
		PL	32a	34b	33ab	34b	-

* La edad de la hoja en la posición 1 a 4, incrementa de pocas semanas hasta 3 meses de edad, respectivamente. La posición 5 corresponde a hojas de 7 meses de edad a la fecha de inoculación. Valores con letras iguales no difieren estadísticamente entre ellos, LSD 0,05. Fuente: Eskes & Toma-Braghini (1982).

Cuando se determinó el tipo de reacción (TR) en plantas provenientes de cruzamientos entre Caturra x Híbrido de Timor, utilizando hojas en diferentes posiciones en plantas de un año de edad, se observó variación en el TR dentro de los grupos de plantas analizados y el efecto de la posición de la hoja sobre el tipo de reacción presentó variación entre progenies (Eskes & Toma-Braghini, 1981) (Tabla 6). El efecto más notable se observó en la progenie C2502, que mostró una resistencia casi completa en las hojas más jóvenes, mientras que las hojas de mayor edad se comportaron como susceptibles. Las diferencias en la respuesta entre las familias, probablemente no se deben a diferencias de edad de las hojas de posiciones similares, debido a que la tasa de crecimiento de las plántulas sobre las cuales se realizaron las observaciones fue igual en todas las familias (Eskes & Toma-Braghini, 1982).

También se ha reportado el efecto de la edad de la hoja sobre la formación de

estructuras de infección de *H. vastratrix*. En genotipos susceptibles, como variedad Caturra, y genotipos considerados resistentes, se ha observado disminución en la formación de apresorios cuando aumenta la edad de la hoja. Las reacciones de susceptibilidad son mayores en hojas jóvenes de genotipos considerados susceptibles y efectos contrarios se observaron en genotipos resistentes. Se determinó que el período de latencia (PL) y la densidad de esporulación (DE) disminuyen a medida que se incrementa la edad de la hoja (Countinho et al., 1994).

De igual manera, en *C. canephora* var. Conilón, las hojas adultas aparentemente son más resistentes y manifiestan principalmente baja densidad de lesiones (LD) y largos períodos de latencia (PL). No obstante, en ciertos genotipos de la variedad Conilón, los métodos de inoculación en hojas jóvenes, pueden sub o sobre estimar los valores reales de resistencia. Es por ello, que la selección por

Tabla 6. Tipo de reacción (TR) en condiciones de invernadero, en hojas de diferentes edades, en plantas de cinco familias con resistencia incompleta derivadas de Caturra x Híbrido de Timor y variedad Catuaí.

Familia	Posición de la hoja*					Media
	1	2	3	4	5	
UFV386-19	8,5a	8,3a	8,4a	8,7a	8,8a	8,5
C2502	4,0a	6,5b	7,9c	8,3c	8,4c	7,0
UFV386-C798-A	5,2a	5,9ab	6,1ab	6,6ab	6,7b	6,1
UFV386-C798-B	3,7a	4,3ab	4,3ab	4,7b	5,4b	4,5
C2501	2,9a	3,2a	3,6a	3,3a	3,0a	3,2
Catuaí	8,5a	8,4a	8,5a	8,5a	8,9a	8,6

* La edad de la hoja en la posición 1 a 5, incrementa de pocas semanas hasta 5 meses de edad a la fecha de inoculación, respectivamente. Valores con letras iguales no difieren estadísticamente entre ellos, LSD 0,05. Fuente: Eskes & Toma-Braghini (1982).

resistencia incompleta empleando inoculaciones artificiales, debe realizarse infectando hojas de diferentes edades (Eskes & Toma-Braghini, 1982). Adicionalmente, en vista de estas observaciones y de los aspectos prácticos para lograr la acumulación de diferentes genes de resistencia en un genotipo, hace que los trabajos de mejoramiento para obtener una resistencia duradera a la roya del cafeto, basada en tipos de reacciones incompletas entre el huésped y el patógeno, sea un proceso a largo plazo (van der Vossen, 1985).

En *C. arabica*, al igual que en *C. canephora*, se reporta la existencia de la resistencia incompleta. Se han realizado pruebas en distintas colecciones de *C. arabica* y se han encontrado diferencias significativas en resistencia a la roya, principalmente en genotipos de origen etíope (Van der Graaff, 1981; Várzea & Rodrigues Jr., 1985; Jefuka et al., 2010; Jibat, 2020). La presencia de resistencia a la roya en las poblaciones de *C.*

arabica silvestre, pero sin explorar hasta la fecha, brinda la oportunidad para desarrollar y usar genotipos resistentes para el manejo de la enfermedad (Jibat, 2020). Sin embargo, existen factores que pueden obstaculizar el desarrollo de genotipos con resistencia incompleta, entre ellos, las relaciones entre el rendimiento, los niveles de enfermedad en el campo y la variación genética, relativamente escasa en *C. arabica* (Eskes & Carvalho, 1983).

La naturaleza cuantitativa de la resistencia incompleta hace que este sea un tema aún muy discutido entre los investigadores. El Híbrido de Timor presenta resistencia completa a la raza II de *H. vastatrix* y está controlada por dos genes de efecto dominante, con segregación independiente 3:1 (Capucho et al., 2009). Se ha reportado variación en la expresión de la resistencia incompleta en progenies de Icatú y derivados del Híbrido de Timor, cuando se analizaron sus progenies auto polinizadas y de polinización cruzada

(Eskes et al., 1990). Aparentemente, en Icatú y Catimor la resistencia incompleta a la raza II depende de genes con dominancia parcial, que en estado homocigoto o combinados pueden conferir resistencia completa. Probablemente estos genes son similares a los genes mayores S_{H6-9} , identificados en el Híbrido de Timor (Eskes et al., 1990).

Adicionalmente, en estudios realizados en progenies derivadas del cruzamiento entre Caturra x Híbrido de Timor, se encontró variación en el nivel de resistencia. Los resultados sugieren la expresión conjunta de genes de resistencia incompleta y la expresión de los genes S_{H6-9} (Moreno, 1989). Los componentes que mejor expresan la resistencia incompleta en materiales derivados de ese origen son: período de incubación (PI) y período de latencia (PL) (Alvarado Alvarado, 2011). Así mismo, la heredabilidad de la resistencia incompleta a la roya del café en sentido amplio y estrecho es alta (56-73%), y los efectos genéticos más importantes son de tipo aditivo, por lo que se concluye que el proceso de selección por resistencia incompleta a la roya puede ser exitoso (Romero Guerrero et al., 2010). Por otra parte, el número estimado de genes que segregan para resistencia incompleta a la roya son de cinco a seis, siendo su control oligogénico, pero no se descarta la presencia de genes menores actuando de manera aditiva (Romero Guerrero et al., 2008).

Cuando se realizaron cruzamientos entre distintas variedades de *C. arabica* y se analizaron sus poblaciones F1 y F2 (Tabla 7), los promedios de infección por *H. vastatrix* fueron intermedios entre ambos progenitores y no se presentó segregación transgresiva; sin embargo, este tipo de segregación sí se observó en una población F3 de Agaro C1164-19 x Catuai, que segregó para los componentes: (PL) períodos más largos para desarrollo de la enfermedad y menor densidad de lesiones

esporulantes (DL), encontrando una correlación entre los datos obtenidos en el laboratorio e invernadero ($r=0,80$), con una significancia $P<0,01$ (Eskes & Carvalho, 1983).

En los procesos de selección de *C. arabica* no es posible indicar un componente de resistencia como el criterio de selección más adecuado. La importancia de cada componente puede variar con la población evaluada (Eskes & Carvalho, 1983), y pueden estar influenciados por la edad de la hoja (Eskes & Toma-Braghini, 1982), la intensidad lumínica (Eskes, 1982) y el efecto de las condiciones ambientales (Herrera Pinilla et al., 2009). Es por ello que, para realizar selección de genotipos por resistencia incompleta a *H. vastatrix*, las condiciones de prueba antes y después de la inoculación deben ser uniformes para todas las plantas (Eskes & Carvalho, 1983). Bajo condiciones de campo, la resistencia incompleta puede determinarse siguiendo el progreso de la enfermedad y la defoliación en períodos de tiempo, en los que ocurren epidemias severas, y su relación posterior con la producción (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997; Alvarado Alvarado, 2011).

La reacción de resistencia incompleta a razas específicas de *H. vastatrix* sugiere que la teoría de gen a gen (Flor, 1956) puede ser aplicable también a genes que confieren resistencia cuantitativa a la roya en café. Adicionalmente, se ha propuesto que cuando los genes de resistencia vertical son vencidos, permanece un remanente que confiere la resistencia incompleta (Vanderplank, 1984). En Colombia, las variedades derivadas de Caturra x Híbrido de Timor y su comportamiento en el campo han permitido postular la hipótesis acerca de la existencia de resistencia incompleta, probablemente de naturaleza cuantitativa, ante la pérdida de la resistencia completa (Romero Guerrero et al., 2008).

Tabla 7. Distribución de frecuencias para observaciones de roya en el campo, escala de Eskes & Toma-Braghini, (1982) en cuatro variedades de *C. arabica* y su progenie F1 y F2.

Padres y progenies	Número de plantas por clase									Media	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
P1 = Ibaré									2	13	8,9
P2 = Mundo Novo				8	6	1					3,5
P3 = Bourbon			1		3	8	4				4,9
P4 = Arabica						2	11	2	1		6,1
F1 (P1 x P2)								2			6,0
F2 (P1 x P2)				1	4	5	9	5	3	5	6,3
F1 (P1 x P3)								4			7,0
F2 (P1 x P3)			1	2	3	4	5	7	5	5	6,4
F1 (P1 x P4)								1	1		7,5
F2 (P1 x P4)						2	7	8	10	3	7,2
F1 (P2 x P3)			1	5	4	2					3,6
F2 (P2 x P3)				4	10	13	4				4,6

* Fuente: Eskes & Carvalho (1983).

Se han reportado diferentes niveles de resistencia horizontal en plantas de la colección CIFC de origen etíope, tales como Geisha-87/1; DK 1/6-32/1; E-268/1; E-340/1; E-622/1; E-846/1; E-115/1; E-896/1; Rume Sudan y en plantas derivadas de variedad Caturra x Híbrido de Timor de origen Colombia (Várzea & Rodrigues Jr, 1985). Sobre estos genotipos se realizaron inoculaciones con aislamientos altamente agresivos y se evaluaron los componentes de resistencia: período de incubación (PI), período de latencia (PL), se cuantificaron las uredosporas por hoja (UPL) y por pústula (UPP). Basados en estos parámetros, se identificaron plantas con el

gen S_{H5} (grupo E), que fueron menos, más o igualmente susceptibles a Caturra, variedad usada como control. Geisha mostró resistencia incompleta con el gen S_{H1} , mientras que el genotipo DK 1/6 con presencia del gen S_{H2} , no presentó resistencia residual, siendo más susceptible que el control. Los derivados de variedad Caturra x Híbrido de Timor, aunque segregaron para el grupo fisiológico E, fueron más resistentes que el control y Rume Sudan, que fue altamente resistente. Resultados similares se observaron en Kenia, bajo condiciones de campo, cuando se evaluaron de 45 genotipos por resistencia a la roya, mediante la escala de Eskes & Toma-Braghini (1982). Se identificaron

los genotipos Rume Sudan, Barbuk Sudan, Ennarea, Geisha12, Babbaka Ghimira, Boma Plateau y Tafariella, como los más resistentes a la enfermedad (Gichimu, 2012).

Los genes S_{H1} , S_{H2} , y S_{H4} , exhiben resistencia vertical, pero son considerados de bajo interés puesto que se han reportado razas virulentas de *H. vastatrix* capaces de vencer su resistencia, y a la complejidad que estas razas pueden adquirir sin aparente presión de selección a favor del patógeno. Sin embargo, las selecciones portadoras de estos genes pueden presentar niveles apreciables de resistencia incompleta, cuando la resistencia específica ha sido vencida por razas compatibles (Castillo Zapata & Leguizamón Caicedo, 1992).

En evaluaciones de 200 accesiones recolectadas en Etiopía por la misión de la FAO, se encontró variación en los niveles de enfermedad en el campo. Una parte significativa de la varianza (35%) fue explicada por diferencias en la capacidad de rendimiento de los genotipos cuando se analizaron los componentes de la resistencia incompleta: período de latencia (PL), densidad de la lesión (DL) y período de retención de hojas (PRH). No obstante, el PRH fue el mejor indicador para relacionar los niveles de la enfermedad en el campo con el rendimiento. Algunas introducciones mostraron baja incidencia y altos rendimientos, pero no se observaron comportamientos opuestos. Los niveles de infección presentaron variación cuando se compararon con las variedades Mundo Novo y Catuai (ambas susceptibles). Adicionalmente, en estas dos variedades se encontraron pequeñas pero significativas diferencias en los niveles de la enfermedad registrados en el campo y la heredabilidad de los componentes de la resistencia en sus progenies derivadas fue bajo (0,31) y el 34% de la varianza encontrada pudo explicarse por la capacidad de rendimiento de las dos variedades (Eskes & Carvalho, 1983).

Las condiciones ambientales pueden influir significativamente en la modulación de la resistencia. El efecto de la sombra y la relación con las epidemias de roya está bien documentado y se han sugerido diversos efectos, probablemente debido a interacciones altamente complejas entre cultivos, medio ambiente, factores biológicos del patógeno (Da Matta, 2004; Belachew et al., 2020) y estado fisiológico de la planta (Toniutti et al., 2017). El efecto de la intensidad de la luz puede explicar parcialmente por qué la roya es menos severa en plantaciones silvestres con alta densidad de árboles que en plantaciones a plena exposición (Sylvain, 1955; Kushalappa & Eskes, 1989). En café bajo sombra, en bosques no perturbados, las hojas tienen una vida útil más larga, lo que permite que puedan establecerse microorganismos que antagonizan con el patógeno, como *Verticillium lecanii*, quien juega un papel importante manteniendo en bajos niveles la roya del café (Jefuka et al., 2010; Jibat, 2020); sin embargo, depende de la dinámica poblacional y de interacciones complejas que probablemente varían sustancialmente en el espacio y el tiempo (Jackson et al., 2012). La resistencia incompleta conferida por el gen S_{H4} , es afectada por la intensidad lumínica (Eskes, 1982; Eskes, 1989). Se determinó que este gen, cuando está en estado heterocigoto puede proporcionar únicamente resistencia incompleta. La susceptibilidad en plantas heterocigotas con el gen S_{H4} se incrementa cuando hay alta exposición a la luz y han sido infectadas con aislamientos de *H. vastatrix*, raza I (V2,5). Estas observaciones, sugieren que la resistencia conferida por el gen S_{H4} es influenciada por las condiciones ambientales (Eskes, 1982; Eskes, 1989).

De otra parte, inoculando plantas de seis meses de edad bajo condiciones controladas, con variaciones en temperatura, intensidad lumínica y dosis de nitrógeno, se observó

que temperaturas entre 22 y 27°C, pueden favorecer la incidencia de la roya. Así mismo, la alta intensidad luminica combinada con bajo contenido de nitrógeno (N), puede aumentar la incidencia en genotipos considerados susceptibles (Toniutti et al., 2017).

En genotipos con alta eficiencia en la asimilación de N se ha observado que existe relación entre esta característica y la infección de la roya, lo que facilita su colonización en el hospedero (Baba et al., 2020). Está demostrado que la nutrición mineral adecuada en *C. arabica*, es una estrategia valiosa para el manejo de las enfermedades en el campo (Pérez et al., 2019). En café, los elementos menores como el zinc (Zn), boro (B) y manganeso (Mn), tienen efectos sobre la expresión de la resistencia a *H. vastatrix* (Vasco et al., 2018; Pérez et al., 2020). Cuando la aplicación de estos microelementos se realiza en dosis adecuadas, se ha observado que influyen en la formación de fenoles y concentración de lignina, disminuyendo la severidad causada por la enfermedad y reduciéndola hasta en un 78% (Pérez et al., 2020). Los altos contenidos de síntesis de lignina, favorecidos por el Mn (Pérez et al., 2020), el B, calcio (Ca), silicio (Si) y el potasio (K), crean una barrera que dificultan la formación del haustorio, disminuyendo la incidencia del patógeno (Ghufron Rosyady et al., 2020). De esta manera la lignificación se convierte en una barrera primaria para hacer frente a la infección por *H. vastatrix* (Ghufron Rosyady et al., 2020).

Las interacciones entre el rendimiento y la expresión de la resistencia incompleta en *C. arabica*, también han sido tema de estudio por diferentes investigadores. Se ha determinado que plantas con altos niveles de resistencia incompleta pueden mostrar ataques de roya únicamente en años de altos rendimientos. Así mismo, se demostró que las hojas que contribuyen al desarrollo de las cerezas son

más susceptibles a la infección por roya, que las hojas que están relacionadas con el crecimiento vegetativo de la planta. En consecuencia, las variedades de café de altos rendimientos tienen más probabilidades de ser afectadas por el hongo, que las variedades de presentan bajos rendimientos (Kushalappa & Eskes, 1989; Avelino et al., 2006), y las ramas con cerezas son más susceptibles que las ramas sin ellas (Lamberti et al., 1983).

En poblaciones F2, derivadas del cruzamiento entre variedades resistentes y susceptibles, se ha observado que plantas con baja productividad frecuentemente muestran resistencia completa o parcial, y las plantas con alta productividad son resistentes o susceptibles, y raras veces exhiben resistencia parcial (Silva et al., 2006), y en poblaciones avanzadas (F4-F5) derivadas de Caturra x Híbrido de Timor, cuando se relacionaron los efectos de la enfermedad sobre la producción se encontraron genotipos con resistencia completa, incompleta y susceptibles (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997; Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011). En consecuencia, la resistencia incompleta podría explicarse por el estado fisiológico de la planta (Silva et al., 2006). Estos comportamientos en producción sugieren cambios en la relación fuente-vertedero y en la transferencia de energía que interfiere con la producción de azúcares, necesarios no sólo para el crecimiento, la respiración y la acumulación de compuestos de almacenamiento, sino que también son necesarios para regular la expresión genética relacionada con la activación de los mecanismos de defensa de la planta contra los patógenos (Berger et al., 2007; Millett et al., 2009).

Se ha observado que en la variedad Colombia se presenta defoliación causada por la roya, pero su progreso es lento y retrasado (de hasta cuatro meses). Cuando se compara la caída de hojas entre genotipos susceptibles y la

variedad Colombia, las marcadas diferencias constituyen un parámetro útil, que permite seleccionar genotipos con resistencia incompleta a la enfermedad (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997; Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011), demostrando que existe una relación directa entre la incidencia de la enfermedad, la proporción de hojas caídas debido al desarrollo del patógeno y su efecto depresivo sobre la producción (Alvarado Alvarado et al., 2000; Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001). Estas variables fueron evaluadas en los dos semestres del año, en la variedad Colombia (con resistencia completa), Caturra (susceptible) y progenies derivadas del cruzamiento entre variedad Caturra e Híbrido de Timor. La investigación se llevó a cabo en experimentos de campo establecidos con y sin control químico contra roya. En las plantas se realizaron evaluaciones en la zona de crecimiento vegetativo (ZP), responsable de la formación de frutos que se recolectaron en el segundo semestre, y la parte terminal de las ramas con flores en proceso de diferenciación (ZC), que posteriormente se convirtieron en

frutos que fueron recolectados en la cosecha de primer semestre del año siguiente. En las observaciones, se encontró que, en todos los casos, se comprobó la relación directa que existe entre la incidencia y la caída de las hojas, y en genotipos susceptibles y resistentes se presenta el mismo patrón de defoliación. No obstante, se ha observado que en los genotipos resistentes la defoliación se presenta hasta con cuatro meses de retraso (Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado et al., 2000). En genotipos susceptibles, en el primer semestre se presenta alta incidencia de la enfermedad en la zona de crecimiento vegetativo y disminuye gradualmente, debido al avance de la defoliación. En el segundo semestre, los niveles de la enfermedad aumentan aceleradamente en la zona de diferenciación, y pueden llegar a niveles que superan el 60% (Figura 1-a; Figura 1-b). En la variedad Colombia, la epidemia que se presentó en primer semestre, únicamente alcanzó el desarrollo de los primeros síntomas de la enfermedad y estos fueron previos al crecimiento acelerado de las curvas de incidencia (Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001).

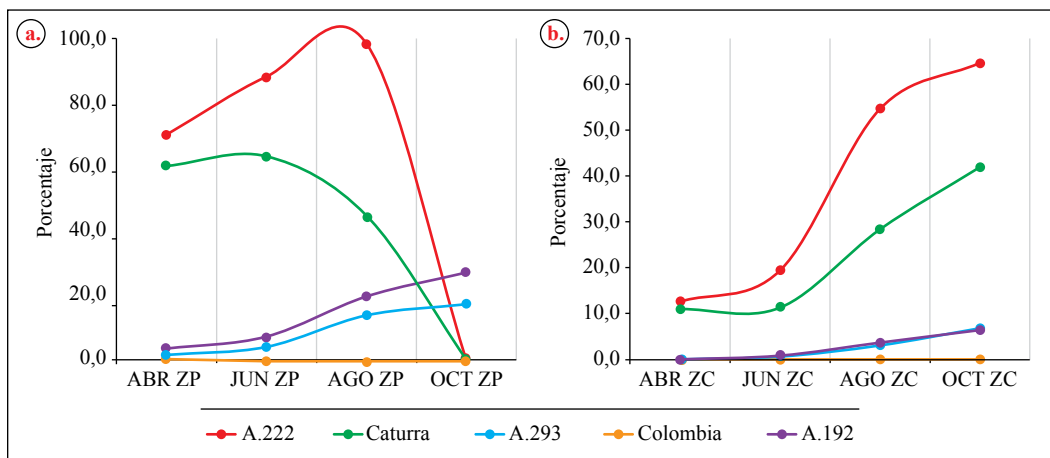


Figura 1. Porcentaje de incidencia de la roya en la zona en fructificación de la rama (ZP) (a) y zona en diferenciación floral o crecimiento (ZC) (b), medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *H. vastatrix*. Fuente: Alvarado Alvarado (2011).

Cuando se determinaron los porcentajes de defoliación en la zona de producción, se observó que los genotipos considerados resistentes pierden hojas debido a la enfermedad, pero lo hacen en menor cantidad, comparado con genotipos susceptibles. La variedad Colombia presentó defoliación que fue aumentando en el tiempo, pero su velocidad fue menor y con inicio retrasado, comparada con la variedad Caturra (Figura 2-a; Figura 2-b). La pérdida de hojas en la variedad resistente se atribuyó a causas distintas de la roya, como las relacionadas a la edad de la hoja y al daño que se presenta en la recolección de la cosecha de café (Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011; Alvarado Alvarado et al., 2000).

En los genotipos susceptibles se observó que la enfermedad se desarrolla con mayor rapidez y coincide con el crecimiento de las ramas nuevas, que darán lugar a la siguiente cosecha, afectándola tempranamente (Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011; Alvarado Alvarado et al., 2000), y explica la estrecha relación que existe entre los niveles de infección, la proporción de

hojas caídas durante el ciclo de desarrollo de las cerezas y la disminución en la producción. Este comportamiento puede ajustarse a la definición para la resistencia dilatoria (Browning et al., 1977; Marchetti, 1983; Alvarado Alvarado, 2011), donde se retarda el progreso de la enfermedad, cualesquiera que sean los mecanismos (genético, fisiológico o epidemiológico) que estén involucrados en esa dilación.

Por otra parte, la incidencia de la roya y la defoliación causada por la enfermedad tienen efectos directos sobre la producción. En genotipos susceptibles, la defoliación temprana en las ramas productivas repercute en el desarrollo de los frutos, caso contrario se ha observado en genotipos considerados con resistencia incompleta. El efecto de este tipo de resistencia en la planta es conservar la suficiente cantidad de hojas que garanticen el llenado de frutos en la cosecha actual y proporcionar la energía necesaria para emitir nuevos puntos de crecimiento vegetativo, que serán los responsables de la cosecha del siguiente ciclo productivo (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997).

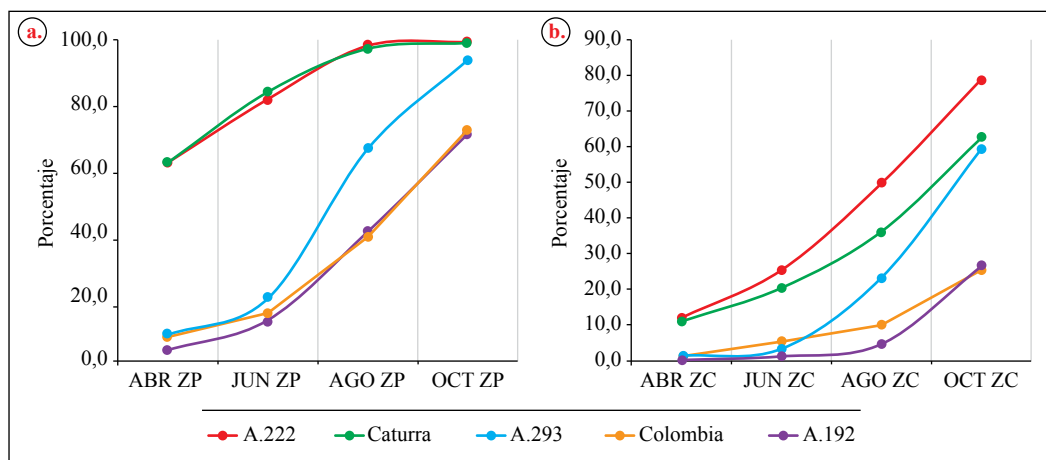


Figura 2. Porcentaje de defoliación en la zona en fructificación (ZP) (a) y zona en diferenciación floral (ZC) (b) medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *H. vastatrix*. Fuente: Alvarado Alvarado (2011).

La estimación de los efectos de la roya en las variedades Caturra y Colombia, las diferencias observadas en incidencia, defoliación y los efectos directos sobre la producción, constituyen un criterio útil para la identificar genotipos con resistencia incompleta (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997), permitiendo así clasificar los derivados de Caturra x Híbrido de Timor en genotipos que presentan alta incidencia y defoliación por roya (genotipo susceptible) y baja producción debido al efecto depresivo de la enfermedad (genotipo susceptible) y genotipos con baja incidencia, baja defoliación (genotipo resistente) y alta producción (genotipo resistente). En la Figura 3, este grupo se identifica como plantas SS y RR. También es posible identificar plantas (SR), en las que no se observa afectación en la producción, aun cuando se presenta alta incidencia y defoliación por efecto directo de la roya y plantas del grupo RS. Esta última categoría la conforman las plantas sin efectos del patógeno sobre las hojas, pero con disminución notoria en la producción (Figura 3) (Castillo Zapata & Alvarado Alvarado, 1997;

Alvarado Alvarado & Solórzano Buitrago, 2001; Alvarado Alvarado, 2011; Alvarado Alvarado et al., 2000).

De esta manera, pudo determinarse la afectación en la producción, atribuible al efecto de la enfermedad y permitió la identificación de genotipos resistentes en sentido incompleto y genotipos susceptibles. Dentro de los últimos, se identificaron casos de tolerancia a *H. vastatrix* (genotipos aparentemente susceptibles, pero indiferentes al efecto de la enfermedad sobre la producción).

Los análisis económicos de progenies derivadas de variedad Caturra x Híbrido de Timor han permitido identificar que, además de la resistencia horizontal, estas progenies tienen una alta productividad, buenos atributos agronómicos y calidad de grano que se traducen en mayores ingresos para el caficultor. Los análisis económicos y de producción, refuerzan la viabilidad de usarlas comercialmente (Aristizábal Arias & Duque Orrego, 2007).

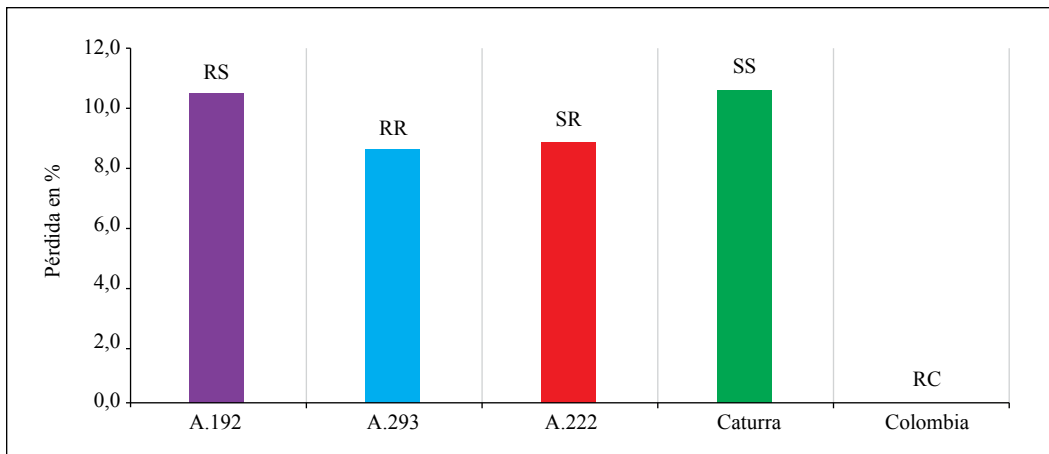


Figura 3. Discriminación de genotipos resistentes (R) y susceptibles (S) a *H. vastatrix*, mediante la medida del progreso de la enfermedad y la defoliación en la región productiva de las plantas, y por el detrimento en la producción por efecto de la roya. Significativo para $P=0,99$; Con: similitud en la calificación como resistente (R), susceptible (S) y resistencia completa (RC). Fuente: Alvarado Alvarado (2011).

Escalas para medir la resistencia incompleta a *Hemileia vastarix* Berk y Broome

Un aspecto importante cuando se hace uso de la resistencia incompleta, es tener una metodología adecuada que permita cuantificarla. En el CIFC se adoptó un sistema para la cuantificación del tipo de reacción, el cual es similar al empleado en cereales (D'Oliveira, 1957; Eskes & Toma-Braghini, 1981; Eskes, 1989). Esta clasificación se simplifica en cuatro tipos de reacción: resistente (R), Moderadamente Resistente (MR), Moderadamente Susceptible (MS) y Susceptible (S).

No obstante, con el fin de normalizar la toma de datos resultantes en investigaciones de roya, se propuso una escala cuantitativa de 0 a 9 (Tabla 8), la cual puede emplearse para determinar la resistencia en las hojas por separado y en la planta completa. La escala es suficientemente amplia y permite incluir todos los tipos de reacciones heterogéneas (Eskes & Toma-Braghini, 1981).

Los tipos de reacción 4 a 7 corresponden a reacciones intermedias; en los cuales la intensidad creciente de la esporulación se correlaciona, por lo general, con un aumento de la proporción de lesiones esporulantes (Eskes & Toma-Braghini, 1981). La equivalencia de esta escala y la usada en el CIFC se resumen en: R = Índice 1, 2 y 3, MR = Índice 4 y 5, MS = Índice 6 y 7, S = Índice 8 y 9.

Para determinar la resistencia en grandes poblaciones en el campo, se han propuesto dos tipos de escalas (Eskes & Toma-Braghini, 1981): una escala que toma como unidad de observación a la planta (Figura 4) y una segunda escala que toma a la rama como unidad de observación (Figura 5).

En la escala I, cada punto en la gráfica (Figura 4), representan las ramas enfermas observadas en el árbol a primera vista (Eskes & Toma-Braghini, 1981). En la escala II, la unidad de observación es el promedio de incidencia de la enfermedad, detectado en las ramas infectadas (Figura 5).

En el laboratorio, la escala de 0 a 9 también puede ser usada para medir la infección en inoculaciones en discos foliares (Eskes & Toma-Braghini, 1981); sin embargo, la escala fue modificada por Leguizamón Caicedo (1985), usando como unidad de observación la hoja completa, para medir las reacciones de resistencia incompleta (Figura 3). Entre las consideraciones para su modificación, se tuvo como antecedente que no todos los genotipos de café soportan el corte de tejido para evaluar en discos foliares.

En general, los resultados que se obtienen con la escala modificada (Leguizamón Caicedo, 1985), tienen la misma tendencia que la escala original (Eskes & Toma-Braghini, 1981). Es decir, la tasa de infección por la enfermedad crece con el aumento la concentración de inóculo.

Por otra parte, cuantificar la enfermedad en el campo es fundamental para entender su comportamiento y para ello se han desarrollado metodologías con el fin de reducir los sesgos relacionados a la subjetividad del observador. Para café, se ha desarrollado el diagrama de área estándar (DAE) (López et al., 2018), con el fin de estimar visualmente de la gravedad de la lesión realizada por un evaluador, logrando obtener menor magnitud de error en la estimación. Por lo tanto, existe menor riesgo de sub o sobre estimar las valoraciones.

Tabla 8. Descripción de la escala de 0 a 9 propuesta por Eskes & Toma-Braghini (1981).

Valor del Índice	Descripción de los tipos de reacción en las hojas o plantas completas
0	Inmunidad, ninguna reacción visible.
1	Pequeñas manchas cloróticas, a menudo junto con pequeñas tumefacciones.
2	Manchas cloróticas de mayor tamaño, frecuentemente junto con tumefacciones. No se forman uredosporas.
3	Manchas cloróticas de varios tamaños, con algunas zonas cloróticas de gran tamaño. Pocas tumefacciones. No se forman uredosporas.
4	Manchas cloróticas de varios tamaños, con alguna formación de uredosporas sobre grandes lesiones cloróticas. Esporulación en menos de un 25% de todas las lesiones. Pueden aparecer algunas tumefacciones. A menudo las lesiones se necrosan anticipadamente.
5	Como en 4, pero con mayor producción de uredosporas. Esporulación en menos del 50% de todas las lesiones.
6	Como en 5, pero con mayor producción de uredosporas. Esporulación en menos de un 75% de todas las lesiones.
7	Como en 6, pero con abundante formación de uredosporas. Esporulación hasta en un 95% de todas las lesiones.
8	Se presenta todo tipo de lesiones con grado variable de esporulación, a veces junto con tumefacciones.
9	Solamente lesiones con abundante esporulación, sin una clorosis marcada en el borde de la lesión.

Fuente: D'Oliveira (1957); Eskes & Toma-Braghini (1981); Eskes (1989).

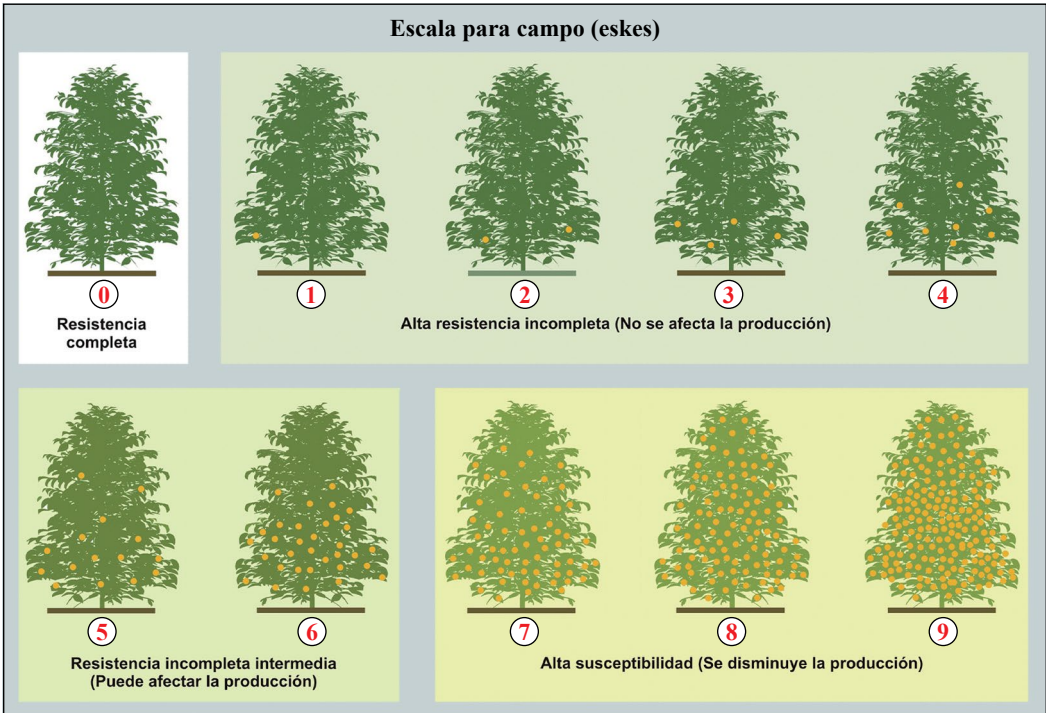


Figura 4. Escala I de evaluación de la enfermedad: incidencia de la roya del cafeto en condiciones de campo. Grado 0 = Ninguna lesión esporulante. Debe verificarse su ausencia mediante observación detallada de la copa inferior del arbusto. Grado 1 = A primera vista se determina la presencia de una rama infectada en cualquier costado de la planta. Grado 2 a 8 = Estos valores representan un incremento gradual del número de ramas enfermas por arbusto, determinadas a primera vista. Grado 9 = Este valor equivale al máximo de incidencia de la enfermedad. Fuente: (Alvarado Alvarado, 2011).

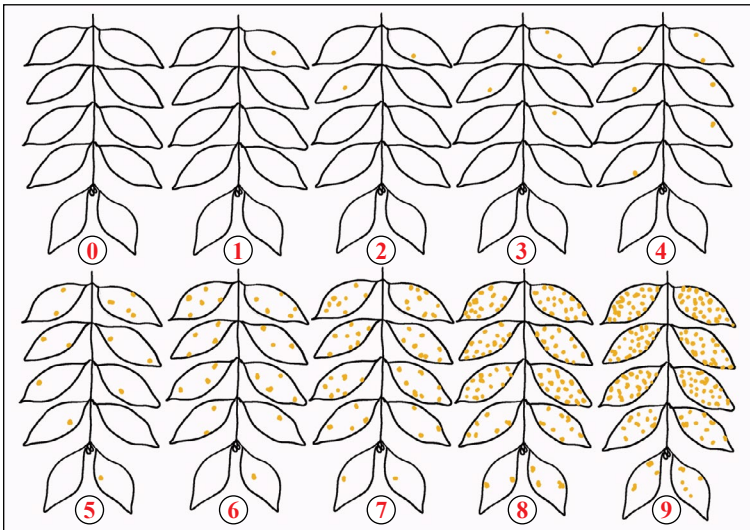


Figura 5. Escala II de evaluación de la enfermedad: incidencia de la roya del cafeto en condiciones de campo. Grado 0 = Ninguna lesión esporulante. Debe verificarse mediante observación cuidadosa en ramas inferiores. Grado 1 = El número promedio de lesiones por rama enferma es aproximadamente 1. Grado 2 a 8 = El número de lesiones por rama infectada aumenta. Grado 9 = Este valor equivale al máximo de incidencia de la enfermedad. Fuente: Eskes & Toma-Braghini (1981).



Figura 6. Escala de evaluación de resistencia incompleta enfermedad desarrollada por Leguizamón Caicedo (1985). 0: Ausencia de lesión visible, 1: Aparición de pequeñas lesiones decoloradas, 2: Aumento de la superficie de la lesión y decoloración más profunda, 3: Tendencia de las lesiones e intensificación de la decoloración, 4: Aparición de las primeras esporas, 5: Esporulación inferior al 25% de la superficie de la lesión, 6: Esporulación superior al 25 hasta el 50% de la superficie de la lesión, 7: Esporulación superior al 50% de la superficie de la lesión. Fuente de la imagen: Autor.

CONCLUSIONES

La resistencia completa puede ser efectiva solo cuando el patógeno se establece por primera vez en el campo. En café, el inóculo se reduce cuando las hojas infectadas caen al suelo, sin embargo, esta reducción nunca es suficiente para romper el ciclo de la enfermedad. Por lo tanto, la resistencia completa pierde efectividad en las generaciones posteriores del patógeno y es la resistencia incompleta la que puede proveer defensa a estos ciclos subsecuentes.

Su funcionamiento no es del todo claro y son diversos los aportes que la investigación

científica ha realizado para evaluar, medir y comprender su expresión en *C. arabica* L. Su respuesta depende de diversos factores, entre ellos, los antecedentes genéticos de la planta, siendo este un aspecto de gran complejidad que se ha tratado de explicar, sin que a la fecha se haya dicho la última palabra. Es por ello que, debe seguirse avanzando en su entendimiento y en los aspectos que la condicionan.

En la actualidad, con las escalas que se han desarrollado para cuantificar los niveles de resistencia incompleta y que fueron elaboradas sobre genotipos hoy considerados

altamente susceptibles, es complejo poder determinar cuándo se presentan niveles de resistencia horizontal apreciables. Dentro de las limitantes está la dificultad de medir la intensidad de la enfermedad y la influencia que ejercen los factores ambientales en la modulación de la resistencia incompleta, la cual no es infinita. Este es un recurso que se irá agotando con su uso sucesivo y una respuesta directa de ello será la disminución de los rendimientos en las variedades por afectación directa del patógeno. Por lo tanto, es importante anticipar y poder detectar este fenómeno en variedades actuales mediante valoraciones cuantitativas, que permitan medir la disminución de la resistencia a

variantes de *H. vastatrix* establecidas en el campo. Lo anterior, debido a que se espera mayor rapidez en las tasas de cambio en resistencia del patógeno, partiendo de la base de que los genes que han soportado la resistencia a la roya en variedades cultivadas, han estado expuestos en el campo por más de 40 años, desde que se empezó a hacer uso del Híbrido de Timor, como fuente de resistencia contra la roya en los programas de mejoramiento genético del mundo, y durante este tiempo se ha estado ejerciendo presión de selección en el campo, a favor de razas compatibles del patógeno con los factores de resistencia en las variedades comerciales de café.

LITERATURA CITADA

- Akano, A., Dixon, A., Mba, C., Barrera, E., & Fregene, M. (2002). Genetic mapping of a dominant gene conferring resistance to cassava mosaic disease. *Theoretical and Applied Genetics*, 105(4), 521–525. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0891-7>
- Alvarado Alvarado, G. (2011). *El café y la roya: Estrategias de resistencia incompleta*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/libros/publicaciones_libro_el_cafe_y_la_roya_estrategias_de_resistencia_incompleta
- Alvarado Alvarado, G., & Solórzano Buitrago, L. (2001). Caracterización de la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* en genotipos de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 52(1), 5–19. <http://hdl.handle.net/10778/765>
- Alvarado Alvarado, G., Cortina Guerrero, H., & Moreno Ruiz, L. G. (2000). Efecto depresivo de la roya *Hemileia vastatrix* en la producción de genotipos de café con diferentes niveles de resistencia incompleta derivada del Híbrido de Timor. *Revista Cenicafé*, 51(3), 224–237. <http://hdl.handle.net/10778/1005>
- Andersen, E., Ali, S., Byamukama, E., Yen, Y., & Nepal, M. (2018). Disease Resistance Mechanisms in Plants. *Genes*, 9(7), 339. <https://doi.org/10.3390/genes9070339>
- Aristizábal Arias, C., & Duque Orrego, H. (2007). Análisis económico del efecto de la roya en la variedad Caturra y progenies con resistencia incompleta. *Revista Cenicafé*, 58(3), 167–184. <http://hdl.handle.net/10778/184>
- Artie Browning, J. (1990). El papel de la diversidad genética en la obtención de una protección vegetal natural y durable. En Federación Nacional de Cafeteros & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *50 años de Cenicafé 1938-1988, Conferencias conmemorativas* (pp. 133–139). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/713>
- Avelino, J., Zelaya, H., Merlo, A., Pineda, A., Ordoñez, M., & Savary, S. (2006). The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling*, 197(3–4), 431–447. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.013>
- Baba, V. Y., Braghini, M. T., Santos, T. B., Carvalho, K., Soares, J. D., Ivamoto-Suzuki, S. T., Maluf, M. P., Padilha, L., Paccola-Meirelles, L. D., Pereira, L. F., & Domingues, D. S. (2020). Transcriptional patterns of *Coffea arabica* L. nitrate reductase, glutamine and asparagine synthetase genes are modulated under nitrogen suppression and coffee leaf rust. *PeerJ*, 8, e8320. <https://doi.org/10.7717/peerj.8320>
- Barka, G. D. (2017). *Structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach* [Tesis de Doctorado]. Universidade Federal de Viçosa.

- Barka, G. D., Caixeta, E. T., Ferreira, S. S., & Zambolim, L. (2020). In silico guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach. *PLOS ONE*, 15(7), e0222747. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222747>
- Belachew, K., Senbeta, G. A., Garedew, W., Barreto, R. W., & Del Ponte, E. M. (2020). Altitude is the main driver of coffee leaf rust epidemics: A large-scale survey in Ethiopia. *Tropical Plant Pathology*, 45(5), 511–521. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00383-4>
- Berger, S., Sinha, A. K., & Roitsch, T. (2007). Plant physiology meets phytopathology: Plant primary metabolism and plant pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16), 4019–4026. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm298>
- Bettencourt, A. J., & Noronha Wagner, M. (1971). Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Agronomia lusitana*, 31(4), 285–292.
- Bettencourt, A., & Lopez, J. (1982, Outubro 11-14). Fatores genéticos que condicionam a resistencia do Híbrido de timor a *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Proceedings 10th International scientific Colloquium on Coffee*. Salvador- Bahia, Brasil.
- Bettencourt, A., & Rodrigues, C. (1988). Principles and practice of Coffee breeding for resistance to rust and other diseases. En R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Volume 4: Agronomy* (pp. 199–234). Springer Netherlands.
- Bonde, M. R., Nester, S. E., & Berner, D. K. (2012). Effects of Soybean Leaf and Plant Age on Susceptibility to Initiation of Infection by *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Health Progress*, 13(1), 25. <https://doi.org/10.1094/PHP-2012-0227-01-RS>
- Brown, J. K. M. (2002). Yield penalties of disease resistance in crops. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(4), 339–344. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(02\)00270-4](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(02)00270-4)
- Browning, J. A., Simons, M. D., & Torres, E. (1977). Managing Host Genes: Epidemiologic and Genetic Concepts. En *How Disease Is Managed* (pp. 191–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-356401-6.50018-8>
- Cadena Gómez, G. (1978). *Expresión de resistencia horizontal a la roya (Hemileia vastatrix) en la variedad conilon (Coffea canephora)* [Tesis de Maestría], Universidad Nacional de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32880>
- Cadena Gómez, G., & Buriticá Céspedes, P. (1980). Expresión de resistencia horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) en *Coffea canephora* variedad Conilón. *Revista Cenicafe*, 31(1), 3–27. <http://hdl.handle.net/10778/4267>
- Cadena Gómez, G., & Buritica Céspedes, P. (1981). Determinación cuantitativa de resistencia a *Hemileia vastatrix* en plantas de *Coffea canephora* variedad conilon. *Revista Cenicafe*, 32(1), 15–34. <http://hdl.handle.net/handle/10778/4268>
- Capucho, A. S., Caixeta, E. T., Zambolim, E. M., & Zambolim, L. (2009). Herança da resistência do Híbrido de Timor UFV 443-03 à ferrugem-do-café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(3), 276–282. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300009>
- Castillo Zapata, J., & Alvarado Alvarado, G. (1997). Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. *Revista Cenicafe*, 48(1), 40–58. <http://hdl.handle.net/handle/10778/4269>
- Castillo Zapata, J., & Leguizamón Caicedo, J. (1992). Virulencia de *Hemileia vastatrix* determinada por medio de plantas diferenciales de café en Colombia. *Revista Cenicafe*, 43(4), 114–124.
- Conceição, A. S., Fazuoli, L. C., & Braghini, M. T. (2005). Avaliação e seleção de progênies F₃ de cafeeiros de porte baixo com o gene SH₃ de resistência a *Hemileia vastatrix* Berk. Et Br. *Bragantia*, 64(4), 547–559. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400004>
- Coutinho, T. A., Rijkenberg, F. H. J., & Asch, M. A. J. (1994). The effect of leaf age on infection of *Coffea* genotypes by *Hemileia vastatrix*. *Plant Pathology*, 43(1), 97–103. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb00558.x>
- Couttolenc-Brenis, E., Carrión, G. L., Villain, L., Ortega-Escalona, F., Ramírez-Martínez, D., Mata-Rosas, M., & Méndez-Bravo, A. (2020). Prehaustorial local resistance to coffee leaf rust in a Mexican cultivar involves expression of salicylic acid-responsive genes. *PeerJ*, 8, e8345. <https://doi.org/10.7717/peerj.8345>
- D’Oliveira, B. (1957). *As ferrugens do cafeeiro*. Oeiras, Portugal: Centro de Investigacao das Ferrugens di Cafeeiro.
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. *Field Crops Research*, 86(2–3), 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>

- Dinglasan, E., Hickey, L., Ziemas, L., Fowler, R., Anisimova, A., Baranova, O., Lashina, N., & Afanasenko, O. (2019). Genetic Characterization of Resistance to *Pyrenophora teres* f. *Teres* in the International Barley Differential Canadian Lake Shore. *Frontiers in Plant Science*, 10, 326. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00326>
- Diola, V., Brito, G. G., Caixeta, E. T., Pereira, L. F. P., & Loureiro, M. E. (2013). A new set of differentially expressed signaling genes is early expressed in coffee leaf rust race II incompatible interaction. *Functional & Integrative Genomics*, 13(3), 379–389. <https://doi.org/10.1007/s10142-013-0330-7>
- Silva, M. do C., Várzea, V., Guerra-Guimarães, L., Azinheira, H. G., Fernandez, D., Petitot, A.-S., Bertrand, B., Lashermes, P., & Nicole, M. (2006). Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 119–147. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 33–46. <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>
- Dwivany, F. M., Esyanti, R. R., Pratiwi, A. 'Sa, & Zaskia, H. (2016). Expression Study of Banana Pathogenic Resistance Genes. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(4), 196–199. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.06.007>
- Echeverria-Beirute, F., Murray, S. C., Klein, P., Kerth, C., Miller, R., & Bertrand, B. (2018). Rust and Thinning Management Effect on Cup Quality and Plant Performance for Two Cultivars of *Coffea arabica* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5281–5292. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03180>
- Eskes, A. B. (1989). Resistance. En A. C. Kushalappa & A. B. Eskes (Eds.), *Coffee rust: Epidemiology, resistance, and management* (pp. 171–291). CRC Press.
- Eskes, A. B. (1977, Outubro 18–21). Uso de discos de folhas para avaliar a resistencia do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*; efeito da luminosidade e concentracao de inóculo. *V Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Guarapari, Brasil.
- Eskes, A. B. (1982). The effect of light intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 88(5), 191–202. <https://doi.org/10.1007/BF02140882>
- Eskes, A. B. (1983). Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea canephora* cv. Kouillou. *Euphytica*, 32(2), 639–648. <https://doi.org/10.1007/BF00021477>
- Eskes, A. B. (1983). Incomplete Resistance to Coffee Leaf Rust. En F. Lamberti, J. M. Waller, & N. A. Van der Graaff (Eds.), *Durable Resistance in Crops* (pp. 291–315). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9305-8_26
- Eskes, A. B., & Carvalho, A. (1983). Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. *Euphytica*, 32(2), 625–637. <https://doi.org/10.1007/BF00021476>
- Eskes, A. B., & Da Costa, W. M. (1983). Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the icatu coffee population. *Euphytica*, 32(2), 649–657. <https://doi.org/10.1007/BF00021478>
- Eskes, A. B., & Toma-Braghini, M. (1981). Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del café (Hemileia vastatrix Berk. et Br.). *Boletín Fitosanitario FAO*, 29(3–4), 56–66.
- Eskes, A. B., & Toma-Braghini, M. (1982). The effect of leaf age on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 88(6), 219–230. <https://doi.org/10.1007/BF02000128>
- Eskes, A. B., Hoogstraten, J. G. J., Toma-Braghini, M., & Carvalho, A. (1990). Race-specificity and inheritance of incomplete resistance to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Híbrido de Timor. *Euphytica*, 47(1), 11–19. <https://doi.org/10.1007/BF00040356>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2020). *SIC@–Sistema de Información Cafetera de Colombia* [Plataforma]. <https://sica.cafedecolombia.com/sica/faces/index.jsp>
- Fernandes-Brum, C. N., Garcia, B. de O., Moreira, R. O., Sággio, S. A., Barreto, H. G., Lima, A. A., Freitas, N. C., de Lima, R. R., de Carvalho, C. H. S., & Chalfun-Júnior, A. (2017). A panel of the most suitable reference genes for RT-qPCR expression studies of coffee: Screening their stability under different conditions. *Tree Genetics & Genomes*, 13(6), 131. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1213-1>
- Ficke, A., Cowger, C., Bergstrom, G., & Brodal, G. (2018). Understanding Yield Loss and Pathogen Biology to Improve Disease Management: Septoria Nodorum Blotch—A Case Study in Wheat. *Plant Disease*, 102(4), 696–707. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-17-1375-FE>
- Ficke, A., Gadoury, D. M., & Seem, R. C. (2002). Ontogenic Resistance and Plant Disease Management: A Case Study of Grape Powdery Mildew. *Phytopathology*, 92(6), 671–675. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.6.671>

- Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. En *Advances in Genetics* (Vol. 8, pp. 29–54). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)
- Flor, H. H. (1971). Current Status of the Gene-For-Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, 9(1), 275–296. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001423>
- Florez, J. C., Mofatto, L. S., Freitas-Lopes, R., Ferreira, S. S., Zambolim, E. M., Carazzolle, M. F., Zambolim, L., & Caixeta, E. T. (2017). High throughput transcriptome analysis of coffee reveals prehaustorial resistance in response to *Hemileia vastatrix* infection. *Plant Molecular Biology*, 95(6), 607–623. <https://doi.org/10.1007/s11103-017-0676-7>
- Galiano-Carneiro, A. L., & Miedaner, T. (2017). Genetics of Resistance and Pathogenicity in the Maize/Setosphaeria turcica Pathosystem and Implications for Breeding. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1490. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01490>
- Ganesh, D., Petitot, A.-S., Silva, M. C., Alary, R., Lecouls, A.-C., & Fernandez, D. (2006). Monitoring of the early molecular resistance responses of coffee (*Coffea arabica* L.) to the rust fungus (*Hemileia vastatrix*) using real-time quantitative RT-PCR. *Plant Science*, 170(6), 1045–1051. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.12.009>
- Gao, L., Tu, Z. J., Millett, B. P., & Bradeen, J. M. (2013). Insights into organ-specific pathogen defense responses in plants: RNA-seq analysis of potato tuber-*Phytophthora infestans* interactions. *BMC Genomics*, 14(1), 340. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-340>
- Rosyady, M. G., Wijaya, K. A., Wulanjari, D., & Wafa, A. (2020). Role of Mineral Elements to Induce the Resistance of Arabica Coffee Against Rust Disease at Lowland Area. *E3S Web of Conferences*, 142, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014203003>
- Gichimu, B. M. (2012). Field Screening of Selected *Coffea arabica* L. Genotypes Against Coffee Leaf Rust. *African Journal of Horticultural Science*, 6, 82–91. <http://hdl.handle.net/123456789/110>
- Gupta, N., Debnath, S., Sharma, S., Sharma, P., & Purohit, J. (2017). Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. En V. S. Meena, P. K. Mishra, J. K. Bisht, & A. Pattanayak (Eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (pp. 217–262). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_8
- Hsam, S. L. K., Mohler, V., & Zeller, F. J. (2014). The genetics of resistance to powdery mildew in cultivated oats (*Avena sativa* L.): Current status of major genes. *Journal of Applied Genetics*, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1007/s13353-014-0196-y>
- Herrera Pinilla, J. C., Alvarado, G., Cortina, H. A., Combes, M. C., Romero, G., & Lashermes, P. (2009). Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated *Coffea arabica* L. from the diploid *C. canephora* species. *Euphytica*, 167(1), 57–67. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9860-9>
- Hooker, A. L. (1967). The Genetics and Expression of Resistance in Plants to Rusts of the Genus Puccinia. *Annual Review of Phytopathology*, 5(1), 163–178. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.05.090167.001115>
- Hu, L., & Yang, L. (2019). TimetoFight: Molecular Mechanisms of Age-Related Resistance. *Phytopathology*, 109(9), 1500–1508. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-18-0443-RVW>
- Huber, D. M., & Watson, R. D. (1974). Nitrogen Form and Plant Disease. *Annual Review of Phytopathology*, 12(1), 139–165. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.12.090174.001035>
- Jackson, D., Skillman, J., & Vandermeer, J. (2012). Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biological Control*, 61(1), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.01.004>
- Jefuka, C., Fininsa, C., Adugna, G., & Hindorf, H. (2010). Coffee Leaf Rust Epidemics (*Hemileia vastatrix*) in Montane Coffee (*Coffea arabica* L.) Forests in Southwestern Ethiopia. *East African Journal of Sciences*, 4(2), 86–95. <https://doi.org/10.4314/eajsci.v4i2.71530>
- Jiang, N., Yan, J., Liang, Y., Shi, Y., He, Z., Wu, Y., Zeng, Q., Liu, X., & Peng, J. (2020). Resistance Genes and their Interactions with Bacterial Blight/Leaf Streak Pathogens (*Xanthomonas oryzae*) in Rice (*Oryza sativa* L.)—an Updated Review. *Rice*, 13(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s12284-019-0358-y>
- Jibat, M. (2020). Review on Resistance Breeding Methods of Coffee Leaf Rust in Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 7(6), 32–41. <https://www.ijraf.org/v7-i6>
- Juyo Rojas, D. K., Soto Sedano, J. C., Ballvora, A., Léon, J., & Mosquera Vásquez, T. (2019). Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight

- in potato. *PLoS ONE*, 14(7), e0213818. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213818>
- Krenz, J. E., Sackett, K. E., & Mundt, C. C. (2008). Specificity of Incomplete Resistance to *Mycosphaerella graminicola* in Wheat. *Phytopathology*[®], 98(5), 555–561. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-5-0555>
- Kushalappa, A. C., & Eskes, A. B. (1989). Advances in Coffee Rust Research. *Annual Review of Phytopathology*, 27(1), 503–531. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.27.090189.002443>
- Lamberti, F., Waller, J. M., & Van der Graaff, N. A. (Eds.). (1983). *Durable Resistance in Crops*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9305-8>
- Leguizamón Caicedo, J. (1985). *Contribution a la connaissance de la résistance incomplète du caféier arabica (Coffea arabica L.) à la rouille orangée (Hemileia vastatrix Berk. Et Br.)*. CIRAD. <https://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=86913>
- Li, W., Chern, M., Yin, J., Wang, J., & Chen, X. (2019). Recent advances in broad-spectrum resistance to the rice blast disease. *Current Opinion in Plant Biology*, 50, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.03.015>
- López, J. M., Marín-Ramírez, G., Gaitán, A., & Ángel, C. A. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 498, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4244>
- Maciel, J. L., & Danelli, A. L. (2018). Resistência genética de plantas a fungos. En L. J. Dallagnol (Ed.), *Resistência genética de plantas a patógenos* (pp. 359–393). UFPEL. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/4207>
- Marchetti, M. A. (1983). Dilatory resistance to rice blast in USArice. *Phytopathology*, 73(5), 645–649. https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1983Articles/Phyto73n05_645.pdf
- Marla, S. R., Chu, K., Chintamanani, S., Multani, D. S., Klempien, A., DeLeon, A., Bong-suk, K., Dunkle, L. D., Dilkes, B. P., & Johal, G. S. (2018). Adult plant resistance in maize to northern leaf spot is a feature of partial loss-of-function alleles of Hm1. *PLoS Pathogens*, 14(10), e1007356. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007356>
- Marraccini, P. (2020). Gene Expression in Coffee. En F. M. Cánovas, U. Lüttge, M.-C. Risueño, & H. Pretzsch (Eds.), *Progress in Botany Vol. 82* (Vol. 82, pp. 43–111). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/124_2020_42
- Martinelli, J. A., Chaves, M. S., Federizzi, L. C., & Savi, V. (2009). Expressão da resistência parcial à ferrugem da folha da aveia presente na linhagem MN841801, no ambiente do Sul do Brasil. *Ciência Rural*, 39(5), 1335–1342. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000097>
- Millett, B. P., Molloy, D. S., Iorizzo, M., Carputo, D., & Bradeen, J. M. (2009). Changes in Disease Resistance Phenotypes Associated With Plant Physiological Age Are Not Caused by Variation in R Gene Transcript Abundance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*[®], 22(3), 362–368. <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-3-0362>
- Moreno, L. G. (1989). *Etude du polymorphisme de L'hybride de Timor en vue de L'Amelioration du caféier Arabica: Variabilité enzymatique et agronomique dans la populations D'origine; resistance incomplète à Hemileia vastatrix dans les croisements avec Coffea arabica* [Tesis de Doctorado]. Ecole National Supérieure Agronomique de Montpellier. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:27312>
- Mur, L. A., Simpson, C., Kumari, A., Gupta, A. K., & Gupta, K. J. (2016). Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens. *Annals of Botany*, 119(1), 703–709. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw179>
- Niederhauser, J. S., Cervantes, J., & Servin, L. (1954). Late blight in Mexico. *American Potato Journal*, 31(8), 233–237. <https://doi.org/10.1007/BF02859897>
- Ning, Y., Liu, W., & Wang, G.-L. (2017). Balancing Immunity and Yield in Crop Plants. *Trends in Plant Science*, 22(12), 1069–1079. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.09.010>
- Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. J. (1967). Genetic study of the resistance of Coffea spp. to leaf rust—Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in Coffea arabica to twelve physiologic races of Hemileia vastatrix. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021–2031. <https://doi.org/10.1139/b67-220>
- Panthee, D. R., & Chen, F. (2010). Genomics of Fungal Disease Resistance in Tomato. *Current Genomics*, 11(1), 30–39. <https://doi.org/10.2174/138920210790217927>
- Parlevliet, J. E. (1979). Components of Resistance that Reduce the Rate of Epidemic Development. *Annual Review of Phytopathology*, 17(1), 203–222. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.17.090179.001223>
- Parlevliet, J. E. (1993). What is Durable Resistance, A General Outline. En T. Jacobs & J. E. Parlevliet (Eds.), *Durability of Disease Resistance* (Vol. 18, pp. 23–39).

Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2004-3>

- Parlevliet, J. E., & Kuiper, H. J. (1977). Partial resistance of barley to leaf rust, *Puccinia hordei*. IV. Effect of cultivar and development stage on infection frequency. *Euphytica*, 26(2), 249–255. <https://doi.org/10.1007/BF00026985>
- Parlevliet, J. E., & Zadoks, J. C. (1977). The integrated concept of disease resistance: A new view including horizontal and vertical resistance in plants. *Euphytica*, 26(1), 5–21. <https://doi.org/10.1007/BF00032062>
- Pérez, C. D., Pozza, E. A., Pozza, A. A., Freitas, A. S., Silva, M. G., & Guimarães, D. (2019). Impact of nitrogen and potassium on coffee rust. *European Journal of Plant Pathology*, 155(1), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01765-4>
- Pérez, C. D., Pozza, E. A., Pozza, A. A., Elmer, W. H., Pereira, A. B., Guimarães, D., Monteiro, A. C., & de Rezende, M. L. (2020). Boron, zinc and manganese suppress rust on coffee plants grown in a nutrient solution. *European Journal of Plant Pathology*, 156(3), 727–738. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01922-9>
- Petitot, A.-S., Lecouls, A.-C., & Fernandez, D. (2008). Sub-genomic origin and regulation patterns of a duplicated WRKY gene in the allotetraploid species *Coffea arabica*. *Tree Genetics & Genomes*, 4(3), 379–390. <https://doi.org/10.1007/s11295-007-0117-x>
- Pieterse, C. M., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. (2012). Hormonal Modulation of Plant Immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28(1), 489–521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
- Rios, J. A., & Debona, D. (2018). Efeito epidemiológico da resistência de hospedeiro. En L. J. Dallagnol (Ed.), *Resistência genética de plantas a patógenos* (pp. 126–149). UFPEl. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/4207>
- Rivillas-Osorio, C. A., Hoyos, A. M., & Ramírez, I. C. (2017). Manejo de la roya, nuevo fungicida para su control en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 480, 1–4.
- Robinson, R. A. (1996). *Return to resistance: Breeding crops to reduce pesticide dependence*. International Development Research Centre. <http://site.ebrary.com/id/10173304>
- Rodrigues, C. J., Bettencourt, A. J., & Rijo, L. (1975). Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. *Annual Review of Phytopathology*, 13(1), 49–70. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.13.090175.000405>
- Rodrigues, C. J., Bettencourt, A. J., & Rijo, L. (1976). *Razas de patógeno y resistencia a la roya del café* (Núm. 134; Publicación Miscelánea, p. 32). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16902>
- Romero Guerrero, G., Alvarado, G., Cortina, H., Ligarreto, G., Galeano, N. F., & Herrera Pinilla, J. C. (2010). Partial resistance to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee (*Coffea arabica* L.): Genetic analysis and molecular characterization of putative candidate genes. *Molecular Breeding*, 25(4), 685–697. <https://doi.org/10.1007/s11032-009-9368-6>
- Romero Guerrero, G., Herrera Pinilla, J. C., Ligarreto, G. A., & Alvarado, G. (2008). Análisis genético de la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. *Revista Cenicafe*, 59(2), 103–119. <http://hdl.handle.net/10778/170>
- Samborski, D. J., & Dyck, P. L. (1982). Enhancement of resistance to *Puccinia recondita* by interactions of resistance genes in wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4(2), 152–156. <https://doi.org/10.1080/07060668209501317>
- Shah, S. R. A., Tao, L., Haijuan, C., Lei, L., Zheng, Z., Junming, L., & Yongchen, D. (2015). Age-related Resistance and the Defense Signaling Pathway of Ph-3 Gene Against *Phytophthora infestans* in Tomatoes. *Horticultural Plant Journal*, 1(02), 70–76. <https://doi.org/10.16420/j.issn.2095-9885.2015-0019>
- Singh, D. P. (2015). Plant Nutrition in the Management of Plant Diseases with Particular Reference to Wheat. En L. P. Awasthi (Ed.), *Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases* (pp. 273–284). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2571-3_20
- Stakman, E. C., & Christensen, J. J. (1960). The Problem of Breeding Resistant Varieties. En *Plant Pathology* (pp. 567–624). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-395678-1.50020-5>
- Strugala, R., Delventhal, R., & Schaffrath, U. (2015). An organ-specific view on non-host resistance. *Frontiers in Plant Science*, 6, 526. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00526>
- Stubbs, R. W. (1977). *Influence of light intensity on the reactions of wheat and barley seedlings to Puccinia striiformis*. Wageningen: Mededeling / Instituut voor plantenziektenkundig onderzoek.

- Sylvain, P. G. (1955). Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba*, 5(1-2), 37–53.
- Thomma, B. P., Bolton, M. D., Clergeot, P. H., & De Wit, P. J. (2006). Nitrogen controls in planta expression of *Cladosporium fulvum* Avr9 but no other effector genes. *Molecular Plant Pathology*, 7(2), 125–130. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2006.00320.x>
- Toniutti, L., Breitler, J.-C., Etienne, H., Campa, C., Doulbeau, S., Urban, L., Lambot, C., Pinilla, J.-C. H., & Bertrand, B. (2017). Influence of Environmental Conditions and Genetic Background of Arabica Coffee (*C. arabica* L.) on Leaf Rust (*Hemileia vastatrix*) Pathogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02025>
- Umaerus, V. (1970). Studies on field resistance to *Phytophthora infestans*. 5. Mechanisms of resistance and applications to potato breeding. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 63(1), 1–23.
- Vale, F. X., Parlevliet, J. E., & Zambolim, L. (2001). Concepts in plant disease resistance. *Fitopatologia Brasileira*, 26(3), 577–589. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582001000300001>
- Van der Graaff, N. A. (1981). Selection of Arabica coffee types resistance to coffee berry disease in Ethiopia. *Medelingen landbouwhogeschool*, 81(11), 1–106.
- van der Vossen, H. A. (1985). Coffee Selection and Breeding. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee* (pp. 48–96). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_3
- van der Vossen, H. A. (2005). State of the art of developing durable resistance to biotrophic pathogens in crop plants, such as coffee leaf rust. En L. Zambolim, E. M. Zambolim, & Várzea, V. (Eds.), *Durable Resistance to Coffee Leaf Rust* (pp. 1–29). Universidade Federal de Viçosa.
- Vanderplank, J. E. (1963). *Plant diseases: Epidemics and control*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-11642-X>
- Vanderplank, J. E. (1968). *Disease resistance in plants* (1a ed.). Academic Press.
- Vanderplank, J. E. (1984). *Disease resistance in plants* (2a ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-711442-2.X5001-6>
- Várzea, V. M., & Marques, D. V. (2005). Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. Coffee durable resistance. En L. Zambolim, E. M. Zambolim, & Várzea, V. (Eds.), *Durable Resistance to Coffee Leaf Rust* (pp. 53–74). Universidade Federal de Viçosa.
- Várzea, V. M., & Rodrigues, J. (1985, february 11-15). Evaluation of the level of horizontal resistance to *Hemileia Vastatrix* of some arabica plants of different physiologic groups when confronted with virulent races. *Proceedings 11th International scientific Colloquium on Coffee*. Lomé, Togo.
- Vasco, G. B., Pozza, E. A., Silva, M. G., Pozza, A. A., & Chaves, E. (2018). Interaction of K and B in the intensity of coffee rust in nutrient solution. *Coffee Science*, 13(2), 238–244. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i2.1428>
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D., & He, S. Y. (2018). Plant–Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions. *Current Biology*, 28(10), R619–R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
- Wisser, R. J., Balint-Kurti, P. J., & Nelson, R. J. (2006). The Genetic Architecture of Disease Resistance in Maize: A Synthesis of Published Studies. *Phytopathology*, 96(2), 120–129. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0120>
- Yang, Q., Balint-Kurti, P., & Xu, M. (2017). Quantitative Disease Resistance: Dissection and Adoption in Maize. *Molecular Plant*, 10(3), 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.02.004>
- Zadoks, J. C., & Schein, R. D. (1988). James Edward Vanderplank: Maverick and Innovator. *Annual Review of Phytopathology*, 26(1), 31–36. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.000335>
- Zadoks, J. C. (1963). A case of race differentiation of brown rust on mature plants of wheat. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 69(2), 145–147. <https://doi.org/10.1007/BF01976776>
- Zambolim, L., Neto, P. N., Zambolim, E. M., Caixeta, E. T., Sakiyama, N. S., & Ferrão, R. G. (2016). Components of resistance of conilon coffee that reduce the rate of leaf rust development. *Australasian Plant Pathology*, 45(4), 389–400. <https://doi.org/10.1007/s13313-016-0425-4>

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.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Camilo Mora G., Ing. Ambiental*
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.
Luz Amparo Mendieta A. Aprendiz

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico, M.Sc.
Hernando García O., Ing. Agroforestal
Luis Carlos Imbachí Q., 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
Erica Patricia Corredor T. Licenciatura en Ciencias
Naturales y Educación*
Wilson Vargas L.

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
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 Robín García C.
Gloria Patricia Naranjo E.
Luz Andrea Carmona V., 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
Cristian David Camilo Reyes, Químico, Ph. D
Dora Janeth García J., Licenciada en Biología y Química,
Ph. D
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
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Ruth Andrea Fandiño C. Pasante
Yoni Alejandro González V., Aprendiz

Fitotecnia

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

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
Leidy Jasmín González V., Tecnología en Química Aplicada a la Industria
Hernán Díaz C.
Omar Villarreal
Viviana Andrea Grajales R., Pasante
Natalia Arango O., Pasante
Lizeth Fernanda Banguero M., 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.
Juan Carlos López N., Microbiólogo, 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*
Laura C. Holguín S. Microbióloga, M.Sc*
Dean Jhon Sequeda N, Tecnólogo en Control Ambiental*
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda
Juan Carlos Ortiz F.
Angie Lorena Valencia A., Pasante
Sharol Daniela Ramírez C., Aprendiz

Suelos

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

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
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.
Ana María Villa A., 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., Diseñadora Visual
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Manuela Valencia R., Pasante
Silvana María de los Ángeles Bustos R., Pasante
Paulo Andrés Amariles Q., 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.
Daniel Orozco J., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, 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.
Audberto Quiroga M., Biólogo, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, Esp.
Juan Pablo Carvajal B., Ing. Electrónico
Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas
Mariana Valencia L., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.
Rufina Perdomo G.
Leydi Tatiana Rincón R. Tecnóloga en Gestión de Negocios
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.
César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público

Viviana Grajales V., Tecnólogo en Gestión administrativa
Ariel Camilo Correa G. Pasante

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Carolina Correa M., Profesional en Negocios Internacionales
Diego Alejandro Muñoz G., Economista
Lina María Giraldo., Administrador Financiero
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Gabriel Antonio Melo P.
Jenifer Torres R., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica
María Alejandra López R., Ing. Mecatrónica
Robinson Guzmán G., Técnico Electricista
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Albert Johanne Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
José Gildardo Aguirre O., Tecnólogo en Mantenimiento eléctrico industrial
Mauricio Londoño V., Tecnólogo en Mantenimiento Eléctrico Industrial

Uriel López P.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Jorge Eduardo Sepúlveda V.
Jorge Antonio Arias A.
Carlos Andrés Hernández G.
Fabián Sánchez L.
Mario López L.
Esteban Toro D., 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
Estefanía Serna V., Pasante

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Juan Manuel Meza S., Administrador de empresas, M.Sc.
Lina Marcela Patiño G., Administradora 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 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: $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$ 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 $14\text{ }^\circ\text{C}$ y $20\text{ }^\circ\text{C}$ o hileras a 3 , 6 y 9 m , pero 14% , 16% y 18% .
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones.

BIBLIOGRAFÍA

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título - Máximo 16 palabras

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

Resumen - Máximo 250 palabras

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

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

Abstract - Máximo 250 palabras

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

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

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

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

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

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

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

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

Agradecimientos - Máximo 70 palabras

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

Literatura citada

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

PRODUCCIÓN EDITORIAL

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

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve, Diseñadora Visual

Fotografías: Archivo Cenicafé

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.