

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 71 Número 2

Julio - Diciembre 2020



COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Alberto Carrasquilla Barrera

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

José Manuel Restrepo Abondano

Director del Departamento Nacional de Planeación

Luis Alberto Rodríguez

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Nicolás Pérez Marulanda

Periodo 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra (Antioquia)

José Alirio Barreto (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinando Vivas (Cauca)

Juan Camilo Villazón (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar (Magdalena)

Jesús Armando Benavides (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Olivo Rodríguez Díaz (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.cenicafe71-2>

Editada en diciembre de 2020

Tel: 57(6)8500707 Fax: 57(6)8504723 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. 71

JULIO - DICIEMBRE 2020

No. 2

CONTENIDO

BASES PARA ESTABLECER UNA ALERTA TEMPRANA DE <i>Monalonion velezungeli</i> (HEMIPTERA: MIRIDAE) EN CAFÉ EN EL HUILA. Laura Alexandra Laiton Jiménez; Ferney López Franco; Esther Cecilia Montoya Restrepo; Pablo Benavides Machado	7
BASES TO ESTABLISH AN EARLY WARNING OF <i>Monalonion velezungeli</i> (HEMIPTERA: MIRIDAE) IN COFFEE IN HUILA	7
CAMBIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS Y ELEMENTOS BIOFÍSICOS, EN FINCAS CAFETERAS DE LA ZONA CENTRAL COLOMBIANA. Juan Carlos García López	21
CHANGES IN PRODUCTIVE SYSTEMS AND BIOPHYSICAL ELEMENTS IN COFFEE FARMS IN THE COLOMBIAN CENTRAL ZONE	21
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DEL CAFÉ VERDE EN VARIEDADES MEJORADAS DE <i>Coffea arabica</i> L. Luz Fanny Echeverri Giraldo; Aristóteles Ortiz; Claudia Patricia Gallego Agudelo; Luis Carlos Imbachi Quinchua	39
CHARACTERIZATION OF THE LIPID FRACTION OF GREEN COFFEE IN IMPROVED VARIETIES OF <i>Coffea arabica</i> L.	39
CONTROL BIOLÓGICO DE COCHINILLAS DE LAS RAÍCES DEL CAFÉ CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS. Carmenza Esther Góngora Botero; Zulma Nancy Gil Palacios	53
BIOLOGICAL CONTROL OF COFFEE ROOT MEALYBUGS WITH ENTOMOPATHOGENIC FUNGI	53
DENSIDADES Y CICLOS DE RENOVACIÓN DEL CAFÉ EN UN SISTEMA AGROFORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER. Fernando Farfán Valencia; Gabriel Fernando González Sánchez	66
DENSITIES AND COFFEE RENEWAL CYCLES IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE DEPARTMENT OF NORTE DE SANTANDER	66
ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. Luz Adriana Lince Salazar; Andrés Felipe Castro Quintero; Wadi Andrey Castaño Castaño	73
STABILITY OF SOIL AGGREGATES IN THE COLOMBIAN COFFEE ZONE	73
EVALUACIÓN DE LA DERRIBADORA SELECTIVA DE CAFÉ BRUDDEN DSC18. Juan Rodrigo Sanz Uribe; Hernando Duque Orrego	92
EVALUATION OF THE SELECTIVE COFFEE FRUIT KNOCKER BRUDDEN DSC18	92
EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE CAL PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAFÉ. Laura Vanessa Quintero Yepes; Nelson Rodríguez Valencia	105
EVALUATION OF THREE TYPES OF LIMES FOR THE PRIMARY TREATMENT OF COFFEE WASTEWATER	105
PRODUCCIÓN DE <i>Coffea arabica</i> VARIEDAD CASTILLO® EN UN SISTEMA AGROFORESTAL, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. Fernando Farfán Valencia	118
PRODUCTION OF <i>Coffea arabica</i> CASTILLO® VARIETY IN AN AGROFORESTRY SYSTEM, IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER	118
RESPUESTA DEL CAFÉ A LA APLICACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES. Alveiro Salamanca Jiménez; Hernán González Osorio	124
COFFEE RESPONSE TO FOLIAR APPLICATION OF NUTRIENTS	124

COMITÉ EDITORIAL

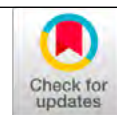
Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafe
Carmenza Esther Góngora B.	PhD. Microbióloga. Entomología, Cenicafe
José Ricardo Acuña Z.	PhD. Biólogo. Fisiología, Cenicafe
Diana María Molina V.	PhD. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafe
Luis Fernando Salazar G.	PhD. Ing. Agrónomo.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

REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 71 No. 1 Y No. 2

Álvaro L. Gaitán B.	PhD. Cenicafe, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Hernando Duque O.	MSc. Gerencia Técnica (FNC)
Pablo Benavides M.	PhD. Cenicafe, FNC
Luis Fernando Salazar G.	PhD. Cenicafe, FNC
Carmenza Esther Góngora B.	PhD. Cenicafe, FNC
Marisol Giraldo J.	PhD. Cenicafe, FNC
José Ricardo Acuña Z.	PhD. Cenicafe, FNC
Diana María Molina V.	PhD. Cenicafe, FNC
Juan Carlos García L.	PhD. Cenicafe, FNC
Hernán González O.	PhD. Cenicafe, FNC
Aída Esther Peñuela M.	PhD. Cenicafe, FNC
Juan Camilo Rey S.	MSc. Cenicafe, FNC
Carlos Andrés Unigarro M.	MSc. Cenicafe, FNC
José Raúl Rendón S.	MSc. Cenicafe, FNC
Fernando Farfán V.	MSc. Cenicafe, FNC
Vanessa Catalina Díaz P.	MSc. Cenicafe, FNC
Santiago Jaramillo C.	MSc. Cenicafe, FNC
César Augusto Ramírez G.	MSc. Cenicafe, FNC
Aníbal Arcila M.	Ing. Agrónomo, Cenicafe, FNC
Gabriel Fernando González S.	Ing. Agr. Esp. Comité de Cafeteros de Norte de Santander, FNC.
Dora Janeth García J.	PhD. Universidad de Caldas.
Germán López	PhD. Universidad de Caldas.
Hugo Ruiz E.	PhD. Universidad de Nariño
Gelber Rosas P	PhD. Universidad de la Amazonía
Édgar Hincapié G.	PhD. Cenicafe
Fernando Álvarez M.	MSc. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
Francisco Javier Jiménez U.	MSc. Monómeros S.A.
Martha Londoño	MSc. Corpoica
Ramiro Urrea Gómez	MSc. Universidad de Caldas.
Iván Fernando Macías Q.	MSc. Universidad Nacional de Colombia.
Víctor Hugo Grisales D.	PhD. Universidad Nacional de Colombia.
Andrea Amalia Ramos P.	PhD. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.
María Quintero Ortiz	Industria Colombiana de Café, Colcafé S.A.S.
Miguel Alfonso Castiblanco C.	Profesional en Bibliotecología e Ingeniero de Sistemas, Cenicafe, FNC

BASES PARA ESTABLECER UNA ALERTA TEMPRANA DE *Monalonion velezeangeli* (HEMIPTERA: MIRIDAE) EN CAFÉ EN EL HUILA

Laura Alexandra Laiton Jiménez *, Ferney López Franco **, Esther Cecilia Montoya Restrepo ***, Pablo Benavides Machado ****



Laiton-Jiménez, L.A., López Franco, F., Montoya, E. C., & Benavides Machado, P. (2020). Bases para establecer una alerta temprana de *Monalonion velezeangeli* (Hemiptera: Miridae) en café en el Huila. *Revista Cenicafé*, 71(2), 7-20. <https://doi.org/10.38141/10778/71201>

En el departamento del Huila, desde el año 1998, la chamusquina del café *Monalonion velezeangeli* ha ocasionado daños en el cultivo. Con el fin de anticipar la vigilancia fitosanitaria y proceder de manera oportuna con el control de este insecto, se establecieron las bases para proponer una alerta temprana. El procedimiento para asociar las variables de clima con la presencia de brotes afectados por el insecto fue: 1) identificar la altitud a partir de la cual se presenta la plaga, evaluando lotes de café a lo largo de dos transectos altitudinales; 2) comparar las variables de clima asociadas a la presencia de chamusquina entre predios del Huila, con y sin infestaciones, y 3) ajustar el criterio para determinar la variable de clima asociada con la presencia de la plaga. De acuerdo con los resultados de esta investigación, la chamusquina es una plaga que ataca árboles de café sembrados en altitudes superiores a 1.550 m, donde ocurren disminuciones hasta un promedio de 75% en la humedad relativa nocturna y posteriormente aumentan progresivamente. Así, la disminución en la humedad relativa nocturna sería el evento de alerta temprana, momento a partir del cual deberán tomarse acciones de monitoreo y control del insecto en los municipios y altitudes vulnerables del Huila.

Palabras clave: La chinche de la chamusquina del café, transecto altitudinal, interacción clima-insecto, alerta temprana de plaga, humedad relativa nocturna.

BASES TO ESTABLISH AN EARLY WARNING OF *Monalonion velezeangeli* (HEMIPTERA: MIRIDAE) IN COFFEE IN HUILA

In the department of Huila, since 1998, the coffee chamusquina bug *Monalonion velezeangeli* has caused damage on coffee crops. With the aim of anticipating a phytosanitary surveillance that allows the control of this insect in a timing manner, the basis were establish to propose an early warning. The procedure associating the climate variables to shoots affected by the insect has three steps. 1) Identifying the altitude in which the pest occurs evaluating coffee plots along two altitudinal transects, 2) comparing the climate variables associated with the presence of chamusquina bug within Huila coffee plots with and without infestation; and 3) adjusting the criteria to determine the climate variable associated to the presence of the pest. According to the results of this research, the chamusquina bug is a pest that attacks coffee trees located in altitudes above 1,550 m.a.s.l., when a drastic decrease in night-time relative humidity occurs up to an average of 75% in nighttime relative humidity, and subsequently relative humidity increases progressively. Therefore, the decreasing in relative humidity at night would be the early warning event from which time monitoring and control actions of the insect should be taken in the vulnerable altitudes and municipalities of Huila

Keywords: Coffee chamusquina bug, altitudinal transect, weather-insect interaction, early pest warning, nocturnal relative humidity.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3536-0386>

** Ingeniero Agrónomo.

*** Investigador Senior. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5891-1040>

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



El café es la materia prima agrícola más reconocida en el mundo para propósitos comerciales y se cultiva en países ubicados entre las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en África, Asia y América Latina (Mishra y Slater, 2012). En Colombia, el área dedicada al cultivo del café es de 850.689 ha, de las cuales 144.657 ha son sembradas en el departamento del Huila, según el Sistema de Información Cafetera SICA 2020¹. Gran parte de la caficultura de este departamento se encuentra entre 1.500 y 2.000 m de altitud, rango donde se reportan los ataques de la chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezeangeli* Carvalho y Costa, 1988 (Hemiptera: Miridae) (Benavides et al., 2013), alimentándose de brotes del café y causando afectaciones, desde el año 1998, que se manifiestan como manchas y quemazones, lo cual impide el normal desarrollo fisiológico de la planta y disminuye la producción (Ramírez et al., 2008).

Los insectos herbívoros deben adaptarse a la planta huésped y al medio ambiente para completar con éxito sus ciclos biológicos (Bale et al., 2002). Las condiciones climáticas donde se desarrollan estos insectos pueden tener efectos importantes tanto a nivel individual como poblacional (Wylie y Speight 2012). Hodkinson (2009) observó que los principales factores que impulsan la adaptación de los insectos a los hábitats naturales son la temperatura y la disponibilidad de agua. Una variación en la temperatura de un ecosistema, por ejemplo, puede influir en la diversidad de insectos herbívoros en un área, así como en los tamaños poblacionales, las tasas de supervivencia y las unidades térmicas necesarias para que cada especie se reproduzca y crezca (Gilbert y Raworth, 1996; Régnière et al., 2012). De igual forma, la precipitación afecta a los insectos en la medida en que satisface directamente los requerimientos de agua esenciales para el desarrollo y reproducción, e indirectamente proporciona

mayor disponibilidad de alimento (Pellegrino et al., 2013). La humedad relativa del aire por su parte, es una variable microclimática que combina la temperatura y la precipitación, razón por la cual puede tener un impacto notable en las poblaciones de artrópodos (Torres et al., 2015). En insectos de la familia Miridae, se ha observado que un aumento en la humedad relativa mejora la capacidad biológica de la población y como consecuencia, en épocas de alta precipitación se presenta un aumento en el número de individuos (Li et al., 1994). Por su parte, Lu & Wu (2011) encontraron que una alta humedad relativa estuvo directamente relacionada con una mayor emergencia de los huevos, sobrevivencia de inmaduros, longevidad de los adultos y fecundidad específica de las hembras de *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae).

A pesar de que la humedad relativa ha sido una variable poco estudiada en insectos, algunos autores han demostrado que, de ocurrir en condiciones extremas, pueden ser perjudiciales para la reproducción, el desarrollo (Hughes, 2000; Parra, 2000; Giraldo, 2018) y la capacidad de dispersión de algunas especies (Wylie y Speight, 2012). En lo que se refiere a *Monalonion velezeangeli*, un estudio determinó que tanto la temperatura como la humedad relativa tienen un efecto directo sobre la población y sobre los daños de esta plaga en cultivos de aguacate *Persea americana* Mill. variedad Hass en Colombia (Torres et al., 2015).

Comprender la relación entre los factores ambientales y la población de plagas, no solo puede ayudar a anticipar las pérdidas económicas en un cultivo, también pueden contribuir a evitarlas a través de la implementación de medidas de control oportunas (Li et al., 1964).

Los transectos altitudinales son lugares que pueden servir como análogos espaciales

para entender las interacciones entre las plagas y el clima (Bale et al., 2002). Los gradientes ecológicos que se relacionan, entre otros, con las plantas hospedantes y los enemigos naturales (Vayssières et al., 2008), así como los gradientes físicos que incluyen temperatura, lluvias y humedad (Hodkinson 2005) encontrados a lo largo de un transecto altitudinal, pueden tener impacto en la densidad, diversidad y ciclo de vida de los insectos y en las demandas por flexibilidad fenotípica y adaptabilidad genotípica de muchas especies (Bale et al., 2002). El monitoreo de plagas a través de gradientes altitudinales permite a su vez desarrollar tecnologías de alerta tempranas para su control, basados en el análisis entre las infestaciones dadas y las condiciones climáticas en un momento determinado (Li et al., 1964). Estas tecnologías tratan de predecir la distribución y las tendencias de las plagas en un período de tiempo futuro (Li, 1993). Para ello, es necesario aplicar conocimiento relevante sobre biología, ecología, estadística, matemática y sistema de análisis (Zhang et al., 2007; Si et al., 2012; Jiang et al., 2013).

Dada la falta de conocimiento sobre la influencia de las variables climáticas en la población de la chamusquina, el objetivo de esta investigación fue identificar la variable de clima asociada a la presencia y ataque de la chamusquina como base para la generación de una alerta temprana de la plaga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos, esta investigación se desarrolló en el departamento del Huila, en tres etapas: 1. Identificación de la variable climática asociada con la presencia de brotes afectados frescos ocasionados por la chamusquina en café, 2. Comparación de la variable de clima asociada a la presencia de afectaciones por chamusquina entre predios del departamento del Huila, con

y sin árboles afectados por la plaga, y 3. Ajuste del criterio para determinar la variable de clima asociada con la presencia de brotes afectados frescos causados por la chamusquina.

Etapas 1. Identificación de la variable asociada con la presencia de brotes afectados frescos por la chamusquina en café

En esta etapa se realizaron monitoreos de la presencia de brotes afectados frescos, causados por el insecto, y seguimiento a las variables del clima en municipios del departamento del Huila con y sin reportes históricos de la plaga atacando plantas de café. Para ello, se establecieron dos transectos altitudinales, el primero en el municipio de Pitalito (Transecto 1) sector de Bruselas, en donde no se había reportado la presencia de *M. velezensis* y, el segundo, en los municipios de La Plata y La Argentina (Transecto 2), los cuales han sido históricamente afectados. En cada transecto se seleccionaron cuatro lotes de café variedad Castillo® en altitudes entre los 1.200 y 2.000 m, donde se realizó el seguimiento a la incidencia de los brotes afectados frescos, causados por el insecto. Adicionalmente, en cada lote se instaló una estación micro-climática automatizada, con transmisión en tiempo real, con el fin de medir la temperatura y la humedad relativa a través del tiempo. En la Tabla 1 se describen los transectos y lotes seleccionados.

El monitoreo de la plaga se realizó mensualmente, entre enero de 2017 y diciembre de 2018, en lotes que contenían entre 3.000 y 4.000 árboles de café, de tres a cinco años de edad. En cada lote se seleccionaron 60 árboles, bajo el diseño de muestreo sistemático uno en k , donde $k = N/n$ (N : número total de árboles en el lote y $n = 60$). En cada evaluación y en cada uno de los árboles seleccionados, se contaron y registraron el número de puntos con crecimiento ortotrópico y plagiotrópico (brotes) del tercio superior del árbol y el número de

Tabla 1. Latitud, longitud y altitud de lotes seleccionados en cada transecto altitudinal.

Municipio	Transecto	Lote	Vereda	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Pitalito	1	1	El Maco	1° 51' 24.64" N	76° 4' 17.80" O	1.280
Pitalito	1	2	Santafé	1° 46' 22.24" N	76° 11' 26.28" O	1.524
Pitalito	1	3	Bombonal	1° 45' 32.58" N	76° 12' 49.20" O	1.659
Pitalito	1	4	Palmito	1° 44' 52.72" N	76° 13' 42.08" O	1.898
La Plata	2	1	Gallego	2° 15' 22.39" N	75° 58' 11.33" O	1.362
La Plata	2	2	Pescador	2° 13' 53.33" N	75° 58' 13.83" O	1.531
La Argentina	2	3	Betania	2° 12' 21.91" N	75° 57' 24.31" O	1.600
La Argentina	2	4	El Progreso	2° 13' 0.041" N	75° 56' 32.39" O	1.884

brotos con afectaciones frescas ocasionadas por el insecto. Los brotes afectados frescos se identificaron utilizando la descripción dada por Ramírez et al. (2008), la cual menciona la presencia de puntos negros con apariencia viscosa sobre el brote que ha servido como fuente de alimentación de la plaga.

Con el número de brotes afectados frescos y el total de brotes de cada planta, se obtuvo el porcentaje de brotes afectados frescos (variable de interés) y, con esta variable, se estimó el promedio de brotes afectados frescos por árbol en cada lote de los dos transectos, en cada evaluación, con su respectivo intervalo y con un coeficiente de confianza del 95%. Posteriormente, con base en la variable de interés, se conformaron dos grupos: lotes sin afectación de chamusquina (grupo 1) y lotes con brotes afectados frescos (grupo 2).

Durante los dos años de la evaluación de chamusquina en cada grupo y empleando los registros de temperatura media diaria (6:00 a.m. a 5:55 p.m.) y nocturna (6:00 p.m. a 5:55 a.m.) y humedad relativa media diaria y nocturna,

se procedió a identificar la diferencia de estas variables climáticas entre lotes y transectos (variables complementarias), mediante la prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

Etapas 2. Comparación de la variable de clima asociada a la presencia de chamusquina entre predios con y sin árboles afectados por la plaga en el departamento del Huila

Con un diagnóstico fitosanitario realizado por la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, en el mes de enero del 2018, se hizo una evaluación de la presencia de la chamusquina en 399 lotes seleccionados aleatoriamente en el departamento del Huila, teniendo como marco de muestreo las fincas inscritas en el Sistema de Información Cafetera SICA 2018. En cada lote se seleccionaron 50 árboles centrales, de acuerdo con el método de muestreo sistemático en surcos. En cada lote y en cada árbol se registró la presencia o ausencia de brotes afectados por chamusquina, con lo cual se obtuvo el porcentaje de árboles afectados por lote. Con esta información se realizó un mapa de distribución e incidencia

de la plaga en el departamento del Huila. Posteriormente, se realizaron visitas adicionales para corroborar la presencia de la plaga en algunos lotes. Después de identificar los predios con y sin presencia de brotes afectados por la plaga, se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a los lotes, para determinar si la variable de clima asociada con la presencia de brotes afectados frescos ocasionados por la chamusquina encontrada la Etapa 1, se comportaba de la misma manera en los lotes con presencia de árboles afectados por el insecto identificados en esta etapa. Se realizó la prueba de diferencia mínima significativa al 5% para comparar el comportamiento de dicha variable climática entre los lugares afectados y no afectados por la plaga.

Etapas 3. Ajuste del criterio para determinar la variable de clima asociada con la presencia de brotes afectados frescos por la chamusquina.

En esta etapa del proyecto se seleccionaron tres municipios con presencia de chamusquina y en cada municipio, un lote de café variedad Castillo®, con historial de haber sido afectado por la plaga. En cada lote se tomaron aproximadamente 1.000 árboles, entre 2 y 4 años de edad, para hacer seguimiento del número de brotes afectados frescos por el insecto y la variable de clima que en la etapa 1, mostró estar asociada con la presencia de dichas afectaciones. El seguimiento a las afectaciones ocasionadas por la plaga se realizó quincenalmente, censando los árboles durante 10 meses. La información climática utilizada provino de las estaciones meteorológicas operadas por la Federación Nacional de Cafeteros, que estuvieran más cercanas a cada lote evaluado. Los lotes estaban ubicados en los municipios de La Plata (2° 21' 40,12" N, 75° 52' 55,32" O) a 1.642 m de altitud, Tarqui (2° 7' 10,58" N, 75° 54' 19,27" O) a 1.730 m, y La Argentina (2° 13' 0,041" N, 75° 56' 32,39" O) a 1.884 m.

Para el análisis de esta etapa, en cada lote se partió de la fecha de la evaluación en la cual no había nuevas afectaciones por chamusquina. A partir de ese momento, con el número de brotes afectados frescos de todo el lote (variable dependiente) y el promedio de la variable de clima asociada a la presencia de dichas afectaciones, en los 15 días anteriores a cada evaluación (t-1, variable independiente), con interpolación de datos observados, se construyó un modelo estadístico para definir el valor de dicha variable climática a partir de la cual comenzó la afectación por la chamusquina en los cafetales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados de esta investigación se identificó la variable climática que se encuentra asociada con la presencia de brotes afectados frescos causados por la chamusquina en el departamento del Huila. Por lo tanto, en esta sección se presentan las condiciones que favorecen y anteceden los ataques de esta plaga en el campo, como condición inicial para establecer una alerta temprana. A continuación, se describen los resultados de cada una de las etapas de esta investigación.

Etapas 1. Identificación de la variable asociada con la presencia de brotes afectados frescos por la chamusquina en café

Los lotes del transecto 1 y el lote 1 del transecto 2, no presentaron brotes afectados frescos por chamusquina. En el lote 2 del transecto 2 se evidenció la presencia de ataques ocasionados por la plaga en el mes de septiembre del 2017, con un promedio de 0,22% brotes afectados con lesiones frescas por árbol y un máximo observado de 13,3%. En los demás lotes (3 y 4) del transecto 2, se presentaron ataques de la plaga, alcanzando en el lote 3 un máximo observado de 42,85% de brotes afectados frescos y de 75,00% en el lote 4 (Tabla 2). Estos

resultados son consecuentes con lo reportado por Benavides et al. (2013), los cuales hacen referencia a la presencia de la plaga en los

departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Huila, en plantaciones de café ubicadas por encima de 1.550 m de altitud.

Tabla 2. Promedio y máximo observado por planta, del porcentaje de brotes de café afectados frescos ocasionados por la chamusquina en los lotes 3 y 4 del transecto 2, por año y por mes evaluado.

Año	Mes	Lote 3		Lote 4	
		Media (%)	Max obs (%)	Media (%)	Max obs (%)
2017	1	0,00	0,00	4,78	75,00
2017	2	0,00	0,00	3,89	50,00
2017	3	0,00	0,00	0,67	21,43
2017	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	5	0,00	0,00	0,45	21,43
2017	6	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	7	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	8	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	9	0,00	0,00	3,61	58,33
2017	10	1,63	42,86	1,09	18,75
2017	11	0,00	0,00	2,33	37,50
2017	12	1,20	33,33	2,54	28,57
2018	1	0,00	0,00	2,51	50,00
2018	2	0,00	0,00	0,93	31,25
2018	3	0,00	0,00	2,35	28,57
2018	4	0,50	18,75	4,60	46,67
2018	5	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	6	0,00	0,00	1,37	27,78
2018	7	0,95	27,78	1,97	30,00
2018	8	1,00	37,50	0,21	12,50
2018	9	0,00	0,00	0,31	18,75
2018	10	0,00	0,00	0,41	18,75
2018	11	0,30	11,11	1,62	37,50
2018	12	0,00	0,00	0,00	0,00

Para el análisis de temperatura y humedad relativa, se agruparon los lotes de los transectos de la siguiente manera: los lotes del transecto 1 y el lote 1 del transecto 2, conformaron el grupo 1 (lotes sin presencia de ataques por chamusquina); y los lotes 3 y 4 del transecto 2, conforman el grupo 2 (lotes con brotes afectados frescos por chamusquina). El lote 2 del transecto 2 no se tuvo en cuenta para este análisis, debido a que los ataques fueron menores a 0,22% y esporádicos. El comportamiento de las variables de clima enunciadas, reveló lo siguiente:

Los registros de temperatura media diurna indicaron, descriptivamente, que se presentó mayor temperatura en los lugares que conformaron el grupo 1, al ser comparados con los lugares del grupo 2 (Figura 1). No se evidenció una asociación entre la temperatura y los momentos en los cuales se presentaron ataques de la plaga (aparición de brotes afectados frescos). Adicionalmente, la temperatura media nocturna y la humedad relativa media diurna, descriptivamente, no indicaron diferencias a través del tiempo entre los lotes que conforman los grupos, según la prueba de diferencia mínima significativa al 5% (Figuras 2 y 3).

La humedad relativa media nocturna mostró diferencias estadísticas a través del tiempo entre los lugares que conformaron los dos grupos, según la prueba de diferencia mínima significativa al 5% (Figura 4). Dichas diferencias fueron hasta del 10% de humedad relativa, mostrando cambios definidos a través del tiempo en los sitios del grupo 2; observándose una disminución drástica en los meses más secos de ambos años evaluados, como fueron julio, agosto y septiembre (Figura 4). Estos resultados indican que la humedad relativa media nocturna sería la variable candidata para hacer comparaciones con los incrementos de las afectaciones por la chumasquina.

Etapa 2. Comparación de la variable de clima asociada a la presencia de chamusquina entre predios con y sin árboles afectados por la plaga, en el departamento del Huila

Con el diagnóstico de la chamusquina realizado en el departamento del Huila se observó que el 11% de los lotes de café evaluados estaban afectados por la plaga, donde el 6% tenían entre 2% y 20% de árboles afectados y el 5% restante entre 21% y 100% (Figura 5). En el año 2008, Cenicafé reportó en Huila la presencia de

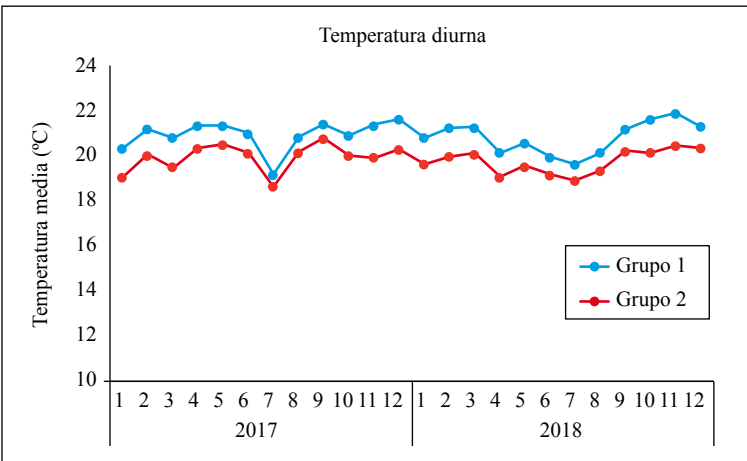


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media diurna mensual, durante los años 2017 y 2018, en los lotes sin ataques por chamusquina (grupo 1) y con brotes afectados frescos por chamusquina (grupo 2).

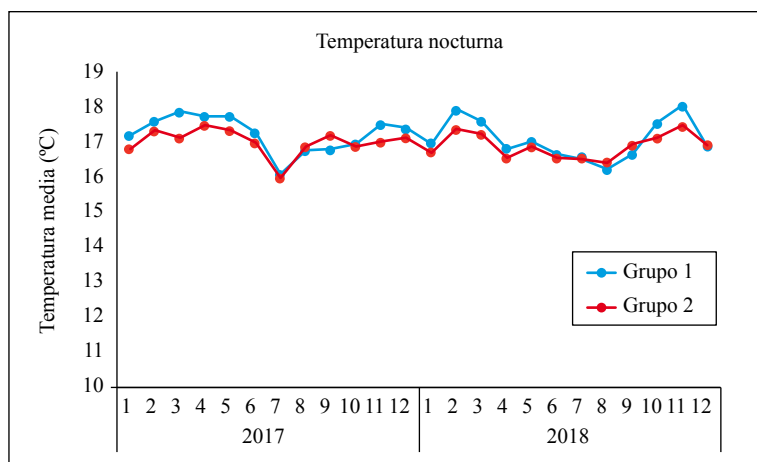


Figura 2. Comportamiento de la temperatura media nocturna mensual, durante los años 2017 y 2018, en los lotes sin ataques por chamosquina (grupo 1) y con brotes afectados frescos por chamosquina (grupo 2).

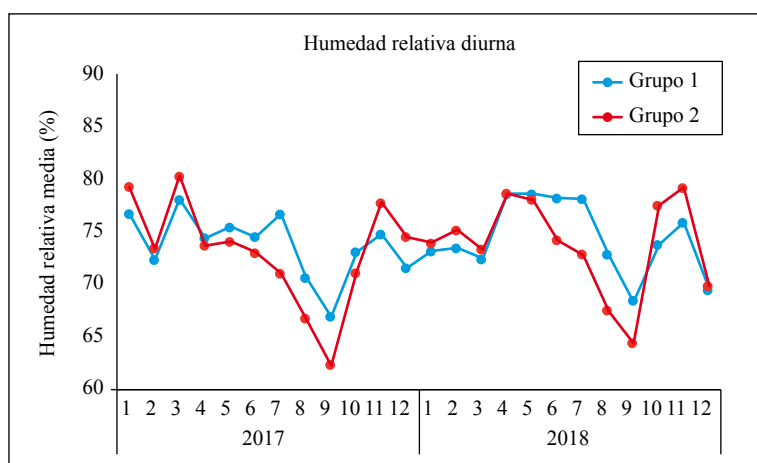


Figura 3. Comportamiento de la humedad relativa media diurna mensual, durante los años 2017 y 2018, en los lotes sin ataques por chamosquina (grupo 1) y con brotes afectados frescos por chamosquina (grupo 2).

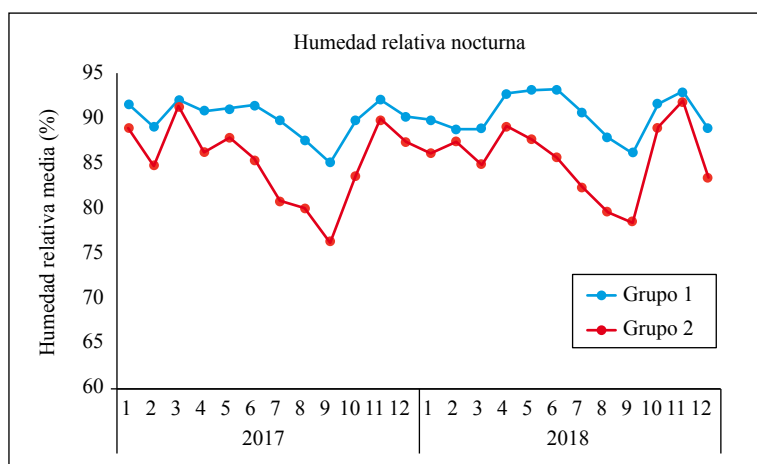
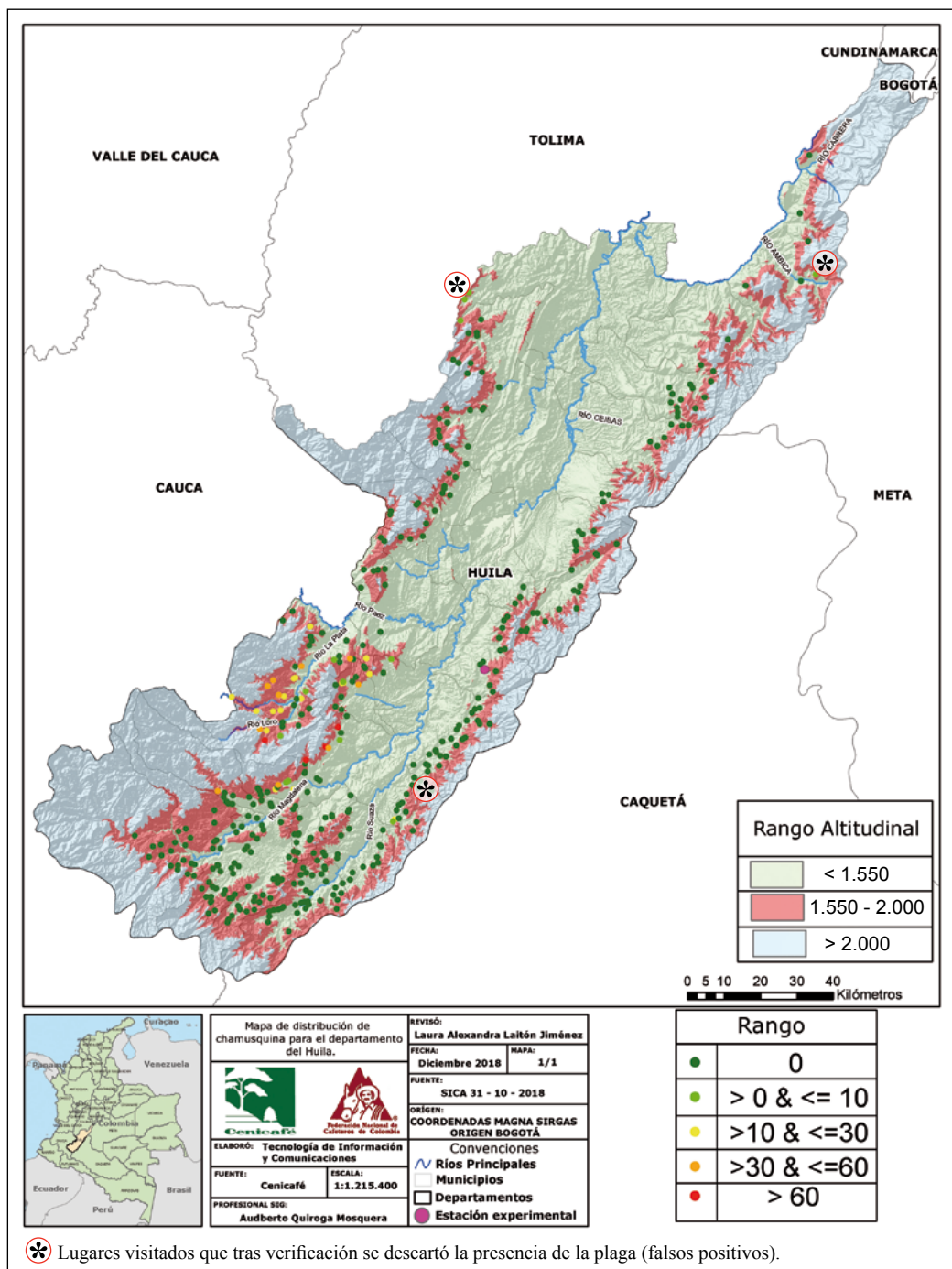


Figura 4. Comportamiento de la humedad relativa media nocturna mensual, durante los años 2017 y 2018, en los lotes sin ataques por chamosquina (grupo 1) y con brotes afectados frescos por chamosquina (grupo 2).



la chinche de la chamusquina en veredas de los municipios de La Plata, La Argentina, Paicol y El Pital (Ramírez et al., 2008); y en este estudio se observó que hay más municipios afectados, es decir, la plaga se está distribuyendo desde el centro hacia el sur del departamento, mediante desplazamiento entre cafetales contiguos ubicados en altitudes superiores a los 1.550 m, favorecida por las condiciones orográficas encontradas en el mismo gradiente y rango altitudinal. Menores altitudes actuarían como barreras geográficas que impedirían el paso natural de la plaga hacia otras regiones que climáticamente pudieran ser favorables para su desarrollo.

Si bien es cierto que la plaga se presenta en altitudes superiores a 1.550 m, no todos los lotes evaluados mostraron la presencia de ella. Por ello, al tomar los datos de ocho estaciones climáticas cercanas a cafetales con chamusquina y seis estaciones climáticas cercanas a lotes sin chamusquina, en altitudes superiores a 1.550 m (Tabla 3), se evidenció el resultado mostrado en la etapa 1 para lotes con presencia de brotes afectados frescos por chamusquina. Es decir, en los lugares afectados y no afectados se mantuvieron para cada mes las diferencias del promedio entre la humedad relativa nocturna mensual entre lotes con y sin árboles afectados por chamusquina, según prueba de diferencia mínima significativa al 5%, con diferencias entre 7,51% y 8,0% de humedad relativa, en los meses de julio, agosto y septiembre (Tabla 4). La disminución drástica de humedad relativa nocturna en los lugares con presencia de afectaciones por chamusquina (iniciando en 85,44% y disminuyendo hasta 75,56%), se presentaron en los mismos meses que mostró el análisis de la información descrita en la etapa 1.

Etapla 3. Ajuste del criterio para determinar la variable de clima asociada con la presencia de brotes afectados frescos por la chamusquina

Para describir el comportamiento del número de brotes afectados frescos (*TBA*), en función del promedio de la humedad relativa nocturna en el tiempo $t-1$ (HR_n %), para cada uno de los lotes se obtuvo la expresión estadística lineal (Tabla 5), con coeficientes de regresión diferentes de cero, según prueba t al 5% y con coeficientes de determinación mayores del 86%.

Con esta expresión, para cada altitud, se obtuvo la estimación de la humedad relativa nocturna a partir de la cual, 15 días después, ocurrirá la afectación por chamusquina. Este valor se encontró entre 68,6% y 78,0%, estando directamente relacionado con la altitud. Torres et al. (2015) también reportaron que la población de *M. velezangeli* y las afectaciones ocasionadas por el insecto en el cultivo de aguacate Hass se vieron influenciados por la humedad relativa promedio de los días anteriores a cada evaluación realizada.

Puede concluirse que la chamusquina es una plaga que ataca el árbol de café en lugares ubicados en altitudes mayores a 1.550 m. La variable climática humedad relativa nocturna se asoció con la aparición y aumento de brotes de café afectados por la chamusquina, cuando la humedad relativa disminuye en promedio hasta 75%. Adicionalmente, pudo determinarse el valor de la humedad relativa a partir del cual, 15 días después, comenzarían los ataques del insecto en el campo. La variable humedad relativa estuvo asociada con la altitud del lugar y osciló entre 68,6% y 78,0% para altitudes entre 1.642 y 1.884 m, respectivamente. Así, estos cambios en la humedad relativa nocturna

Tabla 3. Ubicación de las estaciones climáticas por municipio, latitud y longitud cercanas a lotes con y sin presencia de afectaciones por la chamusquina del café, según diagnóstico fitosanitario del 2018.

Estación cercana a	Municipio	Estación climática	Altitud (m)	Latitud	Longitud
Lotes con afectaciones por chamusquina	La Argentina	La Argentina	1.851	2° 10' 44,11" N	76° 02' 22,70" O
	Nátaga	Nátaga	1.933	2° 34' 00,19" N	75° 46' 10,99" O
	Oporapa	Oporapa	1.652	2° 02' 04,69" N	76° 00' 44,20" O
	Paicol	Paicol	2.007	2° 20' 49,41" N	75° 47' 08,69" O
	La Plata	Simón Campos	1.730	2° 20' 55,70" N	75° 52' 53,29" O
	Tarqui	Tarqui	1.600	2° 06' 18,14" N	75° 54' 48,50" O
	La Plata	TransPla3	1.600	2° 12' 33,90" N	75° 57' 12,49" O
	La Plata	TransPla4	1.884	2° 12' 55,00" N	75° 56' 32,60" O
	Colombia	Colombia	1.649	3° 18' 02,13" N	74° 46' 31,25" O
	Pitalito	El Mirador	1.696	1° 57' 50,00" N	76° 08' 19,28" O
Lotes sin afectaciones por chamusquina	Palestina	Palestina	1.553	1° 44' 36,31" N	76° 06' 42,08" O
	San Agustín	San Agustín	1.808	1° 54' 04,29" N	76° 18' 15,40" O
	Pitalito	TransPit3	1.646	1° 45' 27,93" N	76° 12' 49,67" O
	Pitalito	TransPit4	1.837	1° 44' 47,65" N	76° 13' 41,77" O

Tabla 4. Humedad relativa media nocturna mensual en estaciones cercanas a lotes, con y sin afectaciones por chamusquina, con su respectivo error estandar (E.E.).

Mes	Lotes sin afectaciones por chamusquina		Lotes con afectaciones por chamusquina	
	Media (%)	E.E.	Media (%)	E.E.
1	87,41 A	0,27	84,75 B	0,37
2	85,69 A	0,33	82,99 B	0,35
3	86,57 A	0,28	84,98 B	0,31
4	88,64 A	0,27	85,44 B	0,28
5	89,19 A	0,26	85,20 B	0,25
6	90,04 A	0,25	84,21 B	0,25
7	89,00 A	0,27	80,92 B	0,25
8	84,92 A	0,32	76,96 B	0,28
9	83,07 A	0,33	75,56 B	0,31
10	86,58 A	0,28	83,57 B	0,30
11	89,56 A	0,24	89,26 A	0,24
12	87,58 A	0,28	84,53 B	0,38

Para cada mes, letras no comunes implica diferencia entre promedios, según prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

Tabla 5. Coeficientes de regresión y coeficiente de determinación, por municipio, para el modelo estadístico que describe el comportamiento de brotes afectados frescos por lote, en función del promedio de la humedad relativa media nocturna, ocurrida 15 días antes de la aparición de brotes afectados frescos por chamusquina (t-1).

Municipio	Altitud (m)	Coeficientes de regresión		r ² (%)	a/b
		A	b		
La Plata	1.642	- 551,18	8,03	94,1	68,6
Tarqui	1.730	-327,31	4,64	86,5	70,5
La Argentina	1.884	-156,88	2,01	94,3	78

serían el evento de alerta temprana frente al ataque de la plaga que permitirían tomar decisiones para iniciar los monitoreos y control oportuno de la chamusquina en los municipios y altitudes vulnerables.

Se recomienda realizar más estudios que busquen relacionar esta variable, a escala microclimática, con la biología y reproducción de *M. velezangeli* sobre café y, posteriormente, idear estrategias de control que incluyan la modificación del ambiente para influir en el desempeño biológico del insecto.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio hizo parte del proyecto de investigación ENT107006, financiado con recursos del Sistema General de Regalías del

departamento de Huila, mediante el convenio 0244 del 2014. Los autores agradecen a Adriana Gómez, Wilmar Osorio, Jonathan Muñoz y Rigoberto Ochoa por la ayuda en la recolección de los datos en el campo; a la directora del proyecto Zulma Nancy Gil; a la Disciplina de Agroclimatología, especialmente a Ninibeth Gibelli Sarmiento y a Jonnier Hoyos, y el equipo de Bienes y Servicios. Adicionalmente, agradecen a los caficultores Clemente Gaviria, Pedronel Cabezas, Yaneth Cruz, Ludibia Arias, Reinaldo Ñañez, Víctor Ramírez, María de Jesús Muñoz, Máximo Gúzman, Libardo Saavedra, Orlando Suárez, Uriel Betancurt y Carlos Palomino, quienes permitieron realizar esta investigación en sus predios. Gratificación al Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros del Huila quienes nos acompañaron durante el tiempo de este proyecto con sus valiosos aportes.

LITERATURA CITADA

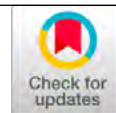
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symmioudis, I., Watt, A. D., & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Benavides Machado, P., Gil Palacio, Z. N., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo Jaramillo, M. (2013). Plagas del café. Broca, minador, cochinillas harinosas y monalónion. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215–260). Cenicafé.
- Gilbert, N., & Raworth, D. A. (1996). Forum: insects and temperature—a general theory. *The Canadian Entomologist*, 128(1), 1–13. <https://doi.org/10.4039/Ent1281-1>
- Giraldo, M. (2018). Efecto de la humedad relativa sobre la duración y sobrevivencia de *Hypothenemus hampei* en dieta artificial Cenibroca. *Revista Cenicafé*, 69(1), 32–39. <http://hdl.handle.net/10778/1090>
- Hodkinson, I. D. (2005). Terrestrial insects along elevation gradients: Species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80(03), 489–513. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006767>
- Hodkinson, I. D. (2009). Life cycle variation and adaptation in jumping plant lice (Insecta: Hemiptera: Psyllodea): a global synthesis. *Journal of Natural History*, 43(1–2), 65–179. <https://doi.org/10.1080/00222930802354167>
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15(2), 56–61. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01764-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01764-4)
- Jiang, X. F., Chen, J., Zhang, L., Sappington, T. W., & Luo, L. Z. (2013). Increased Long-Flight Activity Triggered in Beet Armyworm by Larval Feeding on Diet Containing Cry1Ac Protoxin. *PLoS ONE*, 8(5), e63554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063554>
- Li, K. B. (1993). The Survey and Main Progress of *Mythimna separata* in China. *Plant Prot.* 19, 2–4.
- Li, K. B., Wang, H. X., & Hu, W. X. (1964). Route of seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern

- part of China as indicated by a three year result of releasing and recapturing of marked moths. *Journal of Plant Protection*, 3, 101–110.
- Li, Q.S., Liu, Q.X., & Deng, W.X. (1994). Effects of temperature and humidity on the laboratory population of *Adelphocoris lineolatus* Geoe. *Acta Ecologica Sinica*, 14, 312–317.
- Lu, Y., & Wu, K. (2011). Effect of relative humidity on population growth of *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). *Applied Entomology and Zoology*, 46(3), 421–427. <https://doi.org/10.1007/s13355-011-0058-6>
- Mishra, M. K., & Slater, A. (2012). Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnology Research International*, 2012, 580857. <https://doi.org/10.1155/2012/580857>
- Parra, J. R. P. (2000). A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório à aplicação em campo. En J.V.C Guedes, I. D. Da Costa, & E. Castiglioni (Eds.). *Bases e Técnicas do Manejo de Insetos*. (pp.59–61). UFSM/CCR/DFS.
- Pellegrino, A. C., Peñaflor, M. F. G. V., Nardi, C., Bezner-Kerr, W., Guglielmo, C. G., Bento, J. M. S., & McNeil, J. N. (2013). Weather forecasting by insects: modified sexual behaviour in response to atmospheric pressure changes. *PloS One*, 8(10), e75004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075004>
- Ramírez, H., Bustillo, A. E., Gil, Z., & Benavides, P. (2008). La chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezangeli*, una nueva plaga del café en Colombia. En A. E. Bustillo (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 374–380). Cenicafé.
- Régnière, J., Powell, J., Bentz, B., & Nealis, V. (2012). Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: Experimental design, data analysis and modeling. *Journal of Insect Physiology*, 58(5), 634–647. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.010>
- Si, S., Zhou, L., Wang, S., Jiang, X., Xu, Z., Mu, W., Wang, D., Wang, X., Chen, H., Yang, Y., & Ji, X. (2012). Progress in research on prevention and control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6), 1432–1438. http://www.ent-bull.com.cn/viewmulu_en.aspx?qi_id=861&mid=25744
- Torres, L. F., Cartagena, J. R., Correa, G. A., Monsalve, D. A., & Londoño, M. E. (2015). Relationship between the presence and damage of *Monalonion velezangeli* Carvalho & Costa and some climatic factors in avocado cv. Hass crops. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 79–85. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:381
- Vayssières, J. F., Carel, Y., Coubes, M., & Duyck, P. F. (2008). Development of Immature Stages and Comparative Demography of Two Cucurbit-Attacking Fruit Flies in Reunion Island: *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus ciliatus* (Diptera Tephritidae). *Environmental Entomology*, 37(2), 307–314. <https://doi.org/10.1093/ee/37.2.307>
- Wylie, F. R., & Speight, M. R. (2012). *Insect Pests in Tropical Forestry* (2nd ed.). CABI. <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781845936365/>
- Zhang, Y., Chen, L., Cheng, D., Zhang, Y., Jiang, Y., & Jiang, J. (2007). Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50, 494–500. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-KCXB200705009.htm

CAMBIOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS Y ELEMENTOS BIOFÍSICOS, EN FINCAS CAFETERAS DE LA ZONA CENTRAL COLOMBIANA

Juan Carlos García López  *

García-López, J. C. (2020). Cambios en sistemas productivos y elementos biofísicos, en fincas cafeteras de la zona central colombiana. *Revista Cenicafé*, 71(2), 21-38. <https://doi.org/10.38141/10778/71202>



En algunos municipios cafeteros de los departamentos de Caldas y Risaralda, en la Zona Central de Colombia, los cultivos de café se encuentran en riesgo asociado a variaciones climáticas extremas. Con el fin de evaluar las relaciones entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos, se recopiló información de todas las fincas cafeteras ubicadas en los municipios de Santuario y Balboa (Risaralda) y Salamina (Caldas), en los años 2006, 2009, 2012 y 2015. Se determinaron las estadísticas con respecto a los factores de producción, edad, densidad, variedades, entre otros. Se analizó la información climática de las redes meteorológicas del Ideam y la Red Cafetera, para los elementos de temperatura y lluvia. Los valores de exceso y déficit hídrico e índice de humedad del suelo fueron derivados del cálculo de balance hídrico. Se evaluaron los cambios entre años y por etapas fisiológicas del cultivo. Se concluyó que, Salamina y Santuario disminuyeron su área cafetera entre 2009 y 2015, mientras Balboa la incrementó. Los factores de amenaza se relacionaron con las condiciones hídricas de exceso (Santuario y Salamina) y déficit (Balboa). En todos los municipios de este estudio la mayor vulnerabilidad se presenta en áreas por debajo de 1.300 m de altitud, en el escenario El Niño, 2015, relacionada con incremento de la temperatura y disminución de la oferta hídrica anual. La condición biofísica (clima y suelo) no estuvo asociada a la dinámica de cambio, en área y cultivos de café, en los municipios estudiados.

Palabras clave: Cultivo de café, dinámica de cambio, adaptación climática, Colombia.

CHANGES IN PRODUCTIVE SYSTEMS AND BIOPHYSICAL ELEMENTS IN COFFEE FARMS IN THE COLOMBIAN CENTRAL ZONE

In some coffee-growing municipalities in the departments of Caldas and Risaralda, in the Central Zone of Colombia, coffee crops are at risk due to extreme climatic variations. In order to evaluate the relationship between the changes in production systems and the variations in biophysical elements, information from all coffee farms located in the municipalities of Santuario and Balboa (Risaralda) and Salamina (Caldas) was collected in the years 2006, 2009, 2012 and 2015. Statistics regarding production, age, density, and varieties, among others, were determined. Data about temperature and rain retrieved from the climatic networks of the IDEAM and the *Red Cafetera* were analyzed. The values of water excess and deficit as well as soil moisture index were obtained from the water balance calculation. The changes between years and by physiological stages of the crop were evaluated. The results show that Salamina and Santuario decreased their coffee area between 2009 and 2015, while Balboa increased it. Threat factors were related to water excess (Santuario and Salamina) and deficit (Balboa). In all the municipalities, the greatest vulnerability occurs in areas below 1,300 m.a.s.l., under El Niño conditions, 2015, related to temperature increase and annual water supply decrease. The biophysical condition (climate and soil) was not associated with the dynamics of change, in area and coffee crops, in the studied municipalities.

Keywords: Coffee crop, dynamics of change, climate adaptability, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Agroclimatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café. <https://orcid.org/0000-0003-4861-9649>

El clima de la zona cafetera colombiana es definido como Tropical Ecuatorial de montaña; tropical por la posición latitudinal con respecto al Ecuador geográfico y de montaña por la ubicación de los cultivos sobre las laderas de las cordilleras de los Andes (Gómez, Caballero, y Baldión, 1991).

La variabilidad climática hace referencia a las variaciones en los valores promedios del clima a escala temporal y espacial, más allá de los eventos individuales del tiempo (Ramírez y Jaramillo, 2009). En la zona cafetera colombiana la variabilidad climática asociada a los Fenómenos de El Niño y La Niña produce cambios en la distribución y magnitud de los elementos del clima. Con respecto a una condición Neutra, bajo condiciones de La Niña, la precipitación se incrementa entre un 30% y un 50%, y bajo condiciones de El Niño las precipitaciones se reducen entre un 8% y un 24% (Jaramillo y Arcila, 2009a; Jaramillo y Arcila, 2009b; Ramírez y Jaramillo, 2009).

En la zona de estudio, correspondiente a los departamentos cafeteros de Caldas y Risaralda, investigaciones realizadas sobre cambio climático, teniendo en cuenta el escenario de emisiones A2¹, cuarto informe del IPCC (Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2008), indican que la temperatura media se incrementará en cerca de 1°C en 2030 y en 2050 en 1,8°C (García, Laderach, y Posada, 2018); esta situación también se reconoce en el tercer

informe sobre escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales et al., 2015), la cual se basa en la descripción de trayectorias de concentración representativas² (RCP, por su sigla en inglés), que siguen la metodología del IPCC quinto informe (IPCC, 2014) y, en los departamentos de Risaralda y Caldas, podrá representar aumentos de temperatura media del aire, en el periodo 2011-2040, entre 0,83 y 0,91°C para el RCP2.6 y entre 0,97 y 1,07°C para RCP8.5 y, en el periodo 2041-2070 entre 1,13 y 1,29°C y entre 2,19 y 2,32°C para RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente. La precipitación, que para la zona oscila entre 1.500 y 5.000 mm anuales en la actualidad, registrará aumentos anuales de 10 a 20 mm en 2030 y de 20 a 40 mm en 2050, en un escenario de emisiones A2 (García et al., 2018), y de acuerdo con la tercera comunicación del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales et al., 2015) para los departamentos de Risaralda y Caldas indican incrementos anuales, en el periodo 2011-2040, entre 16% y 21% y entre 23% y 28% para RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente.

Con relación a variabilidad climática interanual, Ramírez y Jaramillo (2009), establecieron la relación entre la lluvia y el índice oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Peña et al. (2012), con información de ese trabajo, establecieron las probabilidades de ocurrencia de valores

1 Corresponde a un escenario pesimista, de incremento de emisiones, en el que la población global aumenta, con crecimiento económico fragmentado y lento, tal como sucede hoy. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+para+Tomadores+de+Decisiones.pdf/fa7abe38-43cc-49c8-96a3-f2b5c24ecce3>.

2 Utilizados para hacer proyecciones basadas en el tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática. RCP2,6 escenario de mitigación de bajas emisiones en el que es probable mantener el calentamiento global. A 2100, a menos de 2°C por encima de las temperaturas preindustriales; RCP8,5 es un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero, con incrementos de temperatura por encima de 4,5°C a 2100. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-spm-sp.pdf>

anuales de precipitación de 2.900 y 1.400 mm, considerados como los límites por encima o por debajo de los cuales se presenta el exceso y el déficit hídrico, respectivamente.

Ramírez et al. (2014) utilizaron el criterio del índice de humedad del suelo (IHS) obtenido del balance hídrico modelado para cada una de 99 unidades de suelo analizadas, los autores establecieron la relación entre la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y el número de días con un índice de humedad del suelo inferior a 0,3 ($IHS < 0,3$). Definieron que la condición más vulnerable la presentaban los suelos que en 15 días alcanzan el déficit hídrico crítico, los vulnerables alcanzan su déficit hídrico crítico entre 15 y 30 días y, los poco vulnerables, soportan más de 30 días sin alcanzar el déficit hídrico crítico. A partir del momento en el que un suelo supera el límite de días con déficit se reduce la actividad fotosintética de la planta de café y se inicia el daño en los frutos de café por la falta de agua (Ramírez et al., 2013).

Recientemente Montoya y Jaramillo (2016) establecieron que por cada 100 unidades térmicas (diferencia entre la temperatura diaria media del aire y la temperatura base para el cultivo de 10°C) que se tengan por exceso o por defecto, la producción se disminuye en 2,6%, siempre y cuando se hayan acumulado los grados día de cada etapa fisiológica.

El estudio del brillo solar, considerado un elemento clave determinante de la productividad, en eventos de El Niño o La Niña, ayuda entender el impacto interanual sobre los sistemas de producción cafeteros (Ramírez et al., 2012). En el análisis por departamento, los autores observaron que existen reducciones de la oferta de brillo solar entre el 6% y 22%, en La Niña; adicionalmente en El Niño, se registra aumento hasta del 24%.

Fundamentados en los valores de los extremos, a partir de los cuales se reconoce la amenaza o por condición hídrica, térmica o energética, para cada uno de los elementos meteorológicos de lluvia, temperatura y brillo solar, descritos anteriormente (Arcila y Jaramillo, 2003; Ramírez et al., 2010; García et al., 2014; García et al., 2015; García et al., 2018), generaron índices agroclimáticos para las condiciones de la caficultura colombiana, los cuales relacionaron con expresiones fenológicas del cultivo sobre dos conceptos espaciales, puntual (Arcila y Jaramillo, 2003, Ramírez et al., 2010, García et al., 2015), y a nivel de una grilla o malla para una región (García et al., 2014, García et al., 2018), estas últimas a una resolución de 5 km² (el área que cubre cada recuadro de la grilla es equivalente a 2.500 hectáreas), con cálculo de los índices a nivel mensual.

En la investigación propuesta se utilizó la metodología de los autores antes mencionados, en la cual, con la georreferenciación de las fincas de la zona, se construyó una malla con resolución espacial de 1 km² (el área que cubre cada recuadro de la grilla es equivalente a 100 hectáreas), sobre la cual se generaron las capas de información climática de los elementos de lluvia y temperatura y los índices derivados de la primera. Además de aumentar el nivel de detalle, en el presente trabajo se incursionó en el análisis multitemporal, que no lo realizaron los autores mencionados, con cálculo de los índices a nivel diario.

El objetivo propuesto en esta investigación fue evaluar las relaciones entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos, para las fincas cafeteras ubicadas en los municipios de Santuario y Balboa (Risaralda) y Salamina (Caldas), en los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

Tipo de estudio. El estudio fue de tipo descriptivo, en una primera fase, con acceso a información derivada de la estructura productiva de las fincas cafeteras (SICA³) de los tres municipios estudiados (Santuario y Balboa en Risaralda y Salamina en Caldas), se realizó un análisis de cambio multitemporal; en una segunda fase, con información climática de fuentes gubernamentales e institucionales, se aplicaron técnicas de interpolación y geoproceso para la generación de capas de cobertura climática de la zona de estudio en diferentes años y, en una tercera fase, se modelaron indicadores climáticos en función de la fenología del cultivo y sus cambios temporales.

FASE I

Consolidación de información de la estructura productiva en la población objeto de estudio. Se tomó la información del SICA correspondiente a todas las fincas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa en el departamento de Risaralda y Salamina en el departamento de Caldas, en los años 2006, 2009, 2012 y 2015 (fechas de muestreo). En cada fecha de muestreo, se determinaron las estadísticas con respecto a los factores de producción. El procesamiento de la base SICA generó una tabla para cada zona que incluyó los atributos más importantes como tamaño de las fincas, área cafetera, rangos altitudinales de las fincas, densidad de siembra, edad del cafetal, variedades, luminosidad y densidades. Se identificaron los cambios para cada factor de producción entre las fechas de muestreo.

Grilla cafetera por municipio. Se generó el *ráster* (matriz de píxeles organizada en filas y columnas que contienen valores de atributos y coordenadas de ubicación) con resolución espacial de 1 km², sobre la máscara cafetera de los tres municipios, usando el *shape* (almacenamiento de datos vectoriales con ubicación, forma y atributos de las características geográficas) de ecotopos de propiedad de la FNC y un modelo de elevación digital (DEM, por su sigla en inglés⁴) de 1 km². El área cafetera, en la zona de influencia, quedó representada por 118 píxeles en Salamina, 129 píxeles en Santuario y 85 en Balboa.

Parametrización de bases climáticas e interpolación. La información de las variables de precipitación y temperatura fueron obtenidas del histórico meteorológico de las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y de la red meteorológica cafetera de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Con esta información se procedió a depurar datos, tomando como referente los años de las estaciones que tuvieran como mínimo 330 días de información.

Interpolación. La información consolidada a nivel diario para los cuatro años de este estudio se interpoló con la metodología propuesta por Hutchinson (Hutchinson, 2006), mediante el interpolador Anusplin[®] versión 4.4, que utiliza como covariables las coordenadas geográficas y el DEM. En el proceso de interpolación con el software Anusplin[®] se generó una superficie suavizada que refleja una condición

3 Es un sistema de información, conformado por una base de datos dinámica y georreferenciada de cobertura nacional, en la cual se actualiza, consulta, analiza, modela y visualizan datos geo-espaciales de la información básica de productores, fincas y lotes cafeteros del país.

4 <http://srtm.csi.cgiar.org/>

promedio del elemento climático, sobre la grilla cafetera municipal. En la ecuación se pretendió encontrar una función *spline* (polinomio a trozos) que, con dos derivadas continuas, minimizara la suma de cuadrados, penalizada con lambda como parámetro de suavizado. Se utilizaron rutinas en código del software R, adaptadas por el CIAT y Cenicafé. El resultado entregado por el proceso de interpolación fueron imágenes en formato TIF para cada uno de los días modelados, a partir de la cual se exportó la información a una base de datos de doble entrada (número de píxeles y número de días por año).

La información se analizó teniendo en cuenta el test de consistencia interna de la serie (OMM, 2004), realizado con base en la relación entre dos parámetros, por ejemplo, que la temperatura mínima diaria fuera siempre menor a la temperatura máxima y media. En el caso de precipitación ningún dato debió asumir valores negativos.

FASE III

Metodología de análisis de la variabilidad interanual. Con la información de los valores diarios asignados por elemento climático, a cada píxel de cada municipio se realizaron los siguientes cálculos:

Para temperatura: se obtuvieron los promedios anuales (°C).

Para lluvia: se obtuvo el total anual acumulado (mm).

Balance hídrico (BH): se modeló a nivel diario para cada píxel, con base en la rutina descrita por Jaramillo y Gómez (2002). Para el cálculo de la lluvia efectiva (Lle)

y la evapotranspiración de referencia (ETo) dentro del BH, se utilizaron las siguientes expresiones empíricas <1> <2> (Jaramillo y Chaves, 1999; Jaramillo, 2006):

$$Lle = 69,13 / (1 + 12,45 \times \exp(-0,040 \times LI)) \text{ <1>}$$

Donde:

Lle = lluvia efectiva (mm día⁻¹)

LI = lluvia medida (mm día⁻¹)

$$ETo = 4,21 \times \exp(-0,0002 \times Alt) \text{ <2>}$$

Donde:

ETo = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Alt = altitud expresada en m

De la rutina de BH se obtuvieron los valores anuales de exceso y déficit hídrico (mm) y el número de días con déficit por cada año del estudio.

Obtención de indicadores hídricos y térmicos. Se asumió para efectos de análisis y de acuerdo con información de la fluctuación trimestral del ONI (índice oceánico El Niño, por su sigla en inglés), reportado por la NOAA⁵, que los años 2006 y 2012 son predominantemente Neutros, el 2009 es de transición Neutro El Niño y el 2015 El Niño.

Se definieron tres momentos fisiológicos previos al mes de cosecha principal con el fin de relacionarlos con indicadores hídricos y térmicos: a. Cuatro meses previos a la máxima floración, que define la cosecha principal (etapa 1); b. Cuatro primeros meses de desarrollo del fruto de cosecha principal (etapa 2); c. Cuatro meses previos a la cosecha principal (etapa 3). (García et al., 2014).

⁵ http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Espacialización de las respuestas a cambios en factores de producción y climáticos.

La información asociada a los cambios en los factores de producción y los factores climáticos hídricos y de temperatura, entre los años comparados, fue espacializada con el fin de interpretar si se evidenciaban patrones de cambio asociados a condiciones locales específicas. Para este último se utilizaron las técnicas de geoproceso y edición incorporadas en el software ArcGis 10.3.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I

Estadísticas de la estructura productiva del cultivo de café por municipio

Análisis Municipio de Salamina, Departamento de Caldas. El análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015 muestra para Salamina una disminución del número de fincas, que repercute en una reducción del área cafetera del municipio en el 20% (Tabla 1). Adicionalmente, se observa una disminución del tamaño de la finca, aunque el área dedicada al cultivo

de café por finca se incrementó. El análisis espacial del cambio, referido a las fincas que dejaron de ser cafeteras y las que ingresaron nuevas entre 2009 y 2015, se representa en la Figura 1.

El análisis en el área cafetera por finca muestra entre 2006 y 2015 que las fincas del municipio de Salamina, que ocupaban entre 5 y 10 ha y más de 20 ha, perdieron representatividad y ésta la ganaron las fincas entre 1 y 3 ha y entre 10 y 20 ha (Tabla 2).

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, se observa un incremento de la proporción del área cafetera por encima de 1.700 m de altitud. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; entre 2006 y 2015 la caficultura pasó de ser predominantemente de sombra y semisombra a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea aumentó en más de 1.000 plantas, con adopción de variedades resistentes a la roya del cafeto (Tabla 3), sumado a que cerca del 80% de los cultivos de café en 2015 presentaba menos de 8 años de edad, comparado con 2006 cuando cerca del 50% tenía más de 8 años.

Tabla 1. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Salamina (Caldas).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	1.878	6.293	3.051		3,4	48%
2009	1.803	6.035	2.990	-2%	3,3	50%
2012	1.596	4.863	2.605	-15%	3,0	54%
2015	1.595	4.794	2.451	-20%	3,0	51%
Cambio respecto a 2006	-15,1%	-23,8%	-19,7%		-10,3%	5,4%

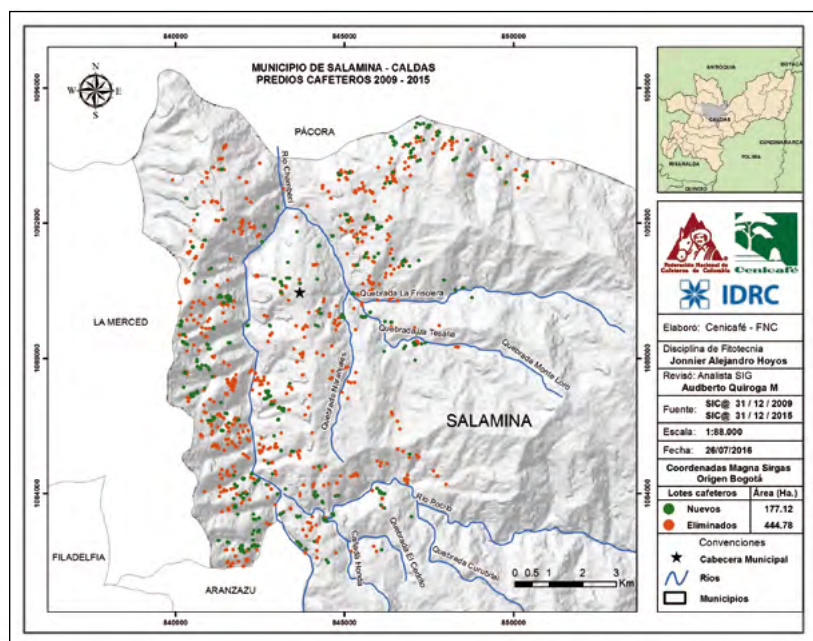


Figura 1. Análisis espacio temporal de las fincas nuevas y las que se eliminan, en el municipio de Salamina (Caldas).

Tabla 2. Cambios en área (ha) dedicada al cultivo de café por finca en el municipio de Salamina (Caldas).

Año	Menor que 1 ha	Entre 1 y 3 ha	Entre 3 y 5 ha	Entre 5 y 10 ha	Entre 10 y 20 ha	Mayor que 20 ha
2006	17,1%	33,1%	17,4%	20,2%	6,3%	5,9%
2009	16,6%	36,4%	20,2%	13,2%	11,2%	2,3%
2012	16,5%	41,9%	20,1%	11,7%	7,6%	2,2%
2015	17,7%	44,8%	17,9%	9,5%	7,8%	2,3%
Cambio respecto a 2006	0,6%	11,8%	0,5%	-10,8%	1,5%	-3,6%

Tabla 3. Distribución porcentual por tipo de variedad, municipio de Salamina (Caldas).

Año	Resistente	Susceptible
2006	16,4%	83,6%
2009	19,8%	80,2%
2012	49,9%	50,1%
2015	73,5%	26,5%
Cambio respecto a 2006	57,1%	-57,1%

Análisis Municipio de Santuario, Departamento de Risaralda. El análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015 muestra para Santuario una disminución del número de fincas que repercuten en una disminución del área cafetera del municipio del 10% (Tabla 4). Adicionalmente, se observa una disminución del tamaño de la finca, aunque el área dedicada al cultivo de café por finca se incrementa. El análisis espacial del cambio, de las fincas que dejaron de ser cafeteras y las que ingresaron nuevas entre 2009 y 2015, se representa en la Figura 2.

El análisis en el área cafetera por finca (Tabla 5) muestra entre 2006 y 2015 que, a

excepción del rango entre 1,0 y 3,0 ha, los demás rangos redujeron su participación.

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, no se observa modificación en la proporción del área cafetera. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; entre 2006 y 2015 la caficultura continuó desarrollándose a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea aumentó en más de 1.000 plantas, con adopción de variedades resistentes (Tabla 6), con una estructura de edades similar a través de los años.

Tabla 4. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Santuario (Risaralda).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	6.229	67.064	6.273		10,8	9%
2009	6.187	63.318	6.329	1%	10,2	10%
2012	5.969	59.051	6.420	2%	9,9	11%
2015	4.870	47.348	5.640	-10%	9,7	12%
Cambio respecto a 2006	-21,8%	-29,4%	-10,1%		-9,7%	27,3%

Tabla 5. Cambios en área dedicada al cultivo de café por finca en el municipio de Santuario (Risaralda).

Año	Menor que 1 ha	Entre 1 y 3 ha	Entre 3 y 5 ha	Entre 5 y 10 ha	Entre 10 y 20 ha	Mayor que 20 ha
2006	3,0%	11,3%	14,6%	28,0%	20,1%	22,9%
2009	2,7%	11,9%	14,4%	26,8%	22,5%	21,7%
2012	2,7%	13,0%	14,1%	27,8%	21,1%	21,3%
2015	3,0%	13,9%	14,1%	25,3%	20,4%	23,3%
Cambio respecto a 2006	0,0%	2,6%	-0,5%	-2,8%	0,4%	0,4%

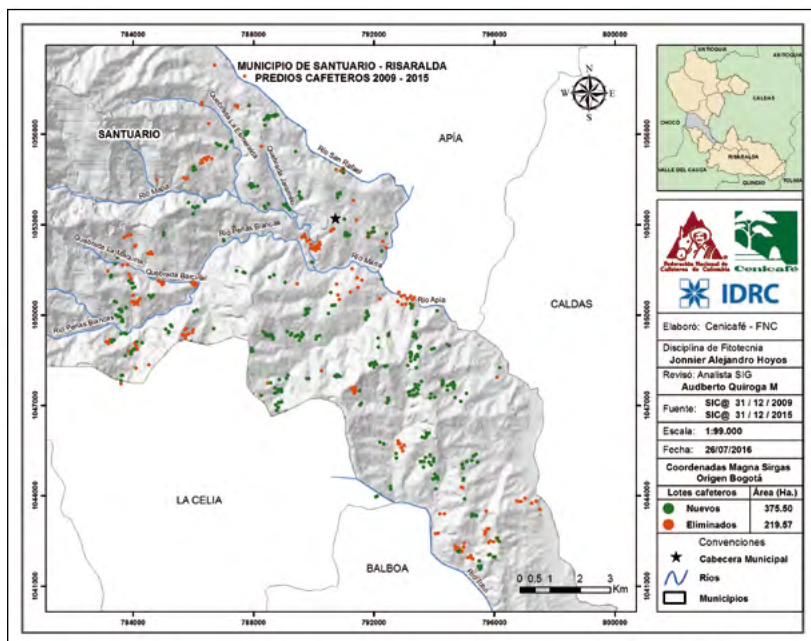


Figura 2. Análisis espacio temporal de las fincas nuevas y las que se eliminan, en el municipio de Santuario (Risaralda).

Tabla 6. Distribución porcentual por tipo de variedad, municipio de Santuario (Risaralda).

Año	Resistente	Susceptible
2006	44,5%	55,5%
2009	46,7%	53,3%
2012	61,4%	38,6%
2015	76,6%	23,4%
Cambio respecto a 2006	32,1%	-32,1%

Análisis Municipio de Balboa, Departamento de Risaralda. El análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015 muestra para Balboa un incremento del número de fincas, que repercute en un aumento del área cafetera del municipio en 14% (Tabla 7). Adicionalmente, se observa una disminución del tamaño de la finca, aunque el área dedicada al cultivo de café por finca se incrementó. El análisis espacial del cambio, de las fincas que ingresaron como

cafeteras y las que no continuaron con esta actividad productiva entre 2009 y 2015, se representa en la Figura 3.

El análisis en el área cafetera por finca (Tabla 8), muestra entre 2006 y 2015 que la representatividad para los rangos entre 5 y 10 ha y mayor a 20 ha, tuvieron los mayores cambios, el primero con disminución y el segundo con incremento.

Al verificar la distribución de las fincas por rango altitudinal, no se observa modificación en la proporción del área cafetera. Un análisis a la estructura productiva muestra cambios en el manejo y adopción de variedades; puede observarse entre 2006 y 2015 que la caficultura aumenta su proporción en sistemas a libre exposición solar, la densidad promedio por hectárea se presenta en el rango de 4.300 a 5.500 plantas, con mayor adopción de variedades resistentes (Tabla 9), con una estructura de edades con predominio para 2015 de caficultura menor de 8 años.

Del análisis del cambio en la propiedad entre 2006 y 2015, para los tres municipios,

como se presentó en las Figuras 1, 2 y 3, se observa que las siembras nuevas y la eliminación de lotes se dieron de forma aleatoria y no es posible argumentar una tendencia que muestre un patrón de cambio espacial, atribuible a una condición geográfica, orográfica o topográfica.

La pérdida de representatividad de las áreas con mayor extensión (>20 ha) en Salamina–Caldas y la disminución de área en café dentro de la misma finca en Santuario–Risaralda, se consideran aspectos asociados a la reducción en área. Para Balboa–Risaralda, que incrementó su área, se presentó una situación contrastante con Santuario, ya que el área en café dentro de la misma finca se aumentó.

Tabla 7. Cambios en la propiedad y tamaño de las fincas en el municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Número de fincas	Área total de las fincas (ha)	Área total en café (ha)	Cambio en área cafetera respecto a 2006	Tamaño promedio por finca (ha)	Porcentaje de área dedicada a café por finca
2006	2.765	22.636	2.386		8,2	11%
2009	2.971	22.648	2.464	3%	7,6	11%
2012	2.907	21.086	2.641	11%	7,3	13%
2015	2.753	18.911	2.726	14%	6,9	14%
Cambio respecto a 2006	-0,4%	-16,5%	14,3%		-16,1%	36,8%

Tabla 8. Cambios en área dedicada al cultivo de café por finca en el municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Menor que 1 ha	Entre 1 y 3 ha	Entre 3 y 5 ha	Entre 5 y 10 ha	Entre 10 y 20 ha	Mayor que 20 ha
2006	6,7%	26,2%	21,3%	23,6%	13,6%	8,6%
2009	7,0%	25,2%	22,4%	21,5%	14,0%	10,0%
2012	6,8%	25,1%	21,7%	21,2%	13,2%	12,0%
2015	5,7%	27,3%	21,2%	20,2%	14,9%	10,7%
Cambio respecto a 2006	-1,0%	1,2%	-0,1%	-3,4%	1,3%	2,1%

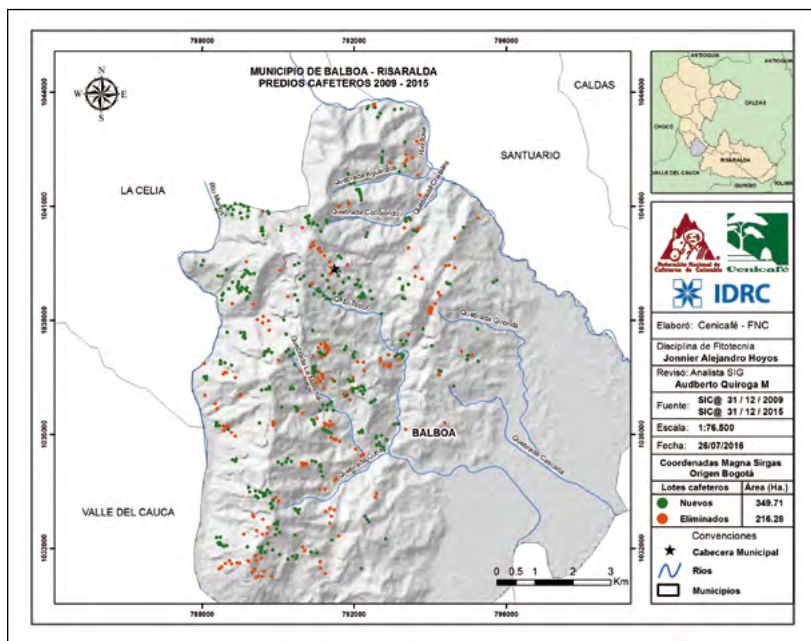


Figura 3. Análisis espacio temporal de las fincas nuevas y las que se eliminan, en el municipio de Balboa (Risaralda).

Tabla 9. Distribución porcentual por tipo de variedad, municipio de Balboa (Risaralda).

Año	Resistente	Susceptible
2006	61,6%	38,4%
2009	68,0%	32,0%
2012	84,9%	15,1%
2015	94,9%	5,1%
Cambio respecto a 2006	33,3%	-33,3%

Lo anterior no resuelve la pregunta sobre qué patrones asociados determinan las reducciones o incrementos en área dedicada al cultivo de café, ya que se esperaba que el municipio de Balboa, con mayor área en rangos altitudinales menos óptimos, disminuyera su área y, por el contrario, la aumentó. No obstante, se resalta que el factor de producción más importante, como lo es la siembra de variedades de café resistentes a la roya, tuvo el mayor dinamismo,

al aumentar en proporción del área de cada municipio en más del 40%.

FASES II Y III

Análisis espacial y temporal de los cambios en el promedio anual de la temperatura media del aire. La representación de los rangos de temperatura media anual para Santuario, Balboa y Salamina se presenta en las Figuras

4 y 5, respectivamente. En 2006, 2009 y 2012 la condición térmica, en los tres municipios muestra, en zonas por debajo de 1.300 m de altitud, temperaturas superiores a 21°C, mientras en franjas entre 1.300 y 1.800 m la temperatura fluctuó entre 20 y 22°C y en zonas por encima de 1.800 m temperaturas entre 18 y 19°C. En 2015, en condición El Niño, las franjas altitudinales menores a 1.300 m presentaron 22°C o más, entre 1.300 y 1.500 m temperaturas promedio entre 21 y

23°C y zonas con más de 1500 m temperaturas entre 19 y 21°C.

Análisis espacial de los períodos de déficit hídrico por fase fisiológica

Con la información del balance hídrico se totalizaron las décadas (períodos de diez días) con déficit hídrico por cada fase del periodo reproductivo (floración y desarrollo del fruto) (Figura 6).

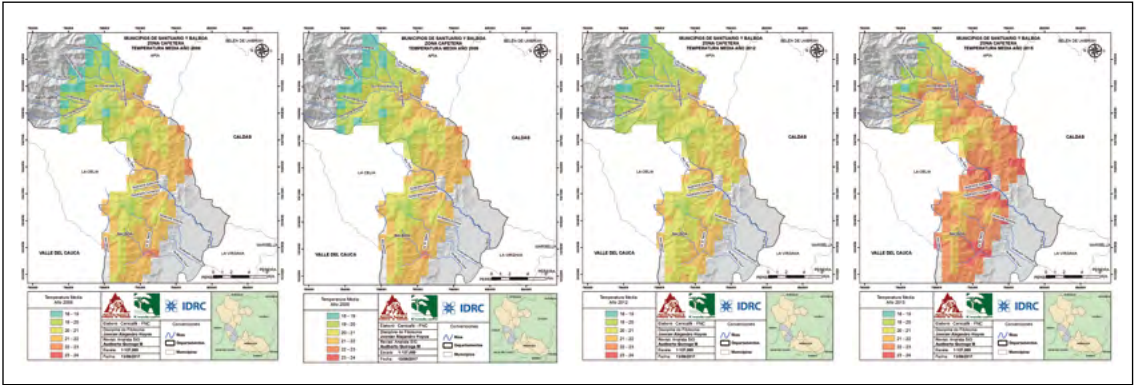


Figura 4. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de la temperatura media anual. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

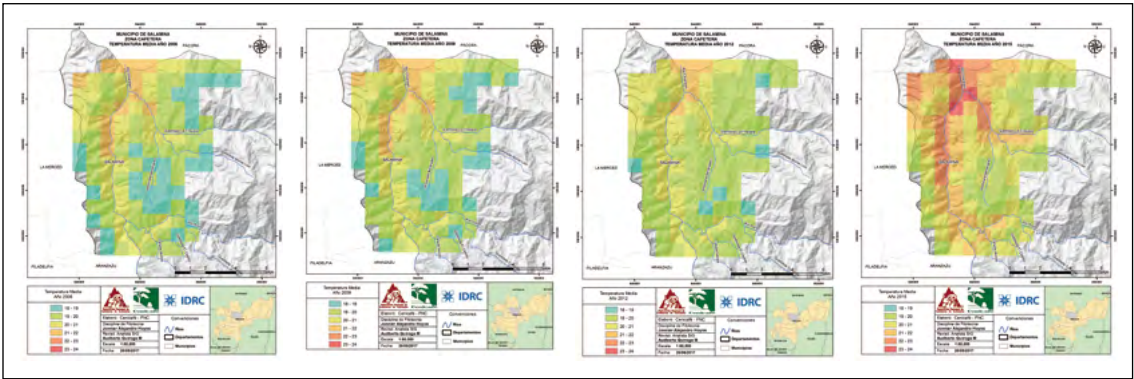


Figura 5. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de la temperatura media anual. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

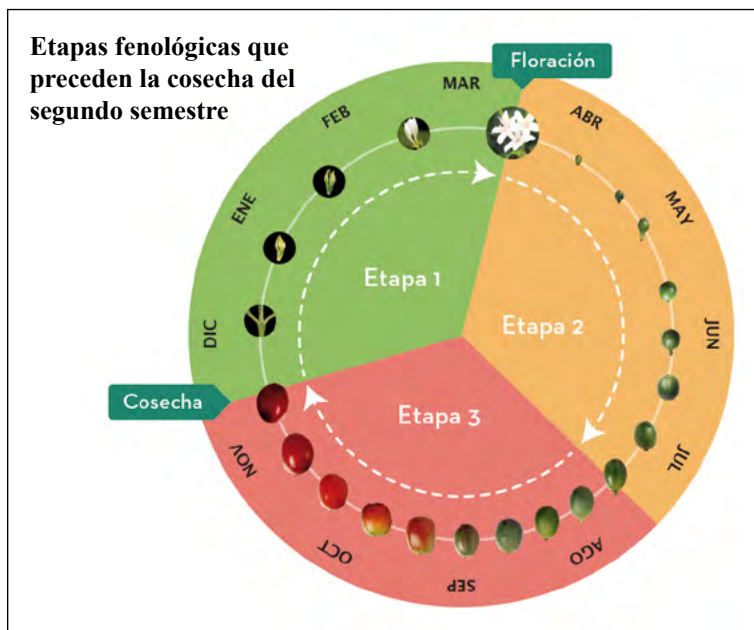


Figura 6. Etapas de desarrollo en fase reproductiva del cultivo de café. En todos los casos para los municipios de Risaralda y Caldas, con cosecha principal en segundo semestre. Dentro de la figura se indican los meses para la floración en color verde, desde diciembre hasta marzo (cuatro meses) y, para el desarrollo del fruto desde abril hasta noviembre (ocho meses). Adaptada de Flórez et al. (2013).

Fase de Floración

En las Figuras 7 y 8 se observan los valores de las décadas con déficit en la fase de floración para Santuario y Balboa (Figura 7) y Salamina (Figura 8). De izquierda a derecha se representan los años 2006 y 2009, 2012 y 2015. Se aprecia cómo, para 2006, los períodos secos pueden determinar una floración normal en los tres municipios (color verde en los mapas). La condición de normalidad continúa para 2009 y 2012 en Balboa y Santuario, mientras en Salamina se presentan dos décadas menos secas, que pueden afectar la concentración de floración (color amarillo en el mapa). En 2015 la situación contrasta entre los departamentos de Caldas y Risaralda, en el primero, el municipio de Salamina, continúa presentando dos décadas menos de déficit, mientras en el segundo, Santuario presenta gran parte de su área entre cinco y ocho décadas secas y Balboa registra más de ocho décadas, ambas situaciones en

Risaralda, aunque pueden promover una mayor concentración de la floración, puede afectar la cosecha del primer semestre, ya que los frutos que se originaron de una floración entre septiembre y octubre del año anterior, se encuentran en la etapa de llenado.

Fase de desarrollo del fruto

En las Figuras 9 y 10 se observan los valores acumulados de décadas con déficit hídrico en la fase de desarrollo de fruto para Santuario y Balboa (Figura 9) y Salamina (Figura 10). Se observan las zonas con menos de tres décadas de déficit que, si bien no afectan el desarrollo del fruto, no permiten una floración concentrada de travesía. Las zonas con períodos entre tres y seis décadas con déficit, no afectarían el desarrollo del fruto y sí permitirían la expresión normal de la floración de travesía; las zonas con más de seis décadas secas, afectarían el llenado del fruto y pueden alterar el desarrollo de una floración de travesía.

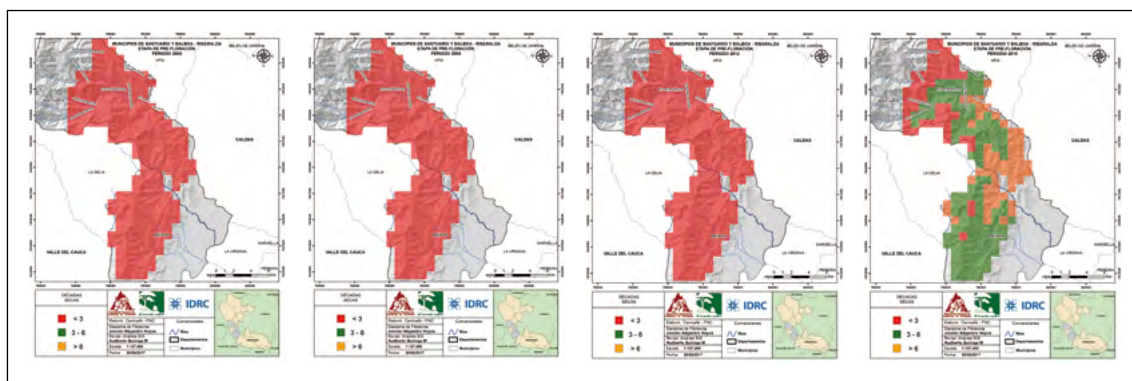


Figura 7. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante la floración. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

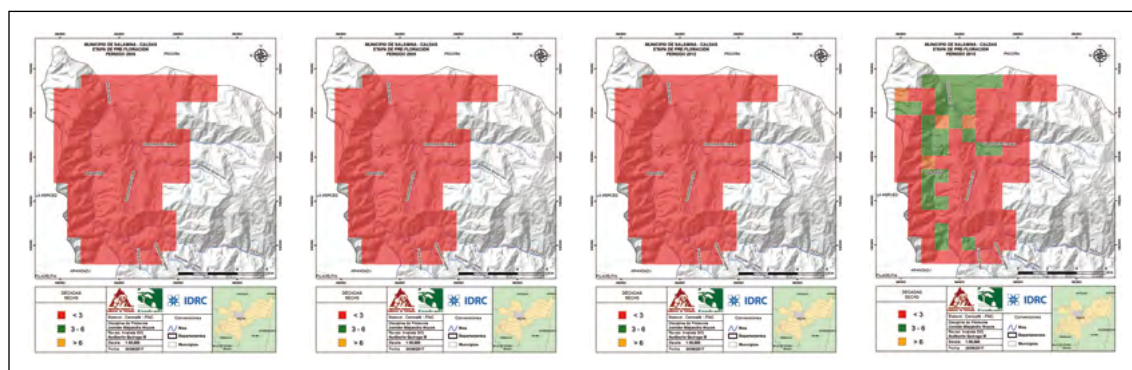


Figura 8. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante la floración. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

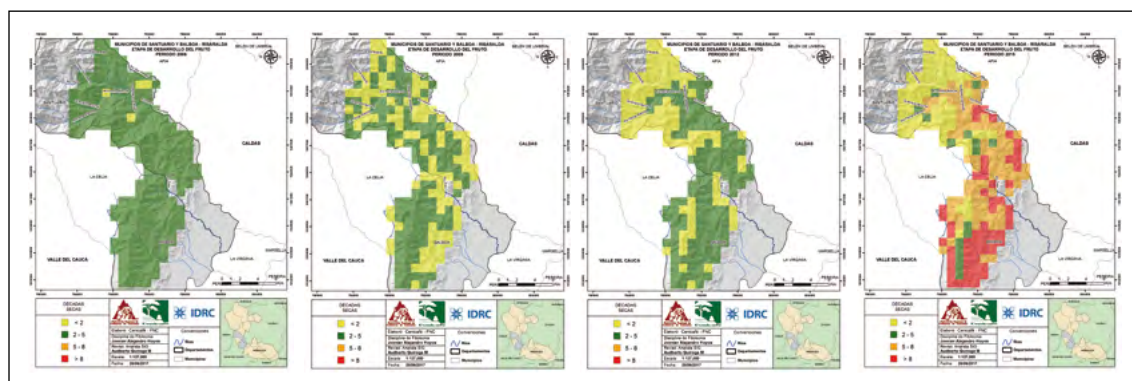


Figura 9. Zonas cafeteras de los municipios de Santuario y Balboa. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante el desarrollo del fruto. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

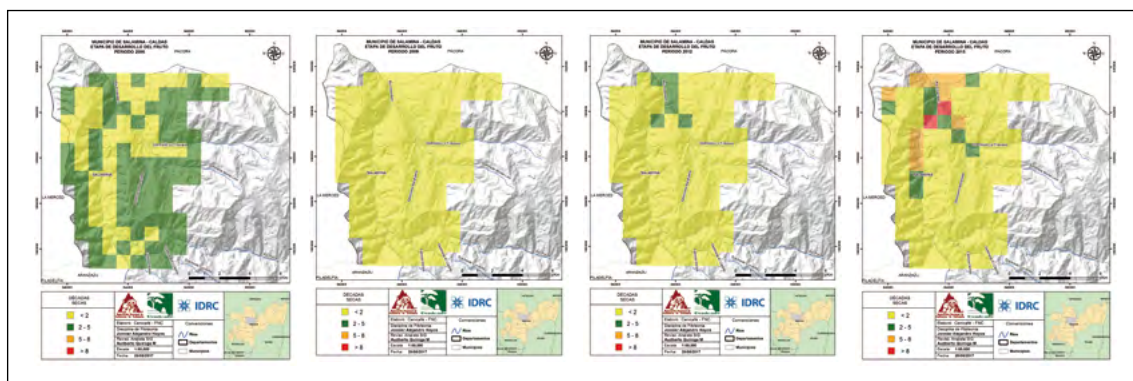


Figura 10. Zona cafetera del municipio de Salamina. Dinámica espacio - temporal de las décadas secas durante el desarrollo del fruto. De izquierda a derecha los años 2006, 2009, 2012 y 2015.

En cuanto al análisis de los períodos de déficit hídrico por etapa fenológica, en los tres municipios, entre 2006 y 2012 prevalecieron condiciones de normalidad para el desarrollo del fruto, aunque pudo haberse limitado la floración de travesa. En 2015, la situación es contrastante y pudo afectar tanto el desarrollo del fruto como las fases vegetativas, en parte de la caficultura en zonas de ambas vertientes del río Totuí entre Balboa y Santuario, y en la parte baja de la cuenca del río Chamberí en Salamina. De acuerdo con el estudio realizado por Farfán (2017), sobre la percepción de afectación de los caficultores ante eventos extremos, el 62,4% de los caficultores de Salamina, el 74,0% de Balboa y el 58,2% de Santuario consideran que son afectados por las condiciones de clima impuestas por los eventos El Niño, lo cual confirma el grado de vulnerabilidad en presencia de este evento y que el presente estudio también identifica.

Lo anterior puede explicarse por una condición de vulnerabilidad al déficit hídrico y altas temperaturas, principalmente en el municipio de Balboa, por tener gran parte de la caficultura por debajo de 1.600 m de altitud; esta misma situación fue reportada por García et al. (2014), cuando describieron las condiciones

de aptitud de las zonas agroclimáticas, en las que los autores, para las zonas en las que se incluye este municipio, definieron como limitaciones el riesgo al déficit hídrico en la etapa 2 de desarrollo del fruto, y concuerda con la percepción de los caficultores, que con relación a El Niño, en Salamina – Caldas, principalmente predios ubicados entre 1.500 y 1.900 m de altitud, para Santuario – Risaralda en predios entre 1.300 y 1.500 m y, en Balboa – Risaralda predios ubicados en altitudes por debajo de 1.300 m, indican una disminución de ingresos por afectación de sus cultivos, principalmente por daños en los granos de café (Farfán, 2017).

En los tres municipios el cambio extremo que más reconocen los caficultores se asocia con los eventos La Niña y los relacionan con lluvias intensas y continuas, granizadas y vendavales, principalmente (Farfán, 2017) en el presente estudio en los municipios de Santuario y Salamina, con mayor representatividad de fincas cafeteras por encima de 1.600 m de altitud, tienen mayor vulnerabilidad a los excesos hídricos.

Al igual que en la dinámica espacio - temporal de cambio en las estructuras

productivas, no se observa que las dinámicas de cambio asociadas a los elementos meteorológicos y los índices agroclimáticos derivados, tengan relación con las dinámicas de cambio en área.

A través de los años, excepto en el 2015, varias zonas, principalmente en Santuario y Salamina, experimentaron una condición de exceso hídrico, que pudo cuantificarse, a partir de los resultados de balances hídricos, en valores superiores a 400 mm por año, situación que en el municipio de Balboa sólo se registró en 2009 y 2012 en una zona hacia el Centro. Los excesos hídricos, relacionados con precipitaciones superiores a 2.500 mm por año, son correlacionados con disminución de la oferta de brillo solar, lo cual afecta negativamente la producción de fruto de los cafetos. En un estudio sobre el comportamiento del brillo solar en estaciones del departamento de Caldas, Ramírez et al. (2012) determinaron que en un año El Niño, el potencial productivo está entre 80% y 90% y, en años La Niña, puede reducirse entre 60% y 80%. Frente a la susceptibilidad a la reducción de la producción por menor oferta de brillo solar en año La Niña, determinan que aquellas zonas ubicadas en rango óptimo de altitud, con distribución bimodal de la cosecha, tienen mayor vulnerabilidad; situación contraria la presentan zonas por debajo de 1.250 m.

Lo anterior es importante mencionarlo, ya que en el período analizado predominaron eventos con mayor oferta hídrica entre 2006 y 2013, que favoreció las zonas normalmente secas, como el caso de Balboa, en las cuales se incrementó el área y, para el caso de Santuario y Salamina, con mayor área en rango óptimo, la disminuyeran.

Las variedades susceptibles a la roya del cafeto muestran la mayor vulnerabilidad en eventos de exceso hídrico como los que

predominaron en el período analizado. El municipio de Balboa presentaba en 2006 la mayor área en variedades resistentes a la roya, con 61,6% de su parque productivo, mientras Santuario y Salamina, sólo cubrían el 44,5% y 16,4% de su área, respectivamente. La situación anterior indica que el municipio de Balboa se encontraba mejor adaptado a las condiciones de amenaza derivadas de exceso hídrico, situación que pudo estar relacionada con incremento en área y se promovió aún más hasta alcanzar el 95% del área total en variedades resistentes en 2015, mientras Santuario y Salamina perdieron 10% y el 19% del área total, respectivamente, ambas con aumento a 77% del área total con variedades resistentes en 2015. Aunque no se resuelve de manera directa la relación entre los cambios en los sistemas de producción y las variaciones de los elementos biofísicos como era el objetivo, el estudio sí permite identificar las posibles situaciones de variabilidad interanual que limitan a los cultivos y que determinan las acciones de adaptación de los caficultores.

De este estudio puede concluirse que

- Se determinaron cambios temporales y espaciales en las estructuras productivas de las áreas cafeteras de los municipios. Se concluyó que, Salamina y Santuario disminuyeron su área cafetera entre 2009 y 2015 en 20% y 10%, respectivamente, mientras Balboa la incrementó en 14,3%.
- Los factores de amenaza se relacionan en Santuario y Salamina con la condición de exceso hídrico y, en Balboa, con déficit hídrico.
- En todos los municipios de este estudio la mayor vulnerabilidad se presenta en áreas de su caficultura por debajo de 1.300 m de altitud, en las cuales el incremento en temperatura promedio, entre un año Neutro y un año El Niño, es de 1,8°C o más.

- En todos los municipios, la caficultura entre 1.000 y 1.600 m de altitud, presenta variaciones de 500 mm entre un año Neutro y El Niño que, por su distribución, generan periodos secos acentuados con posibilidad de afectación del cultivo.
- El análisis realizado del comportamiento interanual de los índices térmicos e hídricos, asociados a las etapas fenológicas reproductivas del cultivo de café, no permite definir a la condición biofísica (clima y suelo) como una causa de la dinámica de cambio, en área y cultivos de café, en los municipios en el período de estudio.
- Existen situaciones relevantes en el período analizado como el predominio de eventos con mayor oferta hídrica entre 2006 y 2013

que favoreció a zonas normalmente secas, en las cuales se promovió la siembra, como el caso del municipio de Balboa.

AGRADECIMIENTOS

A IDRC (*International Development Research Centre*), a Cenicafé por facilitar los recursos físicos y definir las prioridades en tiempos de dedicación al desarrollo del mismo. Al Ing. MSc Fernando Francisco Farfán quien dirigió el proyecto. Al Biólogo Esp SIG Audberto Quiroga y Técnico Jonnier Alejandro Hoyos, por su colaboración en el tratamiento de la información climática. A los Comités Departamentales de Cafeteros de Caldas y Risaralda.

LITERATURA CITADA

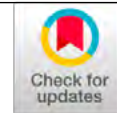
- Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 311, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4215>
- Farfán, F. (2017). *Aumentando la resiliencia a eventos climáticos extremos en el sector cafetero colombiano: Percepción de los caficultores de los municipios de Salamina (Caldas) Santuario y Balboa (Risaralda) frente a la variabilidad climática*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/961>
- García, J., Läderach, P., & Posada, H. (2018). Valoración del cambio de aptitud del cultivo de café en Colombia, por variación en escenarios climáticos futuros. *Revista Cenicafé*, 69(1), 91–111. <http://hdl.handle.net/10778/1095>
- García, J., Posada, H., & Läderach, P. (2014). Recommendations for the Regionalizing of Coffee Cultivation in Colombia: A Methodological Proposal Based on Agro-Climatic Indices. *PLoS ONE*, 9(12), e113510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113510>
- García, J., Posada, H., & Salazar, F. (2015). Factores de producción que influyen en la respuesta de genotipos de *Coffea arabica* L. bajo diversas condiciones ambientales de Colombia. *Revista Cenicafé*, 66(2), 30–57. <http://hdl.handle.net/10778/654>
- Gómez, L., Caballero, A., & Baldión, J. (1991). *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/818>
- Hutchinson, M. (2006). *Anusplin version 4.36 User Guide*. Australian National University.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Dirección Nacional de Planeación. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones*. IDEAM. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37489>
- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2008). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (R. K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas (C. B. Field, V.R. Barros., D.J. Dokken., K.J. Mach.,

- M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, & L.L. White, Eds.). IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 57(4), 282–298. <http://hdl.handle.net/10778/232>
- Jaramillo, A., y Arcila, J. (2009a). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafé*, 390, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1133>
- Jaramillo, A., & Arcila, J. (2009b). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de La Niña y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafé*, 389, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1132>
- Jaramillo, A., & Chaves, B. (1999). Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. *Revista Cenicafé*, 50(2), 97–105. <http://hdl.handle.net/10778/4216>
- Jaramillo, A., & Gómez, O. (2002). *Desarrollo de una aplicación de cómputo para el cálculo del balance hídrico en cafetales*. Cenicafé.
- Montoya, E., & Jaramillo, A. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. *Revista Cenicafé*, 67(2), 58–65. <http://hdl.handle.net/10778/729>
- Peña, A., Ramírez, V., Valencia, J., & Jaramillo, A. (2012). La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 415, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/336>
- Ramírez, V. H. (2014). Vulnerabilidad de algunos suelos de la zona cafetera colombiana al déficit hídrico. *Avances Técnicos Cenicafé*, 449, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/566>
- Ramírez, V. H., Jaramillo, A., & Arcila, J. (2013). Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia: 205-237. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 205–237). Cenicafé.
- Ramírez, V. H., Arcila, J., Jaramillo, A., Rendón, J. R., Cuesta, G., Menza, H., Mejía, C., Montoya, D., Mejía, J., Torres, J., Sanchez, P., Baute, J., & Peña, Q. (2010). Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Revista Cenicafé*, 61(2), 132–158. <http://hdl.handle.net/10778/492>
- Ramírez, V. H., & Jaramillo, A. (2009). Relación entre el índice oceánico del Niño y la lluvia, en la Región Andina Central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 60(2), 161–172. <http://hdl.handle.net/10778/228>
- Ramírez, V. H., Jaramillo, A., Peña, A., y Valencia, J. (2012). El brillo solar en la zona cafetera colombiana, durante los eventos El Niño y La Niña. *Avances Técnicos Cenicafé*, 421, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/329>

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DEL CAFÉ VERDE EN VARIEDADES MEJORADAS DE *Coffea arabica* L.

Luz Fanny Echeverri Giraldo *, Aristóteles Ortiz **, Claudia Patricia Gallego Agudelo *, Luis Carlos Imbachí Quinchua ***

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>



La fracción lipídica del grano de café, así como los compuestos que la componen, cumplen una función importante en la calidad sensorial del café. Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar químicamente, la fracción lipídica del café verde en las variedades Tabi, Cenicafé 1 y Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo y Castillo® Pueblo Bello, procedentes de lotes cultivados en diferentes localidades de Colombia durante dos años de cosecha. Se determinaron los contenidos de lípidos totales, la composición de ácidos grasos (palmitico, esteárico, oleico, linoleico, araquídico) y los isómeros α -, β -, γ -, y δ - Tocoferol. Las muestras se evaluaron sensorialmente, de acuerdo con el método empleado por Almacafé, según la norma NTC 4883. El contenido promedio de lípidos totales varió entre 10,7%-12,3% en base seca (b.s), presentando diferencias significativas para la variedad Tabi con respecto a las demás variedades. Los contenidos promedios de tocoferoles (vitamina E) estuvieron en el rango entre 40,6-60,2 mg de vitamina E/100 g aceite de café, se destaca el isómero α -Tocoferol por contenidos superiores a los reportados. En cuanto a la composición de ácidos grasos, se identificaron como ácidos mayoritarios al ácido palmitico con un contenido entre 38,7%-40,5%, seguido por el ácido linoleico con un contenido promedio entre 34,1%-37,9%. Respecto a la evaluación sensorial, el atributo impresión global clasificó en promedio la calidad en taza de las variedades como muestras estándar, con valores de rangos de calificación inferiores a 4,5 debido posiblemente a un proceso de poscosecha deficiente, el cual tiene incidencia en la calidad de la bebida.

Palabras clave: Variedades de café, ácidos grasos, tocoferoles, lípidos, calidad sensorial.

CHARACTERIZATION OF THE LIPID FRACTION OF GREEN COFFEE IN IMPROVED VARIETIES OF *Coffea arabica* L.

The lipid fraction of the coffee bean, as well as the compounds that compose it, play an important role in the sensory quality of the beverage. This research was carried out with the purpose of chemically characterize the lipidic fraction of green coffee in the varieties Tabi, Cenicafé 1 and the regional ones Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo and Castillo® Pueblo Bello, coming from plots grown in different locations in Colombia, during two years of harvesting. The total lipid contents, the fatty acid composition (palmitic, stearic, oleic, linoleic, arachidic) and the isomers α -, β -, γ -, and δ - Tocopherol were determined. The samples were sensory valued according to the method used by Almacafé, following the NTC 4883 standard. The average content of total lipids varied between 10.7% - 12.3% in dry base (b.d), presenting significant differences for the Tabi variety with respect to the other varieties. The average contents of tocopherols (vitamin E) were in the range between 40.6 - 60.2 mg of vitamin E/100 g of coffee oil, the α -Tocopherol isomer stands out for its contents higher than those reported by other authors. Regarding the composition of fatty acids, palmitic acid with a content between 38.7% - 40.5% was identified as the main acid, followed by linoleic acid with an average content between 34.1% - 37.9%. Regarding the sensory evaluation, the global impression attribute classified the average cup quality of the varieties as standard samples, with values of qualification ranges lower than 4.5, possibly due to a poor postharvest process, which has an impact on the quality of the coffee drink.

Keywords: Coffee varieties, fatty acids, tocopherols, lipids, sensory quality.

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

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

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



La fracción lipídica del grano verde de café, así como los compuestos que la componen, cumplen una función importante en la calidad sensorial de la bebida, los atributos que son expresados durante la evaluación sensorial, se forman a partir de los compuestos químicos (precursores) presentes en los granos de café verde (Selmar et al., 2014). Esta composición depende no sólo de la especie y la variedad (Alvarado et al., 2009; Cheng et al., 2016; Santos et al., 2013; Villarreal et al., 2012) sino de diversos factores agronómicos y ambientales (Barbosa et al., 2012; Bunn et al., 2015; Pereira et al., 2015; Tolessa et al., 2017; Tsegay et al., 2020); de procesos de cosecha, poscosecha y almacenamiento (Bytof et al., 2005; Joët et al., 2010; Ribeiro et al., 2016) y se afecta en los procesos de tostación y preparación de la bebida (Amorim et al., 2009; Farah et al., 2006; Romani et al., 2012).

En la composición química del grano de café verde, la fracción lipídica constituye una parte importante: los lípidos y ácidos grasos que la componen, contribuyen al transporte de los aromas y sabores (Pereira et al., 2015), así como al cuerpo de la bebida y al transporte de vitaminas liposolubles entre las que se encuentra la vitamina E (Oestreich-Janzen, 2010).

Los lípidos del café están presentes principalmente en el endospermo del café y está constituido principalmente por triglicéridos (70%-80%), ésteres de alcoholes diterpénicos y ácidos grasos (15,0% -18,5%) y otros compuestos de baja concentración que aportan entre 0,1%-3,2% de los lípidos totales. La parte externa del grano también contiene una pequeña fracción lipídica denominada cera del café y constituye entre 0,1%-0,3% del peso total de grano (Wilson et al., 1997). La mayor parte de los lípidos contenidos en los grano de café no se degradan durante la tostación, aunque

algunos ácidos grasos liberan subproductos de oxidación, principalmente aldehídos (Puerta, 2011; Puerta Q. & Echeverri G., 2019), los cuales son inducidos por la temperatura, reaccionando con los compuestos intermedios de la reacción de Maillard, proporcionando al café sabor y aroma adicional (Flament, 2001; Illy & Viani, 2005; Puerta Q. & Echeverri G., 2019).

Folstar et al. (1975) y Speer et al. (1993) investigaron los ácidos grasos del café encontrando que la fracción lipídica del café está constituida principalmente por los ácidos grasos: palmítico (C16:0) y linoleico (C18:2) y en menor proporción ácido esteárico (C18:0), oleico (C18:1), araquídico (C20:0) y ácido behénico (C22:0), y algunas trazas de mirístico (C14:0), linolénico (C18:3) y ácido lignocérico (C24:0). Los perfiles de ácidos grasos de los granos de café verde dependen principalmente de la genética, prácticas agronómicas, procesos de cosecha y poscosecha, y factores ambientales (Joët et al., 2010; Martín et al., 2001; Mehari et al., 2019). Dado que estos factores pueden diferir de una región a otra, las concentraciones de ácidos grasos pueden ser útiles para la determinación del origen geográfico del café (Mehari et al., 2019).

Villarreal et al. (2012) estudiaron la composición lipídica en muestras de café verde de diferentes genotipos de *C. arabica*, cosechadas en cinco localidades de la región cafetera colombiana con el fin de determinar el efecto del genotipo y de algunas variables climáticas sobre el contenido en lípidos y en ácidos grasos totales. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre genotipos y entre localidades, con respecto al contenido lipídico total y a los ácidos grasos mayoritarios presentes (linoleico, palmítico, oleico, esteárico, araquídico, linolénico y behénico), encontraron que, al correlacionar los factores climáticos y las variables lipídicas,

había un efecto significativo positivo de la temperatura sobre la composición de los ácidos grasos mayoritarios.

Pereira et al. (2015) investigaron sobre la relación entre la composición de ácidos grasos y las características sensoriales de cuatro genotipos de *C. arabica* cultivados bajo diferentes condiciones edafoclimáticas en Brasil, logrando obtener información sobre qué compuestos afectan positiva o negativamente la calidad de la bebida de café. Los ácidos grasos saturados, incluyendo araquídico, ácido esteárico y ácido palmítico, son posibles discriminadores de la calidad de los cafés especiales, asociados con una mejor calidad sensorial; por el contrario, los ácidos grasos insaturados, incluyendo eláidico, oleico, linoleico y ácido linolénico fueron relacionados con cafés de acidez, fragancia, cuerpo y sabor menos intensos.

Entre las vitaminas liposolubles, se encuentra la vitamina E, e incluye un grupo de ocho moléculas liposolubles: cuatro isoformas del tocoferol y cuatro isoformas del tocotrienol. Químicamente, contienen un anillo de cromanol, con un patrón de sustitución distinto de los grupos metilo (α -, β -, γ -, y δ -), y una cadena lateral de 16 carbonos, saturados o insaturados en tocoferoles y tocotrienoles, respectivamente (Schneider, 2005). Entre las diferentes isoformas de la vitamina E, el alfa-tocoferol es el antioxidante liposoluble predominante *in vivo*. Químicamente, su hidroxilo del anillo de cromanol, puede donar un átomo de hidrógeno a los radicales de peróxido, generando hidroperóxidos lipídicos relativamente estables, protegiendo así de la oxidación a los ácidos grasos poliinsaturados de las membranas y las lipoproteínas (Hochkogler et al., 2019; Niki & Traber, 2012), mientras que en los sistemas celulares activa el factor de transcripción Nrf2 al unirse al elemento de respuesta antioxidante (Masoudi et al.,

2014). Es por esta razón que los tocoferoles son antioxidantes naturales que aumentan la estabilidad de los aceites y cumplen una importante actividad biológica en humanos, es decir, tiene una doble función: por un lado, ejercen una protección antioxidante *in vivo*, protegiendo a los lípidos celulares de la oxidación (actividad de vitamina E), y por otro lado, ejercen una acción *in vitro*, protegiendo al aceite y los alimentos de la degradación oxidativa (Buchanan et al., 2010; Ozturk & Cakmakci, 2006).

Dada la importancia que tiene la fracción lipídica del grano de café, el propósito de esta investigación fue cuantificar los contenidos de lípidos totales del grano de café verde, determinar la composición en ácidos grasos presentes en esa fracción lipídica, medir los contenidos de tocoferoles en las variedades de *C. arabica* cultivadas en Colombia y evaluar su relación con la calidad sensorial del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de las muestras. Se caracterizaron las variedades Tabi, Cenicafé 1 y las regionales Castillo® Naranjal, Castillo® El Tambo y Castillo® Pueblo Bello, procedentes cada una de ellas, de lotes cultivados en cada sitio de origen (Tabla 1). Las muestras fueron recolectadas durante dos años de producción en las cosechas entre el 2017 al 2019, dependiendo de la distribución de la cosecha en cada una de las localidades. De cada cosecha se recolectaron muestras de tres pases: antes, durante y después del pico de cosecha, a partir de frutos 100% maduros, provenientes de mezclas homogéneas según el número de progenies que conforman cada variedad. El proceso poscosecha se realizó en cada una de las Estaciones Experimentales empleando beneficio húmedo estándar con secado mecánico.

Preparación de las muestras. Los granos de café verde se obtuvieron mediante proceso de trilla para eliminar el pergamino, se retiraron los defectos físicos e impurezas del grano, y luego se determinó la granulometría empleando diferentes tamices, se seleccionaron solo los granos de café sanos con tamaño superior a 14/64 de pulgada. Para los análisis químicos, el grano de café verde se molió criogénicamente y se almacenó en un congelador a -80°C hasta el momento de los análisis químicos.

Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de la Disciplina de Calidad de Cenicafé (Manizales, Caldas), que se localizan a 5° 0' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con temperatura media de 21,2°C, temperatura máxima de 27,9°C, temperatura mínima de 17°C y humedad relativa del 82,3%, (Cenicafé, 2018). El análisis sensorial para cada una de las muestras fue realizado en el laboratorio de calidades de Almacafé en Bogotá.

Variables de interés. En el café verde se midieron las concentraciones de lípidos, proporción de ácidos grasos palmítico, linoleico, oleico, esteárico y araquídico en relación con el total de lípidos y el contenido de cada uno de los isómeros alfa, beta y gamma tocoferol. Se empleó el método de referencia AOAC 945.16 (Horwitz et al., 2010) en la determinación de contenidos de lípidos totales, el método AOAC 969.33 (Horwitz et al., 2010) en la determinación de la composición de ácidos grasos y el método propuesto por Echeverri (2012) en la determinación de cada uno de los isómeros de tocoferol. Los datos fueron expresados en base seca.

El análisis sensorial fue realizado según la norma NTC 4883 (ICONTEC, 2000) con el método empleado por Almacafé (Tabla 2) y se evaluaron los atributos de fragancia y aroma, acidez, sabor, sabor residual, cuerpo, balance, taza limpia, balance, dulzor e impresión global.

Tabla 1. Origen de las muestras y condiciones climáticas (Cenicafé, 2018).

Variedades	E.E.	Departamento	Municipio	Altitud (m)	Latitud	Longitud
Cenicafé 1						
Tabi Castillo® Naranjal	Naranjal	Caldas	Chinchiná	1.381	4° 58' N	75° 39' W
Castillo® Pueblo Bello	Pueblo Bello	Cesar	Pueblo Bello	1.134	10° 25' N	73° 34' W
Castillo® El Tambo	El Tambo	Cauca	El Tambo	1.735	2° 24' N	76° 44' W
Variedades	E.E.	Temp. media anual (°C)	Humedad relativa (%)	Lluvia total (mm)	Días de lluvia	Brillo solar (h)
Cenicafé 1						
Tabi Castillo® Naranjal	Naranjal	21,1	78,8	2834,7	261	1.488,4
Castillo® Pueblo Bello	Pueblo Bello	20,9	80,3	1725,2	143	2.346,0
Castillo® El Tambo	El Tambo	19,0	83,4	2051,0	209	1.567,2

Tabla 2. Intervalos de valoración según escala Almacafé.

Clasificación	Intervalos valoración
Muy defectuoso	1,0–1,5
Defectuoso	2,0–2,5
Muy deficiente	3,0–3,5
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

Análisis estadístico. Para cada una de las variables de interés se estimaron los mínimos, máximos, promedio, desviación estándar, error estándar, intervalo de confianza al 95%, empleando la herramienta estadística Statgraphics v.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Lípidos totales. En la Figura 1 se muestran los promedios de los contenidos en lípidos totales para cada una de las variedades, puede inferirse con un nivel de significancia del 5%, que la variedad Tabi presenta diferencias significativas en sus contenidos promedios en relación con las variedades Castillo® Naranjal y Cenicafé 1 procedentes de un mismo sitio de

origen (Estación Naranjal), pero no presentó diferencias con las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo).

La variedad Tabi proviene de la selección de progenies de los cruzamientos entre el Híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón, por su parte las Variedades Castillo® regionales y Cenicafé 1 se obtuvieron a partir de progenies derivadas del Caturra x Híbrido de Timor (Cortina et al., 2013); en relación a lo anterior, puede explicarse que para un mismo sitio de origen, el contenido de lípidos totales para la variedad Tabi es diferente y como lo han explicado diversos autores (Pereira et al., 2015; Joët et al., 2010; Tsegay et al., 2020; Villarreal et al., 2012), la composición química del grano depende tanto de la variedad como de las condiciones agronómicas y ambientales en las que se establece el cultivo.

En el estudio realizado por Villarreal et al. (2012), se determinaron contenidos de lípidos totales en 11 líneas avanzadas (F5) de *C. arabica*, derivadas del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, obtenidas a partir del cruce entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor CIFC-1343, estos genotipos fueron recolectados en cinco localidades de Colombia; los autores reportaron contenidos de lípidos totales en el rango entre 11,1% – 16,9%, datos que coinciden con los contenidos

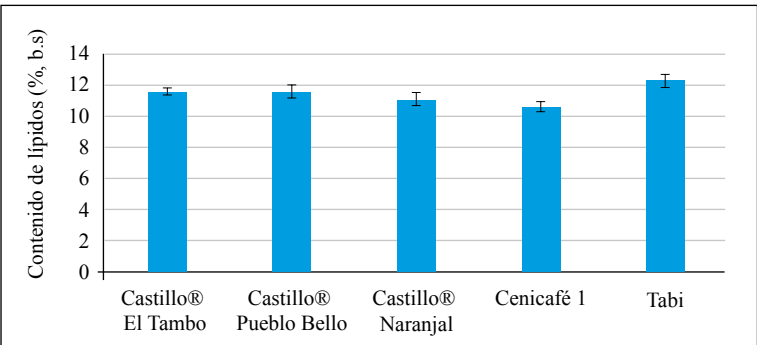


Figura 1. Contenido promedio de lípidos totales reportados en porcentaje en base seca, las barras corresponden al intervalo de confianza a un nivel del 95%.

encontrados en este estudio que estuvieron en el rango entre 10,7% – 12,2% (p/p b.s.).

Puerta (2011), en un estudio realizado en diferentes variedades cultivadas en Colombia, encontró para la variedad Colombia fruto amarillo contenidos de lípidos totales de 13,07% y para la variedad Colombia fruto rojo de 14,27%, otros autores como Macrae (1985), reportaron contenidos promedios de lípidos totales para *C. arabica* entre 12% – 18% (p/p b.s.).

Composición de ácidos grasos. La composición de ácidos grasos en las muestras de granos de café verde de las cinco variedades estudiadas (Figura 2), concuerdan con los valores reportados en la literatura (Joët et al., 2010; Villarreal et al., 2012; Puerta Q. & Echeverri G., 2019). El ácido palmítico fue el ácido graso más abundante presente en la fracción lipídica del café verde, y representó entre el 38,7%–40,5% de su contenido, seguido por el ácido linoleico con valores entre 34,1%–37,9%, representando así, el 72,8% – 78,4%

del total de ácidos grasos determinados en el grano de café verde. Entre otros ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del grano de café, se encontraron el ácido oleico con el 11,0%–11,7%, el ácido esteárico con el 7,5%–9,2%, y el ácido araquídico con el 3,9%–4,9%.

Los valores reportados en esta investigación coinciden con los rangos de valores reportados por Villarreal et al. (2012), quienes realizaron un estudio en diferentes progenies procedentes de la Colección Colombiana de Café, en el que se reportaron contenidos de ácido palmítico entre 31%–43% y entre 31%– 46% para ácido linoleico, los datos también coinciden con los obtenidos en otro estudio realizado por Puerta & Echeverri (2019), en granos de café verde de la variedad Castillo® General cultiva en la Estación Naranjal, en el que se reportó contenidos de ácido palmítico entre el 38,8% – 40,1%, ácido linoleico con valores entre 30,6% – 32,5%, ácido oleico entre 10,4% – 11,9%, ácido esteárico entre 8,5% – 9,2% y ácido araquídico entre 4,2% – 9,3%.

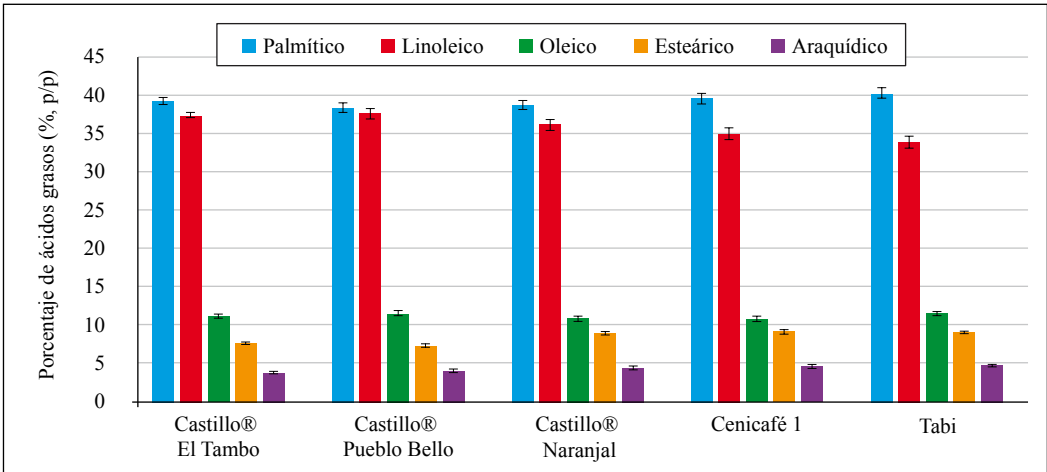


Figura 2. Composición de ácidos grasos en la fracción lipídica del café. Los datos corresponden al promedio en porcentaje de ácidos grasos y las barras al intervalo de confianza a un nivel del 95%.

En la investigación realizada por Pereira et al. (2015), los autores indican que los ácidos grasos saturados, como el ácido araquídico, esteárico y palmítico son discriminadores potenciales de la calidad del café relacionados con una mejor calidad sensorial, ya que una de las características deseables de la presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga, es que aportan sabor y textura a los alimentos que lo contienen y son más estables a los procesos de oxidación. En esta investigación, para todas las variedades estudiadas, el porcentaje promedio de ácidos grasos saturados (52,2%) fue estadísticamente superior al contenido de ácidos grasos insaturados (47,8%).

Se observa además para el ácido esteárico, que los contenidos fueron estadísticamente iguales a los encontrados para las variedades procedentes de la Estación Naranjal (Castillo® Naranjal, Cenicafé 1 y Tabi), pero estadísticamente diferentes en las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo), comportamiento que coincide con los datos publicados por Villarreal et al. (2012), donde para un mismo genotipo, el contenido de este mismo ácido graso fue superior en el genotipo sembrado en la localidad Naranjal. Lo anterior sugiere una influencia del ambiente en el contenido del ácido esteárico más que de la variedad, factores que están relacionados con la constitución genética, las condiciones ambientales a las que se somete el genotipo y la interacción entre ellos (Pereira et al., 2010).

La variedad Tabi presenta diferencias significativas en el contenido de ácido linoleico siendo estadísticamente menor en comparación con las variedades Castillo® Regionales caracterizadas en este estudio (Figura 2), pero su contenido es estadísticamente igual al encontrado para la variedad Cenicafé 1. Los ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico, son más susceptibles a los procesos

de oxidación, lo que afecta las propiedades organolépticas y el almacenamiento del café. Aunque el ácido linoleico constituye el 36,5%, de los ácidos grasos presentes en la fracción lipídica del café, su presencia también representa propiedades benéficas para la salud, ya que en la industria cosmética es empleado por ser un excelente emoliente, ayudando a mantener la humedad natural de la piel, ha sido reportado por sus propiedades terapéuticas en el tratamiento y la cura de la dermatitis y esencial en la nutrición humana, ya que interviene en la síntesis de prostaglandinas y otros procesos biológicos relacionados con la regeneración celular (Beveridge et al., 1999); su ausencia se ha asociado a trastornos dermatológicos (Hurtado-Benavides et al., 2016; Tsegay et al., 2020).

Contenido de tocoferoles. Los contenidos para beta-tocoferol (β -T) y gamma – tocoferol (γ -T), se reportan como una mezcla de los dos isómeros (Figura 3), debido al idéntico número de grupos metilo presentes en las formas β -T y γ -T, que difieren sólo en las posiciones en el anillo cromado, lo que no permite diferenciar entre esos tocoferoles al momento de la separación cromatográfica.

La variedad Castillo® Pueblo Bello (Figura 3) presentó el mayor contenido promedio en miligramos de isómeros de tocoferol/100 g de aceite de café, con respecto a las demás variedades; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre las diferentes isoformas de tocoferol y las variedades estudiadas.

La presencia de tocoferoles en el aceite del grano de café fue reportada por primera vez por Folstar et al. (1977), desde entonces, han sido pocos los estudios realizados sobre estos compuestos en variedades de *C. arabica* y *C. canephora* (Alves, Casal, Alves, et al., 2009; Alves, Casal, & Oliveira, 2009; González

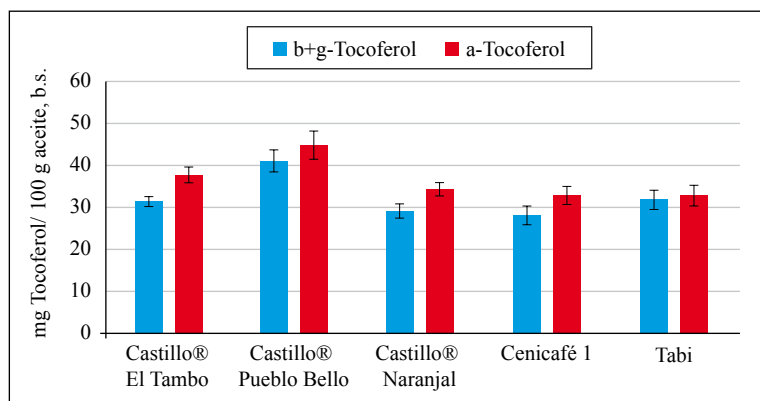


Figura 3. Contenidos promedios de isómeros de tocoferol (vitamina E) reportados en base seca, las barras corresponden al intervalo de confianza a un nivel del 95.

et al., 2001; Ogawa et al., 1989; Speer & Kölling-Speer, 2006). En esta investigación los contenidos promedio de isómeros de tocoferol en todas las variedades estuvieron en los rangos entre 32,6–44,8 mg α - tocoferol/100 g de aceite de café y entre 27,8–40,9 mg de β + γ - tocoferol/100 g de aceite de café, superando los valores reportados por Folstar et al. (1977) para el isómero α - tocoferol, quienes reportaron contenidos de 14 mg α - tocoferol/100 g de aceite, b.s. y de 46,5 mg β + γ - tocoferol/100 g de aceite (b.s) en muestras de café de origen colombiano.

Ogawa et al. (1989) determinaron los contenidos de tocoferoles en 14 muestras de café verde de diferentes proveedores comerciales. El contenido máximo de tocoferoles totales encontrado en el grano de café verde fue de 15,7 mg/100 g y el promedio de 11,9 mg/100 g. Se determinaron contenidos de α - tocoferol entre 2,3–4,5 mg/100 g y β - tocoferol entre 3,2–11,4 mg/100 g. Las isoformas de γ -y δ - tocoferol no se detectaron.

Expresando los resultados de este estudio como microgramos μ g de tocoferol/g de café en base seca, los contenidos se encuentran entre (30,37–45,73 μ g de tocoferol/g) para α - tocoferol y entre (26,19–41,83 μ g de tocoferol/g) para β + γ - tocoferol, datos que difieren con los

reportados por González et al. (2001) para variedades de *C. arabica* de diferentes orígenes, quienes reportaron concentraciones entre 2,02 – 16,76 μ g de α - tocoferol/g de café b.s. y entre 39,74 – 90,61 μ g de β + γ - tocoferol/g de café, b.s., destacándose de nuevo el isómero de α - tocoferol con contenidos superiores a los reportados por este autor.

Los tocoferoles son antioxidantes naturales que aumentan la estabilidad de los aceites y cumplen una importante actividad biológica en humanos, tienen una doble función: por un lado, ejercen una protección antioxidante *in vivo*, protegiendo a los lípidos celulares de la oxidación (actividad de vitamina E) y, por otro lado, ejercen una acción *in vitro*, protegiendo al aceite y los alimentos de la degradación oxidativa (Buchanan et al., 2010; Ozturk & Cakmakci, 2006).

Gutiérrez & Fernández (2002) señalan que el α - tocoferol es uno de los antioxidantes naturales que se destruye más fácilmente durante el proceso oxidativo, lograron demostrar que cuando el aceite de oliva es almacenado en condiciones no apropiadas de luz y temperatura, el α - tocoferol disminuye en su contenido hasta un 97%, datos que fueron confirmados en otro estudio por Echeverri (2012). Lo anterior se explica con base en que los tocoferoles

reaccionan más rápidamente que los ácidos grasos poliinsaturados con los radicales de peróxido y, por lo tanto, rompen la reacción en cadena de la peroxidación de los lípidos estabilizando los radicales libres y retardando los procesos oxidativos y posterior rancidez del producto (Singh et al., 2005), conservando su calidad que se verá reflejada en el análisis sensorial.

En los seres humanos la vitamina E, se ha correlacionado con la prevención de enfermedades como cáncer, cataratas relacionadas con la edad, enfermedad de Parkinson, arterosclerosis, oxidación de lipoproteínas de baja densidad, cardiopatía coronaria y algunas enfermedades inmunológicas (Bramley et al., 2000; Gama et al., 2000; Nelis et al., 2000), dado que actúa como parte integral del sistema de defensa intracelular, por su capacidad para reaccionar con radicales libres ya que posee un grupo hidroxilo fenólico responsable de su actividad estabilizadora de radicales libres. Svilaas et al. (2004) realizaron un estudio sobre la contribución de varios grupos de alimentos a la ingesta total de antioxidantes en la que el café contribuyó con el 64%.

Caracterización sensorial. De acuerdo con el análisis sensorial realizado a las muestras procedentes de cada una de las variedades, la impresión global (Tabla 3), referida como la calificación general de la bebida de café y por medio de la cual se acepta o rechaza la calidad del grano, el valor de la mediana se encontró entre 5,0– 5,5, excepto para la variedad Castillo® Pueblo Bello, clasificando las variedades con una calidad sensorial estándar, según la escala de calificación empleada por Almacafé (Tabla 2).

Según el atributo impresión global y de acuerdo con los rangos de calificación obtenidos, se encontró que, en al menos en una de las muestras de cada variedad, se obtuvo una calificación inferior a 4,5 (Figura 4). Muestras con calificaciones bajas sugieren un proceso

de poscosecha deficiente, ya que todas las muestras fueron procesadas a partir de frutos 100% maduros.

De acuerdo con la variedad y para aquellas muestras que registraron en el atributo impresión global calificaciones superiores a 6,0; las muestras presentaron el siguiente perfil en taza:

Variedad Cenicafé 1: En el atributo de fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y frutales, el atributo sabor residual se caracterizó por su suavidad, la variedad obtuvo un puntaje de acidez de 5,5 y un cuerpo de 6,0.

Variedad Tabi: En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y miel, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y floral, el sabor residual se caracterizó por suavidad y se destaca el atributo cuerpo con un puntaje de 7,0.

Variedad Castillo® Naranjal: En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate amargo, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y aromático, los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 6,5 respectivamente.

Variedad Castillo® Naranjal: En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate amargo, en el atributo sabor se identificaron descriptores a cítrico y aromático y los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 6,5 respectivamente.

Variedad Castillo® El Tambo: En el atributo fragancia/aroma se identificaron descriptores a chocolate dulce y miel, en el atributo sabor se identificaron descriptores a menta y miel, el sabor residual se destacó por suavidad y los atributos de acidez y cuerpo obtuvieron una calificación de 6,0 y 7,0 respectivamente.

Tabla 3. Atributos sensoriales de las variedades según norma NTC 4883.

Variedad de café	Rango de calificación		Promedio	Mediana
	Mínimo	Máximo		
Fragancia/Aroma				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,2	5,5
Tabi	4,0	6,0	5,4	5,5
Castillo® Naranjal	4,0	6,0	5,1	5,0
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,3	5,0
Castillo® Pueblo Bello	4,0	6,0	5,1	5,0
Sabor				
Cenicafé 1	4,5	5,5	5,1	5,0
Tabi	4,5	7,0	5,6	5,5
Castillo® Naranjal	3,5	5,5	5,1	5,3
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,6	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,3	4,5
Sabor Residual				
Cenicafé 1	4,0	6,0	5,2	5,3
Tabi	4,5	7,0	5,5	5,3
Castillo® Naranjal	3,5	6,0	5,2	5,5
Castillo® El Tambo	4,0	6,5	5,5	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,2	4,3
Acidez				
Cenicafé 1	4,5	5,5	5,2	5,3
Tabi	4,5	6,0	5,3	5,0
Castillo® Naranjal	4,5	6,0	5,4	5,5
Castillo® El Tambo	5,0	6,0	5,6	5,5
Castillo® Pueblo Bello	3,0	5,0	4,5	4,5
Cuerpo				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,0	5,0
Tabi	4,5	7,0	5,3	5,0
Castillo® Naranjal	3,5	5,5	4,9	5,0
Castillo® El Tambo	4,0	7,0	5,5	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,0	4,0	4,3
Impresión global				
Cenicafé 1	3,5	6,0	5,1	5,0
Tabi	4,0	6,5	5,3	5,3
Castillo® Naranjal	3,5	6,0	5,2	5,3
Castillo® El Tambo	4,0	7,0	5,8	5,5
Castillo® Pueblo Bello	2,0	5,5	4,3	4,3

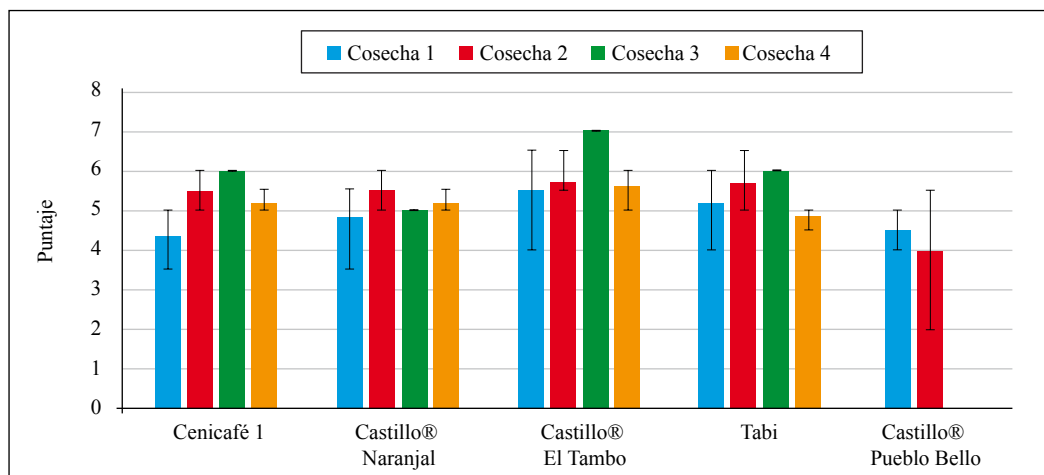


Figura 4. Los datos corresponden al promedio de tres pases de cada cosecha para el atributo impresión global y las barras a los rangos de calificación obtenidos.

Para concluir y a partir de los resultados encontrados en esta investigación y confirmados por otros autores, que el contenido de lípidos totales depende de la variedad cultivada, es así como, para la variedad Tabi, se presentaron diferencias significativas en sus contenidos promedios de lípidos totales en las variedades Castillo® Naranjal y Cenicafé 1, sembradas en el mismo sitio.

En relación con los ácidos grasos se identificó, específicamente para el ácido esteárico, que para las variedades procedentes de la Estación Naranjal (Castillo® Naranjal, Cenicafé 1 y Tabi), sus contenidos fueron estadísticamente iguales, pero estadísticamente diferentes en las variedades procedentes de otras localidades (Castillo® Pueblo Bello y Castillo® El Tambo), lo que sugiere, específicamente para este ácido graso, una influencia del ambiente más que de la variedad.

En cuanto al contenido de isómeros de vitamina E, se destaca el alfa tocoferol que presentó contenidos superiores a los encontrados por otros autores. La presencia de tocoferoles

es muy importante porque además de ejercer protección antioxidante *in vivo*, protege la fracción lipídica del café de la degradación oxidativa.

Respecto a la evaluación sensorial, el atributo impresión global clasificó en promedio la calidad en taza de las variedades como muestras estándar, se encontraron rangos de calificación muy amplios con valores inferiores a 4,5, lo que sugiere un proceso de poscosecha deficiente, el cual tiene incidencia en la calidad de la bebida, por esta razón es fundamental garantizar la aplicación de las siete prácticas de beneficio recomendadas por FNC (FNC, 2020).

AGRADECIMIENTOS

Al personal de las Estaciones Naranjal, Pueblo Bello y El Tambo y del laboratorio de Calidad de Cenicafé. Estos resultados son parte de las investigaciones del proyecto CAL104003 “Caracterización de lípidos, ácidos y cafeína en las variedades de café Castillo®, Tabi y Cenicafé 1, sembradas en Colombia” que fue financiado con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, G., Moreno, G.E., Montoya, E.C. & Alarcón, R. (2009). Calidad física y en taza de los componentes de la variedad Castillo® & sus derivadas regionales. *Revista Cenicafé*, 60(3), 210–228. <http://hdl.handle.net/10778/127>
- Alves, R. C., Casal, S., Alves, M. R., & Oliveira, M. B. (2009). Discrimination between arabica and robusta coffee species on the basis of their tocopherol profiles. *Food Chemistry*, 114(1), 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.093>
- Alves, R. C., Casal, S., & Oliveira, M. B. P. P. (2009). Determination of Vitamin E in Coffee Beans by HPLC Using a Micro-extraction Method. *Food Science and Technology International*, 15(1), 57–63. <https://doi.org/10.1177/1082013208102695>
- Amorim, A. C. L., Hovell, A. M. C., Pinto, A. C., Eberlin, M. N., Arruda, N. P., Pereira, E. J., Bizzo, H. R., Catharino, R. R., Morais Filho, Z. B., & Rezende, C. M. (2009). Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(2), 313–321. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000200017>
- Barbosa, J. N., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., & Alves, H. M. R. (2012). Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 181–190. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>
- Beveridge, T., Li, T. S. C., Oomah, B. D., & Smith, A. (1999). Sea Buckthorn Products: Manufacture and Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3480–3488. <https://doi.org/10.1021/jf981331m>
- Bramley, P. M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F. J., Manios, Y., Roxborough, H. E., Schuch, W., Sheehy, P. J. A., & Wagner, K.-H. (2000). Vitamin E. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 913–938. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<913::AID-JSFA600>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<913::AID-JSFA600>3.0.CO;2-3)
- Buchanan, K., Fletcher, H. M., & Reid, M. (2010). Prevention of striae gravidarum with cocoa butter cream. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 108(1), 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2009.08.008>
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1–2), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Bytof, G., Knopp, S.-E., Schieberle, P., Teutsch, I., & Selmar, D. (2005). Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. *European Food Research and Technology*, 220(3–4), 245–250. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1033-z>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). *Anuario meteorológico cafetero 2018*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/660/16/Anu2018.pdf>
- 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>
- Echeverri, L. F. (2012). *Análisis de la composición de ácidos grasos y de isómeros de tocoferol (vitamina E) y evaluación de la actividad antioxidante de la manteca de Theobroma cacao L.* Universidad Tecnológica de Pereria.
- 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>
- Cortina G., H.A, Acuña Z., J. R., Moncada B., Mdel P., Herrera P., J. C., Molina V., D, M (2013). Variedades de café Desarrollo de variedades: 169-202. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 169–202). Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2020, julio 23). *Guía de buenas prácticas de poscosecha para café lavado colombiano*. Actualidad Cafetera. <https://federaciondefcafeteros.org/wp/blog/guia-de-buenas-practicas-de-poscosecha-para-cafe-lavado-colombiano-microprocesadores/>
- Flament, I. (2001). *Coffee flavor chemistry*. John Wiley & Sons.
- Folstar, P., Pilnik, W., De Heus, J., & Van Der Plas, H. C. (1975, June 9-14). The composition of the fatty acids in coffee oil and coffee wax. Proceedings of 7th International Scientific Colloquium on Coffee. Hamburg, Germany.

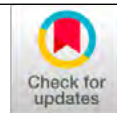
- Folstar, P., Van der Plas, H. C., Pilnik, W., & De Heus, J. G. (1977). Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee bean oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 283–285. <https://doi.org/10.1021/jf60210a041>
- Gama, P., Casal, S., Oliveira, B., & Ferreira, M. A. (2000). Development of an hplc/diode-array/fluorimetric detector method for monitoring tocopherols and tocotrienols in edible oils. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 23(19), 3011–3022. <https://doi.org/10.1081/JLC-100101839>
- González, A. G., Pablos, F., Martín, M. J., León-Camacho, M., & Valdenebro, M. S. (2001). HPLC analysis of tocopherols and triglycerides in coffee and their use as authentication parameters. *Food Chemistry*, 73(1), 93–101. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00282-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00282-X)
- Gutiérrez, F., & Fernández, J. L. (2002). Determinant Parameters and Components in the Storage of Virgin Olive Oil. Prediction of Storage Time beyond Which the Oil Is No Longer of “Extra” Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 571–577. <https://doi.org/10.1021/jf0102158>
- Hochkogler, C. M., Schweiger, K., Rust, P., Pignitter, M., Rathmayr, J., Bayer, S., Chmelirsch, C., Hüller, L., Marko, D., Lang, R., Hofmann, T., Kurz, A. C., Bytof, G., Lantz, I., Schipp, D., & Somoza, V. (2019). Daily consumption of a dark-roast coffee for eight weeks improved plasma oxidized LDL and alpha-tocopherol status: A randomized, controlled human intervention study. *Journal of Functional Foods*, 56, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.009>
- Horwitz, W., Latimer, G. W., & Association of Official Analytical Chemists. (2010). *Official methods of analysis of AOAC international* (18th ed.). AOAC International.
- Hurtado-Benavides, A., Dorado, D., & Sánchez-Camargo, A. del P. (2016). Study of the fatty acid profile and the aroma composition of oil obtained from roasted Colombian coffee beans by supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 113, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.03.008>
- 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>
- Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffee: The science of quality*. Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/espresso-coffee/illy/978-0-12-370371-2>
- Joët, T., Laffargue, A., Descroix, F., Doulbeau, S., Bertrand, B., Kochko, A. de, & Dussert, S. (2010). Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chemistry*, 118(3), 693–701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
- Macrae, R. (1985). Nitrogenous components. En R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Volume 1: Chemistry* (pp. 115–152). Springer Netherlands.
- Martín, M. J., Pablos, F., González, A. G., Valdenebro, M. S., & León-Camacho, M. (2001). Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. *Talanta*, 54(2), 291–297. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00647-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00647-0)
- Masoudi, S., Ploen, D., Kunz, K., & Hildt, E. (2014). The adjuvant component α -tocopherol triggers via modulation of Nrf2 the expression and turnover of hypocretin in vitro and its implication to the development of narcolepsy. *Vaccine*, 32(25), 2980–2988. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.03.085>
- Mehari, B., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Combrinck, S., McCrindle, R., & Atlabachew, M. (2019). GC-MS profiling of fatty acids in green coffee (*Coffea Arabica* L.) beans and chemometric modeling for tracing geographical origins from Ethiopia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(8), 3811–3823. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9603>
- Nelis, H. J., D’Haese, E., & Vermis, K. (2000). Vitamin E. En De Leenheer A.P., Lambert W.E. & Bocxlaer J.F.V. (Eds.), *Modern Chromatographic Analysis Of Vitamins: Revised And Expanded* (Vol. 84, p. 140). Taylor & Francis.
- Niki, E., & Traber, M. G. (2012). A History of Vitamin E. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 61(3), 207–212. <https://doi.org/10.1159/000343106>
- Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of Coffee. En *Comprehensive Natural Products II* (pp. 1085–1117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00708-5>
- Ogawa, M., Kamiya, C., & Iida, Y. (1989). Contents of tocopherols in coffee beans, coffee infusions and instant coffee. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 36(6), 490–494. https://doi.org/10.3136/nshkk1962.36.6_490

- Ozturk, S., & Cakmakci, S. (2006). The effect of antioxidants on butter in relation to storage temperature and duration. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(11), 951–959. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600089>
- Pereira, M. C., Chalfoun, S. M., Carvalho, G. R. de, & Savian, T. V. (2010). Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea Arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32(4), 635–641. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.4283>
- Pereira, L., Meira, F., Carmanini, F., Silva, G., Silva Taveira, J. H., & Ribeiro, M. (2015). Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. *African Journal of Agricultural Research*, 10(35), 3484–3493. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9697>
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/340>
- Puerta, G. I., & Echeverri, L. F. (2019). Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción. *Revista Cenicafé*, 70, 67–80. <http://hdl.handle.net/10778/4217>
- Ribeiro, D. E., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Bernandes, M. V., Ferraz, V. P., Ramos, H. M., & Silva Taveira, J. H. (2016). Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. *African Journal of Agricultural Research*, 11(27), 2412–2422. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10832>
- Romani, S., Cevoli, C., Fabbri, A., Alessandrini, L., & Dalla Rosa, M. (2012). Evaluation of Coffee Roasting Degree by Using Electronic Nose and Artificial Neural Network for Off-line Quality Control. *Journal of Food Science*, 77(9), C960–C965. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02851.x>
- Schneider, C. (2005). Chemistry and biology of vitamin E. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49(1), 7–30. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400049>
- Santos, M. B., Garcia, V. R., Nogueira, J. V., Good, C. S. (2013). Sensory attributes and physico-chemical characteristics of the coffee beverage from the IAPAR cultivars. *Coffee Science*, 8(1), 6–16. <https://doi.org/10.25186/cs.v8i1.297>
- 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>
- Singh, U., Devaraj, S., & Jialal, I. (2005). Vitamin E, oxidative stress, and inflammation. *Annual Review of Nutrition*, 25(1), 151–174. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.24.012003.132446>
- Speer, K., Sehat, N., & Montag, A. (1993, June 6-11). Fatty acids in coffee. Proceedings of 15th International Scientific Colloquium on Coffee. Montpellier, France.
- Speer, Karl., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 201–216. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>
- Svilaas, A., Sakhi, A. K., Andersen, L. F., Svilaas, T., Ström, E. C., Jacobs, D. R., Ose, L., & Blomhoff, R. (2004). Intakes of Antioxidants in Coffee, Wine, and Vegetables Are Correlated with Plasma Carotenoids in Humans. *The Journal of Nutrition*, 134(3), 562–567. <https://doi.org/10.1093/jn/134.3.562>
- Tolessa, K., D’heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee: Quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849–2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>
- Tsegay, G., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Ele, E., Mohammed, A. M., & Mamo, H. (2020). Effect of altitude of coffee plants on the composition of fatty acids of green coffee beans. *BMC Chemistry*, 14(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00688-0>
- Villarreal, D., Baena, L. M., & Posada, H. E. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de Coffea arábica cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(1), 19–40. <http://hdl.handle.net/10778/520>
- Wilson, A. J., Petracco, M., & Illy, E. (1997, July 20-25). Some preliminary investigations of oil biosynthesis in the coffee fruit and its subsequent re-distribution within green and roasted beans. Proceedings 17th International scientific Colloquium on Coffee. Nairobi, Kenya

CONTROL BIOLÓGICO DE COCHINILLAS DE LAS RAÍCES DEL CAFÉ CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Carmenza Esther Góngora Botero *, Zulma Nancy Gil Palacios *

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>



Las cochinillas de las raíces del café son una plaga limitante en la caficultura colombiana y *Puto barberi* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Putoidae) es la especie que prevalece. Con el objetivo de proponer una estrategia para el control de esta plaga, se evaluaron en el laboratorio las cepas de *Metarhizium anisopliae* Ma 9236 y *M. robertsii* a concentraciones de 1×10^7 conidias/mL, con mortalidades entre 80% y 84% sobre *P. barberi*. También se evaluaron en plántulas de café infestadas con la plaga en tres ensayos. En el primero se emplearon plantas de 4 a 6 meses de edad, infestadas con hembras ovíparas de *P. barberi*, tratadas con 50 cm³ de: 1. *M. anisopliae*, 2. *M. robertsii*, ambos a 2×10^{10} conidias/L, y 3. agua como control. Con el agua, el porcentaje de infestación fue de 100% y se encontraron 25 cochinillas por planta. La aplicación de *M. anisopliae* disminuyó en 10% la infestación de la cochinilla y redujo la población en 55%. *M. robertsii* disminuyó la infestación en 40% y la población del insecto en 86%. En el ensayo 2 se comparó *M. robertsii* vs. agua con resultados similares al ensayo 1 y con una protección del 50% de las plantas. En el ensayo 3, los tratamientos correspondieron a: 1. *M. robertsii* (2×10^{10} conidias/L), 2. azadiractina 6% polvo soluble en agua (3 g/L), 3. clorpirifos 75% WG (3 g/L) y 4. Agua. En el tratamiento control agua el porcentaje de infestación fue del 65%, en los demás tratamientos las infestaciones estuvieron entre 11% y 22% difiriendo del control, pero siendo estadísticamente similares entre sí. *M. robertsii* es un candidato para ser evaluado en almacigos comerciales y campo.

Palabras Claves: *Puto barberi*, *Metarhizium robertsii*, *Metarhizium anisopliae*, azadiractina.

BIOLOGICAL CONTROL OF COFFEE ROOT MEALYBUGS WITH ENTOMOPATHOGENIC FUNGI

Coffee root mealybugs are a limiting pest in Colombian coffee farming; *Puto barberi* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Putoidae) is the prevailing species. In order to propose a strategy for the control of this pest, strains of *Metarhizium anisopliae* Ma 9236 and *M. robertsii* were evaluated under laboratory conditions at concentrations of 1×10^7 conidia/mL; mortalities between 80% and 84% on *P. barberi* were found. They were also evaluated on coffee seedlings infested with the pest in three different trials. In the first one, 4 to 6-month-old plants infested with oviparous *P. barberi* females treated with 50 cm³ of: 1. *M. anisopliae*, 2. *M. robertsii* both at 2×10^{10} conidia/L and 3. Water as control. With the water treatment, the infestation percentage was 100% and 25 mealybugs were found per plant. The application of *M. anisopliae* decreased the mealybugs infestation by 10% and reduced the population by 55%. *M. robertsii* decreased the infestation by 40% and the insect population by 86%. In trial 2, *M. robertsii* vs. Water showed results similar to those obtained in trial 1 and 50% plant protection was achieved. In trial 3, the treatments corresponded to: 1. *M. robertsii* (2×10^{10} conidia/L), 2. Azadirachtin 6% water soluble powder (3g/L), 3. Chlorpyrifos 75% WG (3g/L) and 4. Water. In the water control treatment the infestation percentage was 65%, in the other treatments the infestations were between 11 and 22%, which differed from the control, but were statistically similar to each other. *M. robertsii* is a good candidate to be evaluated under commercial and field seedling conditions

Keywords: *Puto barberi*, *Metarhizium robertsii*, *Metarhizium anisopliae*, azadirachtin.

* Investigador Científico III (<https://orcid.org/0000-0002-3633-1077>) e Investigador Científico II (<https://orcid.org/0000-0001-7013-1231>), respectivamente. Disciplina de Entomologia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

En Colombia, varias especies de insectos escama o cochinillas (Hemiptera: Coccoomorpha) de las raíces ocasionan pérdida de árboles durante las siembras de nuevos cafetales, limitando la producción en varias regiones de la geografía nacional (Caballero et al., 2019).

Las cochinillas de las raíces del café son habitantes naturales del suelo, siempre han estado en poblaciones constantes, alimentándose en varias especies de plantas y actualmente son consideradas como una plaga endémica; sin embargo, cuando son dispersadas y se presentan condiciones favorables de clima en el suelo, pueden convertirse en plagas del café, afectando su producción. Se localizan en las raíces de las plantas de café, tanto en almácigos como en plantaciones establecidas. En las raíces, se alimentan de la savia de las plantas y causan necrosamiento y pérdida del sistema radicular. Las lesiones pueden permitir la entrada de fitopatógenos habitantes naturales del suelo, como es el caso de *Ceratocystis fimbriata* Hell & Halst. Los síntomas a nivel foliar, tanto en plantas de almácigo como en plantaciones establecidas, se caracterizan por el amarillamiento de las hojas, acompañado por necrosamiento y pérdida de estas. Estos síntomas pueden confundirse con daños ocasionados por llagas radicales, llaga macana, nematodos, deficiencias nutricionales o deformación en el sistema de raíces (Villegas et al., 2008; Villegas et al., 2009).

En los últimos años, en el país se ha incrementado la ocurrencia de las poblaciones de cochinillas de las raíces del café de diferentes especies, siendo *Puto barberi* Cockerell (Hemiptera: Putoidae), la especie más abundante y que prevalece. Esta especie tiene una distribución aleatoria en los lotes infestados (Gil Palacio et al., 2015). Se han registrado otras especies de Coccoomorpha como *Dysmicoccus texensis* (Tinsley, 1900),

Neochavesia caldasiae (Balachowsky, 1957), *Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller, 1996 y *Pseudococcus elisae* Borchsenius, 1947; estas se distribuyen en focos y los síntomas más característicos son clorosis y marchitamiento (Benavides et al., 2013).

Las recomendaciones de manejo de las cochinillas están orientadas a evitar la infestación en la etapa de almácigo y controlarlas en el primer año de establecimiento en el campo, de tal manera que se reduzca la fuente de dispersión de la plaga y se proteja y fortalezca el sistema de raíces de la nueva plantación durante la fase de formación (Gil Palacio et al., 2015). El material vegetal usado para las resiembras y durante las renovaciones de los cafetales, puede ocasionar la dispersión de la plaga si no se toman medidas preventivas (Benavides et al., 2013).

No existen en el mercado alternativas de tipo biológico para el control de esta plaga. Por lo que la base del control del insecto son los insecticidas químicos, acarreando riesgos para la salud y la sostenibilidad del ambiente; sin embargo, la literatura reporta que existen en la naturaleza hongos entomopatógenos controladores de plagas de las raíces. *Metarhizium robertsii* J.F. Bisch., Rehner & Humber (Clavicipitaceae) (Sasan & Bidochka, 2012) (Bischoff et al., 2009) también conocida como *Metarhizium robertsii* (Bischoff et al., 2009) (ATCC® MYA-3093™) (<https://www.atcc.org/en/Products/All/MYA-3093.aspx>) se reporta como un patógeno de insectos que muestra un amplio rango de acción afectando y controlando una gran diversidad de insectos. Este hongo ha sido producido y aplicado para el control de diferentes plagas como coleópteros: *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) (Espinell et al., 2018), *Otiorhynchus sulcatus* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae)

(Moorhouse et al., 1993) y el escarabajo de la papa *Leptinotarsa decemlineata* Say, 1824 (Coleoptera: Chrysomelidae) (Tyurin et al., 2016) al igual que dípteros como es el caso de mosquitos *Aedes* transmisores de enfermedades (Belevich et al., 2018).

El hongo infecta insectos produciendo apresorios que penetran su cutícula y luego colonizan el hemocele. Adicionalmente, se ha evidenciado que también puede colonizar las raíces de la planta (Hu & St Leger, 2002) (Liao et al., 2014) y actúa al mismo tiempo como biofertilizante estimulando el crecimiento de la planta, por lo que se considera que tiene múltiples roles. Además, el hongo es también un prolífico productor de diversos metabolitos secundarios con actividad contra insectos, hongos, bacterias por lo que se considera en general un bioplaguicida.

Una gran variedad de microorganismos habitan en la rizosfera usando los diversos productos de la fotosíntesis de las plantas, y en devolución, algunos microorganismos aceleran el crecimiento y la salud de las plantas a través de varios mecanismos, incluyendo fitoestimulación, biofertilización, biorremediación y control biológico (Sasan & Bidochka, 2012). Sasan y Bidochka (2012), encontraron que *M. robertsii* no se distribuye al azar en los suelos, sino que, al ser inoculado en este, preferentemente se asocia con la rizosfera de las plantas. Las raíces de las plantas tratadas crecen más rápido y la densidad del vello de la raíz aumentó en comparación con las plantas control incrementando la proliferación de los pelos radiculares. Adicionalmente, se ha observado colonización endofítica de las células corticales dentro de las raíces. Estos resultados sugieren que *M. robertsii* no sólo es rizosfera competente sino también muestra una beneficiosa asociación endofítica con las raíces de la planta asociadas (Ahmad et al., 2020).

Considerando el problema causado por las cochinillas de la raíz en café y la interacción que *M. robertsii* puede desarrollar con las raíces de la planta, defendiéndolas contra esta plaga, en este trabajo se propuso determinar la condición patogénica del hongo contra las cochinillas, y evaluar el efecto de la aplicación de dos cepas de *Metarhizium*: *M. anisopliae* y *M. robertsii* de forma curativa; pos establecimiento de las cochinillas en las raíces de la planta del café, como estrategias de control de la plaga. Adicionalmente, se comparó la eficacia de las aplicaciones de los hongos con las aplicaciones de un insecticida de síntesis química y un producto botánico a base de azadiractina.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Mantenimiento de las cochinillas en el laboratorio

Se estandarizó una metodología para el mantenimiento de *Puto barberi* en raíces de *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. (Talinaceae) en condiciones de laboratorio. Se tomaron raíces de *T. paniculatum*, se cortaron en trozos y se evaluaron dos métodos de desinfección de estas:

Lavado con agua y jabón, inmersión por 5 min en hipoclorito de sodio comercial diluido al 50% y lavado con agua.

Lavado con agua y jabón. Para cada método de desinfección, se usaron cochinillas ovíparas. Previamente se había confirmado género y especie del insecto usando los caracteres descriptivos según Williams & Granara (1992). Se tomaron 12 adultos y se depositaron en una caja de Petri conteniendo seis piezas de raíces, sometidas a alguno de los dos métodos de desinfección, con cuatro repeticiones (cajas) por tratamiento. Las cajas se incubaron en oscuridad a 25°C. La Figura 1, muestra la

disposición de los trozos de raíces y el montaje de los insectos sobre las raíces. Diariamente se revisaron las cajas registrando mortalidad y nuevos individuos.

2. Evaluación de patogenicidad y virulencia de *Metarhizium* sp. sobre las cochinillas en el laboratorio

Se evaluaron dos especies de *Metarhizium*. La cepa de *M. robertsii* cepa ARSEF 2575 fue donada por el doctor Donald Roberts de la Universidad de Utah y el aislamiento del hongo fue originalmente obtenido del *Agriculture Research Service Collection of Entomopathogenic Fungal Cultures* (ARSEF) (USDA-US Plant, Soil and Nutrition Laboratory, Ithaca, NY, USA) (Section 3.1, M-NRPS20) y la cepa de *Metarhizium anisopliae* Ma 9236 obtenida del cepario de hongos de Cenicafé.

Los dos hongos fueron cultivados en cajas de Petri en medio PDA a 26°C y condición de luz constante. Al cabo de 15 días y tras determinar que las conidias del hongo tenían una germinación > 90%, se realizaron soluciones

de 100 mL de conidias de las cepas a una concentración de 1×10^7 conidias/mL. Con las soluciones se realizaron pruebas de virulencia sobre los insectos. Para esto, fueron sumergidas 50 hembras ovíparas de cochinillas, usando una pieza de tul, en 100 mL de los siguientes tratamientos: 1. Agua, 2. *M. anisopliae* y 3. *M. robertsii*. Luego, los insectos fueron individualizados y colocados en cajas de Petri que contenían seis piezas de las raíces de *T. paniculatum* previamente lavadas, con 12 insectos por caja de Petri, como se observa en la Figura 2. Por cada tratamiento se dispusieron cuatro cajas de Petri. Estas fueron incubadas a 25°C con fotoperíodo de 12 h luz.

Diariamente y durante 12 días, se realizaron observaciones de los insectos, bajo estereoscopio y se determinó el número de insectos muertos e insectos con presencia de hongo.

VARIABLES DE INTERÉS. La variable de interés fue el porcentaje de mortalidad en cada uno de los tratamientos. Con los datos de mortalidad se realizó un análisis de varianza y una prueba de Duncan.



Figura 1. Trozo de raíz de *T. paniculatum* desinfectado por lavado con agua y jabón y usado para el mantenimiento, alimentación y crecimiento de *P. barberi*.



Figura 2. Montajes de pruebas de mortalidad de cochinillas con *Metarhizium* bajo condiciones de laboratorio.

3. Evaluación de mortalidad de cochinillas causada por cepas de *Metarhizium* en el almácigo

Producción de cepas de *Metarhizium* spp.

Todos los hongos usados en el experimento fueron producidos en Cenicafé. Para su obtención, se tomaron conidias de *M. anisopliae* Ma.9236 y *M. robertsii* cultivados en medio PDA por 15 días a 25°C. Con estas conidias se realizó una solución de 1×10^7 conidias/mL y, usando 5 mL de esta solución, se inocularon 60 g de arroz previamente esterilizado, contenido en bolsas de polipropileno y humedecido con 20 mL de agua estéril. Estas bolsas se dejaron en incubación a 25°C y fotoperíodo regulado de 10 horas luz por día, durante 15 días. Al cabo de este tiempo, se realizó un recuento de conidias y se obtuvieron entre 1×10^9 y 1×10^{10} conidias/g de arroz y un porcentaje de germinación de conidias de alrededor de 90%. A partir de estas conidias se realizaron soluciones a una concentración de 2×10^{10} conidias/L.

Infestación plantas de almácigo. Las plantas de almácigo de 4 a 6 meses de edad fueron infestadas con cinco hembras ovíparas de *Puto barberi*.

Durante el estudio, las plantas permanecieron en Cenicafé-La Granja: altitud 1.310 m, temperatura promedio de 21,2°C y humedad relativa promedio de 82% (Cenicafé, 2018). Las plantas recibieron labores agronómicas de manejo manual de arvenses y riego.

Luego de 60 días, mediante muestreo destructivo en diez plantas, se determinó la presencia de cochinillas en ellas. En el caso de que no todas las plantas estuvieran infestadas se procedió a realizar una segunda infestación con el insecto. A los 60 días se repitió el muestreo hasta observar que todo el material evaluado mostrara la presencia y multiplicación de la población original de insectos, con 100% de infestación. Una vez se identificó infestación de las plantas, se

separaron en grupos de 50 plantas y a cada grupo se le asignó un tratamiento.

Tratamientos

Los montajes experimentales fueron realizados en tres momentos diferentes entre 2016 y 2017.

Ensayo 1. Abril 2016: Los tratamientos consistieron en la aplicación de: 1. Agua. 2. *M. anisopliae* Ma9236 y 3. *M. robertsii*.

Ensayo 2. Abril 2017: Los tratamientos consistieron en la aplicación 1. Agua y 2. *M. robertsii*. Este último fue con el que se obtuvieron los mejores resultados de control en el año 2016.

Ensayo 3. Agosto 2017: Los tratamientos consistieron en la aplicación de 1. Agua. 2. *M. robertsii* 3. Insecticida químico *Clorpirifos* 75% WG (3g L⁻¹) y 4. Insecticida botánico *Azadiractina* 6% polvo soluble (3g L⁻¹) (<https://pestweb.com/assets/files/productdocuments/arborjet-azasol-insect-brochure-en-1286726.pdf>).

Aplicación de tratamientos

Tanto *M. robertsii* (Figura 3a) como *M. anisopliae* se evaluaron a una concentración de (2x10¹⁰ conidias/L). Asperjando 50 cm³/planta de cada tratamiento. Se requirieron 2,5 L por tratamiento, por aplicación y se prepararon 5 L. Para las aplicaciones se usó una aspersora Royal Cándor® de palanca modificada (Arcila, 2015), la aspersión se realizó en el cuello de la raíz.

Luego de 20 días tras las aplicaciones, se abrió la bolsa que contenía cada planta, se observó la raíz (Figura 3b) y se determinó la presencia o no de la plaga. Adicionalmente se cuantificó la población de cochinillas por planta.

Variables de interés

1. Porcentaje de infestación de cochinillas para cada uno de los tratamientos.
2. Población de cochinillas por planta, para cada uno de los tratamientos.

Diseño experimental

Pruebas preliminares permitieron determinar que se requerían 50 unidades experimentales (plantas de almácigo) por tratamiento, para determinar el efecto de la aplicación de un hongo sobre las poblaciones de cochinillas. De acuerdo con los siguientes criterios estadísticos: varianza estimada en 453,67, asociada al promedio de número de cochinillas vivas; diferencia mínima aceptable de 15 cochinillas vivas; nivel de significación del 5%; y una confiabilidad mayor del 90%.

En cada ensayo, para cada variable se determinó la media por tratamiento, se comparó con el testigo a través de un análisis de varianza. Test de Duncan o prueba T al 5% y Pruebas de límite superior e inferior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Mantenimiento de las cochinillas en el laboratorio

Se observó crecimiento y reproducción de las cochinillas en las raíces de *T. paniculatum* sometidas al lavado con agua y jabón, mientras que la desinfección con hipoclorito resultó ser tóxica para el insecto, con alta mortalidad y ausencia de reproducción.

2. Evaluación de patogenicidad y virulencia de *Metarhizium* sp. sobre las cochinillas en el laboratorio

Los resultados de las pruebas de inmersión se muestran en la Tabla 1. Los dos hongos



Figura 3. a. *M. robertsii* aplicado en el año 2017. Concentración de la solución 2×10^{10} conidias/L. **b.** Raíces con presencia de cochinillas y evidencias de signos de la infección con *M. robertsii*.

causaron una mortalidad cercana al 80% sobre los insectos. El test de Duncan al 5% mostró que los tratamientos difieren del testigo.

Estos resultados mostraron que fue posible mantener los insectos sin estar en su sustrato habitual con suelo, esto facilita la observación de los signos y síntomas de la infección causada por entomopatógenos en las cochinillas. Por lo tanto, la metodología parece adecuada para la identificación temprana de entomopatógenos del insecto.

3. Evaluación de mortalidad de cochinillas causada por las cepas de *Metarhizium* en el almácigo

ENSAYO 1

En la Figura 3b se evidencia la presencia de las cochinillas en las raíces de la planta y, adicionalmente, 20 días después se observa la presencia del hongo de color verde cubriendo la superficie de las cochinillas en algunas de las plantas, lo que demuestra que el proceso

Tabla 1. Mortalidad de cochinillas causada por *Metarhizium* en condiciones de laboratorio.

Tratamientos	N	Porcentaje de mortalidad	*E.E
Agua	50	24,4 A	3,4
<i>M. anisopliae</i>	48	75,9 B	4,8
<i>M. robertsii</i>	48	85,4 B	5,2

*E.E= Error de estimación.

Letras distintas indican diferencia entre promedios según prueba de Duncan al 5%.

de infección fue exitoso ya que se observan los signos de la infección.

La Tabla 2 muestra los porcentajes de infestación y los promedios de las poblaciones de cochinillas en las plantas tratadas con los hongos entomopatógenos vs las tratadas con agua.

La prueba T al 5% mostró que con respecto a la infestación uno de los tratamientos *M. robertsii* difieren del testigo (Figura 4), mientras que *M. anisopliae* es similar a la aplicación con agua. Con respecto a la población de cochinillas, mientras que en el tratamiento con *M. anisopliae* se observó una reducción en la población promedio de 55%, la reducción en las poblaciones de cochinillas en el tratamiento con *M. robertsii* fue de 78% difiriendo las tres estadísticamente entre sí (Figura 5).

ENSAYO 2

La Tabla 3 muestra los porcentajes de infestación y los promedios de las poblaciones de cochinillas en las plantas tratadas con el hongo entomopatógeno vs. agua.

La prueba T al 5% mostró que el hongo difiere del testigo con respecto a la infestación (Figura 6) mas no con respecto al número final de población encontrado en las plantas infestadas, ya que aunque esta disminuyó en un 33%, la alta variabilidad no permitió ver diferencias estadísticas (Figura 7). Sin embargo, es importante anotar que la reducción de plantas infestadas en este ensayo fue de casi 50%, lo que equivale a un 50% de protección por efecto del hongo.

Tabla 2. Plantas de almácigo infestadas con cochinillas. Porcentaje de infestación y población de cochinillas en las plantas tratadas con los hongos entomopatógenos.

Tratamiento	Porcentaje de plantas infestadas con cochinillas	Población promedio de cochinillas/ planta infestada	Reducción de la población con respecto al testigo
Agua	96%	26	
<i>M. anisopliae</i>	88%	13	55%
<i>M. robertsii</i>	60%	5,8	78%

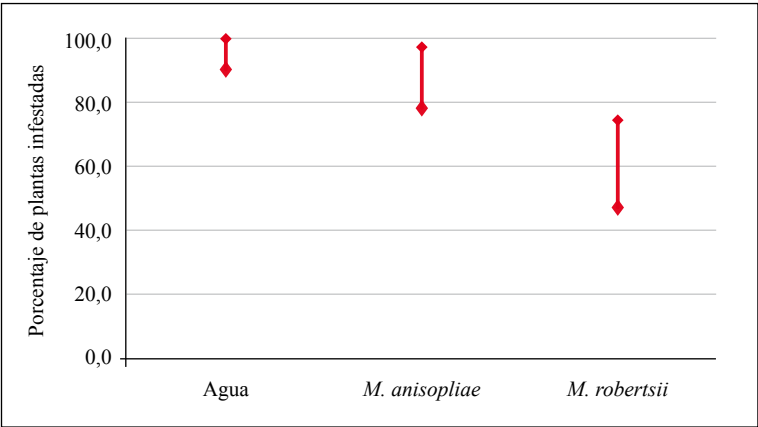


Figura 4. Porcentaje de plantas infestadas con cochinillas (2016). Límite superior e inferior.

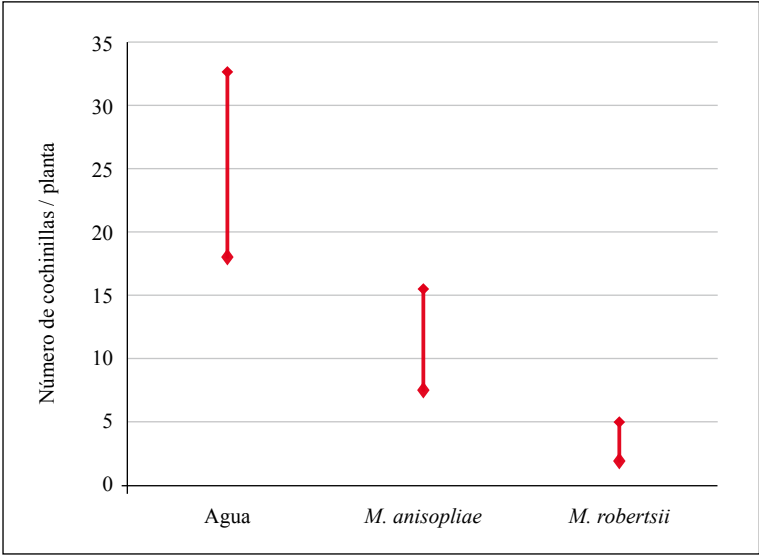


Figura 5. Comportamiento de las poblaciones de cochinillas al ser tratadas con agua o *Metarhizium* en raíces de plantas de almácigo (2016). Límite superior e inferior.

Tabla 3. Plantas de almácigo infestadas con cochinillas. Porcentajes de infestación y población de cochinillas en las plantas tratadas con *M. robertsii*.

Tratamiento	Porcentaje de infestación con cochinillas	Población promedio de cochinillas/planta infestada
Agua	95%	11
<i>M. robertsii</i>	47%	7,4

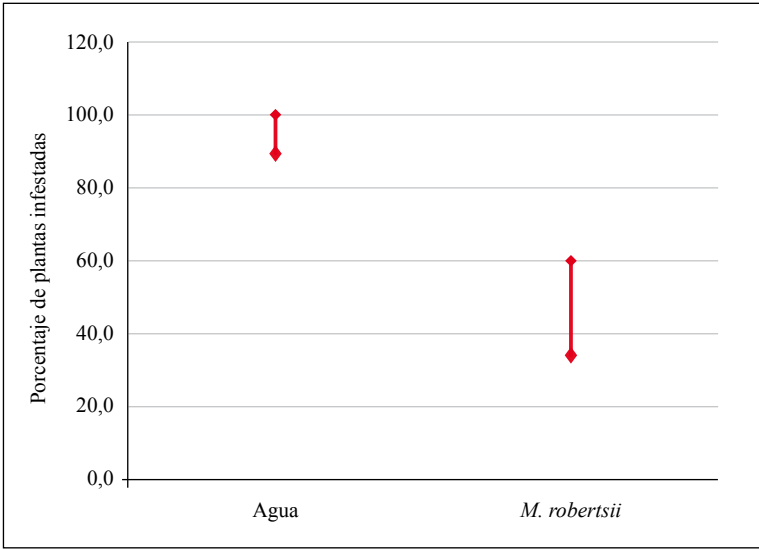


Figura 6. Porcentaje de plantas infestadas con cochinillas (2017). Límite superior e inferior.

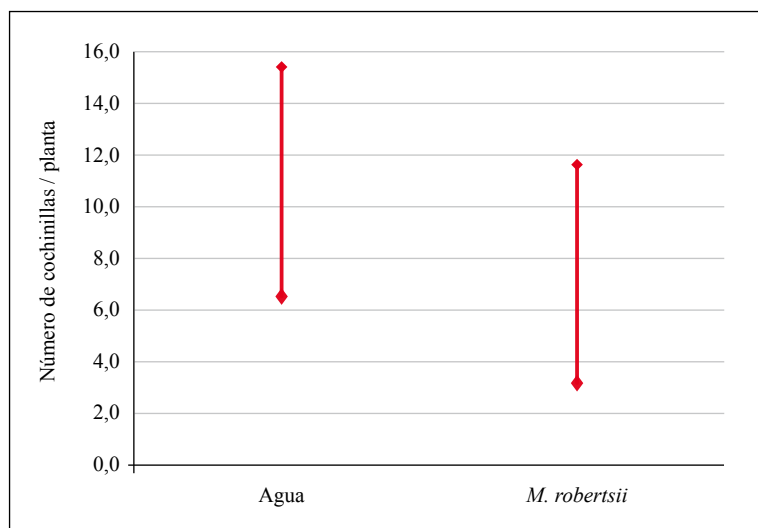


Figura 7. Comportamiento de las poblaciones de cochinillas al ser tratadas con agua o *M. robertsii* en raíces de plantas de almácigo (2017). Límite superior e inferior.

ENSAYO 3

En este ensayo todos los tratamientos difirieron del testigo y en todos los casos se produjo control del insecto con porcentajes de infestación que no superaron el 20% comparado con la aplicación de agua, en la cual el porcentaje de infestación es cercana al 70% (Figura 8).

Con respecto al control del insecto, los resultados de laboratorio mostraron que tanto *M. anisopliae* como *M. robertsii* son patógenos y bajo condiciones controladas los dos causan la misma virulencia. Sin embargo, la aplicación de los dos hongos en condiciones de almácigo en plantas de café con un sustrato real, como es el suelo y bajo la influencia de las condiciones medioambientales de Cenicafé, permitió identificar diferencias en la virulencia de las dos cepas, siendo *M. robertsii* más virulento. En el ensayo 1 este hongo causó mortalidad en el 40% de la población de cochinillas ya que la infestación fue del 60%, lo que implica una protección del 40% de las plantas, mientras que con *M. anisopliae* la mortalidad fue de 12%, con el 88% de

las plantas infestadas y protección del 12%. El ensayo 2 mostró que la virulencia de *M. robertsii* puede ser mayor, en este caso la mortalidad fue del 63% con una infestación del 47% y una protección cercana al 50%. Las condiciones del suelo y las interacciones entre el hongo, las raíces y la plaga parecen ser importantes factores para determinar la virulencia. Se ha reportado que *M. robertsii* crea asociaciones beneficiosas con las raíces de las plantas (Liao et al., 2014), y Liao et al., (2017) identificaron efectos positivos en plantas de *Arabidopsis* inoculadas con *M. robertsii*, encontrando que este hongo produce la hormona de crecimiento IAA (ácido indol-3-acético) que además de promover el crecimiento en plantas, incrementa la virulencia en los insectos, esta podría ser una de las razones de la mayor virulencia de este hongo.

Adicionalmente, se observaron los siguientes efectos en las poblaciones de los insectos que sobrevivieron a la aplicación de los hongos: En el ensayo 1: *M. anisopliae*, al ser comparado con el control, redujo la población de cochinillas en un 55% y *M. robertsii* en 78%. Esta misma reducción se esperaba en

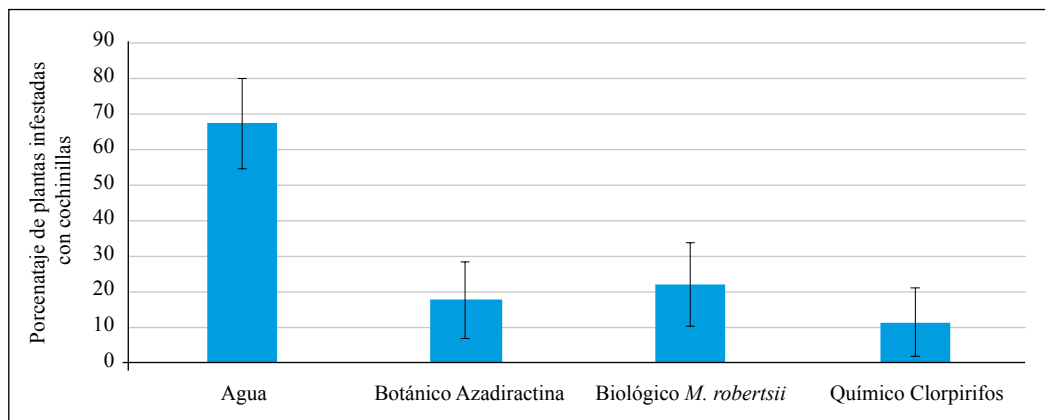


Figura 8. Porcentaje de plantas de almácigo infestadas con cochinillas. Se muestra el promedio y error estándar para cada tratamiento.

el ensayo 2; sin embargo, la reducción en la población fue menor, esto pudo deberse a las condiciones medioambientales. En todos los casos la protección causada por *M. robertsii* fue cercana al 50%.

El Ensayo 3 tuvo como propósito comparar el control de la plaga debido a *M. robertsii* con otros métodos de control que están reportados en la literatura, como son, el uso del insecticida químico clorpirifos y el producto botánico azadiractina (United States Environmental Protection Agency, 2018; Vittal Mallya Scientific Research Foundation, 2020).

En el caso del insecticida clorpirifos, este es de los pocos ingredientes activos eficaces para el control de esta plaga en Colombia y aprobados por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2018). En el caso de la azadiractina, el producto utilizado es un derivado del neem; sin embargo, su presentación no corresponde a un aceite, sino que es un polvo soluble en agua, por lo que fue posible usarlo disuelto en agua para ser aplicado en las raíces. Este extracto botánico se ha reportado para el control de insectos Hemiptera, en este orden existen tres subordenes: Sternorrhyncha (cochinillas y

escamas), Auchenorrhyncha (cigarras, loritos verdes, membrácidos, miones) y Heteroptera (verdaderas chinches: grajos, etc.) (Portilla & Cardona, 2004). La azadiractina fue evaluada contra las escamas que corresponden al suborden Sternorrhyncha siendo efectiva en el control de estos (Dreyer & Hellpap, 1991) y de áfidos (Lowery et al., 1993) por lo que en este experimento, se evaluó contra la cochinilla *P. barberi* mostrando su eficacia en el control de esta plaga en café.

Los resultados permitieron concluir que el hongo *M. robertsii* causa mortalidades similares a las ocasionadas por los otros dos métodos de control evaluados y puede proteger las raíces de la planta de esta plaga, por lo que se convierte en un buen candidato para posteriores estudios en condiciones de almácigos comerciales y en el campo.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Estación Experimental La Catalina (Risaralda), a los Auxiliares de Investigación de la disciplina de Entomología y al doctor Fernando Ángel.

LITERATURA CITADA

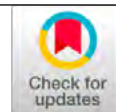
- Ahmad, I., Jiménez-Gasco, M., Luthe, D. S., Shakeel, S. N., & Barbercheck, M. E. (2020). Endophytic *Metarhizium robertsii* promotes maize growth, suppresses insect growth, and alters plant defense gene expression. *Biological Control*, 144, 104167. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104167>
- Arcila, A. (2015). *Instructivo: Cómo modificar una aspersora de palanca para controlar las cochinillas de las raíces*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/InstructivoCochillas.pdf>
- Benavides, P., Gil, Z. N., Constantino, L. M., Villegas, C., & Giraldo, M. (2013). Plagas del café broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y monalón. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215–260). Cenicafé.
- Belevich, O., Yurchenko, Y., Krivopalov, A., Kryukov, V., & Glupov, V. (2018). Effects of *Metarhizium robertsii* on the bloodsucking mosquito *Aedes flavescens* and non-target predatory insects (Odonata). *Journal of Applied Entomology*, 142(6), 632–635. <https://doi.org/10.1111/jen.12509>
- Bischoff, J. F., Rehner, S. A., & Humber, R. A. (2009). A multilocus phylogeny of the *Metarhizium anisopliae* lineage. *Mycologia*, 101, 512–530. <https://doi.org/10.3852/07-202>
- Caballero, A., Ramos-Portilla, A. A., Suárez-González, D., Serna, F., Gil, Z. N., & Benavides, P. (2019). Los insectos escama (Hemiptera: Coccinorhina) de las raíces de café (*Coffea arabica* L.) en Colombia, con registros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en asociación. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 69–92. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1250
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2018). Anuario meteorológico cafetero 2017. <http://hdl.handle.net/10778/660>
- Dreyer, M., & Hellpap, C. (1991). *Neem-a promising natural insecticide for small scale vegetable production in tropical and subtropical countries*. Zeitschrift fuer Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (Germany, FR).
- Espinell, C., Torres, L. A., Villamizar, L. F., Bustillo, A. E., Zuluaga, M. V., & Cotes, A. M. (2018). Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga. En A. M. Cotes (Ed.). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (Vol. 1, pp. 334–367). Agrosavia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34071>
- Gil, Z. N., 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>
- Hu, G., & St. Leger, R. J. (2002). Field Studies Using a Recombinant Mycoinsecticide (*Metarhizium anisopliae*) Reveal that It Is Rhizosphere Competent. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(12), 6383–6387. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6383-6387.2002>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2018). *Plaguicidas Químicos*. Recuperado de [https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulación y Control de-PlaguicidasQuímicos.aspx](https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulación%20y%20Control%20de%20PlaguicidasQuímicos.aspx)
- Liao, X., Lovett, B., Fang, W., & St Leger, R. J. (2017). *Metarhizium robertsii* produces indole-3-acetic acid, which promotes root growth in Arabidopsis and enhances virulence to insects. *Microbiology*, 163(7), 980–991. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000494>
- Liao, X., O'Brien, T. R., Fang, W., & St. Leger, R. J. (2014). The plant beneficial effects of *Metarhizium* species correlate with their association with roots. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(16), 7089–7096. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5788-2>
- Lowery, D. T., Isman, M. B., & Brard, N. L. (1993). Laboratory and Field Evaluation of Neem for the Control of Aphids (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 86(3), 864–870. <https://doi.org/10.1093/jee/86.3.864>
- Moorhouse, E. R., Easterbrook, M. A., Gillespie, A. T., & Charnley, A. K. (1993). Control of *Otiorynchus sulcatus* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) Larvae on a Range of Hardy Ornamental Nursery Stock Species Using the Entomogenous Fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 3(1), 63–72. <https://doi.org/10.1080/09583159309355260>
- Ramos Portilla, A. A., & Serna Cardona, F. J. (2004). Coccoidea de Colombia, con énfasis en las cochinillas harinosas (Hemiptera: pseudococcidae). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(2), 2383–

2411. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24191>
- Sasan, R. K., & Bidochka, M. J. (2012). The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. *American Journal of Botany*, 99(1), 101–107. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22174335/>
- Tyurin, M. V., Kryukov, V. Yu., Yaroslavl'tseva, O. N., Elisafenko, E. A., Dubovskiy, I. M., & Glupov, V. V. (2016). Comparative analysis of immune responses in Colorado potato beetle larvae during development of mycoses caused by *Metarhizium robertsii*, *M. brunneum*, and *M. pempighi*. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 52(3), 252–260. <https://doi.org/10.1134/S002209301603008X>
- United States Environmental Protection Agency. (2018, diciembre 19). *Pesticide registration improvement act-SoluNeem*. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/081899-00004-20181219.pdf
- Villegas, C., Bustillo Pardey, A. E., Zabala Echavarría, G., Benavides Machado, P., & Ramos Portilla, A. A. (2008). Cochinillas harinosas en cafetales colombianos. En A. E. Bustillo Pardey (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 342–354). Cenicafé.
- Villegas, 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>
- Vittal Mallya Scientific Research Foundation. (2020, March 3). *Solu neem, water soluble bio insecticide, botanical plant protectant, bio pesticides*. Pesticides. <http://www.vmsrf.org/html/solu-neem.html>.
- Williams, D. J., & Willink, M. C. G. (1992). *Mealybugs of Central and South America*. CAB International Wallingford UK. <https://www.cabi.org/isc/abstract/19921165001>

DENSIDADES Y CICLOS DE RENOVACIÓN DEL CAFÉ EN UN SISTEMA AGROFORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER

Fernando Farfán Valencia  *, Gabriel Fernando González Sánchez  **

Farfán-Valencia, F., & González, G. F. (2020). Densidades y ciclos de renovación del café en un sistema agroforestal en el departamento de Norte de Santander. *Revista Cenicafé*, 71(2), 66-72. <https://doi.org/10.38141/10778/71205>



En la Granja Blonay, ubicada a los 7° 34' N y 72° 37' W, a una altitud de 1.250 m, municipio de Chinácota, en el departamento de Norte de Santander, se evaluó el efecto de cuatro densidades de siembra del café (3.600, 5.400, 7.200 y 9.000 plantas/ha) y cinco dosis de fertilizante (12,5%; 25,0%; 50,0%; 75,0% y 100% de las dosis recomendadas en los análisis de suelos), sobre la producción en un sistema agroforestal. El componente arbóreo lo conformaron especies de maderables ya establecidas en la localidad, sin arreglo zonal definido, pero manteniendo una densidad cercana a los 70 árboles/ha. De los resultados obtenidos y de las funciones de producción construidas, pudo inferirse que las producciones mayores se registran con densidades de siembra del café entre 7.200 y 9.000 plantas/ha, nutridas con el 100% de la dosis de fertilizante. Si el sistema de producción se establece a estas densidades de siembra debe realizarse la renovación del cultivo una vez recolectada la cuarta cosecha, cerca de seis años de vida del cultivo. A bajas densidades de siembra los ciclos de renovación del café pueden estar entre la quinta y sexta cosecha, es decir, cerca de 8 años de plantado.

Palabras clave. Sistema de producción de café, sistemas agroforestales, densidad de siembra, fertilización, renovación.

DENSITIES AND COFFEE RENEWAL CYCLES IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE DEPARTMENT OF NORTE DE SANTANDER

At the Blonay Farm, located at 7° 34' N and 72° 37' W, at an altitude of 1,250 m, municipality of Chinácota, in the department of Norte de Santander, the effect of four planting densities of coffee was evaluated (3,600, 5,400, 7,200 and 9,000 plants/ha) and five doses of fertilizer (12.5%; 25.0%; 50.0%; 75.0% and 100% of the recommended doses in soil analyzes) on coffee production in an agroforestry system. The arboreal component was made up of timber species already established in the locality, without a defined zonal arrangement, but maintaining a density close to 70 trees/ha. From the results obtained and the production functions constructed, it is possible to infer that the largest productions are registered with coffee planting densities between 7,200 and 9,000 plants/ha, nourished with 100% of the fertilizer dose. If the production system is established at these planting densities, the renewal of the crop must be carried out once the fourth harvest has been collected, about six years of the crop's life. At low planting densities, coffee renewal cycles can be between the fifth and sixth harvest, which is about 8 years after planting.

Keywords. Coffee production system, agroforestry systems, planting density, crop fertilization.

* Investigador Científico II. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0976-8828>

** Líder Departamental de Extensión Rural, Comité Departamental de Cafeteros de Norte de Santander, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.



Los sistemas agroforestales son asociaciones de especies arbóreas con cultivos perennes como el café y son una alternativa de producción cuando los cultivos convencionales o los monocultivos no son viables por influencia de las condiciones de clima y suelo desfavorables para el cultivo; o cuando su producción tiene como propósito el consumo de café cultivado bajo sombrío (Audate et al., 2016; Farfán, 2014).

El componente arbóreo persigue optimizar el uso de recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno, además de ser fuente energética, madera, frutos y/o sombrío; puede regular las condiciones de luz para el café y suplir parte de los nutrientes requeridos por el cultivo; también aportan gran cantidad de residuos vegetales que actúan como material de cobertura. La capa de hojarasca es el eslabón que mantiene unidos los componentes arbóreos con el suelo, esta capa a su vez, por procesos de descomposición y mineralización, libera nutrientes que pueden ser nuevamente absorbidos por las plantas (Farfán, 2014).

En los sistemas agroforestales con café aún se requieren estudios sobre la importancia relativa de la competencia por luz, agua y nutrientes a lo largo de gradientes ecológicos (regionalización), para identificar el o los factores limitantes en un rango de condiciones biofísicas; también se precisan investigaciones sobre los efectos de la arquitectura de los árboles, estudios sobre la disponibilidad de la radiación fotosintéticamente activa para el cultivo, los efectos de la sombra sobre la fenología del cultivo, particularmente sobre la iniciación y desarrollo de los frutos, el tamaño del grano del café, el factor de rendimiento y la calidad del café, y otros estudios enfocados básicamente a determinar las dosis de fertilizante adecuadas para el café, cuando en el campo se establecen a diferentes densidades de siembra y bajo sombrío (Farfán 2014; Boreuxemail et al., 2016; Conrado, 2018). El entendimiento

de estas interacciones y el acercamiento hacia estos sistemas de producción proveerá a los caficultores de enriquecimiento en términos de calidad, sostenibilidad y productividad (Farfán, 2014).

Por lo anterior, con el fin de contribuir al estudio de los sistemas agroforestales con café, desde un enfoque regional, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del establecimiento del café en un sistema agroforestal, en cuatro densidades de siembra, sobre la producción, cuando su nutrición se realiza aplicando diferentes dosis de fertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de realización. La investigación se realizó en la Granja Blonay, ubicada a los 7° 34' N y 72° 37' W, a una altitud de 1.250 m, municipio de Chinácota, en el departamento de Norte de Santander. Con temperatura media anual de 20,5°C y una máxima de 26,5°C; humedad relativa de 83,5%; precipitación total anual de 1.460 mm, 186 días con lluvia; brillo solar anual de 1.289 horas (Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], 2018). En la región se presentan dos períodos secos, uno de diciembre a marzo y otro de junio a septiembre. En el primer período seco se presenta una deficiencia hídrica para el café de 352 mm y en el segundo una de 265 mm (Jaramillo et al., 2011); teniendo en cuenta que el uso consuntivo durante cada período es de 500 mm. Por estas condiciones es necesario el establecimiento del café en sistemas agroforestales.

Material vegetal. De café se empleó la variedad Castillo® Pueblo Bello y como componente arbóreo especies de maderables ya establecidas en la localidad, sin arreglo zonal definido, pero manteniendo una densidad cercana a los 70 árboles/ha.

Tratamientos evaluados. Los tratamientos, 20 en total, los conformaron cinco niveles de fertilización y cuatro densidades de siembra del café (Tabla 1).

Diseño experimental. El efecto de las dosis de fertilizante para cada densidad, se evaluó bajo el diseño experimental bloques completos al azar. Se tuvieron ocho bloques donde el factor de bloqueo fue el gradiente de fertilidad del suelo. El número de bloques se determinó estadísticamente, con una varianza estimada de 3.966 para la variable café cereza, una diferencia mínima aceptable de 180 kg de café cereza por parcela, un nivel de significación del 5% y una confiabilidad mayor del 90%.

Área del campo experimental. La parcela experimental fue de 160 m². Cada bloque tuvo un área aproximada de 5.120 m² y todo el campo experimental ocupó un área cercana a 3,5 hectáreas.

Manejo del sombrero. Se manejó según lo recomendado por Farfán y Jaramillo (2009); para el número de horas de brillo solar de la región, se mantuvo mediante regulaciones periódicas, un porcentaje de cobertura cercano al 30% durante todo el período de evaluaciones.

Información registrada y variables de respuesta. Se registró la producción en kilogramos de café cereza por parcela, durante seis cosechas. Como variables de respuesta se tuvieron la producción anual y la producción acumulada de café cereza.

Análisis estadístico. Para cada densidad de siembra y dosis de fertilizante se estimó el promedio y el error estándar con las variables de respuesta. Para cada tratamiento se realizó estadística descriptiva. Se realizó análisis de varianza al 5% y comparación entre tratamientos según la prueba Duncan al 5%. Se construyeron las funciones que mejor representaran la dinámica en las producciones en función de la densidad de siembra y el nivel de fertilizante aplicado, para determinar el ciclo de renovación del cultivo; evaluando la tendencia lineal y cuadrática y hasta de cuarto grado, según prueba de contraste al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de café. En la Tabla 2 se presentan los resultados de la producción de café, en kilogramos por hectárea de café pergamino seco (kg ha⁻¹ de cps), en función de la densidad de siembra y el nivel de fertilizante aplicado.

Tabla 1. Descripción de tratamientos

Dosis de fertilizante*	Densidades de siembra del café (plantas/ha)
12,50%	3.600 (1,65 x 1,65 m)
25,0%	5.400 (1,35 x 1,35 m)
50,0%	7.200 (1,18 x 1,18 m)
75,0%	9.000 (1,05 x 1,05 m)
100%	

*De acuerdo con lo recomendado en los resultados de los análisis de suelos

Tabla 2. Producción de café pergamino seco (kg ha⁻¹), en función de la densidad de siembra y el nivel de fertilizante aplicado. Granja Blonay – Norte de Santander.

D.F.	D.S.	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Acumulado*		D. E.	C. V
12,5	3.600	295	849	813	921	982	943	4.803	G	1.401	0,29
25	3.600	277	783	705	970	935	1.034	4.704	G	1.104	0,23
50	3.600	144	804	740	1.005	987	1.024	4.704	G	921	0,20
75	3.600	141	765	701	934	1.267	1.039	4.846	g	1.291	0,27
100	3.600	576	1.685	1.246	1.129	1.372	1.488	7.495	f	1.639	0,22
12,5	5.400	593	1.203	1.229	1.171	947	1.190	6.333	fg	1.422	0,22
25	5.400	398	1.051	1.016	1.460	1.590	1.464	6.979	f	2.437	0,35
50	5.400	345	1.501	1.286	1.703	1.612	1.504	7.950	ef	1.405	0,18
75	5.400	205	1.308	1.094	1.409	1.810	1.400	7.227	f	2.451	0,34
100	5.400	1.020	2.364	1.737	1.929	1.825	1.710	10.584	bcd	1.624	0,15
12,5	7.200	729	1.719	1.532	1.546	1.656	1.348	8.530	def	2.470	0,29
25	7.200	508	1.526	1.554	1.694	1.668	1.420	8.371	ef	4.037	0,48
50	7.200	566	2.267	1.810	2.578	2.119	1.612	10.953	bc	1.562	0,14
75	7.200	467	2.067	1.527	1.650	2.399	1.552	9.663	cde	2.278	0,24
100	7.200	1.024	3.393	2.505	2.834	2.281	1.600	13.637	a	1.816	0,13
12,5	9.000	1.122	2.322	1.797	1.797	1.755	1.338	10.132	cde	1.273	0,13
25	9.000	949	2.126	1.563	1.993	2.053	1.359	10.043	cde	2.651	0,26
50	9.000	794	2.868	1.840	2.568	2.427	1.879	12.377	ab	1.758	0,14
75	9.000	469	2.394	1.773	1.930	2.713	1.928	11.207	bc	1.664	0,15
100	9.000	1.586	3.871	2.110	2.648	2.032	1.835	14.083	a	1.916	0,14

D.F. = dosis de fertilizante aplicado (%)

D.S. = densidad de siembra del café (plantas/ha)

*Registros en la producción acumulada con letras distintas no son significativamente diferentes ($p>0,05$), según prueba Duncan. D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

Con densidades de siembra del café entre 3.600 y 5.400 plantas/ha, es evidente un incremento significativo de la producción al aplicarse el 100% de la dosis de fertilizante recomendado en el análisis de suelos (Tabla 2). Conrado (2018) y Audate et al. (2016), sostienen que los cultivos agrícolas y en sistemas agroforestales, las prácticas de fertilización de los suelos deben ir orientadas a incrementar los contenidos de N, P, K y materia orgánica, así como a la corrección del pH, en aras de una mayor productividad de los cultivos. Melke & Ittana (2014), indican que plantaciones densas de café y con sombra regulada, con variedades de alto rendimiento y árboles de sombra muy desarrollados, deben recibir la dosis completa de los fertilizantes recomendados.

Las producciones máximas se registraron con densidades de siembra de 7.200 y 9.000 plantas/ha, nutridas con el 100% de la dosis de fertilizante; no obstante, las pruebas de comparación (Duncan 5,0%) indican que se obtienen resultados similares si 9.000 plantas/ha se fertilizan con el 50% de la dosis recomendada. De acuerdo con Nesper et al. (2019), al tener especies maderables como componente estructural de la sombra del café, se afecta el ciclo de nutrientes y se reduce la disponibilidad de P, K, Mg, B y Zn, afectándose la fertilidad del suelo, con impactos negativos sobre la producción de café, para minimizar estos efectos sugieren las aplicaciones plenas de fertilizante. Szott y Kass (1993), indican que la respuesta a los fertilizantes es muy variable en sistemas agroforestales (SAF) con árboles perennes, debido a la tendencia que tienen especies maderables de competir y capturar los nutrientes; por ejemplo, los requerimientos de P son relativamente mayores en sistemas con estas especies que con árboles leguminosos.

De mantenerse estables los niveles de fertilizante aplicado, se obtiene un gran

beneficio en productividad, si se incrementa la densidad de siembra del café. De igual forma, si se incrementan porcentualmente las dosis de fertilizante aplicado, la productividad se aumenta al acrecentar simultáneamente la densidad de plantación (Tabla 2).

Ciclos de renovación del café. Para obtener la máxima producción promedio, la planta de café no debe sobrepasar la edad en la cual este valor sea máximo; estos valores máximos de producción se alcanzan entre los seis y ocho años de edad, a partir de este momento es necesario podar la planta para promover nuevo crecimiento de tejido y fomentar la producción. Al tomar esta decisión debe considerarse la edad del cultivo y el estado de deterioro e improductividad de la plantación (Mestre & Ospina, 1994).

De acuerdo con los resultados obtenidos de producción, en la Figura 1 pueden inferirse los ciclos productivos o las épocas en que se sugiere realizar la renovación del café, con el propósito de mantener la producción estable; al establecer el café a densidades de siembra superiores a las 7.200 plantas/ha, debe realizarse la renovación del cultivo una vez recolectada la cuarta cosecha, cerca de seis años de establecido el cultivo. A bajas densidades de siembra los ciclos de renovación del café pueden estar entre la quinta y sexta cosecha, es decir, cerca de 8 años de plantado.

Es difícil separar los efectos de la reducción de la luz frente a la competencia de nutrientes y agua en los sistemas agroforestales; no obstante, durante los primeros tres años, los cafetos no cambian sus características vegetativas o productivas como respuesta a la sombra. Los efectos de la sombra se vuelven más intensos después del comienzo del período de mayor rendimiento (Boreuxemail et al., 2016; Jaramillo et al., 2010).

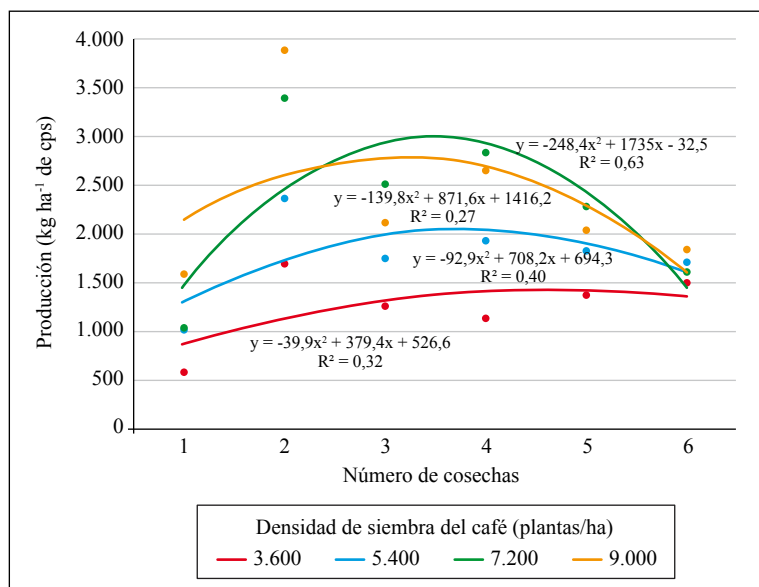


Figura 1. Ciclos productivos para realizar la renovación del café a diferentes densidades de siembra. Granja Blonay – Norte de Santander

Puede concluirse que en el departamento de Norte de Santander, zona cafetera norte de Colombia, si en los sistemas agroforestales con café, el componente arbóreo está establecido o se establecerá con especies maderables o forestales, con una altura que supere los 30,0 m y el espacio libre entre la copa del árbol y el follaje del café sea superior a 10,0 m, pueden establecerse entre 6.000 y 9.000 plantas de café por hectárea; a estas densidades debe aplicarse el 100% de la dosis de fertilizante recomendado en el análisis de suelos. Adicionalmente, debe programarse la renovación del café una vez recolectada la quinta o cuarta cosecha, regular el sombrío

para mantener porcentajes de cobertura no superiores al 30,0% y realizar el oportuno control fitosanitario desde el establecimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Departamental de Cafeteros de Norte de Santander, y su Servicio de Extensión.

A los Ingenieros Pedro María Sánchez y Carlos Ariza, Coordinadores (anterior y actual) de la Estación Experimental San Antonio, Departamento de Santander.

LITERATURA CITADA

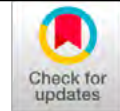
- Audate, E., Maldonado, T., Álvarez, E., Ramírez, M., & Torres, R. (2016, agosto 24-26). Diagnóstico nutricional de tres sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) Cultivado bajo sombra. En Universidad Autónoma Chapingo, *VIII Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles*, "Hacia una producción sustentable de alimentos". Veracruz, México.
- Boreux, V., Vaast, P., Madappa, L. P., Cheppudira, K. G., Garcia, C., & Ghazoul, J. (2016). Agroforestry coffee production increased by native shade trees, irrigation, and liming. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(3), 42. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0377-7>

- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2018). Anuario meteorológico cafetero 2017. <http://hdl.handle.net/10778/660>
- Conrado, B. I. (2018). Sustainability assessment of soil properties in *Coffea Arabica*, based agroforestry systems of Atok, Benguet, Philippines. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 13(3), 17–31. <https://innspub.net/jbes/sustainability-assessment-soil-properties-coffee-arabica-based-agroforestry-systems-atok-benguet-philippines/>
- Farfán, F., & Jaramillo, A. (2009). Sombrio para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafe*, 379, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/376>
- Farfán, F. F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafe. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AgroforesteriaSistemasCafe.pdf>
- Jaramillo, C., Silva, R. H., Prieto, H. E., Cecon, P. R., & Pereira, M. (2010). Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Scientia Agricola*, 67(6), 639–645. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600004>
- Jaramillo, A., & Ramírez, V. H., Arcila-Pulgarín, J. (2011). Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafe*, 410, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/328>
- Melke, A., & Ittana, F. (2014). Nutritional Requirement and Management of Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia: National and Global Perspectives. *American Journal of Experimental Agriculture*, 5(5), 400–418. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/12510>
- Mestre, A., & Ospina, H. F. (1994). Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafe*, 201, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1061>
- Nesper, M., Kueffer, C., Krishnan, S., Kushalappa, C. G., & Ghazoul, J. (2019). Simplification of shade tree diversity reduces nutrient cycling resilience in coffee agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 119–131. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13176>
- Szott, L., T., & Kass, D. (1993). Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 23(2), 157–176. <https://doi.org/10.1007/BF00704913>

ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Luz Adriana Lince Salazar *, Andrés Felipe Castro Quintero **, Wadi Andrey Castaño Castaño ***

Lince-Salazar, L.A., Castro, A. F., & Castaño, W. A. (2020). Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 71(2), 73-91.
<https://doi.org/10.38141/10778/71206>



La estabilidad de los agregados (EA) es la capacidad del suelo para conservar el arreglo de su espacio sólido y poroso cuando se expone a procesos de deterioro, y se considera como un buen indicador de sostenibilidad del suelo. En Colombia, en el estudio de la sostenibilidad del suelo se estima que un 37,2% presenta conflicto de uso y está en riesgo su sostenibilidad. Dado que, mediante el estudio de la estabilidad de agregados se logra una aproximación de la sostenibilidad del suelo de uso agrícola, se realizó una investigación en lotes cafeteros, ubicados en 24 unidades edáficas. Por cada unidad se tomaron tres muestras de suelo, a una profundidad entre 0 y 20 cm, a las cuales se les realizó análisis de EA por el método de Yoder, carbono orgánico y textura; además se calculó el índice de estabilidad estructural (S_t) de Pieri. Los valores de EA indicaron que 12 de 24 unidades no limitan la producción de los cultivos ni la sostenibilidad del suelo, desde la parte estructural, entre ellas Tablazo, Guadalupe, San Agustín; seis limitan de modo leve, entre ellas Doscientos, Catarina, Malabar y en seis se limita de manera moderada, entre ellas, San Simón, Campoalegre, Timaná. El S_t indicó que las unidades Doscientos y Timaná son ligeramente inestables y las restantes estables. Existe relación entre la EA y la materia orgánica y no hay equivalencia entre el EA y S_t , no se recomienda el uso del último para evaluar la sostenibilidad del suelo en la región cafetera colombiana, pero sí incluir indicadores de biología.

Palabras clave: Arcillas, diámetro ponderado, índice de estabilidad, materia orgánica, sostenibilidad.

STABILITY OF SOIL AGGREGATES IN THE COLOMBIAN COFFEE ZONE

Aggregate stability refers to soil capability to preserve its solid and porous space arrangement when exposed to deterioration process and, it is considered a good indicator of soil sustainability. In Colombia, studies about soil sustainability consider that around 37.2% present conflict of use and its sustainability is at risk. Since through the study of aggregate stability an approximation of the soil sustainability for agricultural use is achieved, a work of research was carried out in coffee lots located in 24 edaphic units. For each unit, three soil samples were taken at a depth between 0 and 20 cm, and their aggregate stability was analyzed by the Yoder method, organic carbon, and texture. In addition, the Stability Structural Index by Pieri (S_t) was calculated. The aggregate stability values showed that 12 out of 24 soil units such as Tablazo, Guadalupe, and San Agustín do not limit crop production or soil sustainability from the structural part. In 6 soil units such as Doscientos, Catarina, Malabar there is a slight limitation. In six soil units such as San Simón, Campoalegre and Timaná there is a moderate limitation. According to the S_t , the soils in Doscientos and Timaná are slightly unstable and the other soils are stable. There is a relationship between aggregate stability and organic matter, but not between aggregate stability and S_t . The use of S_t is not recommendable to evaluate soil sustainability in the Colombian coffee zone and soil biology indicators must be included.

Keywords: Clays, mean diameter, stability index, organic matter, sustainability.

* Investigador Científico I. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
<https://orcid.org/0000-0003-4263-5357>

** Ingeniero agrónomo, MSc. <https://orcid.org/0000-0002-7336-7829>

*** Ingeniero agrónomo. <https://orcid.org/0000-0002-1958-5200>



La estabilidad de los agregados (EA) es la capacidad del suelo para conservar el arreglo de su espacio sólido y poroso cuando se expone a diferentes procesos de deterioro que afectan los procesos de floculación y cementación, tales como la labranza, el tráfico, la humectación y el secado (Kay y Angers, 2000).

La EA se evalúa a través de diversas metodologías y varias maneras, entre ellas, las más comunes son el tamiz húmedo de Yoder (1936), ya que permite evaluar el rango completo del estado de agregación del suelo por medio del cálculo del diámetro medio del peso, el diámetro medio geométrico y la proporción de agregados estables al agua (Long et al., 2015) y el del impacto de la gota (McCalla, 1944). Otras son el método de partículas menores de 250 μm propuesto por El-Swaify y Dangler (1982), que, al igual que el de Yoder, se realiza en tamiz húmedo, pero en este caso solo se tienen en cuenta partículas y microagregados menores a 250 μm y los índices de estabilidad estructural propuestos por Henin et al. (1958), De Leenheer y De Boodt (1959) y el de Topp et al. (1997), todos similares al propuesto por Yoder (1936) con modificaciones en el número y tamaño de los tamices y en el tratamiento para destruir los agregados.

Entre las herramientas más utilizadas para predecir la EA en términos de diámetro medio ponderado, están los modelos lineales generalizados, de regresión múltiple, redes neuronales artificiales y sistemas adaptativos neurodifusos, los cuales emplean entradas que van desde el uso individual de parámetros del suelo (contenidos de materia orgánica, carbonatos de calcio y de arcillas) y atributos del paisaje (pendiente e índice de vegetación), hasta la combinación de los mismos; sin embargo, los resultados de predicción de las redes neuronales artificiales y los sistemas adaptativos son mejores ya que emplean la

combinación de los parámetros del suelo y los atributos del paisaje (Besalatpour et al., 2013). Entre las técnicas de alta aplicabilidad desarrolladas a partir de modelos de regresión está el índice estructural desarrollado por Pieri (1995), el cual tiene como finalidad dar a conocer una aproximación de la estabilidad de agregados del suelo mediante el contenido de arcillas, limos y materia orgánica; el índice de separación de partículas y sellado-encostrado, propuesto por Florentino (1998) y el índice de encostramiento de la FAO (1980), entre otros.

La EA se considera un buen indicador de la sostenibilidad del suelo, por ser sensible a modificaciones a corto plazo (Kay, 1998) y proporcionar información relacionada con factores que afectan la productividad de los cultivos y la sostenibilidad del suelo (Lal, 1994), y entre ellos, los contenidos de materia orgánica, la actividad biológica, la resistencia al rompimiento, al movimiento de los gases y los nutrientes (Gelaw et al., 2015), el impacto de la gota de lluvia, la escorrentía superficial (Canasveras et al., 2010) y otras propiedades físicas (Ayuke et al., 2011). Pese a que la estabilidad de los agregados se considera como el resultado de interacciones entre la flora, la fauna, la litología, el clima (Imeson, 1984), las propiedades físico-químicas y el uso del suelo (Romero et al., 2009), hasta el momento no se evidencia una tendencia definida entre estos, especialmente para carbono orgánico y arcillas (Abiven et al., 2009), que junto con el carbonato de calcio son las que más se mencionan en la literatura (Canasveras et al., 2010).

En Colombia, el estudio de la sostenibilidad del suelo es un tema de amplio interés, ya que se estima que un 37,2% del país, aproximadamente el 80% de la zona andina, presenta conflicto de uso de este recurso, lo que pone en riesgo su sostenibilidad como resultado de la actividad agrícola con tecnologías inadecuadas sin

considerar la aptitud de uso (Arteaga et al., 2016). Dado que el cultivo de café es uno de los más predominantes en el país, se presume que, especialmente el de libre exposición, puede estar afectando dicha sostenibilidad (Palacio, 2007).

Entre los estudios de sostenibilidad del suelo cultivado en café en Colombia, evaluados por medio de la EA se tiene el de Buenaver y Rodríguez (2016) realizado en el departamento de Norte de Santander, en el cual los autores indican que dichos suelos presentan una baja estabilidad estructural, y la explican a través de la compactación, en términos de porosidad total, derivada de la relación entre la densidad aparente y la densidad real, con valores alrededor de 0,5 y 0,4 g cm⁻³, respectivamente. Otros estudios que, si bien no se enfocaron en la sostenibilidad del suelo, evaluaron este parámetro en lotes cafeteros, como los realizados por Rivera (1999) quien relacionó la EA con la erodabilidad del suelo y a su vez con la MO. Después, Hincapié y Rivera (2003) validaron el factor de erodabilidad de la unidad Chinchiná, con la EA como propiedad física determinante. Adicionalmente, Salamanca y Sadeghian (2005) en ocho unidades cartográficas de suelos en diferentes departamentos cafeteros relacionaron de forma inversa la densidad aparente y la estabilidad de agregados. Además, Rivera et al (2010) empleó la EA como indicador de erodabilidad, y Lince y Sadeghian (2012) que determinaron su variabilidad en lotes cafeteros y determinaron el número de muestras simples requeridas para tener muestreos confiables.

Dada la importancia que tiene el conocer la estabilidad de los agregados del suelo, en lotes tradicionalmente plantados en café, se realizó una investigación tendiente a evaluar dicho parámetro en suelos de la zona cafetera colombiana y su relación con otras propiedades edáficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer la estabilidad de los agregados del suelo de la región cafetera colombiana y su sostenibilidad, se realizó un estudio con 24 unidades cartográficas de suelos, previamente definidas y caracterizadas por la FNC (Tabla 1), provenientes de los departamentos de Antioquia, Caldas, Huila, Risaralda, Quindío y Tolima, ubicados entre las latitudes 1° 48' 33,6" N y 5° 56' 16,2" N, y las longitudes 76° 19' 32,3" W y 75° 33' 54,3" W, entre los 1.200 y 1.800 m de altitud, en el Centro Occidente de Colombia. En esta zona, el clima es tropical ecuatorial de montaña, con precipitación anual entre 1.000 y 3.000 mm año⁻¹, con distribución bimodal, en la que los períodos de mayor precipitación están entre los meses de marzo a junio y septiembre a diciembre.

Geomorfológicamente las zonas son variables y están representadas, de forma general, por colinas onduladas de longitud menor a 100 m y pendientes homogéneas menores a 50% (Unidades Chinchiná, Génova, Laboyos, Líbano, Malabar, Mendarco, Montenegro, Quindío, Saladoblanco, San Agustín y Timaná), vertientes erosionales con pendientes superiores a 50% con longitudes que no superan los 100 m (Unidad Suroeste) y mayores a 300 m (Unidades Buenavista, Campoalegre, Catarina, Doscientos, Guadalupe, Gualí, Mendarco, Parnaso, Tablazo, Salgar y San Simón).

Se trabajó por unidades coropleticas, definidas por el material parental y el uso del suelo, que según Brady y Weil (2008), hacen parte de las principales fuentes de variación de la EA, la cual pese a que a nivel general es baja (Warrick y Nielsen, 1980), puede ser disminuida con una selección precisa de los sitios de muestreo. El primer factor (material parental) fue determinado por las unidades cartográficas de suelo de la FNC, y

dado que dicho levantamiento está en escala 1:100.000, se realizaron cateos previos a la selección, para confirmar que los materiales parentales fueran los de interés. Una vez cumplido el paso anterior, por cada unidad edáfica se seleccionaron tres lotes, cuyo uso en café superara los 5 años y en cada lote se tomaron cuatro muestras de suelo a una profundidad entre 0 y 20 cm, con las cuales se generó una muestra compuesta de 1,0 kg. El muestreo se considera confiable, ya que la EA presenta una variabilidad baja, y en lotes de uso cafetero, con una muestra se logran resultados con una confianza entre el 90% y 95% (Lince y Sadeghian, 2012).

En el laboratorio, a las muestras se les extrajeron los residuos de raíces, fragmentos de roca y macrofauna, y se secaron al aire a una temperatura ambiente ($\pm 23^{\circ}\text{C}$), durante cinco días. Posteriormente, se realizó el análisis de estabilidad de agregados al agua y como variables complementarias se analizó el carbono orgánico (Walkley-Black), expresado en porcentaje de materia orgánica (MO) y la textura en términos de porcentaje de arenas (A), limos (L) y arcillas (Ar) (pipeta).

El análisis de estabilidad de agregados al agua se realizó por el método en húmedo de Yoder (1936), con el analizador de agregados DIK-2001. Además, se realizaron tres modificaciones a la metodología mencionada, relacionadas con el tamaño inicial de los agregados (agregados entre 4,75 y 2,00 mm), la malla de los tamices (2,00; 1,00; 0,50; 0,25 y 0,106 mm) y el tratamiento de las fracciones de agregación total (a los agregados se les adicionaron 10 cm^3 de peróxido de hidrógeno al 30% y se dejaron en un agitador recíproco de mesa Bioblock scientific 64736 por 24 horas, a 150 movimientos por minuto), con el fin de dispersar los agregados del suelo y tener un valor real de las partículas primarias.

Los datos se presentaron en porcentaje de agregados por cada uno de los tamices y en diámetro medio ponderado, calculado por la Ecuación <1> (IGAC, 1990).

$$DMP = \sum_{i=1}^n \frac{(Mssi \%)(xi)}{100} <1>$$

Donde, DMP es el diámetro medio ponderado; $Mssi\%$ es el porcentaje de los agregados del suelo retenidos por cada tamiz, xi es el promedio del diámetro de abertura del tamiz, mm.

Además, se calculó el índice de estabilidad estructural (S_t), como método de evaluación indirecta para dicho parámetro, según la Ecuación <2> propuesta por Pieri (1995) para suelos tropicales, y categorizado de la siguiente manera: $S_t < 5$ suelos de estructura degradada; $S_t < 7 \geq 5$ suelos estructuralmente inestables; $S_t < 9 \geq 7$ suelos estructuralmente ligeramente inestables, y suelos con $S_t \geq 9$ suelos estructuralmente estables.

$$St = \frac{MO \%}{(Ar \% + L \%)} \times 100 <2>$$

Donde, S_t es el índice estructural; MO porcentaje de materia orgánica; Ar y L porcentajes de arcillas y limos, respectivamente.

Los resultados de las pruebas de estabilidad de agregados al agua, porcentajes de agregados por tamiz, materia orgánica y fracciones de arena, limo y arcilla, de las muestras compuestas, se promediaron por unidad cartográfica de suelo (tres muestras compuestas por unidad). Mientras que la estabilidad de agregados y la materia orgánica se clasificaron según Lal (1994) para el grado de limitación de la productividad de los cultivos y sostenibilidad del uso del suelo; el cual para EA indica que un diámetro medio ponderado mayor a 2,5 mm no ofrece ninguna

limitación, entre 2,0 y 2,5 mm la limitación es ligera, entre 1,0 y 2,0 moderada, entre 0,5 y 1,0 mm fuerte y menor a 0,5 mm muy fuerte, y para carbono orgánico entre 5,0% y 10,0% no ofrece ninguna limitación, entre 3,0% y 5,0% la limitación es ligera, entre 1,0% y 3,0% moderada, entre 0,5% y 1,0% fuerte y menor a 0,5% muy fuerte. Dado que la clasificación se presenta en términos de carbono orgánico el valor propuesto en dicha categorización se multiplicó por el factor 1,724 para transformar la variable carbono orgánico en porcentaje de materia orgánica.

Para la EA y porcentajes de agregados por tamiz se realizó un análisis de varianza. Una vez determinada la diferencia estadística se continuó con la prueba de comparación de

Tukey al 5%, para esto se utilizaron Excel y Stathgraphics (V. 5.2).

Los valores promedio de EA y los porcentajes de agregados por tamiz, se correlacionaron con las variables complementarias (materia orgánica, fracciones de arena, limo y arcilla), por el método de Pearson con una confianza del 95%. Con las variables que mostraron correlación se estableció la expresión matemática que explica la estabilidad de los agregados al agua. Además, por medio de correlaciones de Pearson con confianza del 95% y regresiones matemáticas se compararon los resultados obtenidos con el método indirecto de evaluación propuesta por Pieri y los de la metodología de Yoder. Lo anterior se realizó con software Excel, Stathgraphics (V. 5.2) y Sigmaplot (V. 10).

Tabla 1. Descripción de las unidades cartográficas de suelo muestreadas, según FNC (1973, 1985, 1986, 1988 y 1992).

Unidad cartográfica de suelo	Contenido pedológico	Área, ha*	Material parental	Sitio de muestreo	
				Municipio	Departamento
Asociación Campoalegre	Typic Dystrudepts 40%, Typic Udorthents 30% y otros (Entic Dystrudepts, Paralithic Udorthents y Paralithic Dystrudepts) 30%	49.867	Granito moscovítico	Campoalegre	Huila
Asociación Catarina	Paralithic Udorthents 40%; Typic Eutrudepts 35%; Andic Eutrudepts 10%; otros 15%	3.289	Esquisto talcoso	Santuario	Risaralda
Asociación Doscientos	Typic Dystropept 57%; Typic Dystrandep 27%; Otros (Lythic Troporthent y Typic Troporthent) 16%	44.527	Basalto	Betulia, Concordia y Santa Bárbara	Antioquia

Continúa...

...continuación.

Unidad cartográfica de suelo	Contenido pedológico	Área, ha*	Material parental	Sitio de muestreo	
				Municipio	Departamento
Asociación Génova	Typic Eutrudepts 35%; Paralithic Udorthents 30%; Lithic Udorthents 20%; Paralithic Eutrudepts 10%; otros 5%	8.485	Esquisto	Génova	Quindío
Asociación Guadalupe	Typic Udorthents 45%, Typic Dystrudepts 30% y otros (Lithic Dystrudepts, Lithic Udorthents, Paralithic Dystrudepts y Paralithic Udorthents) 25%	11.310	Arenisca	Pitalito y Suaza	Huila
Asociación Laboyos	Typic Argiaquolls 50%, Tropic Fluvaquents 30% y otros 20%	13.577	Coluvio-aluviales	Pitalito	Huila
Asociación Saladoblanco	Lithic Udorthents 50%, Typic Dystrudepts 30% y otros (Typic Tropudalfs, Lithic Dystrudepts y Typic Hapludands) 20%	18.214	Toba	La Plata	Huila
Asociación Salgar	Typic Dystrocept 44%; Typic Troporthent 20%; Typic Dystrandep 16%; otros (Lithic Troporthent, Paralithic Dystrocept y Paralithic Troporthent) 20%	81.733	Esquistos	Betulia, Salgar y Ciudad Bolívar	Antioquia
Asociación Tablazo	Typic Eutropepts 50%; Typic Dystrandep 35%; Otros 15% (Paralithic Eutropepts y Typic Troporthents)	946	Esquisto	Salamina	Caldas

Continúa...

...continuación.

Unidad cartográfica de suelo	Contenido pedológico	Área, ha*	Material parental	Sitio de muestreo	
				Municipio	Departamento
Asociación San Simón	Typic Udorthents 40%, Typic Dystrudepts 30% y otros (Paralithic Udorthents, Paralithic Dystrudepts, Andic Dystrudepts y Lithic Udorthents) 30%	44.698	Granito	La Plata	Huila
Asociación Timaná	Typic Eutrudepts 45% y Typic Udorthents 55%	8.917	Arcillolitas	Timaná	Huila
Consociación Buenavista	Typic Eutrudepts 70%; otros (Andic Eutrudepts, Lithic Eutrudepts, Lithic Udorthents y Typic Hpludands) 30%	1.356	Anfibolita	Pijao y Buenavista	Quindío
Consociación Chinchiná	Antioquia: Typic Dystrandept 80%; otros (Andic Dystrupept, Typic Dystrupept y Entic Dystrandept) 20%	59.328	Ceniza volcánica	Andes y Jardín	Antioquia,
	Quindío: Typic Melanudands 75%; otros 25%	20.270		Circasia y Quimbaya,	Quindío y
		54.293		Apía y Belén de Umbría	Risaralda
	Risaralda: Typic Hapludands 80%; Andic Dystudepts 10%; otros 10%				
Consociación Malabar	Quindío: Vertic Tropudalfs 70%; otros (Typic Hapludands y Entic Dystrandept) 30%	11.587	Ceniza volcánica	Quimbaya y	Quindío y
	Risaralda: Typic Hapludalfs 70%; Typic Hapludands 10%; Typic Argiudoll 15%; otros 5%			Pereira	Risaralda

Continúa...

...continuación.

Unidad cartográfica de suelo	Contenido pedológico	Área, ha*	Material parental	Sitio de muestreo	
				Municipio	Departamento
Consociación Montenegro	Typic Melanudands 75%; Entic Hapludands 25%	26.420	Ceniza volcánica	Montenegro, Armenia y La Tebaida	Quindío
Consociación Parnaso	Typic Eutrudepts 75%; Paralithic Eutrudepts 15%; otros 10%	19.954	Basalto	Santa Rosa de Cabal, Guática y Quinchía	Risaralda
Consociación Quindío	Typic Melanudands 80%; Entic Hapludands 20%	8.892	Ceniza volcánica	Circasia, Calarcá y Armenia	Quindío
Consociación San Agustín	Typic Melanudands 70%, Typic Dystrudepts 20% y Entic hapludandst 10%	12.244	Ceniza volcánica	San Agustín	Huila
Consociación Suroeste	Typic Dystropept 75%; Otros (Paralithic Dystropept, Andic Dystropept, Lithic Troporthent y Typic Troporthent) 25%	71.154	Aglomerados	Concordia, Andes y Fredonia	Antioquia
Gualí	Sin definir	33.438	Esquistos	Libano	Tolima
Libano	Sin definir	33.725	Ceniza volcánica	Libano	Tolima
Mendarco	Sin definir	102.202	Arenisca	Ataco, Planadas y Chaparral	Tolima

Área en hectáreas de cada unidad cartográfica de suelo en la región cafetera colombiana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de EA oscilaron entre 1,06 y 3,56 mm (Tabla 2), lo que indica que, según la categorización de limitación de la productividad de los cultivos y sostenibilidad del uso del suelo (Lal, 1994) las unidades de suelos evaluadas se ubican en tres rangos, de las cuales, Asociación Tablazo, Asociación Guadalupe, Mendarco, Consociación San Agustín, Líbano, Asociación Laboyos, Consociaciones Quindío y Chinchiná (esta última en los departamento de Caldas y Risaralda) y Asociación Génova, son las que no limitan ($DMP > 2,5$ mm); Consociaciones Parnaso y Montenegro, las que limitan de modo leve ($DMP > 2,0 \leq 2,5$ mm). Por otro lado, las Asociaciones Doscientos y Catarina, unidad Gualí, Consociaciones Suroeste, Malabar y Chinchiná (esta última en el departamento de Antioquia); y las que limitan de manera moderada ($DMP > 1,0 \leq 2,0$ mm) Asociaciones San Simón, Campoalegre, Timaná, Salgar y Saladoblanco y Consociación Buenavista. Los resultados reportados para las unidades Chinchiná, Montenegro, San Simón, Doscientos, Salgar y Guadalupe, son similares a los de otros estudios realizados en la zona cafetera colombiana (Salamanca y Sadeghian, 2005).

El índice de estabilidad estructural (S_t) estuvo entre 8,07% y 47,38% (Tabla 2), y según la clasificación los suelos de las Unidades Doscientos y Timaná son ligeramente inestables, mientras que los de las 22 unidades restantes son estructuralmente estables.

En cuanto a las variables complementarias, los valores promedio de MO oscilaron entre 4,8% y 19,3% (Tabla 2), que según la categorización de Lal (1994) en las Unidades Mendarco, Líbano, Laboyos, Quindío, San Agustín y Chinchiná en los departamentos de Antioquia, Quindío y Risaralda, no se ve limitada la producción y la sostenibilidad del suelo ($MO > 8,62\%$); en las Unidades

Timaná, Doscientos, Malabar, Saladoblanco, Tablazo, Gualí, Montenegro, Buenavista, Suroeste, Génova, Salgar, Catarina, Guadalupe y Parnaso, se presenta una limitación leve ($5,17\% < MO \leq 8,62\%$); y en Campoalegre y San Simón la limitación es moderada ($1,75\% < MO \leq 5,17\%$).

De las clases texturales, la más común es la franco arcillo arenosa, en ocho de las 24 unidades cartográficas de suelos, seguida por la textura arcillosa en seis unidades (Tabla 2). Según Lal (1994), las unidades que no presentaron limitación por la clase textural fueron Líbano y Chinchiná en el departamento de Risaralda; las de limitación moderada Chinchiná en los departamentos de Quindío y Antioquia, Malabar, Catarina, Saladoblanco, Buenavista, Campoalegre, San Simón, Parnaso, Génova, Mendarco y Gualí; y las que se ven limitadas de forma severa y extrema son las unidades Guadalupe, Suroeste, Doscientos, Salgar y Timaná.

Según el análisis de correlación para las unidades evaluadas, la EA tiene relación estadística con la MO, pero no con las A, los L y las Ar (Tabla 3), lo cual se asemeja a lo reportado en la literatura, pues se indica que si bien las Ar juegan un papel importante en la EA, la presencia de estas no la asegura (Marshall et al., 1996), y puede afectar la proporción de cationes y alterar dicha EA (Lal et al., 1999). Sin embargo, y considerando lo ya mencionado, la relación entre las Ar y la EA encontrada en esta investigación no es concluyente, debido a que el secado del suelo al aire aumenta la cohesión de las arcillas por una disminución en la doble capa eléctrica, lo que permite que la fuerza atractiva de corto alcance aumente y con ello la resistencia de los agregados a la acción del agua (Dexter et al., 1988; Kemper y Rosenau, 1984; Soinne et al., 2014) y, por ende, a la erodabilidad.

Para las unidades de suelo objeto de estudio, no se encontró explicación lineal de la EA por MO como lo expresa Lopes et al. (2016), pero sí exponencial, con una explicación del 33% (Tabla 4, Figura 1 a), como lo exponen Mainuri y Owino (2013). Lo cual, puede deberse a que no toda la MO es responsable de la EA y a que esta es afectada por otros factores pedológicos y antrópicos (Lal y Shukla, 2004), lo cual se atribuye a los factores antrópicos, ya que no se encontró diferencia de medias entre unidades de materiales parentales contrastantes (Tabla 5), a excepción de la unidad San Simón, proveniente de un granito biotítico, que presentó diferencia con dos unidades provenientes de cenizas volcánicas (Chinchiná en Risaralda y Montenegro) y una de basalto (Parnaso); sumado a que las unidades Parnaso y Génova, provenientes de materiales parentales que aportan bases de cambio al suelo, presentaron EA > 3,00 mm, mientras que las unidades Buenavista y Salgar, provenientes de materiales parentales de composición similar a las anteriores, presentaron valores de EA < 2,0 mm, sin diferencias en MO en las cuatro unidades mencionadas. Por lo anterior, para las unidades cartográficas analizadas, no se atribuye la totalidad de la EA al material parental o al contenido de MO, pero se resalta la importancia de estos dos parámetros en dicha propiedad del suelo.

Sin embargo, para las unidades de suelo objeto de estudio, un contenido de 9,2% de MO, puede ser considerado como el límite crítico o valor umbral para la EA, debido a que es el valor de inflexión hasta el cual la MO explica de forma lineal el 41% de la EA ($f(x) = -0,433MO + 0,4376$; $p < 0,0001$) (Figura 2 a), y contenidos por encima de este representan pocos incrementos en la estabilidad (Figura 2 b), tal como lo indican Lal y Shukla (2004). Además, para las unidades edáficas analizadas, se sugiere que los suelos con MO > 6%, desde la parte estructural, no limitan

la producción agrícola o su sostenibilidad, dado que el 89% de los datos con MO ≥ 6 % presentó una EA > 2,0 mm.

Es de anotar, que de ninguna manera los rangos de MO relacionados con la EA, son comparables o discutibles con los mencionados por Sadeghian (2008), como aporte de nitrógeno a la planta, ya que los primeros corresponden a una actividad agregante del suelo, la cual, según la literatura se atribuye principalmente a la glomalina (Brady y Weil, 2008) y los segundos corresponden a una calibración de carácter nutricional, de aportes de un elemento para la planta. Tampoco puede atribuirse la EA a algún estado de la MO, pues, la principal función de la MO en la fijación de los agregados, es contribuir a la supervivencia de los microorganismos y los insectos del suelo, que son los responsables la formación de complejos biopolímeros que, junto con los lixiviados de las raíces de las plantas, son los que realmente definen la EA (Brady y Weil, 2008).

En cuanto a la distribución de los agregados por tamaño, 63 de las 72 muestras analizadas, presentaron el mayor porcentaje de relación de peso en las partículas entre 4,75 y 2,00 mm (Tabla 4), y de estas, las unidades Quindío, Génova, Montenegro, Parnaso y Chinchiná en los departamentos de Risaralda y Quindío, presentaron más del 70%. Dicha distribución de tamaño de agregados por tamiz está acorde con lo reportado por otros estudios realizados en suelos de montaña y en altitudes similares a las de esta investigación (Volveras y Amézquita, 2009; An et al., 2013).

Se determinó que no hay relación estadística entre la EA por el método de Yoder y el cálculo indirecto de estabilidad estructural propuesto por Pieri, lo cual se debe posiblemente a las razones ya expuestas con relación a la influencia de los parámetros utilizados en el cálculo del

índice y a que los valores de MO y la suma de L y Ar, del presente estudio están por fuera de los rangos con los cuales se realizó el modelo del índice de estabilidad, que si bien, está propuesto para suelos tropicales, este fue realizado en suelos semiáridos de África, con un valor máximo de MO de 1,3% y de suma de L y Ar de 17% (Pieri, 1995), los cuales son menores que los reportados en el presente trabajo.

Los resultados logrados son similares a los reportados en diferentes estudios de la zona cafetera, acá mencionados, los cuales a excepción de los Salamanca y Sadeghian (2005) y Lince y Sadeghian (2012), se han centrado en correlacionar la EA con la erodabilidad (Rivera, 1999; Hincapié y Rivera, 2003; Rivera et al., 2010) relación que ha sido ampliamente estudiada, y en todos los casos se ha encontrado una correlación positiva, ya que ambas evalúan la respuesta del suelo a la acción del agua.

Para los suelos cafeteros de Colombia, aún no se ha caracterizado el lixiviado de las raíces de la planta de café y su relación con la EA, tampoco se han establecido cuales son los microorganismos e insectos presentes en los suelos cafeteros que más influyen en la formación de biopolímeros agregantes, tampoco se conocen los tipos de compuestos agregantes en estos suelos, ni la cantidad y calidad de la glomalina. Por lo tanto, dada la importancia de los organismos vivos del suelo, se considera necesario que sean incluidos como indicadores en los estudios de sostenibilidad del suelo

y en la búsqueda de explicaciones para la dinámica de la EA.

Puede concluirse que, para las unidades cartográficas analizadas, la EA no afecta de forma negativa la producción agrícola y el uso que se está dando a los suelos no pone en riesgo su sostenibilidad desde el punto de vista estructural del suelo.

Para dichas unidades, la EA se relaciona directamente con los contenidos de MO, y no es dependiente del tamaño de partículas, por lo cual puede inferirse que el manejo del suelo tiene una relación más fuerte con dicho parámetro, que los factores de génesis. Además, dichos suelos presentaron un valor umbral de respuesta y un valor que es considerado como indicador de estabilidad.

Se considera que para los suelos de la zona cafetera colombiana es confiable emplear el método de cuantificación de la estabilidad de los agregados propuesto por Yoder (1936) y este no presenta equivalencia con el índice de estabilidad propuesto por Pieri (1995).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los Comités Departamentales de Cafeteros de Antioquia, Huila, Quindío, Risaralda y Tolima, a la Disciplina de Suelos de Cenicafé y a la ONG Solidaridad Andes y a la FNC por el apoyo financiero en la investigación.

Tabla 2. Valores promedio y de error estándar de las características analizadas en las unidades cartográficas de suelo muestreadas.

Unidad edáfica	Promedio ± error estándar (n=3)							CT	S _t , %
	EA, mm	MO, %	A, %	L, %	Ar, %				
Buenavista	1,79 ±0,9	6,8 cd*	±0,9	50,7 ±3,4	21,7 ±2,6	27,3 ±1,5	FAtA	13,8	
Campoalegre	1,39 ±0,7	4,8 d	±0,7	54,7 ±2,7	17,8 ±4,0	27,5 ±1,5	FAtA	10,6	
Catarina	2,27 ±2,1	7,8 cd	±2,1	54,7 ±2,9	23,3 ±2,9	22,0 ±5,0	FAtA	17,1	
Chinchiná - Antioquia	2,39 ±4,2	17,2 ab	±4,2	63,8 ±5,8	15,3 ±0,6	20,9 ±6,3	FAtA	47,4	
Chinchiná - Quindío	3,23 ±2,3	10,9 abcd	±2,7	57,3 ±2,6	19,7 ±2,4	23,0 ±0,6	FAtA	25,6	
Chinchiná - Risaralda	3,56 ±0,5	15,8 abc	±0,5	50,0 ±0,0	29,7 ±0,7	20,7 ±0,3	F	31,4	
Doscientos	2,24 ±0,3	5,6 d	±0,2	31,0 ±1,3	21,0 ±1,2	48,0 ±1,1	Ar	8,1	
Génova	3,22 ±0,9	7,4 cd	±0,3	38,3 ±3,5	29,0 ±0,0	32,7 ±3,5	FAr	12,1	
Guadalupe	2,57 ±1,0	8,1 bcd	±1,0	50,6 ±1,2	7,1 ±1,4	42,3 ±1,3	ArA	16,4	
Gualí	2,34 ±1,1	6,2 d	±1,1	40,2 ±5,7	30,3 ±5,8	29,5 ±4,7	FAr	10,4	
Laboyos	2,81 ±3,7	10,1 bcd	±3,7	44,4 ±0,0	4,8 ±0,0	50,8 ±0,0	Ar	18,2	
Líbano	2,81 ±2,6	9,6 bcd	±2,6	49,4 ±7,3	33,4 ±1,8	17,2 ±5,6	F	18,9	

Continúa...

...continuación.

Unidad edáfica	Promedio $\pm$ error estándar (n=3)						
	EA, mm	MO, %	A, %	L, %	Ar, %	CT	S _t , %
Malabar	2,38 $\pm 0,4$	5,9 d $\pm 0,4$	51,3 $\pm 3,3$	26,0 $\pm 1,0$	22,3 $\pm 3,8$	FArA	12,3
Mendarco	2,59 $\pm 1,3$	8,8 bcd $\pm 1,3$	42,4 $\pm 3,7$	24,4 $\pm 4,1$	33,3 $\pm 1,8$	FAr	15,2
Montenegro	3,48 $\pm 0,7$	6,4 d $\pm 0,7$	63,0 $\pm 1,2$	18,0 $\pm 2,1$	19,0 $\pm 1,0$	A	17,4
Parnaso	3,48 $\pm 0,6$	8,2 bcd $\pm 0,6$	27,3 $\pm 6,4$	33,7 $\pm 3,3$	39,0 $\pm 9,2$	FAr	11,3
Quindío	3,12 $\pm 1,4$	12,0 abcd $\pm 1,4$	57,0 $\pm 2,5$	23,7 $\pm 2,3$	19,3 $\pm 0,7$	A	28,0
Saladoblanco	1,88 $\pm 0,8$	6,0 d $\pm 0,8$	49,9 $\pm 3,8$	17,8 $\pm 1,1$	32,4 $\pm 2,7$	FArA	11,9
Salgar	1,87 $\pm 0,9$	7,5 cd $\pm 1,0$	36,8 $\pm 4,6$	21,8 $\pm 1,2$	41,4 $\pm 4,8$	Ar	11,9
San Agustín	2,80 $\pm 2,4$	19,3 a $\pm 2,4$	43,8 $\pm 6,9$	14,4 $\pm 1,8$	41,8 $\pm 6,6$	Ar	34,3
San Simón	1,06 $\pm 0,6$	5,0 d $\pm 0,5$	59,8 $\pm 1,2$	13,1 $\pm 1,7$	27,5 $\pm 11,3$	FArA	12,2
Suroeste	2,41 $\pm 0,3$	7,0 cd $\pm 0,3$	36,5 $\pm 3,4$	19,6 $\pm 2,1$	43,8 $\pm 5,1$	Ar	11,1
Tablazo	2,51 $\pm 1,0$	6,2 d $\pm 1,0$	52,7 $\pm 4,1$	30,7 $\pm 2,4$	16,7 $\pm 1,8$	A	13,1
Timaná	1,74 $\pm 0,2$	5,3 d $\pm 0,2$	37,9 $\pm 4,1$	17,8 $\pm 1,1$	44,3 $\pm 3,2$	Ar	8,5

EA: estabilidad de agregados, en diámetro medio ponderado; MO: materia orgánica; A: arenas, L: limos; Ar: arcillas; CT: clase textural; FArA: Franco arcillo arenoso; F: franco; Ar: arcilloso; A: arenoso. * grupo homogéneo (Tukey, al 5%). S_t: Índice de estabilidad estructural (Pieri, 1995).

Tabla 3. Correlación entre el porcentaje del tamaño de los agregados del suelo y la estabilidad de los agregados, con el contenido de materia orgánica y el porcentaje de tamaño de las partículas.

Parámetro, %	Tamaño de las partículas del suelo, mm						EA, mm
	4,75 – 2,00	2,00 – 1,00	1,00 – 0,50	0,50 – 0,25	0,25 – 0,11	> 2,00	
MO	0,50*	-0,48*	-0,52**	-0,48*	-0,43*	-0,13	0,48*
Ar	-0,18	0,13	0,22	0,10	-0,01	0,09	-0,17
L	0,31	-0,15	-0,26	-0,16	-0,05	-0,27	0,33
A	-0,05	-0,04	-0,04	0,01	0,04	0,11	-0,07

EA: estabilidad de los agregados, en diámetro medio ponderado; * = valor $p < 0,05 \geq 0,01$; ** = valor $p < 0,01 \geq 0,001$.

Tabla 4. Modelos de explicación de EA por medio de MO, para los suelos analizados (n=72).

Modelo	Parámetro	Coficiente	Error estándar	Valor t	Valor P	VIF	R ²
f = y0 + a*x	y0	1,7722	0,2065	8,5829	<0,0001	4,7360<	0,1826
	a	0,0838	0,0212	3,9548	0,0002	4,7360<	
f = a*(1 - exp(-b*x))	a	3,3923	0,2816	12,0453	<0,0001	6,0644<	0,3301
	b	0,1814	0,0351	5,1754	<0,0001	6,0644<	

Donde f = EA; x = MO. Nótese la no significancia del parámetro a, en el modelo lineal.

Tabla 5. Promedio y grupos homogéneos del porcentaje del peso de los agregados retenidos en cada tamiz y de la estabilidad de los agregados por unidad cartográfica de suelo.

Unidad de suelo	Abertura del tamiz, mm						E.A, DMP, mm							
	Porcentaje de peso (n=3) y grupo homogéneo*													
	<4,75≥2,00	<2,00≥1,00	<1,00≥0,50	<0,50≥0,25	<0,25≥0,11	<0,11								
Buenavista	29,49	ab	23,62	ab	18,41	a	16,31	a	7,57	a	4,61	bed	1,79	ab
Campoalegre	23,11	ab	20,22	ab	12,98	ab	7,04	ab	3,36	bc	33,28	abc	1,39	ab
Catarina	51,53	ab	6,65	ab	3,59	ab	1,73	b	0,95	c	35,56	ab	2,27	ab
Chinchiná - Antioquia	48,07	ab	20,28	ab	9,67	ab	3,83	b	1,90	bc	16,25	abcd	2,39	ab
Chinchiná - Quindío	72,35	ab	10,47	ab	6,09	ab	3,81	b	4,09	bc	3,20	cd	3,23	ab
Chinchiná - Risaralda	84,19	a	3,81	b	0,55	b	0,48	b	0,43	c	10,55	bed	3,56	a
Doscientos	45,16	ab	17,38	ab	11,34	ab	5,37	b	1,20	bc	18,72	abcd	2,24	ab
Génova	71,54	ab	11,55	ab	6,95	ab	5,35	b	3,62	bc	0,99	d	3,22	ab
Guadalupe	56,11	ab	11,02	ab	7,13	ab	4,49	b	2,98	bc	18,26	abcd	2,57	ab
Gualí	49,73	ab	13,60	ab	6,69	ab	4,19	b	3,55	bc	22,25	abcd	2,34	ab
Laboyos	62,79	ab	10,11	ab	5,44	ab	3,53	b	1,83	bc	16,31	abcd	2,81	ab
Líbano	60,66	ab	15,29	ab	5,91	ab	3,38	b	2,35	bc	12,40	bcd	2,81	ab

Continúa...

...continuación.

Unidad de suelo	Abertura del tamiz, mm						E.A, DMP, mm							
	<4,75≥2,00	<2,00≥1,00	<1,00≥0,50	<0,50≥0,25	<0,25≥0,11	<0,11								
	Porcentaje de peso (n=3) y grupo homogéneo*													
Malabar	45,68	ab	22,68	ab	13,25	ab	8,23	ab	5,45	ab	4,73	bcd	2,38	ab
Mendarco	56,10	ab	14,06	ab	4,42	ab	2,90	b	1,66	bc	20,86	abcd	2,59	ab
Montenegro	80,11	ab	7,44	ab	3,74	ab	4,065	b	1,95	bc	2,69	cd	3,48	a
Parnaso	80,85	ab	6,19	b	2,94	ab	1,90	b	1,32	c	6,79	bcd	3,48	a
Quindío	70,54	ab	10,55	ab	3,02	ab	1,65	b	1,27	c	12,98	bcd	3,12	ab
Saladoblanco	33,87	ab	21,93	ab	14,86	ab	6,91	ab	3,17	bc	19,26	abcd	1,88	ab
Salgar	35,62	ab	19,49	ab	10,56	ab	4,40	b	1,76	bc	28,17	abcd	1,87	ab
San Agustín	65,52	ab	4,49	b	1,56	b	1,16	b	0,10	c	26,27	abcd	2,80	ab
San Simón	16,23	b	18,22	ab	11,77	ab	5,63	b	2,45	bc	45,71	a	1,06	b
Suroeste	49,44	ab	16,64	ab	10,42	ab	5,63	b	3,02	bc	14,86	abcd	2,41	ab
Tablazo	55,60	ab	11,93	ab	2,66	ab	1,37	b	1,40	c	27,03	abcd	2,51	ab
Timaná	27,42	ab	30,25	a	15,44	ab	6,99	ab	3,84	bc	16,06	abcd	1,74	ab

*: Tukey al 5%; DMP: diámetro medio ponderado.

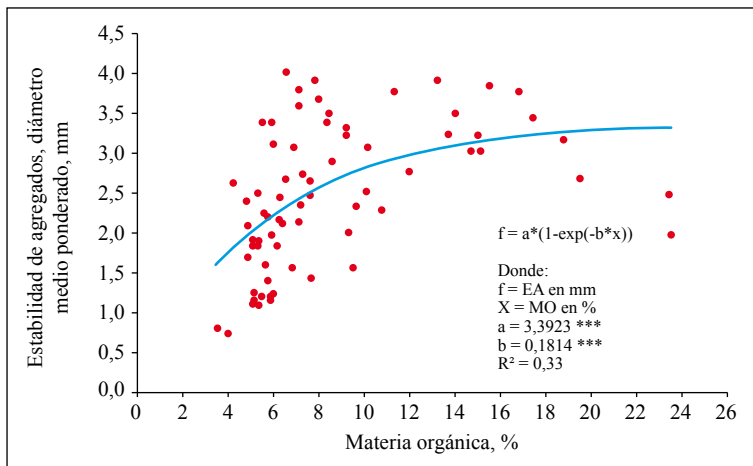


Figura 1. Estabilidad de los agregados del suelo en función de la materia orgánica para 24 unidades de suelo de la zona cafetera colombiana (n=72). EA: Estabilidad de los agregados del suelo; MO: materia orgánica; *** = valor $p < 0,0001$.

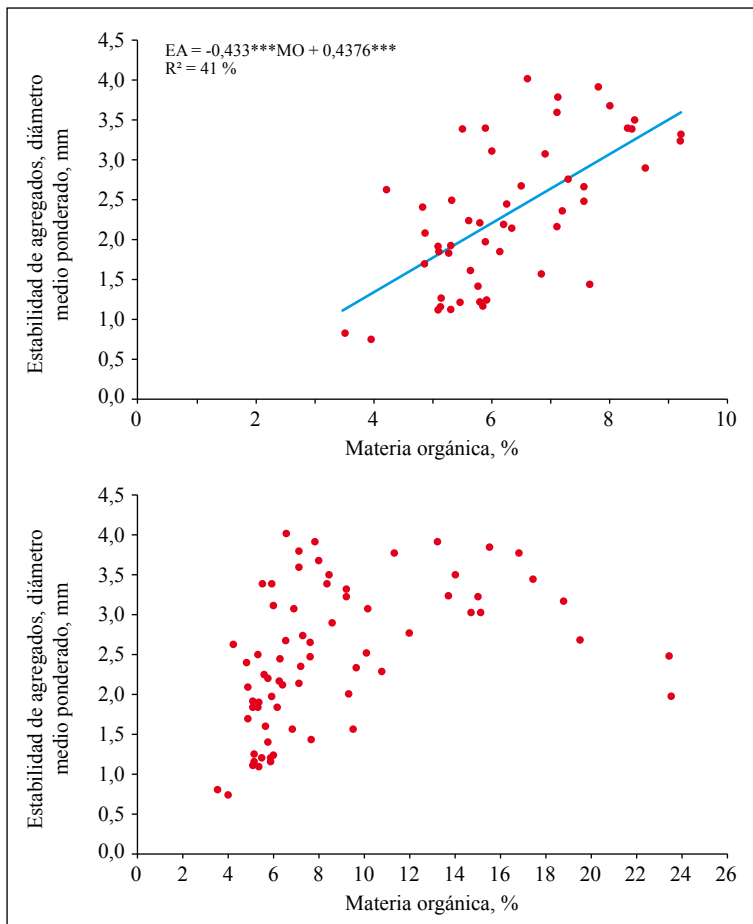


Figura 2. a) EA en función de MO para 52 de los 72 predios cafeteros analizados. EA: Estabilidad de los agregados del suelo; MO: materia orgánica; ** = valor $p < 0,01 \geq 0,001$; *** = valor $p < 0,0001$. b) Nube de los 72 datos de EA vs MO correspondientes a las 24 unidades cartográficas.

LITERATURA CITADA

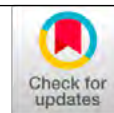
- Abiven, S., Menasseri, S. & Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability—A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015>
- An, S. S., Darboux, F. & Cheng, M. (2013). Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China). *Geoderma*, 209–210, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.020>
- Arteaga, J. C., Navia, J. F., Castillo, J. A. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62–75. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a06.pdf>
- Ayuke, F. O., Brussaard, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D. K., Kibunja, C. N. y Pulleman, M. M. (2011). Soil fertility management: impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.001>
- Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M. y Schulin, R. (2013). Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.07.001>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall.
- Dexter, A. R., Horn, R. & Kemper, W. D. (1988). Two mechanisms for age-hardening of soil. *Journal of Soil Science*, 39(2), 163–175. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1988.tb01203.x>
- El-Swaifi, S. A., & Dangler, E. W. (1982). Rainfall erosion in the tropics: a state of the art. En W. K. Chairman, S. A. El-Swaifi & J. Mannering (Eds.), *Soil erosion and conservation in the tropics, ASA special publication* (Vol. 43, pp. 1-25). Madison: American Society Association.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations & United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. FAO.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1973). *Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del departamento del Tolima*. Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1985). *Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del departamento del Huila*. Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1986). *Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del departamento del Quindío*. Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1988). *Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del departamento de Risaralda*. Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1992). *Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del suroeste de Antioquia*. Cenicafé.
- Florentino, A. (1998). Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos. En *Manejo sostenible de los suelos, manual de prácticas* (pp. 68-77). Universidad Central de Venezuela.
- Gelaw, A. M., Singh, B. R., & Lal, R. (2015). Organic carbon and nitrogen associated with soil aggregates and particle sizes under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 26(7), 690–700. <https://doi.org/10.1002/ldr.2261>
- Henin, S., Monnier, G., & Combeau, A. (1958). Methode pour l'étude de la stabilite structurale des sols. *Annales Agronomiques*, 1, 73–92.
- Hincapié, E., & Rivera, H. (2003). Validación del factor erodabilidad en suelos de la unidad Chinchiná, *Melanudands*, mediante el uso de simulador de lluvias. *Revista Cenicafé*, 54(1), 77–89. <http://hdl.handle.net/10778/242>
- Imeson, A. C. (1984). An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. En R. Fantechi & N. S. Margaris (Eds.), *Desertification in Europe* (pp. 110–125). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1990). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (5ta ed.). IGAC.
- Kay, B. D. (1998). Soil structure and organic carbon: a review. En R. Lal, J. Kimble, R. Follett & B. Stewart (Eds.), *Soil processes and the carbon cycle* (pp. 169–197). Boca Raton, CRC Press.

- Kay, B. D., & Angers, D. A. (2000). Soil structure. En M. Sumner (Ed.). *Handbook of soil science* (pp. 229–276). Boca Raton, CRC Press.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1984). Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Science Society of America Journal*, 48(5), 1001–1006. <https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800050009x>
- Lal, R. (1994). *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. SMSS technical monograph, 21. Soil Management Support Services*. U.S. Department of Agriculture.
- Lal, R., & Shukla, M. K. (2004). *Principles of soil physics*. CRC Press.
- Lal, R., Mokma, D., & Lowery, B. (1999). Relation between soil quality and erosion. En R. Ratta & R. Lal (Eds.), *Soil quality and soil erosion* (pp. 237–258). CRC Press.
- Long, P., Sui, P., Gao, W., Wang, B., Huang, J., Yan, P., Zou, J., Yan L., & Chen, Y. (2015). Aggregate stability and associated C and N in a silty loam soil as affected by organic material inputs. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(4), 774–787. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60796-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60796-6)
- Lopes, E., Cairo, P., Colás, A., & Rodríguez, A. (2016). Relaciones entre las propiedades indicadoras de calidad, en dos subtipos de suelo pardos, en la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola*, 43(1), 21–28. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n1/cag03116.pdf>
- McCalla, T. M. (1944). Water-drop method of determining stability of soil structure. *Soil Science*, 58(2), 117–122.
- Mainuri, Z. G., & Owino, J. O. (2013). Effects of land use and management on aggregate stability and hydraulic conductivity of soils within River Njoro Watershed in Kenya. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 80–87. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30042-3](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30042-3)
- Marshall, T. J., Holmes, J. W., & Rose, C. W. (1996). *Soil physics* (3ra ed.). Cambridge University Press.
- Palacio, J. (2007). *Estudio de tres diferentes usos del suelo y su efecto en la estructura y funcionalidad del ensamblaje de escarabajos coprófagos (Coleóptera: Scarabaeidae) en el departamento de Antioquia Colombia*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Pieri, C. (1995). Long term soil management experiments in semiarid francophone Africa. En R. Lal & B. Stewart (Eds.). *Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality* (pp. 225–266). CRC Press.
- Rivera, J. H. (1999). *Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera central colombiana* [Tesis de Doctorado], Universidad Nacional de Colombia.
- Rivera, J. H., Lal, R., Amézquita, E., Mesa, O., & Chaves, B. (2010). Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 61(4), 344–357. <http://hdl.handle.net/10778/508>
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 32, 1–44. <http://hdl.handle.net/10778/587>
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 56(4), 381–397. <http://hdl.handle.net/10778/163>
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P., & Turtola, E. (2014). Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma*, 219, 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.022>
- Volteras, B., & Amézquita, E. (2012). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 58(1), 35–39. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/9741
- Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Agronomy Journal*, 28(5), 337–351. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>
- Warrick, A., & Nielsen, D. (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics* (pp. 319–344). Academic Press.

EVALUACIÓN DE LA DERRIBADORA SELECTIVA DE CAFÉ BRUDDEN DSC18

Juan Rodrigo Sanz Uribe *, Hernando Duque Orrego **

Sanz-Uribe, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafé*, 71(2), 92-104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>



La cosecha de café con la derribadora selectiva de café Brudden DSC18 es parte de la cosecha asistida de café, para los pases de mayor volumen en el año. Esta máquina, que es un desarrollo conjunto entre la empresa brasileña Brudden y Cenicafé, aplica principios novedosos en cosecha de frutales: utiliza las ramas para propagar la vibración y causar la caída de los frutos de café por fatiga del pedúnculo. La máquina basa su selectividad en que los frutos de café maduros necesitan menos ciclos para fallar a fatiga que los frutos verdes. La máquina debe usarse en conjunto con la retención de pases de cosecha y las lonas para recibir los frutos desprendidos. Para determinar el desempeño de la máquina en condiciones reales, se evaluó en lotes con diferentes pendientes de terreno, edades de los árboles y densidad de siembra, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé. Los resultados mostraron los siguientes valores promedio: 28,53 kg h⁻¹ de rendimiento, 6,07% de frutos verdes en la masa cosechada, 6,67 unidades/sitio de frutos maduros dejados en los árboles y 12,77 unidades/sitio de pérdidas. El rendimiento con la máquina es 180% más alto que el de un recolector promedio con el sistema tradicional. El bajo contenido de frutos verdes en la masa cosechada confirma el carácter selectivo de la máquina, los frutos maduros dejados en el árbol son aceptables, mientras que los frutos perdidos en el suelo estuvieron muy altos por motivos ajenos al funcionamiento la máquina.

Palabras clave: Cosecha asistida, cosecha selectiva, derribadora, vibración, falla por fatiga, lonas.

EVALUATION OF THE SELECTIVE COFFEE FRUIT KNOCKER BRUDDEN DSC18

The Selective Coffee Shaker Brudden DSC18, is part of the Assisted Coffee Harvesting, for the year's largest production peaks. This machine, which is a joint development between the Brazilian company Brudden (<https://www.brudden.com.br/>) and Cenicafé, applies innovative principles in fruits harvesting. It uses the branches to propagate vibration waves and causes the coffee fruits to fall due to fatigue of the fruit peduncle. The machine bases its selectivity in the fact that ripe coffee fruits need fewer cycles to fall down than immature fruits. The machine must be used in conjunction with the harvest pass retention and plastic tarps on the ground to receive the detached fruits. In order to determine the performance of the machine in real conditions, it was evaluated in coffee plantations with different terrain slopes, trees ages and trees densities, at Cenicafé's Experimental Stations. The results showed the following mean values: yield of 28.53 kg h⁻¹, immature fruits content in the harvested mass of 6.07%, 6.67 ripe units per site of fruits left on the trees, and 12.77 units per site of fruits left on the ground. The yield with the machine was 180% higher than the one obtained by an average coffee picker with the traditional system. The low content of immature fruits in the harvested mass confirms the selectivity of the machine, the ripe fruits left on the trees are acceptable, while, the fruits lost to the ground were very high for reasons unrelated to the operation of the machine.

Keywords: Aided harvesting, selective harvesting, vibrations, fatigue, Plastic Tarps.

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

**Gerente Técnico, Federación Nacional de Cafeteros–FNC.



Las características de la caficultura colombiana son muy particulares. Las plantaciones manejan altas densidades de siembra, sobre suelos muy pendientes que hacen parte de las vertientes de las tres cordilleras que recorren el país de Sur a Norte, o de algunos sistemas montañosos independientes. La diversidad del clima hace que en la mayoría de regiones cafeteras se presenten cosechas semestrales de diferentes magnitudes y distribuciones, que conlleva a que siempre haya frutos de café en diferentes estados de madurez en los árboles, lo cual se convierte en la mayor limitante para obtener cosecha selectiva de café con herramientas manuales o con máquinas.

Con base en este desafío, desde 1997 Cenicafé ha venido trabajando diferentes propuestas para mejorar el rendimiento de los recolectores, con el fin de contribuir a la mejora de los indicadores económicos de los caficultores. Para lo que se propuso el Plan General de Investigación en Cosecha de Café (Figura 1), que tiene diferentes líneas de trabajo para cumplir con el objetivo (Oliveros et al., 2013; Oliveros & Sanz 2011).

La primera línea de investigación, en la que se estudian las propiedades mecánicas

y físicas del árbol de café y sus diferentes órganos (Aristizábal et al., 2003; Álvarez et al., 1999; Ciro et al., 1998a; Ciro et al., 1998b; Ciro et al., 1998c), es transversal a todas las demás. En ella, se han obtenido resultados que han demostrado la dificultad de aumentar el rendimiento de los recolectores y de hacer la cosecha de manera selectiva en las condiciones colombianas.

El principio físico que más se usa en el mundo para la cosecha de frutales es la vibración, buscando la falla de las estructuras del pedúnculo de los frutos por resonancia mecánica. Por esa razón, Araque et al. (2005), Oliveros et al. (2005a,b), Aristizábal et al. (2003), entre otros, trabajaron en el uso de ese principio para el desprendimiento de frutos de café con máquinas portátiles motorizadas (tercera línea de investigación – cosecha semi-mecanizada), encontrando resultados interesantes desde el punto de vista de rendimiento, no así de calidad de la cosecha, ya que se obtuvo un alto contenido de frutos verdes en la masa cosechada y se dejaron frutos cosechables sin desprender.

También ha sido común el uso de vibro-impactos sobre los frutos y ramas para la

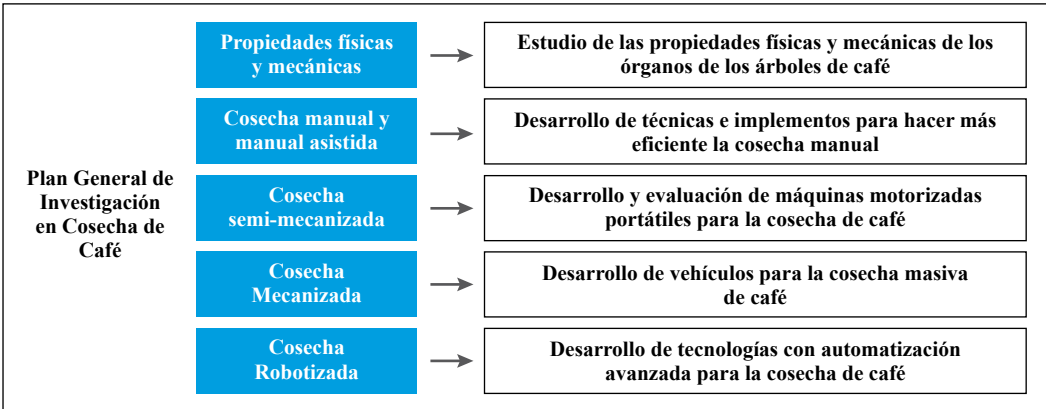


Figura 1. Plan general de investigación en cosecha de café establecido en 1997 en Cenicafé.

cosecha con máquinas portátiles motorizadas. Ramírez et al. (2006), Cardona (2006), Álvarez et al. (2006) y Londoño et al. (2002), entre otros, en Cenicafé, hicieron estudios con desarrollos propios que aplicaban este principio, mientras que Díaz et al. (2005) trabajaron con una máquina desarrollada en Brasil para la cosecha de café por vibro-impactos, encontrando desempeños muy variables y poco repetibles.

Durante el desarrollo de esas investigaciones, Cardona (2006) demostró que los frutos de café no se caen por resonancia mecánica sino por fatiga, cuando son sometidos a esfuerzos repetidos, cambiando completamente el concepto que había hasta entonces para la cosecha de café por vibración. Este hallazgo sirvió de base para que se unieran la empresa Brudden y Cenicafé para desarrollar una máquina que utilizara el principio de vibración para causar el colapso del pedúnculo por fatiga, a través de altas frecuencias. Por eso, en el año de 2018 se lanzó la Derribadora Selectiva de Café, Brudden DSC18 (Portafolio, 2018), la cual basa su selectividad en que los frutos maduros necesitan muchos menos ciclos para colapsar por fatiga que los frutos verdes.

Adicionalmente, estudios realizados por Sanz et al. (2018a) demostraron que, con las variedades resistentes a la roya del café desarrolladas en Cenicafé, es posible retener mayor tiempo los frutos maduros en los árboles, lo que permite ampliar el tiempo entre pases de cosecha y garantizar mayor disponibilidad de frutos maduros para la recolección, lo cual se convierte en un complemento importante para mejorar el desempeño de los sistemas para recolección manuales y con máquinas, sin detrimento de la calidad del producto. Sin embargo, existe una restricción para hacer el uso de esta técnica, si al inicio de la retención la infestación por broca es mayor o igual a 2,0%.

Por otro lado, Sanz et al. (2018b) y Oliveros et al. (2006) hicieron trabajos relacionados con el uso de lonas en el suelo para recibir los frutos desprendidos, ya sea con la mano o con máquinas portátiles. Por el aumento de la capacidad de recolección y la facilidad de manejo, estos implementos han demostrado que son un complemento para recibir los frutos desprendidos con la derribadora DSC18.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la funcionalidad y el rendimiento de recolección de operarios, trabajando con la derribadora DSC18 en condiciones reales, aplicando la retención de pases de cosecha y usando lonas para recibir los frutos desprendidos, en diferentes regiones del país. Así mismo, se evaluó la calidad de recolección con la máquina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la máquina

La Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18, consta de tres partes principales (Figura 2): sistema motriz, transmisión remota de potencia y cabeza de cosecha.

Sistema motriz. Consiste en un motor de combustión interna de dos tiempos, con 25,4 cm³ de volumen de cámara de combustión y carburador de diafragma de tipo Walbro referencia WYK 389, con los cuales se obtienen 0,95 kW (1,3 hp) a 9.000 r min⁻¹.

Transmisión remota de potencia. Se realiza a través de un tubo de aluminio, dentro del cual hay un eje delgado y resistente, que transmite el movimiento giratorio desde el motor hasta la cabeza de cosecha.

Cabeza de cosecha. Este dispositivo mecánico tiene dos funciones principales, la primera

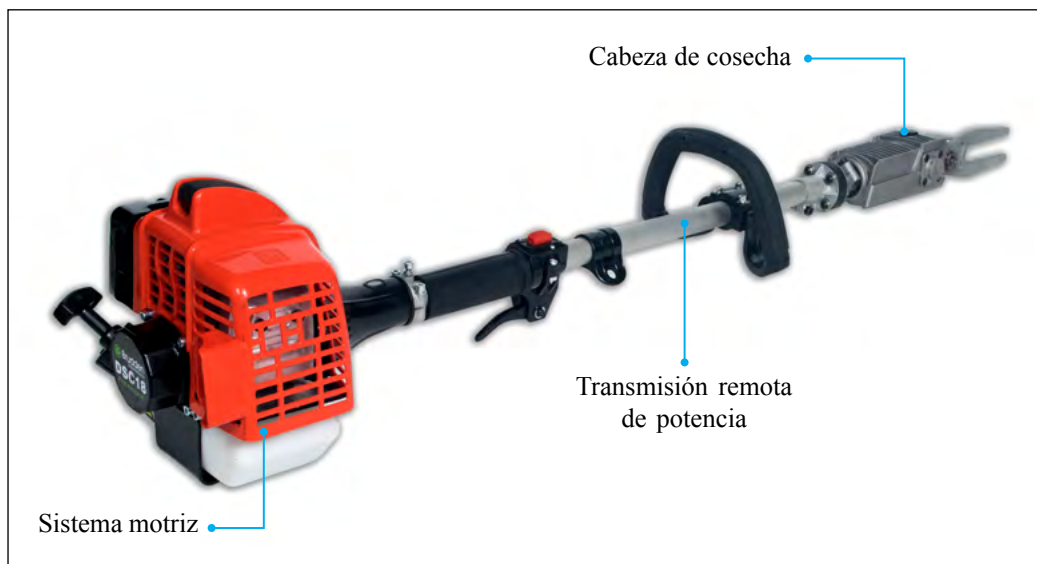


Figura 2. Partes de la máquina derribadora DSC18.

consiste en aumentar la velocidad de giro desde 9.000 hasta 13.500 r min^{-1} (equivalente a 220 Hz), y la segunda consiste en convertir el movimiento giratorio en movimiento oscilatorio de $1,1^\circ$ de amplitud, con el fin de tener la horquilla oscilando con una amplitud de 3 mm en el extremo, a una frecuencia de 220 Hz.

El aumento de velocidad de giro se realiza internamente con una transmisión de 1,0:1,5 conformada por dos piñones cónicos de alto ajuste. Por otro lado, el cambio de movimiento se realiza a través de un mecanismo excéntrico.

Dadas las altas velocidades de giro, las características de los mecanismos internos y la alta frecuencia de las vibraciones, en la cabeza de cosecha se disipa energía en forma de calor, lo que hace que las piezas que la conforman, aumenten su temperatura. Por esa razón, se requiere de lubricación interna con aceite de alta viscosidad e intercambio de calor con el ambiente a través de aletas.

El aparato posee piezas que balancean los mecanismos que hay al interior de la cabeza de cosecha, sin embargo, dada las características de la oscilación generada, todavía hay vibraciones que son transmitidas a la estructura de la máquina. Así mismo, cuando los operarios tocan las ramas, también se sienten las reacciones de la fuerza que se ejerce, en forma de vibración. Para disipar las vibraciones que llegan al operario a través de la estructura cuando utiliza la derribadora, el equipo posee un amortiguador conformado por un acople con un elastómero de características especiales, ubicado en un sitio adecuado entre la cabeza vibratoria y las manos del operario.

La horquilla es en forma de U y es el elemento principal de la cabeza de cosecha (Figura 3), el cual está sometido a grandes esfuerzos mecánicos por las altas vibraciones y por las reacciones mencionadas. Por esta razón, esta pieza requirió un material de construcción liviano pero muy resistente (aleación de aluminio de alta resistencia),

especialmente a la fatiga, lo mismo que mayor dedicación de diseño y pruebas de laboratorio antes de volverla una pieza comercial.

El punto de aplicación de la vibración o toque sobre las ramas se hace solamente con las caras externas de la horquilla, como se muestra en la Figura 4. La parte interior de la U de la horquilla es para hacer el repase de los frutos que no hayan sido desprendidos con el toque de cosecha, como se va a explicar más adelante.

Principios físicos que gobiernan el fenómeno

La cosecha de café con la derribadora DSC18 está gobernada fundamentalmente por dos principios físicos: La propagación de ondas en medio sólido y la falla de estructuras por fatiga.

Propagación de ondas en medio sólido.

Cuando un cuerpo golpea una rama de café, ella sirve de medio para que una onda se propague hasta el extremo. Cuando la horquilla de la derribadora DSC18 toca la rama vibrando a 220 Hz, esa serie de ondas se propagan hasta el extremo a esa alta frecuencia. Ese efecto hace que todas las partes de la rama y

todos los órganos que están sobre las ramas se muevan a esa misma frecuencia.

No obstante, dado que la rama es muy poco rígida por su naturaleza visco elástica, la vibración se disipa fácilmente. Por esta razón, debe aplicarse la vibración en un punto donde la estructura tenga mayor rigidez, lo que sucede cerca de la unión de la rama y el tallo, conocido como punto de inserción. Por esta razón, se recomienda hacer el toque con la horquilla vibrante a 5 o 10 cm del punto de inserción, para que la propagación de la onda sea efectiva.

Las características de la propagación de la onda en la rama hacen que la derribadora sea solamente apta para trabajar bien en ramas primarias. Afortunadamente, todas las variedades que se siembran en Colombia tienen como característica particular que están conformadas por ramas primarias. No obstante, en árboles de quinta cosecha es común encontrar algunas pocas ramas secundarias en las partes bajas, en las que los frutos maduros no se desprenden por el efecto de la vibración impartida por la derribadora. Esto también limita el uso de la máquina en plantaciones donde se practican podas, como la poda calavera,

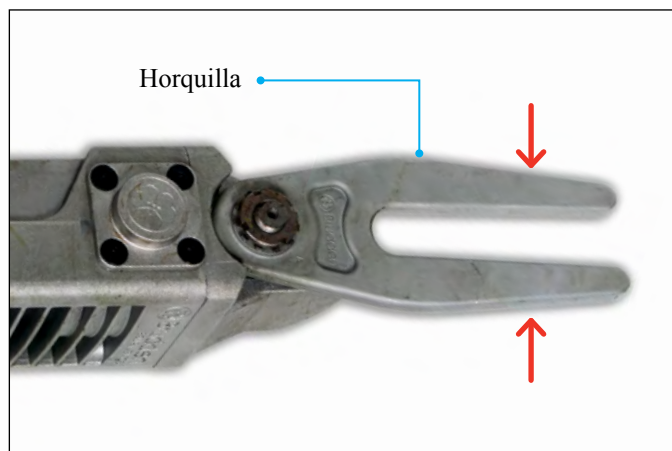


Figura 3. Cabeza de cosecha mostrando los puntos con los que se tocan las ramas.

el despunte y la zoca pulmón, descritas por Rendón (2016), porque la producción se da en ramas secundarias y terciarias.

Falla por fatiga. Cuando se hacen movimientos repetidos sobre una estructura, esta colapsa si los esfuerzos alcanzan un valor predeterminado por la fatiga. Por eso es que cuando a un alambre se le aplican movimientos repetidos, se corta cuando alcanza cierto número de ciclos. Lo mismo sucede con la estructura del pedúnculo, falla cuando alcanza cierto número de ciclos, dependiendo de la frecuencia de vibración.

Cuando las ondas se propagan sobre las ramas, los frutos experimentan movimientos oscilatorios y desplazamientos repetidos que hacen que los pedúnculos fallen por fatiga y los frutos caigan. La clave de la derribadora para que sea selectiva es que los frutos maduros necesitan menos ciclos para fallar por fatiga que los frutos verdes. Por esta razón, dado que la caída selectiva de los frutos maduros depende del tiempo de aplicación de vibración sobre la rama, la experiencia de los operarios juega un papel muy importante en el uso efectivo de la máquina.

Metodología

Esta investigación se realizó en lotes de seis de las Estaciones Experimentales de Cenicafé, ubicadas en Paraguaicito (Quindío), La Trinidad (Tolima), El Tambo (Cauca), San Antonio (Santander), El Rosario (Antioquia) y Pueblo Bello (Cesar), las cuales presentaron condiciones contrastantes de pendiente, distancia de siembra y edad de la plantación. Las pruebas se realizaron entre los meses de abril y noviembre de 2019.

Las pruebas se programaron con base en el pronóstico de cosecha basado en los registros de floración usando el método de

Rendón et al. (2008), en el cual se seleccionó el pase más voluminoso. Al pase de cosecha seleccionado se le practicó la retención entre 30 y 35 días, para tener mayor disponibilidad de frutos maduros, sin afectar la calidad del producto.

En cada lote seleccionado se realizaron todas las prácticas agronómicas recomendadas por Cenicafé. El resto de los pases de cosecha se recolectaron de diferente forma. Los flujos de cosecha muy bajos con cosecha tradicional con coco, pases más voluminosos con lonas y se dejó el pase de mayor producción para las pruebas con la derribadora DSC18.

Para usar la derribadora DSC18 se tuvieron en cuenta las condiciones mínimas de carga y concentración de frutos maduros de 1,0 kg por árbol y 50%, respectivamente. Cuando no se cumple con estos requerimientos, se espera una reducción en el rendimiento, porque se dedica mucho tiempo de repase, y un mayor contenido de frutos verdes en la masa cosechada. La derribadora se usó en combinación con las lonas, que son implementos fabricados con mallas de 70% de sombreamiento, de 3,0 m x 12,5 m, hechas de fibra de polipropileno y con cierre Velcro® en sus extremos más largos, las cuales son extendidas debajo de los árboles, con el fin de recibir los frutos desprendidos, ya sea manualmente o con máquina (Sanz et al., 2018b; Oliveros et al. 2006).

Antes de las pruebas se seleccionaron tres operarios de la Estación Experimental correspondiente, quienes fueron entrenados tanto en el manejo de las lonas como en el manejo del equipo Brudden DSC18. A los recolectores se les enseñó a manejar las lonas para hacer cada una de las labores requeridas en el menor tiempo posible. Así mismo, se les aclaró que, con la máquina acelerada al máximo, el punto de toque de la horquilla debe ser en un lugar donde la rama es rígida,

lo cual ocurre a unos 5 o 10 cm de distancia desde la inserción de la rama al tallo principal; también que, el tiempo de aplicación de la vibración en la rama es menor de 1,0 s para ser selectivo, y que el toque de la horquilla debe hacerse sin desplazamiento lateral para no causar daño sobre la rama.

Antes de cada prueba se conformó aleatoriamente una pareja de operarios, con el fin de mantener un suplente. La recolección para esta investigación siempre se hizo con el sistema: dos máquinas, dos lonas y dos operarios. Las pruebas se hicieron por toda la jornada, por lo que la duración de la jornada fue variable dependiendo del clima. Las variables de respuesta fueron duración de la jornada (horas), masa de café recolectado (kg), contenido de frutos verdes en la masa cosechada (%), frutos maduros dejados en los árboles (frutos/sitio) y frutos caídos al suelo (frutos/sitio). Con la masa recolectada y el tiempo empleado durante la jornada se calculó el rendimiento (kg h^{-1}), incluyendo el tiempo ocioso y el tiempo invertido en la labor.

Como referencia, el rendimiento promedio de un recolector con el sistema tradicional es de $12,5 \text{ kg h}^{-1}$, se permite hasta 2,5% de frutos verdes en la masa cosechada, pueden dejarse hasta un máximo de 5 frutos maduros por sitio sin desprender, y se acepta hasta un máximo de 5 frutos caídos por sitio accidentalmente sobre el suelo. Se estima que un contenido de frutos verdes en la masa cosechada por encima de 2,5% tiene incidencia negativa sobre la calidad del producto final (Puerta, 2000), mientras que los límites de frutos sin desprender y de pérdidas al suelo están dados para control de la broca del café (Bustillo et al., 1994).

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo de la cosecha con la derribadora DSC18

y las lonas, además de todas las actividades que se requieren durante el trabajo.

Para comenzar, se tuvieron listos todos los elementos, implementos y equipos necesarios para empezar la cosecha de café con la derribadora. Posteriormente se hicieron las actividades para tener las lonas listas para recibir los frutos desprendidos con la máquina, como son extender las lonas en la posición correcta y cerrar el velcro para que haya cubrimiento total debajo de los árboles. Posteriormente, se realizó la cosecha con la máquina de la manera recomendada y se hizo el repase de los árboles, de ser necesario. Después se despegaron cuidadosamente las lonas y se analizó si el contenido estaba en el orden de los 40 o 50 kg; si no estaban muy pesadas, las lonas se reubicaron en otra parte del surco o en nuevo surco para extenderlas en ese sitio y se realizó nuevamente el ciclo de cosecha. Si la lona estaba muy pesada, se movió el café desprendido hacia el extremo, se removieron las hojas y se empacó el café en las estopas. Si la jornada no había terminado, se reubicaron las lonas en un nuevo sitio de recolección y se procedió a realizar nuevamente el ciclo de cosecha.

Los datos se analizaron a través de medidas de tendencia central en las que se determinó el promedio y como medida de dispersión la desviación estándar, de cada una de las variables que miden el desempeño de la máquina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las seis de las Estaciones Experimentales de Cenicafé seleccionadas para esta investigación, se removieron del análisis las pruebas realizadas en Paraguaicito (Quindío), La Trinidad (Tolima) y Pueblo Bello (Cesar), porque no presentaron la carga mínima ($1,0 \text{ kg/árbol}$) para obtener buen desempeño con el uso de la máquina.

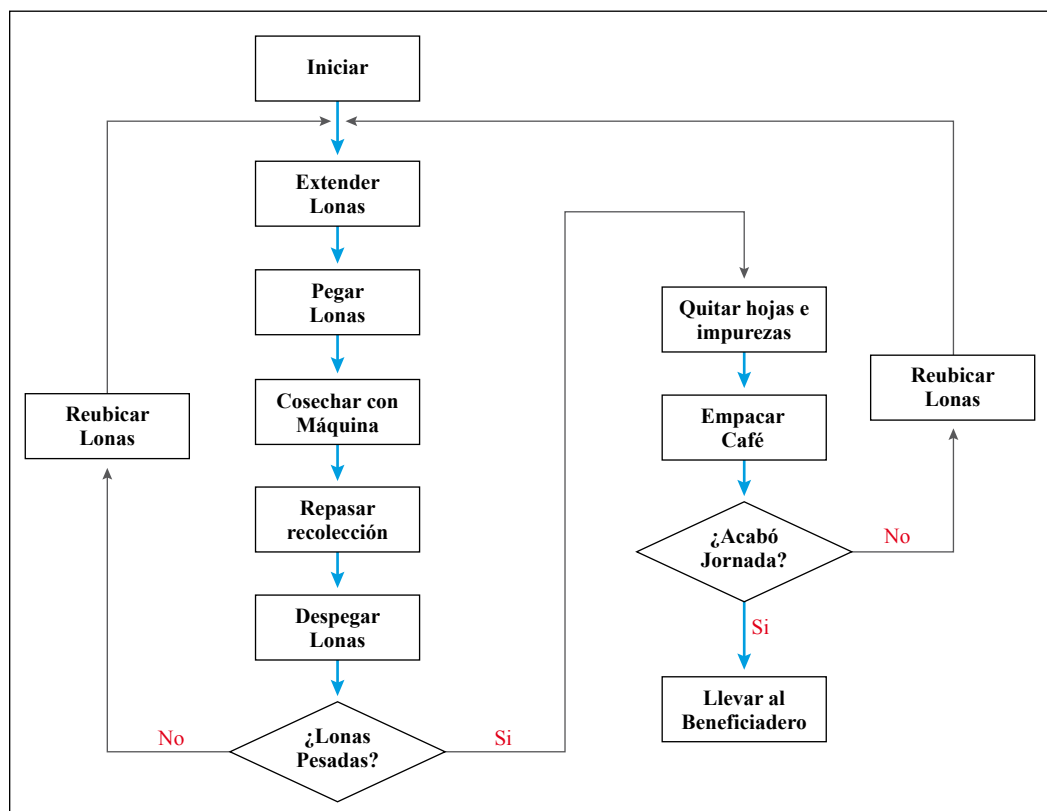


Figura 4. Diagrama de flujo de la cosecha de café con derribadora DSC18.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos entre los meses de abril y noviembre de 2019. En la tabla, *R* se refiere a rendimiento (kg h^{-1} ·por hombre), *V* a contenido de frutos verdes en la masa cosechada en porcentaje, *M* al promedio de frutos cosechables dejados en los árboles (unidades/sitio), y *P* al promedio de frutos dejados en el suelo (unidades/sitio). Adicionalmente, en la misma Tabla 2 se encuentra el nombre de la Estación Experimental, la cosecha en la que se encontraban los árboles de la plantación, las distancias de siembra y la carga promedio por árbol.

Para hacer una comparación del rendimiento con respecto al método tradicional se tomó

como referencia la distribución del rendimiento hallado por Duque y Dussan (2004), quienes encontraron que el rendimiento promedio de los recolectores fue de $82,6 \text{ kg día}^{-1}$, es decir, un rendimiento promedio de $10,33 \text{ kg h}^{-1}$ a razón de 8 h de trabajo por día, con una desviación estándar de $4,19 \text{ kg h}^{-1}$. Y con el fin de hacer una comparación de la distribución, se construyó un histograma con intervalos de 5 kg h^{-1} de acuerdo al histograma obtenido por Duque y Dussan (2004), y se construyó otro histograma con intervalos de $5,0 \text{ kg h}^{-1}$ con los datos hallados en el presente trabajo (Figura 5).

El promedio general del rendimiento con la máquina fue de $28,53 \text{ kg h}^{-1}$ ·por hombre, lo

que es 2,8 veces más rápido que la cosecha con el método manual tradicional. No obstante, el histograma del desempeño de la cosecha con derribadora DSC18 tiene una alta desviación estándar (medida de dispersión), lo cual se explica porque todavía está en proceso de aprendizaje de utilización del equipo y adopción de los conceptos de cosecha asistida.

El promedio de los frutos verdes en la masa cosechada fue de 6,07%, el cual es aceptable para la cosecha semi-mecanizada de café, lo que hace resaltar el carácter selectivo de la máquina, pues se encuentra muy cerca del contenido de frutos verdes en la masa cosechada manualmente, ya que no hay cuantificación de los frutos verdes que dejan los recolectores en los lotes para cumplir con los estándares de la recolección en las fincas. El promedio de 6,67 unidades/sitio de frutos cosechables dejados en los árboles estuvo ligeramente por encima del límite de 5 unidades/sitio para control de broca, lo cual se considera aceptable para cosecha semi-mecanizada.

El promedio de las pérdidas de 12,77 frutos/sitio está lejos de ser aceptable, pues

el valor difiere de los obtenidos en otras evaluaciones, y no está relacionado con el desempeño de la máquina sino con el manejo de las lonas, lo cual es susceptible de mejora con la experiencia. Adicionalmente, las pérdidas de frutos al suelo en las pruebas realizadas en la Estación Experimental El Rosario estuvieron por encima de los 40 frutos/sitio, las cuales tuvieron gran influencia en el alto valor del promedio general; si no se incluyeran estos dos valores, el promedio sería de 6,92 unidades/sitio, valor que se encuentra cerca del límite aceptable (5 unidades/sitio) para la cosecha con máquinas portátiles motorizadas.

Adicionalmente, se encontró una tendencia directamente proporcional entre el aumento de la carga de frutos cosechables y el rendimiento de los operarios (Figura 6).

En conclusión, la cosecha de café con la derribadora selectiva de café DSC18 presentó un aumento del rendimiento en comparación con el sistema tradicional (180%), atractivo para ser usada en las fincas cafeteras. Adicionalmente, fue comprobado el carácter selectivo de la máquina, dado el bajo contenido de frutos

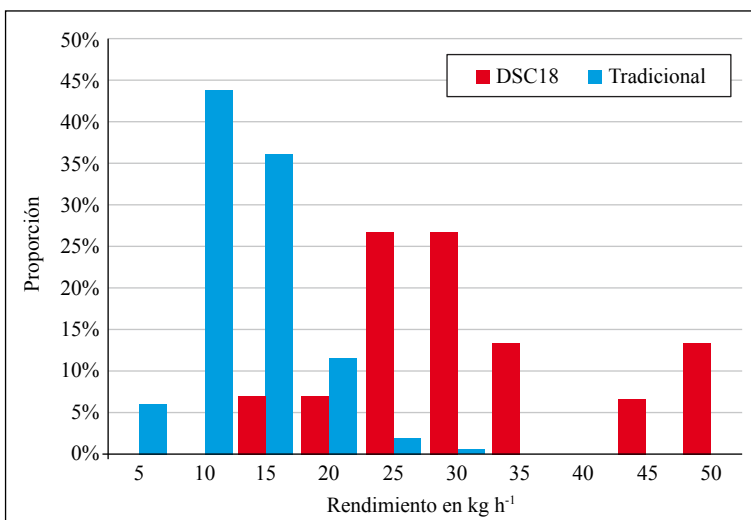


Figura 5. Distribución del rendimiento con derribadora DSC18 y con cosecha tradicional con coco.

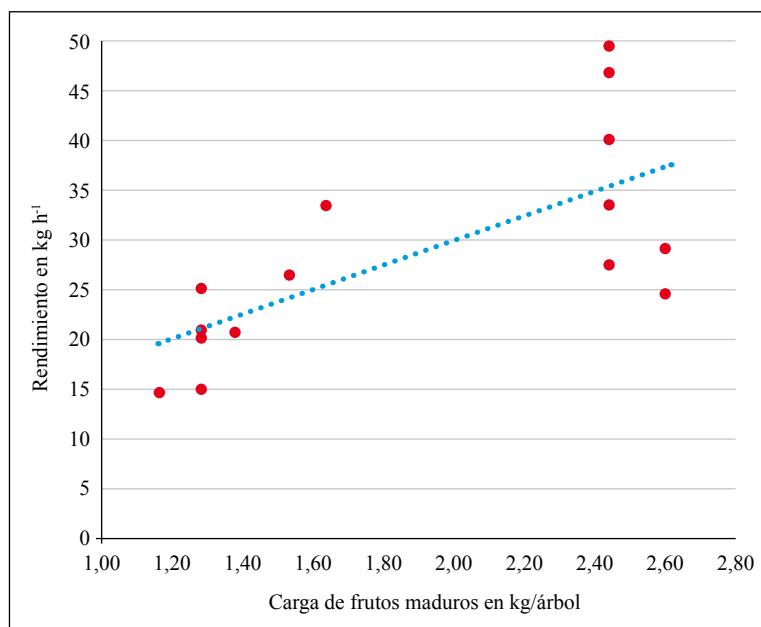


Figura 6. Tendencia del rendimiento con la máquina DSC18 con relación a la carga de frutos cosechables.

verdes en la masa cosechada. Se considera que cuando haya mayor experiencia en el uso de la retención de pases de cosecha, manejo de las lonas y manejo de la máquina, los indicadores tendrán mejores valores que los obtenidos en esta investigación.

Así mismo, durante y posterior a las pruebas, se han hecho seguimientos a los árboles que fueron cosechados con la máquina, con el fin de observar posibles efectos adversos sobre las plantas. Se tienen plantaciones que han sido cosechadas en segunda oportunidad con la derribadora DSC18 y no se observan plantas afectadas por enfermedades que puedan entrar por los lugares donde se hace el contacto, ni disminuciones en la producción.

También se han hecho evaluaciones del desprendimiento de otros órganos como hojas, botones florales y frutos verdes pequeños. Se ha determinado que las hojas que caen por el efecto de la vibración son aquellas

que ya cumplieron su ciclo, y son aquellas que también se desprenden cuando se hace la cosecha manual. Las hojas sanas, flores, botones florales y frutos de café pequeños no se caen porque tienen una masa muy pequeña que hace que vibren en menor medida y que no se afecten sus estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimientos a la empresa Brudden de Brasil, particularmente a los señores Evair Rojo, Marcelo Bissoli y Jose Luiz Burgueti. En Cenicafé a Carlos Gonzalo Mejía, Myriam Cañón, Carlos Ramírez, José Baute, Henán Menza, Carlos Ospina y Carlos Ariza. También reconocen el compromiso de Andrés Henao y José Jaramillo, auxiliares de investigación en este proyecto, y a los trabajadores agrícolas de las Estaciones Experimentales que hicieron parte de esta investigación.

LITERATURA CITADA

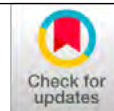
- Álvarez, J. A., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Moreno, E. L. (2006). *Evaluación técnico-económica de un sistema de cosecha manual asistida de café*. Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Neiva, Colombia.
- Álvarez, J. A., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A. (2004). Evaluación de dos sistemas para el manejo de mallas en la cosecha manual del café. *Revista Cenicafé*, 55(2), 130–135. <http://hdl.handle.net/10778/110>
- Álvarez, E., Álvarez, F., Oliveros, C. E., & Montoya, E. C. (1999). Propiedades físico-mecánicas del fruto de café y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 52(2), 701–720. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23916>
- Araque, H., Oliveros, C. E., Sanz, J. R., & Ramírez, C. A. (2005). Desempeño de vibradores portátiles del tallo en la cosecha del café. *Revista Cenicafé*, 56(4), 339–347. <http://hdl.handle.net/10778/114>
- Aristizábal, I. D., Oliveros, C. E., Álvarez, F. (2003). Physical and mechanical properties of the coffee tree related to harvest mechanization. *Transactions of the ASAE*, 46(2), 197–204. <https://doi.org/10.13031/2013.12947>
- Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Villalba, D. A., Benavides, P., Orozco, J., Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/848>
- Cardona, J. A. (2006). *Diseño de una máquina portátil para la cosecha asistida de Café* [Tesis Pregrado]. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ciro, J. H., Álvarez, F., & Oliveros, C. E. (1998a). Estudio experimental de la dinámica de las vibraciones longitudinales y transversales aplicadas a las ramas de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(2), 245–275. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28969>
- Ciro, J. H., Oliveros, C. E., & Álvarez, F. (1998b). Estudio dinámico bajo oscilación forzada del sistema fruto-pedúnculo (S.F.P.) del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(1), 63–90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28857>
- Ciro, J. H., Oliveros, C. E., Álvarez, F., Montoya, E. C. (1998c). Respuesta dinámica de la rama del cafeto a la aplicación de vibraciones unidireccionales. *Revista Cenicafé*, 49(2), 151–161. <http://hdl.handle.net/10778/822>
- Díaz, D., Ramírez, C. A., Oliveros, C. E., & Moreno, E. L. (2009). *Cosecha de café con el equipo STIHL SP-81 de actuadores oscilantes*. *Revista Cenicafé*, 60(1), 41–57. <http://hdl.handle.net/10778/111>
- Duque, H., & Dussan, C. (2004). Productividad de la mano de obra en la cosecha de café en cuatro municipios de la región cafetera central de Caldas. *Revista Cenicafé*, 55(3), 246–258. <http://hdl.handle.net/10778/256>
- Londoño, D., Oliveros, C. E., & Moreno, M. A. (2002). Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 53(2), 93–105. <http://hdl.handle.net/10778/1018>
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R. (2011). Ingeniería y Café en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*. 33, 99–114. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n33/n33a11.pdf>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., & Sanz, J. R. (2013). Cosecha del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 320–348). Cenicafé.
- Oliveros, C. E., Álvarez, J. A., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Moreno, E. L., & Peñuela, A. E. (2006). Cosecha manual de café utilizando mallas plásticas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 354, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/398>
- Oliveros, C. E., Benítez, R., Álvarez, F., Aristizábal, I. D., Ramírez, C. A., & Sanz, J. R. (2005a). Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2697–2708. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/21512>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Buenaventura, J. D., & Sanz, J. R. (2005b). Diseño y evaluación de una herramienta para agilizar la cosecha manual de café. *Revista Cenicafé*, 56(1), 37–49. <http://hdl.handle.net/10778/101>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., & Acosta, R. (2005c). Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 3003–3013. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24257>

- Portafolio. (2018, noviembre 22). *Así funciona la máquina para recolectar 360 kilos de café por jornal*. Portafolio. co. <https://www.portafolio.co/economia/asi-funciona-la-maquina-para-recolectar-360-kilos-de-cafe-por-jornal-523645>
- 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>
- Ramírez, C. A., Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Acosta, R., & Buenaventura, J. D. (2006). Desgranador mecánico portátil para la cosecha del café – Descafé. *Revista Cenicafé*, 57(2), 122–131. <http://hdl.handle.net/10778/209>
- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé*, 59(3), 238–259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- 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>
- Sanz, J. R., Duque, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 487, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4219>

EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE CAL PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAFÉ

Laura Vanessa Quintero Yepes *, Nelson Rodríguez Valencia *

Quintero-Yepes, L., & Rodríguez-Valencia, N. (2020). Evaluación de tres tipos de cal para el tratamiento primario de las aguas residuales del café. *Revista Cenicafé*, 71(2), 105-117. <https://doi.org/10.38141/10778/71208>



Con el fin de encontrar una alternativa de tratamiento primario de las aguas residuales del café para optimizar el funcionamiento de los sistemas biológicos y el acondicionamiento del agua para tratamientos posteriores con productos químicos, se evaluaron procesos de neutralización y precipitación. Al agua residual se adicionaron tres tipos de cal (agrícola, dolomita y apagada), seleccionando aquella con la que se obtuvieran los menores valores de absorbancia y pH en los rangos requeridos para el tratamiento secundario. Para la cal seleccionada se evaluó la eficiencia en la remoción de carga orgánica, en términos de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST). Para las evaluaciones se utilizaron cinco dosis de cal y dos concentraciones de DQO (12.500 y 25.000 mg L⁻¹) del agua residual. Se encontró que la cal apagada (hidróxido de calcio) fue la más apropiada para realizar el tratamiento primario a las aguas residuales del café, con los menores valores de absorbancia (entre 0,392 y 1,089), así como valores de pH en el agua pretratada entre 5,6 y 12,0. Adicionalmente, con la cal apagada se lograron porcentajes de remoción en la carga orgánica contaminante, expresada como DQO, cercanos al 50% y de SST superiores al 75%. Las mejores dosis para el tratamiento primario con cal apagada, a las condiciones evaluadas, fueron: 2,60 g de cal por litro de agua residual con DQO de 12.500 mg L⁻¹ y 4,63 g de cal por litro de agua residual con DQO de 25.000 mg L⁻¹.

Palabras Clave: Tratamiento químico, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, contaminación hídrica, hidróxido de calcio.

EVALUATION OF THREE TYPES OF LIMES FOR THE PRIMARY TREATMENT OF COFFEE WASTEWATER

In order to find an alternative for the primary treatment of coffee wastewater to optimize the functioning of biological systems and the conditioning of water for subsequent treatments with chemical products, neutralization and precipitation processes were evaluated. Three types of lime (agricultural, dolomite and slaked) were added to the residual water, selecting the one with which the lowest absorbance and pH values were obtained in the ranges required for secondary treatment. For the selected lime, the efficiency in the removal of organic load was evaluated in terms of chemical oxygen demand (COD) and TSS. For the evaluations, five doses of lime and 2 concentrations of COD (12,500 and 25,000 mg L⁻¹) of wastewater were used. Slaked lime (calcium hydroxide) was found to be the most appropriate for primary treatment of coffee wastewater, with the lowest absorbance values (between 0.392 and 1.089), as well as pH values in pretreated water between 5.6 and 12.0. Additionally, with slaked lime, removal percentages were achieved in the organic pollutant load, expressed as COD, close to 50% and TSS higher than 75%. The optimal doses for the primary treatment with slaked lime, under the evaluated conditions, were 2.60 g of lime per liter of wastewater with COD of 12,500 mg L⁻¹ and 4.63 g of lime per liter of wastewater with COD of 25,000 mg L⁻¹.

Keywords: Chemical treatments, Chemical Oxygen Demand, total suspended solids, water pollution, calcium hydroxide.

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

Las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio del café son biodegradables, con altos contenidos de materia orgánica, concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) superiores a 15.000 mg L⁻¹ cuando se adopta el beneficio ecológico (consumo de agua menor a 10 L kg⁻¹ de café pergamino seco [cps]) y bajos valores de pH (Rodríguez et al., 2015). En Cenicafé se han desarrollado sistemas biológicos anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales del café, los cuales permiten cumplir con la normativa ambiental vigente y disminuir los impactos negativos ocasionados por la disposición final de los vertimientos. Sin embargo, estos sistemas biológicos tienen como desventaja unos altos tiempos de retención hidráulica (aproximadamente de una semana), además, requieren de monitoreo por parte del usuario de la tecnología para evitar que se presenten sobrecargas orgánicas, ya que la recuperación del sistema de tratamiento puede tardar varios meses, lo que se convierte en un inconveniente en el momento de adoptar la tecnología por parte del caficultor (Rodríguez, 2009). Una forma de optimizar el funcionamiento de estos sistemas es realizando un tratamiento primario que permita remover parte de los sólidos y de la materia orgánica presente en el agua residual.

El tratamiento químico utilizando sales de hierro y aluminio, es otra alternativa para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, dado que permite transformar los compuestos que están en forma de sólidos disueltos y coloidales en compuestos estables y eliminarlos por sedimentación; sin embargo, el bajo pH del agua residual (valores en el rango de 3,0 a 4,0) requiere de un tratamiento primario que permita acondicionar el pH del agua al rango de acción de los coagulantes. Estos rangos de acción dependen del tipo de coagulante a utilizar, así: para el sulfato de aluminio el pH del agua residual debe estar

en el rango entre 6,0 a 9,0; para el cloruro de aluminio entre 5,0 a 10,0; para el sulfato férrico el pH debe ser mayor a 9,0; para el sulfato ferroso debe estar en el rango entre 5,0 a 11,0 y para el cloruro de hierro el pH debe ser mayor a 8,0 (Murillo Castaño, 2011; Llano et al., 2014 & Lorenzo-Acosta, 2006).

En los tratamientos primarios la remoción de la contaminación orgánica normalmente se realiza por operaciones físicas como la sedimentación y en algunos casos por procesos químicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). En el tratamiento primario puede removerse entre el 40% y el 55% de los sólidos en suspensión, y entre el 25% y el 35% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Para ello se emplean, entre otros, sedimentadores como tanques sépticos, tanques Imhoff, tanques de sedimentación simple, clarificadores, tanques de flotación y tanques de precipitación química (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

En la literatura se reporta que compuestos como el óxido de calcio, el hidróxido de calcio, el carbonato de calcio, entre otras fuentes de calcio, son útiles para realizar tratamiento primario a las aguas residuales dado que permiten acondicionar el pH, regular la alcalinidad, reducir la presencia de sólidos y de carga orgánica (Cordero, 1977; Lardé, 1995; Orozco, 1973 & Sevillano, 2017).

Dentro de los aspectos relevantes de estos estudios se encuentra, el uso de cal apagada (hidróxido de calcio) para el tratamiento de aguas residuales del café con concentraciones de sólidos totales en un rango entre 7.100 a 18.500 mg L⁻¹, encontrando dosis óptimas entre 0,4% y 0,6% p/v y remociones del 39,7% en la DBO₅ (Lardé, 1995). De igual forma, Sevillano (2017) evaluaron el uso del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas residuales ácidas procedentes de la

explotación minera, encontrando como dosis óptima de hidróxido de calcio 10 g L^{-1} con remociones del 52,82% de plomo, 99,96% de sólidos suspendidos y 99,42% sólidos disueltos.

Vanerker et al. (2013) evaluaron el uso de cal en la remoción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales provenientes de procesamiento de alimentos, las evaluaciones consistieron en el uso de cal sola y en mezcla con coagulantes químicos, los resultados obtenidos muestran que la cal sola actúa de forma eficiente, la dosis óptima de cal encontrada fue de 200 mg L^{-1} con remociones superiores al 40% en sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.

Nacheva et al. (1998) evaluaron tres reactivos precipitantes: hidróxido de calcio, hidróxido de sodio y carbonato de sodio en aguas residuales provenientes del proceso de curtido de pieles, encontrando que con el uso de reactores intermitentes o en continuo, puede lograrse una remoción del cromo trivalente mayor al 99,7% en dosis de 2,2 a $3,3 \text{ g g}^{-1}$. Además de la remoción de cromo, en el tratamiento del agua residual mediante precipitación y sedimentación, lograron remover alrededor del 50% de la DQO con los tres agentes precipitantes, y una remoción del 80% de los sólidos suspendidos totales (SST) con los hidróxidos y del 45% con el carbonato de sodio.

Teniendo en cuenta las referencias citadas y la necesidad de encontrar un tratamiento aplicable a las aguas residuales del café que permita optimizar los sistemas existentes, en esta investigación se evaluó como alternativa para el tratamiento primario de las aguas residuales del café provenientes del lavado en el tanque tina, una combinación de dos procesos físico-químicos, a saber: 1. Neutralización, que consiste en una reacción entre un ácido y una base, este proceso es utilizado para el

acondicionamiento del pH del agua residual y así poder realizar tratamientos posteriores o un vertimiento que cumpla con la normativa ambiental vigente; 2. Precipitación, que es un proceso de separación de sustancias por sedimentación, mediante la adición de productos químicos que reaccionan con las sustancias contaminantes presentes en el agua, para formar compuestos insolubles en ella y con densidades mayores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el laboratorio de aguas de la Disciplina de Poscosecha, en Cenicafé sede La Granja, ubicada en el municipio de Manizales (Caldas), a una altitud 1.310 m y con una temperatura media anual de $21,0^{\circ}\text{C}$.

Para llevar a cabo los procesos de neutralización y precipitación, como tratamiento primario de las aguas residuales del beneficio del café, se evaluó la adición de tres tipos de cal al agua residual, seleccionando aquella con la que se obtuvieran los menores valores de absorbancia (variable de respuesta en este tipo de procesos) y un pH en los rangos requeridos para un tratamiento secundario. De igual forma, para la cal seleccionada se evaluó la eficiencia en la remoción de carga orgánica, en términos de DQO y SST, parámetros utilizados por la autoridad ambiental para realizar el cobro de la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta de las fuentes de agua superficial para realizar el vertido (Decreto 2667, 2012).

Las evaluaciones se realizaron mediante el uso del test de jarras, que es la metodología utilizada a escala de laboratorio, cuando se van a realizar pruebas de eficiencia de productos químicos y determinación de dosis adecuadas tanto para potabilización del agua como para el tratamiento de aguas residuales (Cordero, 1977; Lardé, 1995; Orozco, 1973 & Sevillano,

2017). Para llevar a cabo este proceso se aplicó la cal en 500 mL de agua residual del café (unidad experimental) y se realizó una agitación a 120 rpm durante 5 minutos, seguidamente se agitó a 60 rpm durante 25 minutos y, finalmente, se dejó sedimentar a temperatura ambiente por 24 horas, de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Técnica Colombiana [NTC 3903] (ICONTEC, 2010). Después de este proceso, a una muestra de 25 mL se determinó la absorbancia por espectrofotometría a 525 nm (Resolución 631) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), se seleccionó la absorbancia dado que es la variable recomendada para encontrar las mejores dosis cuando se utiliza la prueba del test de jarras (Iannacone & Molano-Linares, 2018; Olivero-Verbel et al., 2017;). De igual forma, se determinó como variable complementaria la turbidez; este proceso se repitió para las tres cales evaluadas, a cinco dosis diferentes. Por cada dosis evaluada y para cada cal se tuvieron diez repeticiones.

Las cales evaluadas fueron: cal apagada, cal agrícola y cal dolomita, las cuales fueron seleccionadas de acuerdo a estudios previos en otros tipos de agua y a la facilidad de

adquisición en los comercios locales. Se evaluaron inicialmente cinco dosis para cada una de las tres cales (1.000, 2.000, 3.000, 4.000 y 5.000 mg L⁻¹), para la selección de las concentraciones se tomó como referencia un estudio previo realizado en aguas residuales del café (Lardé, 1995) y observaciones preliminares realizadas en el laboratorio de aguas de Cenicafé.

El efecto de las cales se evaluó en agua residual del café con una concentración de DQO de 12.500 mg L⁻¹ (concentración mínima del agua residual proveniente del beneficio ecológico). En esta primera etapa el objetivo fue comparar el efecto de las tres cales para posteriormente seleccionar la más adecuada y así acotar los rangos de las dosis a evaluar. La selección de la cal apropiada para realizar el tratamiento primario del agua se realizó con base en las variables absorbancia y pH. En la Figura 1 se ilustra el aspecto del agua residual después de agregar las tres cales evaluadas y separar el sobrenadante.

Después de seleccionar la cal con la cual se obtuvieron los menores valores de absorbancia y un pH adecuado para un tratamiento posterior, se evaluaron diez dosis del producto en dos

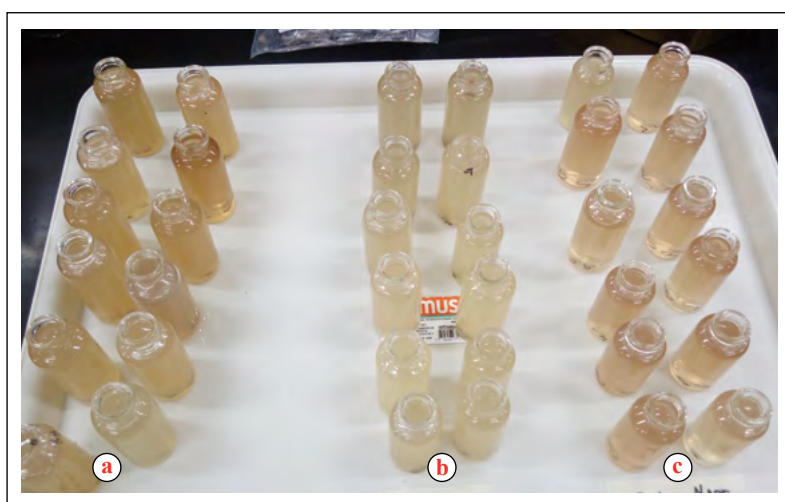


Figura 1. Muestras de agua residual después del proceso de tratamiento con las tres cales evaluadas. **a.** Cal apagada. **b.** Cal agrícola. **c.** Cal dolomita.

tipos de agua residual: con DQO de 12.500 mg L⁻¹ (concentración mínima del agua residual proveniente del beneficio ecológico) y con DQO de 25.000 mg L⁻¹ (concentración máxima del agua residual proveniente del beneficio ecológico del café en tanques de fermentación). La selección de las dosis a evaluar se realizó de acuerdo a los mejores valores encontrados en la primera etapa y a estudios previos (Lardé, 1995). Para este evaluación se realizó el mismo procedimiento (test de jarras) descrito anteriormente para las tres cales, la unidad experimental fueron 500 mL de agua residual y se realizaron cinco repeticiones por cada dosis. En la Figura 2 se ilustra el procedimiento utilizado. Una vez terminado el proceso se determinaron la absorbancia, el pH y la turbidez a cada una de las muestras de agua tratada.

La selección de las mejores dosis de cal se realizó tomando como referencia los menores valores de la variable de respuesta (absorbancia) los cuales se contrastaron con los datos de turbidez. De igual forma, se validó esta selección realizando una regresión con los datos obtenidos, seleccionando la mejor función de ajuste (polinómica, exponencial,

logarítmica) teniendo como factor de selección la función con un coeficiente de determinación (R²) más cercano a uno. Una vez encontrada la función de ajuste para ambas concentraciones de DQO (12.500 y 25.000 mg L⁻¹), se procedió a encontrar la mejor dosis, para ello se utilizó la función SOLVER de Microsoft Excel (versión 2013) y así encontrar, en la ecuación obtenida, la dosis que generara el valor mínimo de absorbancia.

Al agua residual tratada con la mejor dosis encontrada y una dosis por encima y otra por debajo de la misma, se le realizó una caracterización fisicoquímica en los parámetros DQO y SST, con el fin de determinar los porcentajes de remoción obtenidos con el tratamiento primario. La DQO se determinó por el método de reflujo cerrado, método colorimétrico desarrollado por la HACH y aprobado por la *Environmental Protection Agency* [U.S.EPA] (HACH Company, 1988) y los sólidos suspendidos (SST) por el método gravimétrico (American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] & Water Pollution Control Facility [WPCF], 1992).

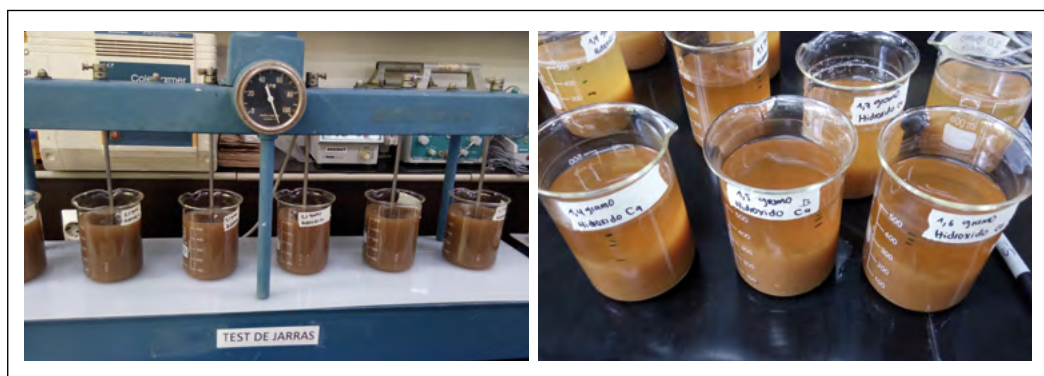


Figura 2. Test de jarras en el tratamiento primario del agua residual del café. **a.** Agitación de la muestra de agua residual y cal. **b.** Sedimentación del material coagulado, a las 24 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 3 y 4 se presenta el comportamiento promedio de las variables absorbancia y pH (incluyendo los intervalos de confianza del 95%, para las cinco repeticiones) en las evaluaciones realizadas con las tres cales: cal apagada, cal dolomita y cal agrícola, a cinco dosis diferentes en aguas residuales del café a una concentración de 12.500 mg L⁻¹ como DQO.

De acuerdo a lo encontrado en esta primera etapa, los menores valores de absorbancia (entre 0,392 y 1,089) se encontraron cuando se utilizó cal apagada (Figura 3). Adicionalmente, en

caso de que se vaya a realizar un tratamiento secundario al agua residual del café utilizando productos químicos (procesos de coagulación-floculación), con la adición de la cal apagada se obtienen valores de pH en los rangos de acción de los coagulantes químicos (entre 5,58 y 11,95) (Figura 4).

En cuanto a las otras dos cales evaluadas: el agua residual tratada con la cal dolomita presentó valores de absorbancia altos (entre 1,572 y 1,761) y valores de pH entre 3,85 y 4,67. Por su parte con el uso de cal agrícola los valores de absorbancia en el agua tratada, fueron menores a los de la cal dolomita (entre 0,891 y 1,413) pero superiores a los obtenidos

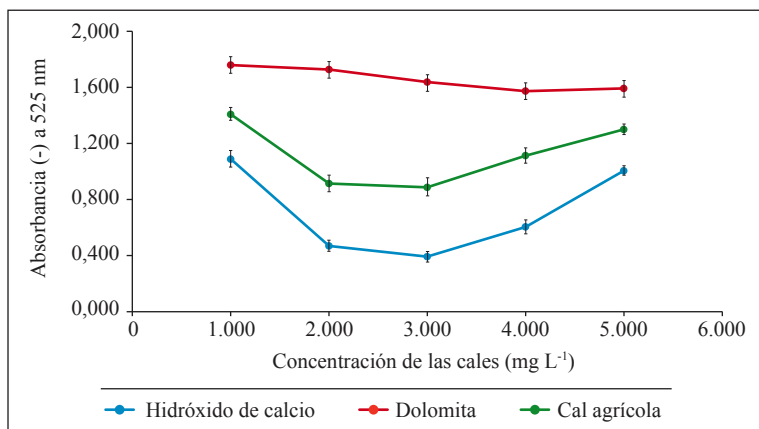


Figura 3. Comportamiento de la absorbancia del agua residual tratada con las tres cales evaluadas. Las barras de error corresponden al intervalo de confianza.

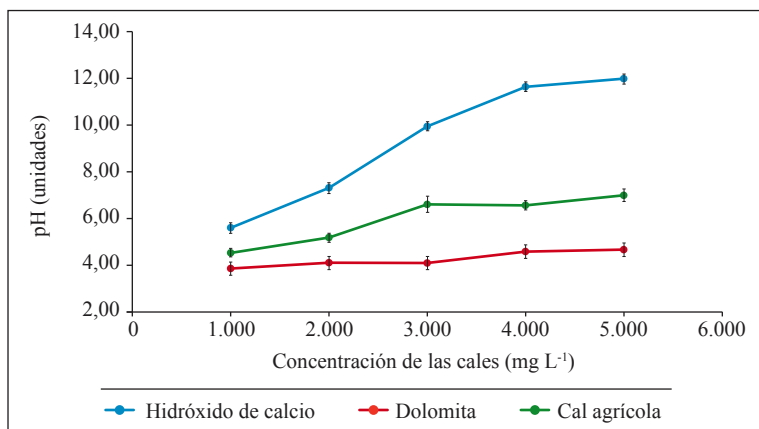


Figura 4. Comportamiento del pH del agua residual tratada con las tres cales evaluadas. Las barras de error corresponden al intervalo de confianza.

con cal apagada y el pH presentó valores entre 4,54 y 6,99. Con el fin de realizar una selección acertada del tipo de cal, los valores absorbancia se compararon con los valores de turbidez (Tabla 1) para corroborar que los valores de absorbancia mínimos correspondieran a los menores valores de turbidez.

Realizando esta comparación se corrobora que la cal más apropiada para el tratamiento primario de las aguas residual del café es el hidróxido de calcio o cal apagada, la cual debe tener un contenido mínimo del 52% de Ca expresado como CaO, en contraste con una cal agrícola cuyo contenido de CaO es de 39,2% (NTC 5424) (ICONTEC, 2006).

La selección de cal apagada como un producto de utilidad en el tratamiento de las aguas residuales del café se ajusta a lo encontrado en otras investigaciones (Lardé, 1995; Nacheva et al., 1998; Sevillano, 2017 & Vanerkar et al., 2013), con otro tipo de aguas residuales, en las cuales se menciona que el hidróxido de calcio es una base que reacciona contra la acidez y los metales elevando el pH. Adicionalmente, es un coagulante económico que tiene la capacidad de precipitar metales y sólidos que se encuentran disueltos facilitando su remoción; por lo cual, es utilizado en diversos tratamientos químicos (Tejada, 2017).

En la Figura 5 se presenta el comportamiento de la variable absorbancia, en la evaluación de la cal apagada para el tratamiento primario del agua residual del beneficio de café, con una DQO de 12.500 mgL⁻¹. De igual forma, se presenta el ajuste realizado y la ecuación obtenida para encontrar la mejor dosis. En este ajuste se incluyeron los datos encontrados en la primera etapa para concentraciones de cal apagada de 1.000 y 5.000 mg L⁻¹ y así ampliar el número de datos en la curva. En la Tabla 2 se presentan los resultados de las variables pH y turbidez en la evaluación realizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 5 y Tabla 2), los menores valores de absorbancia (0,269 a 0,374) y turbidez (328 a 427) se presentaron para las dosis de cal apagada, los cuales se encuentran en el rango entre 2.600 a 3.000 mg L⁻¹, adicionalmente a estas dosis se alcanzaron valores de pH que se encuentran en el rango de acción de algunos de los coagulantes químicos (9,84 a 10,04).

Con el ajuste de los datos obtenidos a una regresión polinómica de grado 3 y resolviendo la ecuación para encontrar el valor mínimo de absorbancia se encontró que la mejor dosis de cal, para las condiciones evaluadas, es de 2.605 mg L⁻¹, valor que se encuentra en el rango seleccionado, inicialmente, teniendo en

Tabla 1. Valores de turbidez del agua residual tratada con las tres cales evaluadas.

Dosis (mg L ⁻¹)	Cal apagada		Cal dolomita		Cal agrícola	
	Turbidez (NTU)	Desviación estándar	Turbidez (NTU)	Desviación estándar	Turbidez (NTU)	Desviación estándar
1.000	997	16,5	1.065	19,0	1.039	16,6
2.000	507	11,0	1.035	14,3	776	22,6
3.000	498	10,7	950	17,7	747	33,5
4.000	677	12,5	985	8,4	825	8,4
5.000	977	10,6	991	13,6	959	10,5

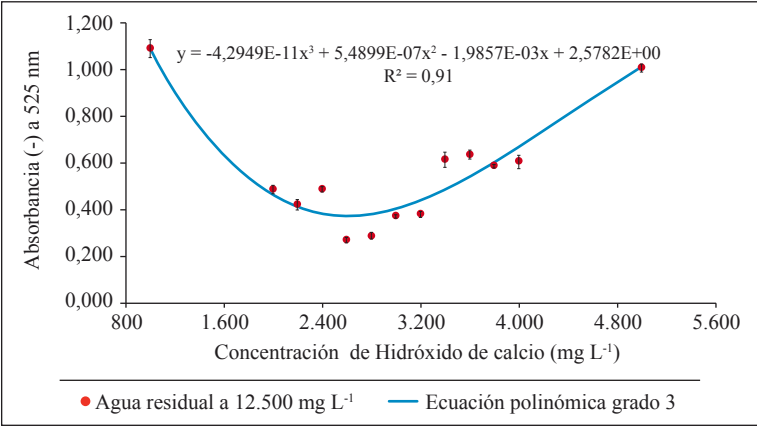


Figura 5. Comportamiento de la absorbancia en el agua residual del café a 12.500ppm después del tratamiento con hidróxido de calcio.

Tabla 2. Valores de pH y turbidez del agua residual del café con 12.500 mg L⁻¹, como DQO, después del tratamiento con hidróxido de calcio.

Dosis de cal apagada (mg L ⁻¹)	pH		Turbidez	
	Valor (und)	Desviación estándar	Valor (NTU)	Desviación estándar
2.000	7,60	0,06	548	17,4
2.200	8,99	0,02	484	24,1
2.400	9,54	0,06	575	16,7
2.600	9,84	0,09	328	12,9
2.800	9,89	0,04	334	18,6
3.000	10,04	0,05	427	8,9
3.200	10,13	0,11	441	11,3
3.400	11,01	0,05	701	29,9
3.600	11,41	0,24	719	13,1
3.800	11,70	0,04	673	25,4

cuenta los menores valores de absorbancia y turbidez.

Al agua residual tratada con las dosis de cal apagada en el mejor rango, se le determinó la carga orgánica (medida como DQO) y los SST, con el fin de evaluar su porcentaje de

remoción. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el tratamiento primario con cal apagada permitió disminuir la concentración de DQO de las aguas residuales del café en

valores medios entre 48,4% y 49,0% y en cuanto a los SST se obtuvieron valores de remoción entre 76,2% y 78,1%.

En la Figura 6 se observa el aspecto de agua residual después de realizar el tratamiento primario.

En la Figura 7 se presenta el comportamiento de la variable absorbancia en la evaluación

realizada con agua residual a una concentración de DQO de 25.000 mg L⁻¹, ajustando el rango de evaluación de dosis de cal entre 2.200 y 7.200 mg L⁻¹. De igual forma se presenta el ajuste realizado y la ecuación obtenida para encontrar la mejor dosis.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las variables pH y turbidez en la evaluación realizada.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del agua residual del café con 12.500 mg L⁻¹ de DQO después del tratamiento primario con hidróxido de calcio.

Dosis de cal apagada (mg L ⁻¹)	DQO inicial 12.500 mg L ⁻¹		SST inicial 1.200 mg L ⁻¹	
	DQO final (mg L ⁻¹)	Remoción (%)	SST final (mg L ⁻¹)	Remoción (%)
2.400	6.444	48,4	285	76,2
2.600	6.370	49,0	267	77,7
2.800	6.397	48,8	263	78,1



Figura 6. Aspecto del agua residual después del tratamiento primario con cal apagada.

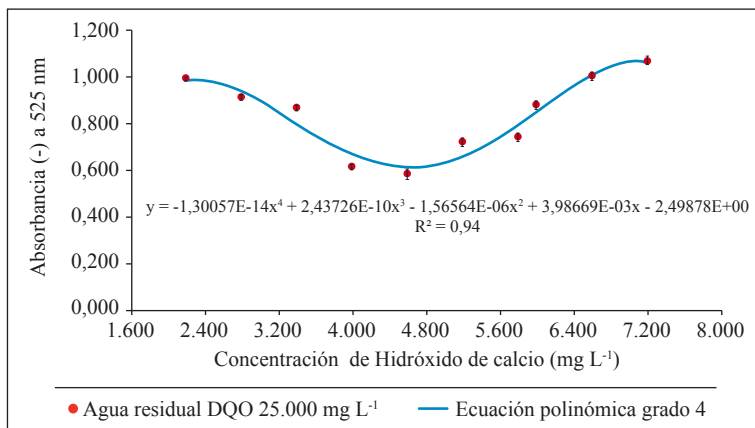


Figura 7. Comportamiento de la absorbancia en el agua residual del café a 25.000 ppm DQO después del tratamiento con hidróxido de calcio.

Tabla 4. Valores de pH y turbidez del agua residual del café con 25.000 mg L⁻¹ como DQO después del tratamiento con hidróxido de calcio.

Dosis de cal apagada (mg L ⁻¹)	pH		Turbidez	
	Valor (und)	Desviación estándar	Valor (NTU)	Desviación estándar
2.200	5,82	0,11	1.113	25,2
2.800	6,03	0,01	1.120	18,6
3.400	7,16	0,04	1.053	13,1
4.000	7,98	0,05	773	8,7
4.600	8,09	0,01	734	28,6
5.200	8,87	0,04	910	10,7
5.800	9,06	0,05	942	11,5
6.000	10,29	0,05	1.068	27,9
6.600	10,94	0,03	1.151	16,3
7.200	11,13	0,07	1.228	17,8

De acuerdo con los resultados obtenidos, los menores valores de absorbancia (0,588 a 0,613) y turbidez (734 a 773) se presentaron para dosis de cal apagada que se encuentran en el rango entre 4.000 a 4.600 mg L⁻¹, adicionalmente a estas dosis se alcanzaron valores de pH que se encuentran en el rango de acción de algunos de los coagulantes químicos (7,89 a 8,09).

Con el ajuste de los datos obtenidos a una regresión polinómica de grado 4 y resolviendo la ecuación para encontrar el valor mínimo de absorbancia, se encontró que la mejor dosis de cal para las condiciones evaluadas es de 4.631 mg L⁻¹, valor que se encuentra un poco por encima del rango seleccionado inicialmente, teniendo en cuenta los menores valores de absorbancia y turbidez.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la mejor dosis de cal apagada para aguas residuales del café con valores de DQO de 12.500 mg L⁻¹ fue de 2,60 g L⁻¹ y para aguas residuales del café con una DQO de 25.000 mg L⁻¹ de 4,63 g L⁻¹. Lardé (1995) reporta para aguas residuales del café con concentraciones de sólidos totales en un rango entre 7.100 a 18.500 mg L⁻¹ dosis óptimas entre 0,4% y 0,6% p/v (4,0 a 6,0 g L⁻¹). Los datos obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de este rango para aguas residuales a 25.000 mg L⁻¹ como DQO, sin embargo, para aguas residuales con 12.500 mg L⁻¹ como DQO, la

dosis encontrada fue la mitad de la mínima sugerida en ese estudio. Comparando los datos obtenidos con estudios realizados en otro tipo de aguas, en el caso de las aguas provenientes de minería, las dosis requeridas de 10 g L⁻¹ (Sevillano, 2017), están por encima del valor encontrado para aguas residuales del café.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica del agua residual del café después de realizar el tratamiento con cal apagada, en el rango en el cual se presentaron los menores valores de absorbancia y turbidez.

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica del agua residual del café con 25.000 mg L⁻¹ como DQO después del tratamiento primario con hidróxido de calcio.

Dosis de cal apagada (mg L ⁻¹)	DQO inicial 25.000 mg L ⁻¹		SST inicial 2.700 mg L ⁻¹	
	DQO final (mg L ⁻¹)	Remoción (%)	SST final (mg L ⁻¹)	Remoción (%)
4.000	12.874	48,5	674	75,0
4.600	13.046	47,8	564	79,1
5.200	15.800	36,8	511	81,1

De acuerdo con las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas al agua residual después del tratamiento primario con cal apagada se alcanzaron valores promedio de remoción de carga orgánica en términos de DQO entre 36,8% y 48,5% y de SST entre 75,0% y 81,1%.

Con el uso de hidróxido de calcio como tratamiento primario para las aguas residuales del café se logra acondicionar el agua residual a las condiciones requeridas para un tratamiento secundario. Adicionalmente, se obtienen porcentajes de remoción en la carga orgánica, expresada como DQO, cercanos al 50% y en los SST superiores al 75%. Como se menciona

en otros estudios, el hidróxido de calcio es útil para el tratamiento de aguas residuales con alta acidez, sin embargo debido a que la cal apagada es hidrófoba, para que se dé una buena mezcla con el agua es necesario un dispositivo de agitación (Galindos et al., 2017). Una de las ventajas que tiene el hidróxido de calcio respecto a otro tipo de productos es su capacidad de precipitar metales pesados tales como cadmio, plomo, zinc, aunado a las propiedades de absorción de otros contaminantes (Tejada, 2017).

En este estudio puede concluirse que la cal apagada o hidróxido de calcio resultó ser el producto más adecuado para realizar un

tratamiento primario a las aguas residuales del café, ya que con este producto se obtienen los menores valores de absorbancia y de turbidez, y se logra acondicionar el pH del agua a valores en los cuales puede realizarse un tratamiento posterior con productos químicos. Adicionalmente, con este tratamiento se alcanzan porcentajes de remoción en la carga orgánica expresada como DQO cercanos al 50% y en los SST superiores al 75%.

Bajo las condiciones evaluadas en este estudio, la mejor dosis de cal apagada para

aguas residuales del café con valores de DQO de 12.500 mg L⁻¹ fue de 2,60 g L⁻¹ y para aguas residuales del café con una DQO de 25.000 mg L⁻¹ de 4,63 g L⁻¹.

El uso de hidróxido de calcio como alternativa para el tratamiento primario de las aguas residuales del café permite optimizar el funcionamiento de los sistemas biológicos que actualmente se encuentran contruidos, y abre la posibilidad al uso de otro tipo de tratamiento como lo son los tratamientos químicos con sales de hierro y aluminio.

LITERATURA CITADA

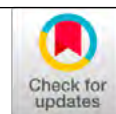
- American Public Health Association., American Water Works Association., & Water Pollution Control Facility. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Cordero, O. (1977, mayo). Tratamiento de los residuos del café. Método: precipitación química y sedimentación acelerada. En IV Congreso de Ingenieros de los Comités de Cafeteros. Neiva, Colombia.
- Hach Company. (1988). *DR/2000 Spectrophotometer. Procedures Manual*.
- Iannacone, J., & Molano-Linares, J. D. (2018). Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum Tuberosum* L. 'papa' como alternativa al manejo convencional. *Biotempo*, 15(1), 83–112. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v15i1.1699>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2006). *NTC 5424:2006 Productos químicos básicos para la industria agrícola. Enmiendas inorgánicas*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-quimicos-basicos-para-la-industria-agricola-enmiendas-inorganicas-ntc5424-2006.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). *NTC 3903:2010 Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras*. <https://tienda.icontec.org/gp-procedimiento-para-el-ensayo-de-coagulacion-floculacion-en-un-recipiente-con-agua-o-metodo-de-jarras-ntc3903-2010.html>
- Lardé, G. (1995 , octubre 23-27). Efecto coagulante del hidróxido cálcico en aguas residuales del café. En Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café Procafé & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, *XVII Simposio de Caficultura Latinoamericana* [Memorias]. IICA. San Salvador, El Salvador.
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto Número 2667 de 2012 Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Decreto2667.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 del 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18911>
- Murillo Castaño, D. M. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada* [Tesis de Doctorado]. Universidad Tecnológica de Pereira. <http://hdl.handle.net/11059/2081>
- Nacheva, P. M., Armenta, S. L., Vigueros, L. C., & Camperos, E. R. (1998). *Tratamiento de efluentes del proceso de curtido al cromo*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, Paseo Cuauhnáhuac (8532).
- Olivero-Verbel, R., Florez-Vergara, A., Vega-Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleifera* en clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 12(2), 71–79 p. <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>
- Orozco, R. A. (1973, junio 4–9). Purificación de aguas residuales del beneficio del café mediante tratamiento químico. En Association for Science and Information on Coffee. VIASIC International Conference on Coffee Science, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, N., Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A. (2015). *Beneficio de café en Colombia: Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/659>
- Rodríguez, N. (2009). *Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/4342>
- Sevillano, R. L. (2017). *Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio* [Tesis Pregrado]. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/6897>
- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago-B* [Tesis Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>
- Vanerker, A. P., Satyanarayan, S., & Satyanarayan, S. (2013). Treatment of food processing industry wastewater by a coagulation/flocculation process. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 2 (3), 63–72.

PRODUCCIÓN DE *Coffea arabica* VARIEDAD CASTILLO® EN UN SISTEMA AGROFORESTAL, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Fernando Farfán Valencia 

Farfán-Valencia, F. (2020). Producción de *Coffea arabica* Variedad Castillo® en un sistema agroforestal, en el departamento de Santander. *Revista Cenicafé*, 71(2), 118-123. <https://doi.org/10.38141/10778/71209>



Con el objetivo de identificar la densidad de siembra del sombrío estratificado con el que se obtuviera el mayor rendimiento del café Variedad Castillo®, se realizó una investigación en la finca Villa Sofia, ubicada en la vereda Capellania, municipio de Charalá, departamento de Santander, a 6° 18' N y 73° 06' W y altitud de 1.480 m. Las especies de sombra evaluadas fueron *Erythrina fusca*, *Inga densiflora*, *Inga edulis*, *Pseudosamanea saman* y *Albizia carbonaria*, establecidas a densidades de siembra de 70, 123 y 278 árboles por hectárea. De los resultados, bajo las condiciones ambientales presentadas durante la época de las evaluaciones y del manejo agronómico de los sistemas de producción, se obtuvo que la mejor respuesta en producción de café (22.382 kg ha⁻¹ de café pergamino seco), se presentó con el componente arbóreo de *I. densiflora*, *P. saman* y *A. carbonaria*, con una distribución espacial a 6,0 x 6,0 m. La producción bajo las especies evaluadas y distribuidas espacialmente a 9,0 x 9,0 m fue similar (12.687 kg ha⁻¹ de café pergamino seco). Con el componente arbóreo establecido a 12,0 x 12,0 m, no hubo respuesta del café.

Palabras clave. Sistemas agroforestales, sombrío estratificado, producción de café bajo sombra.

PRODUCTION OF *Coffea arabica* CASTILLO® VARIETY IN AN AGROFORESTRY SYSTEM, IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER

In order to identify the planting density of the stratified shade with which the highest yield of Castillo® Variety coffee was obtained, a work of research was carried out at the Villa Sofia farm, located in the Capellania village, Charalá municipality, Santander department, at 6° 18' N and 73° 06' W; and an altitude of 1,480 m. The evaluated shade species were *Erythrina fusca*, *Inga densiflora*, *Inga edulis*, *Pseudosamanea saman* and *Albizia carbonaria*, established at planting densities of 70, 123 and 278 trees per hectare. The results, under the environmental conditions presented during the evaluation period and the agronomic management of the production systems, indicate that the best response in coffee production (22,382 kg ha⁻¹ of dry parchment coffee) occurred with the arboreal component of *I. densiflora*, *P. saman* and *A. carbonaria*, with a spatial distribution of 6,0 m x 6,0 m. The production under the species evaluated and spatially distributed at 9.0 m x 9.0 m was similar (12,687 kg ha⁻¹ of dry parchment coffee). With the tree component established at 12.0 m x 12.0 m there was no response from coffee.

Keywords. Agroforestry systems, shade stratified, coffee production under shade.

* Investigador Científico II. Disciplina de Fitotecnía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0976-8828>



La inclusión de árboles de sombra en el café es controversial, y la decisión de cultivar el café con árboles de sombrío depende de muchos factores, entre los que cabe mencionar: las características del suelo, su relieve, susceptibilidad a la erosión, profundidad, fertilidad natural y las condiciones climáticas (Lin, 2007). Son diversas las ventajas que los árboles de sombra tienen sobre el café, entre ellas pueden citarse: los árboles contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo y facilitan el manejo del cultivo, por ejemplo, en el control de arvenses, efecto benéfico en el ciclo hidrológico, protegen el cultivo de plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas (Farfán, 2014; Farfán y Sánchez, 2016).

En el campo de la agroforestería son básicos los estudios sobre la importancia relativa de la competencia por luz, agua y nutrientes, a lo largo de los gradientes ecológicos, para identificar los factores limitantes en un rango de condiciones biofísicas (Soto et al., 2000). Es importante conocer los efectos de la arquitectura y dinámica de la copa del árbol de diferentes especies y tamaños sobre la disponibilidad de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en el cultivo (Friend, 1984), los efectos de la sombra sobre la fenología del café, particularmente la iniciación y desarrollo del fruto; pero más importante aún es conocer las interacciones entre las densidades de siembra del árbol y del café, y sus efectos sobre la producción del cultivo, cuando se establece bajo cubierta arbolada (Farfán, 2014).

Son diversas las alternativas para el establecimiento de los árboles de sombrío al café, entre las que sobresalen las hileras de árboles, los sombríos simples o con una sola especie, los sombríos estratificados o el empleo de varias especies de árboles

que se desarrollan a diferentes tasas de crecimiento, alcanzando diferentes alturas, lo que se denomina estratificación vertical (Farfán, 2016). Estos árboles pueden plantarse a diferentes distancias de siembra y disímiles arreglos espaciales, al cuadro o al triángulo, entre otros, definido como estratificación horizontal, con el fin de lograr una mayor interceptación de la RFA por parte de cultivo, traducida en rendimiento.

El estudio tuvo como objetivo identificar la densidad de siembra del sombrío de *Erythrina fusca*, *Inga densiflora*, *I. edulis*, *Pseudosamanea saman* y *Albizia carbonaria*, en arreglos espaciales de 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m, con la que se obtuviera el mayor rendimiento del café Variedad Castillo®, en el municipio de Charalá, departamento de Santander.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de realización. El estudio se realizó en la finca Villa Sofía, vereda Capellanía, municipio de Charalá, departamento de Santander, a 6° 18'N y 37° 06'W y altitud de 1.480 m. Bajo la coordinación de la Estación Experimental San Antonio, departamento de Santander.

Material vegetal. Las especies leguminosas empleadas como sombríos fueron: *Erythrina fusca* (písamo, cámbulo), *Inga densiflora* (guamo macheto), *Inga edulis* (guamo santaferense), *Pseudosamanea saman* (nauno) y *Albizia carbonaria* (carbonero). De café se empleó la variedad Castillo®, establecida a una única densidad de 6.400 plantas/ha

Tratamientos. Los tratamientos, 15 en total, estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra del sombrío y las cinco especies leguminosas (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos evaluados.

Nº	Descripción	
	Especies de sombrío	Distancia de siembra
1	<i>Erythrina fusca</i>	6,0 x 6,0 m (278 árboles/ha)
2	<i>Inga densiflora</i>	
3	<i>Inga edulis</i>	
4	<i>Pseudosamanea saman</i>	
5	<i>Albizia carbonaria</i>	
6	<i>Erythrina fusca</i>	9,0 x 9,0 m (123 árboles/ha)
7	<i>Inga densiflora</i>	
8	<i>Inga edulis</i>	
9	<i>Pseudosamanea saman</i>	
10	<i>Albizia carbonaria</i>	
11	<i>Erythrina fusca</i>	12,0 x 12,0 m (70 árboles/ha)
12	<i>Inga densiflora</i>	
13	<i>Inga edulis</i>	
14	<i>Pseudosamanea saman</i>	
15	<i>Albizia carbonaria</i>	

Diseño experimental. Se aplicó un diseño de bloques al azar para cada distancia de siembra del componente arbóreo, con cuatro replicaciones. El factor de bloqueo fue la pendiente del terreno o diferentes tipos de suelo.

Variable de respuesta y análisis estadístico. La variable de respuesta fue la producción acumulada (kg ha^{-1} de café pergamino seco), durante cinco cosechas y se realizó el análisis de varianza al 5% bajo el diseño de bloques completos al azar y prueba de comparación de Duncan al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el departamento de Santander, cuya caficultura se caracteriza por estar establecida en sistemas agroforestales, los porcentajes de sombra que debe mantener el cultivo fluctúan entre el 28,0% y el 42,0%, porcentajes que

están en función del número de horas de brillo solar anual (Farfán & Jaramillo, 2009). Los porcentajes de sombra registrados en el período 2011 a 2015 fueron en promedio del 40,0% bajo el sombrío a 6,0 m x 6,0 m, del 30,0% en sombrío a 9,0 m x 9,0 m, y por debajo del 20% en el sombrío a 12,0m x 12,0 m. Como respuesta al bajo porcentaje de sombra en la más baja densidad de siembra del sombrío, las plantas de café presentaron defoliación severa, baja tasa de crecimiento, pérdida de sitios mayor al 20% y muy baja producción.

Las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar aumentan significativamente a medida que disminuye la cobertura de sombra, y es mayor la pérdida de humedad del suelo en épocas secas (Lin, 2007). Investigaciones realizadas por Farfán y Sánchez (2016) encontraron que la mejor respuesta en producción del café variedad Castillo®, en el municipio de El Socorro-Santander, fue con

el sombrío de *Inga edulis* establecido a 9,0 x 9,0 m y 10.000 plantas de café por hectárea.

En la Tabla 2 se presentan resultados de la producción registrada con los sombríos establecidos a densidades de 123 y 278 árboles/ha. Los resultados observados en café bajo sombrío con 70 árboles/ha no se tuvieron en cuenta para el análisis.

Se realizaron pruebas de comparación Duncan (5,0%) entre las producciones bajo cada especie de sombra y para cada distancia de siembra del sombrío. Con el sombrío establecido a 6,0 x 6,0 m los rendimientos máximos se alcanzaron con *I. densiflora*, *P. saman* y *A. carbonaria*, con una producción media de 22.382 kg ha⁻¹ de café pergamino. El sombrío en el café causa reducción en la incidencia de la radiación solar global, la radiación fotosintéticamente activa y la radiación neta, y atenúa la temperatura máxima de las hojas, el aire y el suelo, durante el día (Morais et al., 2006). También contribuye a la reducción de la evaporación del agua

del suelo y la transpiración de las plantas, ofreciendo mayor protección de los cultivos al déficit hídrico (Friend, 1984; Lin, 2010; Siles et al., 2010).

Con sombrío establecido a 123 árboles/ha no hubo diferencias estadísticas, con una producción promedio con este modelo agroforestal fue de 12.687 kg ha⁻¹ de café pergamino seco. Como efecto de reducir la densidad de siembra del componente arbóreo en 155 plantas, se afectó la producción cerca del 40%. Las plantas de café bajo sombra poseen tasas fotosintéticas más altas, que disminuyen por encima de 25°C, debido a una reducción de la conductancia del mesófilo, ya que la estomática permanece inalterada entre 25 y 35°C (Kumar & Tieszen, 1980). El café puede ser clasificado como una especie de sombra facultativa, exhibiendo características de plantas adaptadas al sol junto con atributos de aclimatación de la sombra; no obstante, esta capacidad de adaptación está influenciada por el nivel de nutrición de las plantas (Fahl et al. 1994).

Tabla 2. Producción acumulada en el período 2011 a 2015, de café pergamino seco (en kg ha⁻¹).

Especies de sombrío	Distancia de siembra	Producción de café	Coefficiente de variación
<i>Erythrina fusca</i>	6,0 x 6,0 m	16.444 b	0,24
<i>Inga densiflora</i>		21.618 ab	0,12
<i>Inga edulis</i>		16.382 b	0,15
<i>Pseudosamanea saman</i>		23.840 a	0,15
<i>Albizia carbonaria</i>		21.688 ab	0,07
<i>Erythrina fusca</i>	9,0 x 9,0 m	11.222 a	0,47
<i>Inga densiflora</i>		14.131 a	0,30
<i>Inga edulis</i>		12.933 a	0,13
<i>Pseudosamanea saman</i>		11.858 a	0,30
<i>Albizia carbonaria</i>		13.289 a	0,54

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La sombra provoca diferencias en el comportamiento fisiológico de las plantas de café, como el mejoramiento de la fotosíntesis y aumento del índice de área foliar, resultando en un mejor rendimiento que bajo luz solar directa. Las plantas con sombra poseen mayor potencial bioquímico y fisiológico convertido en alta producción de materia seca que garantiza altos rendimientos de café a largo plazo (Bote & Struik, 2011). Todas estas condiciones en conjunto propician un ambiente favorable para el desarrollo del cultivo, traducido en mayor rendimiento, cuando las condiciones de clima no son favorables para su establecimiento a libre exposición solar.

Los trabajos realizados por Soto et al. (2000) indican que el número de especies de árboles, expresados como riqueza de especies, densidad de siembra y arquitectura diversa, entre otros, no tienen efectos significativos sobre los rendimientos del café. Si se establece

el café bajo sombrío simple, es decir una sola especie, los resultados sugieren el empleo de árboles de copa estrecha o columnar (Farfán, 2014), de abundante ramificación y follaje, que proporcionen rápidos y altos porcentajes de cobertura.

De los resultados obtenidos para este sitio de estudio, bajo las condiciones ambientales presentadas durante la época de las evaluaciones (2011 a 2015) y del manejo agronómico de los sistemas de producción, puede inferirse que en sistemas agroforestales los mejores resultados se obtienen con las especies leguminosas *I. densiflora*, *P. saman* y *A. carbonaria*, con una distribución espacial de 6,0 x 6,0 m, con 278 árboles/ha. Al establecer la misma densidad de siembra del café (6.400 plantas/ha), con sombrío de estas especies leguminosas y densidades de 123 árboles/ha, se redujo la producción cerca del 40,0%.

LITERATURA CITADA

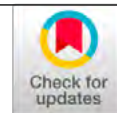
- Bote, A. D., & Struik, P. C. (2011). Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(11), 336–341. <https://doi.org/10.5897/JHF.9000045>
- Fahl, J. I., Carelli, M. L. C., Vega, J., & Magalhães, A. C. (1994). Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 69(1), 161–169. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11515262>
- Farfán, F., & Jaramillo, A. (2009). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafé*, 379, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/376>
- Farfán, F., & Sánchez, P. M. (2016). Densidad de siembra del café variedad Castillo en sistemas agroforestales, en el departamento de Santander Colombia. *Revista Cenicafé*, 67(1), 55–62. <http://hdl.handle.net/10778/678>
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/4213>
- Farfán, F. (2016). Sistemas agroforestales para establecer en la finca cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 474, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4214>
- Friend, D. J. C. (1984). Shade adaptation of photosynthesis in *Coffea arabica*. *Photosynthesis Research*, 5(4), 325–334. <https://doi.org/10.1007/BF00034977>
- Kumar, D., & Tieszen, L. L. (1980). Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of Light and Temperature. *Experimental Agriculture*, 16(1), 13–19. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010656>
- Lin, B. B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>
- Lin, B. B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010>

- Morais, H., Caramori, P. H., Ribeiro, A. M., Gomes, J. C., & Koguchi, M. S. (2006). Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(5), 763–770. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500007>
- Siles, P., Harmand, J. M., & Vaast, P. (2010). Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 78(3), 269–286. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9241-y>
- Soto, L., Perfecto, I., Castillo, J., & Caballero, J. (2000). Shade Effect on Coffee Production at the Northern Tzeltal Zone of the State of Chiapas, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 80(1-2), 61–69. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00134-1)

RESPUESTA DEL CAFÉ A LA APLICACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES

Alveiro Salamanca Jiménez *, Hernán González Osorio **

Salamanca, A., & González-Osorio, H. (2020). Respuesta del café a la aplicación foliar de nutrientes. *Revista Cenicafé*, 71(2), 124-142. <https://doi.org/10.38141/10778/71210>



La fertilización es una de las principales prácticas que permite incrementar la productividad del café en Colombia. Esta actividad se realiza aplicando los nutrientes a la zona de las raíces de la planta, no obstante, en algunas condiciones específicas de clima y suelos, su efectividad puede afectarse. Con el objetivo de encontrar estrategias tendientes a mejorar la efectividad de la fertilización del café, se evaluó la aplicación foliar de nutrientes como complemento a la fertilización edáfica, en cuatro localidades de la zona cafetera colombiana con suelos y características climáticas diferentes. Los tratamientos fueron aplicados 60 y 90 días después de la floración, y consistieron en el suministro foliar de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B) y las combinaciones P-N, K-N, Ca-N, Ca-B y N-P-K. Se evaluó la producción café cereza (cc), la relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps), el factor de rendimiento en trilla (FRT) y la absorción foliar de nutrientes. La fertilización foliar a partir de los nutrientes evaluados, dosis, épocas y fuentes de fertilizantes evaluadas no mejoraron significativamente la producción de café cereza ni la calidad física del grano (cc/cps y FRT). Con excepción del B, ninguno de los elementos aplicados vía foliar incrementó su contenido foliar en las hojas; la aplicación de B incrementó sus niveles foliares por encima de 40 mg kg⁻¹, indicando que su aplicación con las dosis y fuentes evaluadas permite corregir esta deficiencia nutricional sin que dicha práctica derive en una toxicidad o en aumentos en producción.

Palabras clave: Fertilización foliar, nutrición, producción, calidad

COFFEE RESPONSE TO FOLIAR APPLICATION OF NUTRIENTS

Fertilization is one of the main practices to increase coffee productivity in Colombia. This activity is done by applying the nutrients through the root zone; however, in specific climate and soils conditions, its effectiveness may be affected. In order to find strategies to improve the effectiveness of coffee fertilization, the foliar application of nutrients, as a complement to soil fertilization, was evaluated in four locations of the Colombian coffee region with different soils and climatic characteristics. The treatments were applied 60 and 90 days after flowering, and consisted of the foliar supply of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), boron (B) and the combinations P-N, K-N, Ca-N, Ca-B and N-P-K. Coffee cherries yield (cc), coffee cherry/dry parchment coffee ratio (cc/cps), threshing performance factor (FRT) and foliar absorption of nutrients were evaluated. Foliar fertilization from the evaluated nutrients, doses, seasons and fertilizer sources evaluated did not significantly improve cc yield or the grain physical quality (cc/cps and FRT). With the exception of B, none of the elements applied to the leaves increased its foliar content; the application of B increased its foliar levels above 40 mg kg⁻¹, indicating that its application with the evaluated doses and sources allows correcting a nutritional deficiency without resulting in a toxicity or yield rises.

Keywords: Foliar fertilization, Nutrition, Yield, Quality

* Investigador Científico I. Disciplina de Suelos (hasta 2017), Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-6400-0283>

** Investigador Científico I. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5716-2172>



La fertilización es una de las principales prácticas que conduce al incremento de la productividad del café en Colombia y es recomendable que se lleve a cabo durante las épocas de lluvia, suministrando los nutrientes requeridos directamente al suelo (Sadeghian, 2010), por ser este el medio donde crecen las raíces y, en función de las condiciones físicas, químicas y biológicas específicas, dichos órganos pueden absorber los elementos en el corto, mediano o largo plazo para suplir los requerimientos del cultivo durante sus diferentes fases fenológicas.

En una amplia gama de plantas, además de la raíz, otros órganos como las hojas están en facultad para absorber nutrientes (Mengel y Kirkby, 2001), razón por la cual la aplicación de fertilizantes vía foliar en muchos casos pueden complementar la nutrición edáfica (Devarpanah et al., 2018; Ierna et al., 2017; Li et al., 2016), particularmente en cultivos situados en áreas donde las condiciones climáticas y de suelos generan algún tipo de estrés que limita la toma de nutrientes vía radical (Silva et al. 2017; Flórez et al. 2015).

A pesar de los efectos potenciales mencionados, en muchos casos dicha práctica no es del todo eficiente, incluso, ha desencadenado la manifestación de resultados adversos (Abdelsalam et al., 2019) dado que su implementación depende significativamente entre otros aspectos, de la fuente fertilizante y la modalidad de aplicación (Rossi et al., 2019), así como de la época en la cual se lleve a cabo (Ashouri et al., 2018).

En lo que al cultivo del café respecta, Malavolta (1982) registra incrementos en el nivel foliar de nutrientes derivados de la aplicación de urea y de otras fuentes fertilizantes portadoras de fósforo (P), potasio (K), boro (B) y zinc (Zn); pero resultados poco consistentes en la producción para diferentes

áreas de Brasil. En aspectos específicos del metabolismo de la planta, Silva et al. (2017), sostienen que el magnesio (Mg) foliar puede ser alternativa cuando la actividad hormonal del café se encuentra limitada por condiciones de altas temperaturas. Por otro lado, mientras que Carvajal (1984), asegura que la fertilización foliar en el cultivo tiene baja efectividad y debe enfocarse sólo en la corrección de deficiencias nutricionales, Clemente et al. (2018), registran que la aplicación foliar de B, Cu y Zn mejora ciertos atributos químicos asociados a la calidad en taza.

Para las condiciones de la zona cafetera colombiana, las inquietudes acerca del posible efecto de la fertilización foliar en el crecimiento del café, su producción y la calidad del grano han sido permanentes. Durante las primeras fases de desarrollo del café, Guzmán y Riaño (1996) evaluaron el efecto de la fertilización foliar con urea y diferentes fertilizantes compuestos durante la etapa de almácigo sin encontrar efecto en el crecimiento de las plantas. Para la etapa de producción, mientras que Caro (1992) reporta una respuesta positiva al suministro foliar de nitrato de potasio como complemento de la fertilización edáfica en un solo año de evaluación, Cenicafé (2006) no encontró respuesta satisfactoria durante 3 años de producción al suministro de fertilizantes foliares aplicados como complemento o sustituto de la fertilización edáfica. Un resultado similar fue reportado por Cenicafé (2003) que, durante 2 años, evaluó el efecto de las aspersiones foliares de una formulación comercial propuesta para suplir y complementar la fertilización edáfica, reportó menores producciones respecto al tratamiento con fertilización según el análisis de suelos.

Según lo anteriormente mencionado y en vista de que la respuesta al suministro foliar de nutrientes en café en la zona cafetera colombiana ha sido poco clara, y en aras de

brindar mejores opciones para el incremento de la productividad de la caficultura del país, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar de algunos nutrimentos, adicional a la fertilización edáfica, sobre la producción de café y la calidad física de la cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cuatro localidades de la zona cafetera colombiana: Estación Experimental Naranjal (Chinchiná – Caldas), Estación Experimental Paraguaicito Buenavista – Quindío, Estación Experimental La Catalina (Pereira – Risaralda) y finca Villa Arcadia (Líbano – Tolima). La ubicación y sus características climáticas se presentan en la Tabla 1.

En cada localidad se seleccionó un lote cafetero que iniciara su edad productiva (entre 2 y 3 años de edad). A continuación, se tomó una muestra general de suelos para análisis químico, con el fin de efectuar las recomendaciones y posterior fertilización y/o correctivos del pH vía edáfica con las fuentes, dosis y frecuencias de aplicación que presenta Sadeghian (2008). Todas las parcelas experimentales recibieron la fertilización edáfica fraccionada dos veces por año (cada semestre), utilizando para ello urea, fosfato diamónico (DAP), cloruro de potasio (KCl) y óxido de magnesio y/o kieserita, con

el fin de suplir los requerimientos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y/o azufre (S). Los requerimientos de calcio (Ca), fueron cubiertos mediante el suministro de cal agrícola, en caso de que el pH de los lotes estuviera por debajo de 5,0.

Una vez fertilizadas las parcelas, de acuerdo al plan descrito anteriormente, se aplicaron los tratamientos, los cuales consistieron en la adición de N, P, K, Ca, Mg, B y la combinación de algunos de estos elementos (Tabla 2), mediante aspersión foliar como un complemento a la fertilización según el análisis de suelos. Las aplicaciones foliares en los tratamientos correspondientes se hicieron cuatro veces por año, es decir, 60 y 90 días luego de los dos picos de floración anual que se presentaron en cada localidad.

La aplicación de los tratamientos con fertilización foliar (tratamientos 1 al 10), se llevó a cabo con un equipo de aspersión previa retenida, referencia 40-100-10, con una boquilla TX 3 (ángulo de pulverización 70°; capacidad nominal de 190 cc min⁻¹), previamente calibrado para cubrir cada planta con un volumen de solución fertilizante entre 40 y 50 mL. Las fuentes evaluadas correspondieron a fertilizantes de uso común tanto en café como para cultivos asociados en la zona cafetera colombiana (Tabla 2).

Tabla 1. Localización y características climáticas de las localidades donde se realizó el estudio.

Departamento	Municipio	Localidad	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)	Humedad relativa (%)
Caldas	Chinchiná	Naranjal	1.381	20,8	2.656	78
Quindío	Buenavista	Paraguaicito	1.203	22,1	2.119	78
Risaralda	Pereira	La Catalina	1.321	21,7	2.062	79
Tolima	Líbano	Villa Arcadia	1.456	20,0	2.128	82

Tabla 2. Descripción de los tratamientos, fuentes y concentración de nutrientes aplicadas.

Tratamiento	Elemento foliar	Convención	Fuentes fertilizantes	Concentración aplicada (%)
1	Nitrógeno	N	Urea (46-0-0)	1,0
2	Fósforo–nitrógeno	P- N	MAP (46-52-0)	1,0
3	Potasio	K	Cloruro potasio (KCl) (0-0-60)	0,25
4	Calcio	Ca	Calcio quelatado (0-0-0-9CaO)	0,25
5	Magnesio	Mg	Magnesio quelatado (0-0-0-9MgO)	0,25
6	Boro	B	Fuente de B (0-0-0-21B)	0,30
7	Potasio–nitrógeno	K-N	Nitrato de potasio (13-0-43)	4,0
8	Calcio – nitrógeno	Ca-N	Nitrato de calcio (15-0-0-26CaO)	1,0
9	Calcio – boro	Ca-B	Calcio quelatado + fuente de B	0,25 + 0,3
10	Nitrógeno – fósforo– potasio	N-P-K	Urea + MAP + KCl	1,0 + 1,0 + 0,25
11	Ninguno	Ninguno	Fertilización edáfica	—

Además, se contó con un testigo relativo en el cual se aplicó fertilización edáfica solamente (tratamiento 11) en el que los criterios de fertilización correspondieron a las actuales recomendaciones de Cenicafé.

La unidad experimental estuvo conformada por una parcela compuesta por 35 árboles, de los cuales 15 fueron efectivos y los 20 restantes bordes. Dichas unidades experimentales fueron asignadas aleatoriamente a los tratamientos, de acuerdo al diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones, donde el factor de bloqueo correspondió al gradiente de fertilidad del terreno.

En cada localidad se registró la producción de café cereza por tratamiento para cada año de evaluación (producción anual) y para el acumulado de cosecha de los tres períodos analizados (producción total).

Se hizo seguimiento a la concentración foliar de los nutrientes suministrados en

los tratamientos respectivos, a través de un muestreo foliar por parcela experimental y tratamiento, durante los dos primeros años de evaluación. Los elementos evaluados fueron N, K, P, Ca, Mg y B.

Finalmente, en el día con mayor volumen de producción en cada localidad objeto de estudio, se llevó a cabo un análisis de calidad física del grano, consistente en la evaluación de la relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y la estimación del factor de rendimiento en trilla (FRT). Dicha evaluación se condujo durante dos años consecutivos en todas las localidades donde se llevó a cabo la investigación, excepto en Naranjal, donde se realizó durante uno de los años del estudio.

Análisis de la información. Tanto para la producción anual y producción acumulada de café cereza, como para el contenido foliar de nutrientes, se llevó a cabo un análisis de varianza asociado al diseño propuesto,

con una significancia del 5%. Cuando el análisis de varianza mostró efecto de los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para determinar diferencias entre los tratamientos.

Para las variables asociadas con la calidad física del grano, para cada año de evaluación se efectuó un análisis de estadística descriptiva basado en el promedio, la desviación estándar e intervalos de confianza al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fertilización edáfica

Los resultados del análisis de suelos realizado durante el primer período de evaluación (año 1), permitieron definir los planes de fertilización y corrección de la acidez durante el ciclo de evaluación, de acuerdo con las actuales recomendaciones de Cenicafé (Sadeghian, 2008).

Se detectaron bajos niveles de pH en los diferentes sitios experimentales ($< 5,0$), razón por la cual se procedió con las labores de corrección de la acidez, aplicando cal de manera general en todos las parcelas y tratamientos objeto de estudio (Tabla 3). A

través de esta práctica también se neutralizaron los niveles de Al.

Con relación a la materia orgánica del suelo (MO), la cual constituye el principal indicador para la fertilización con N, se recomendaron dosis de 260 kg ha^{-1} en Naranjal y La Catalina, en tanto que para Villa Arcadia y Paraguaicito, las cantidades de N aplicadas por año, fueron 240 y 300 kg ha^{-1} , respectivamente. Para elementos como K, se suministraron 300 kg ha^{-1} de K_2O en Naranjal, dosis intermedias correspondientes a 260 kg ha^{-1} en La Catalina y Villa Arcadia, mientras que en Paraguaicito las dosis fueron de 140 kg ha^{-1} , dados los altos contenidos de este elemento en el suelo.

El P solo fue suministrado vía edáfica en La catalina y Villa Arcadia, en dosis entre 20 y $40 \text{ kg ha-año}^{-1}$ de P_2O_5 . Nutrientes como Mg y S, fueron aplicados a razón de $50 \text{ kg ha-año}^{-1}$ y los requerimientos de Ca, fueron cubiertos a través de los planes de corrección de la acidez, efectuado cada dos años, con cal agrícola según las recomendaciones de Cenicafé.

Con relación a los micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu y B, no fueron incluidos dentro de los planes de fertilización edáfica, dado que

Tabla 3. Niveles de pH, contenidos de materia orgánica, macro y micronutrientes en los suelos de las localidades objeto de estudio.

Localidad	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Mn	Zn	Cu	B	S
		%	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$				mg kg^{-1}						
Naranjal	4,74	12,44	0,16	0,79	0,22	1,66	34,92	200,26	11,33	3,08	10,33	0,38	9,26
Paraguaicito	4,88	7,27	0,71	2,83	0,63	1,21	34,75	238,75	32,92	7,92	17,83	1,19	31,14
La Catalina	4,73	12,21	0,37	1,18	0,32	2,13	8,00	241,26	42,33	8,33	2,00	0,39	7,04
Villa Arcadia	4,78	19,68	0,32	2,00	0,49	2,29	22,06	276,58	30,83	6,58	3,42	0,42	1,96

hasta ahora no se recomienda su inclusión, salvo en condiciones particulares de fertilidad y manejo específico de la nutrición del café.

Producción de café cereza

El suministro individual de N, P, K, Ca, Mg y B o la combinación N-P, K-N, Ca-N, Ca-B y N-P-K, aplicados como alternativa de nutrición foliar complementaria a la fertilización edáfica según el análisis de suelos, no incrementó la producción anual de café cereza (cc) en ninguna de las localidades (Figura 1). Dicho efecto, tampoco se vio reflejado en el acumulado de tres años de producción evaluados (Tabla 4).

Específicamente, para las condiciones de Naranjal, los tratamientos foliares de N y N-P presentaron los más bajos promedios de producción (significancia $P < 0,04$) durante el primer año. Sin embargo, los resultados generan incertidumbre dado que, al evaluar la potencia de la prueba, el resultado obtenido fue del 51%. Esto indica que no habría suficiente certeza para afirmar que la aplicación foliar de estos elementos como complemento a la fertilización edáfica, condujera a reducir la producción.

Los resultados obtenidos pueden indicar que el plan de fertilización edáfica basado en las recomendaciones derivadas de los análisis de suelos fue adecuado para alcanzar el máximo potencial productivo, de acuerdo con las condiciones agroecológicas de los sitios donde se condujo la investigación.

Adicionalmente, en ninguno de los campos experimentales hubo evidencia de algún fenómeno que pudiera condicionar la absorción iónica por flujo en masa, particularmente para nutrientes como N (en forma nítrica), Mg y B, los cuales presentan, para buena parte de las plantas cultivadas, esta ruta preferencial

para ser tomados vía radical (Huang et al., 2018; Silva et al. 2017; Wimmer y Eichert, 2013). En consecuencia, para elementos como el B, cuya aplicación no fue incluida en el plan de fertilización edáfica, un seguimiento a los valores de la acidez del suelo, consistente en mantener el pH en un rango entre 5,0 y 5,5, pudo facilitar su abastecimiento desde la fase orgánica e inorgánica de cada suelo del estudio; pues se trata de un elemento cuya disponibilidad depende entre otros, significativamente de los cambios en el pH (Halvin et al., 1999).

Calidad física del grano

La relación cc/cps fue en promedio de 5,8, 5,0, 5,2 y 4,9 en Naranjal, Paraguaicito, La Catalina y Villa Arcadia, respectivamente (Tablas 5, 6, 7 y 8), sin detectarse un efecto diferencial derivado de la aplicación de los tratamientos. En Paraguaicito y Villa Arcadia, los valores alrededor de 4,9 dan cuenta de índices de conversión asociados con café de buena calidad obtenido bajo la modalidad de beneficio húmedo tradicional (Montilla et al. 2008). Para las demás localidades, con elevados índices de conversión, los cuales se recalca, fueron obtenidos en todos los tratamientos, pueden ser explicados en función de las condiciones climáticas (Rendón et al. 2008), especialmente las limitaciones en la disponibilidad hídrica para el llenado del grano; período crítico que se enmarca entre la semana 6 y 17 después de la floración (Arcila y Jaramillo, 2003).

Respecto al factor de rendimiento en trilla (FRT), considerado como variable de importancia para la asignación de bonificación en los puntos de venta de café, los valores hallados fueron similares en los diferentes tratamientos en su respectivo año de evaluación (Tablas 5, 6, 7 y 8).

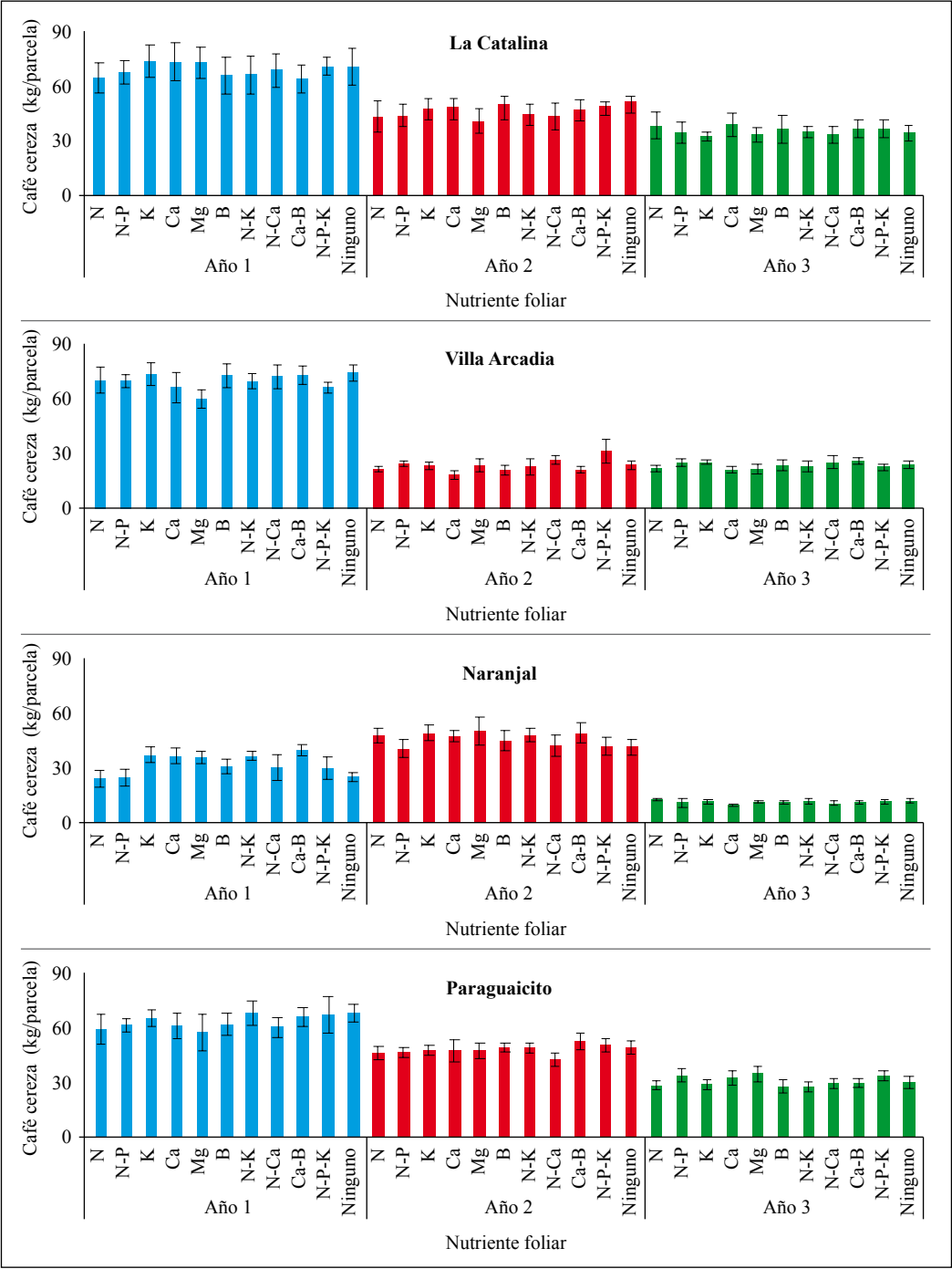


Figura 1. Producción anual promedio en los diferentes tratamientos evaluados. Barras verticales indican error estándar.

Tabla 4. Producción acumulada de café cereza por tratamiento evaluado en las diferentes localidades del estudio.

Nutriente foliar	café cereza (kg/parcela)							
	Naranjal	*EE	Paraguaito	EE	La Catalina	EE	Villa Arcadia	EE
N	80,9	6,82	131,1	9,53	138,4	20,03	120,1	8,72
N-P	73,6	7,20	138,0	3,99	138,3	13,59	125,6	1,60
K	92,9	7,33	137,9	5,51	144,6	14,10	128,1	5,08
Ca	89,1	6,55	137,1	12,35	151,4	18,67	113,1	9,29
Mg	92,3	10,36	135,9	14,15	139,1	13,68	112,6	8,70
B	83,2	7,16	135,4	7,42	143,3	20,86	123,3	7,75
N-K	91,3	5,42	140,4	8,49	137,7	15,59	121,4	6,53
N-Ca	79,9	11,17	129,6	2,32	137,9	16,40	129,3	9,03
Ca-B	94,8	7,37	143,4	7,84	139,3	14,04	126,1	5,38
N-P-K	79,8	8,55	146,4	11,87	147,3	11,96	126,3	8,21
Ninguno	75,7	5,48	142,8	8,58	147,1	16,26	127,7	5,98

*EE: error estándar

Tabla 5. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en la Estación Experimental Naranjal.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)		FRT (kg)	
	Año 1	EE	Año 1	EE
N	5,8	0,15	90,4	2,74
N-P	6,0	0,15	90,4	1,01
K	5,7	0,20	89,2	0,97
Ca	6,1	0,18	89,3	0,84
Mg	5,3	0,40	90,7	1,05
B	5,8	0,24	90,7	1,22
N-K	5,9	0,21	91,1	1,20
N-Ca	5,8	0,25	90,2	1,92
Ca-B	5,8	0,13	91,2	1,70
N-P-K	5,7	0,19	89,9	0,97
Ninguno	5,7	0,34	90,5	0,96

Tabla 6. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en Paraguaicito.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	5,0	0,11	5,1	0,10	88,1	1,42	93,8	1,77
N-P	5,0	0,06	5,3	0,04	88,4	0,92	93,0	2,23
K	5,0	0,11	5,2	0,08	88,7	1,15	96,8	2,57
Ca	5,1	0,14	5,1	0,14	89,6	2,87	96,7	2,20
Mg	6,2	0,85	5,1	0,11	89,9	1,97	91,5	0,92
B	5,2	0,19	5,0	0,10	88,1	1,36	94,8	1,49
N-K	5,0	0,11	5,2	0,17	87,4	0,95	94,8	2,55
N-Ca	5,2	0,19	5,0	0,08	87,5	0,53	95,3	1,84
Ca-B	5,0	0,07	5,3	0,08	87,0	0,63	97,4	2,01
N-P-K	5,1	0,29	5,5	0,11	86,7	1,19	92,3	1,01
Ninguno	5,1	0,19	5,4	0,09	89,2	6,77	93,8	1,13

Tabla 7. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en La Catalina.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	4,7	0,12	5,3	0,16	94,3	0,86	132,4	5,81
N-P	4,9	0,09	5,4	0,22	95,4	1,35	131,0	6,72
K	4,6	0,17	5,4	0,18	94,1	1,38	122,5	4,35
Ca	5,1	0,12	5,5	0,19	94,5	1,08	126,5	7,53
Mg	4,8	0,06	5,5	0,21	92,9	0,67	129,7	5,79
B	4,9	0,13	5,5	0,15	95,8	2,40	123,5	5,22
N-K	4,8	0,03	5,5	0,14	94,2	0,92	124,5	4,19
N-Ca	4,8	0,13	5,4	0,18	94,7	1,03	124,9	7,58
Ca-B	4,9	0,18	5,3	0,18	93,7	0,96	129,3	9,32
N-P-K	4,8	0,05	5,3	0,11	93,9	1,13	120,4	3,47
Ninguno	4,8	0,17	5,5	0,14	94,3	0,58	122,5	9,44

Tabla 8. Relación café cereza/café pergamino seco (cc/cps) y factor de rendimiento en trilla (FRT) para los diferentes tratamientos objetos de estudio en la finca Villa Arcadia.

Nutriente foliar	Relación cc/cps (kg)				FRT (kg)			
	Año 1	EE	Año 2	EE	Año 1	EE	Año 2	EE
N	5,0	0,05	4,9	0,05	92,0	0,51	97,0	1,55
N-P	5,2	0,06	4,9	0,05	91,9	0,48	95,3	1,12
K	5,2	0,07	4,9	0,04	91,2	0,29	97,0	1,40
Ca	5,1	0,05	5,0	0,04	91,8	0,57	95,6	1,28
Mg	5,2	0,06	4,9	0,05	90,8	0,37	95,0	1,55
B	5,3	0,06	5,0	0,04	91,7	0,38	96,9	1,99
N-K	5,2	0,03	4,9	0,04	91,1	0,15	94,9	1,35
N-Ca	5,3	0,06	5,0	0,09	91,8	0,55	92,7	0,47
Ca-B	5,2	0,08	4,9	0,08	92,1	0,54	95,3	1,39
N-P-K	5,0	0,05	4,8	0,10	92,0	0,29	94,5	1,24
Ninguno	5,1	0,13	4,9	0,08	92,0	0,56	96,3	3,90

Durante el primer año, mientras que en Paraguaicito y Villa Arcadia se presentaron valores promedio inferiores a 92,8, correspondientes al valor máximo de aceptación para el café de buena calidad (Sanz y Oliveros, 2017). En La Catalina el promedio fue 94. Durante 2008, sólo Naranjal registró un valor promedio de 92, y en los demás sitios evaluados, los altos niveles en esta variable de calidad (>94,6), pueden asociarse entre otros factores, con las condiciones climáticas antes mencionadas.

A nivel general, la fertilización foliar se asocia con algunos atributos de la calidad del grano, especialmente con su composición química, particularmente en aspectos relacionados con el contenido de cafeína, trigonelina, sucrosa y glucosa, entre otras (Clemente et al., 2018), las cuales son

transferibles al conjunto de características que determinan la calidad de la bebida (Caporaso et al., 2018; Tolessa et al., 2016). No obstante, ninguna de estas variables fue contempladas en el estudio, debido a que se pretendía en primera instancia, brindar una recomendación práctica a los caficultores conducente al incremento de la producción y calidad de su cultivo, mediante las variables de calidad verificables en los puntos de comercialización disponible en cualquier región del país.

En concordancia con lo expresado anteriormente, es necesario adelantar nuevas aproximaciones experimentales que permitan constatar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes, en variables más específicas pero que se encuentran asociadas con la calidad del grano y de la bebida.

Concentración foliar de nutrientes

Para todas las localidades, los contenidos foliares de nutrientes estuvieron dentro del rango considerado “adecuado” para el cultivo del café de acuerdo con Valencia (1986). El nivel de B se incrementó en algunos casos por efecto de su aplicación alcanzando niveles por encima de 40 mg kg^{-1} , que corresponde al valor mínimo requerido para lograr las mayores producciones del grano en las condiciones de la zona cafetera colombiana (Valencia y Arcila, 1977).

En Naranjal, las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg no presentaron cambios por efecto de uno u otro tratamiento. Las concentraciones promedio para los dos periodos evaluados fueron 2,80%, 0,15%, 1,60%, 0,86% y 0,22%, respectivamente (Figura 2). Se destaca un nivel promedio bajo de Mg respecto al rango adecuado. Para el caso del B, su concentración en el tratamiento donde fue suministrado tanto de manera individual como en asocio con el Ca superó 28% en promedio al registrado en los demás tratamientos, únicamente durante el segundo año (Figura 2).

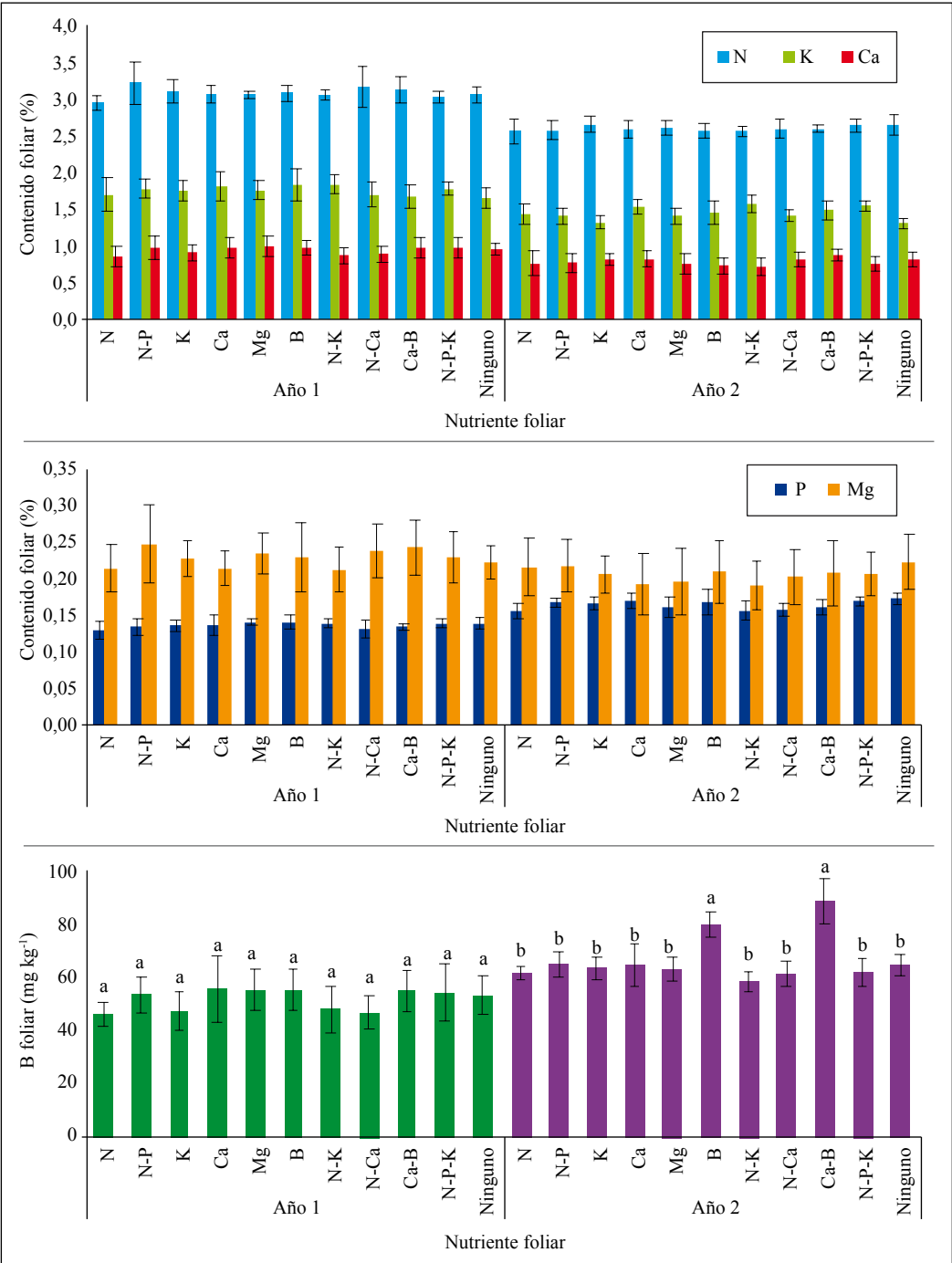
En Paraguaicito, la concentración de macronutrientes y elementos secundarios no varió por efecto de su aplicación en ninguno de los dos periodos en los que fueron evaluados (Figura 3). A nivel general, el N que estuvo entre 2,50% y 3,24%, alcanzó niveles superiores al rango adecuado para el cultivo (Valencia, 1986). El P tuvo niveles entre 0,13% y 0,15%, el K entre 1,30% y 1,80%. Con relación a los contenidos adecuados para el café en Colombia, el Ca y Mg presentaron valores bajos y altos respectivamente (promedios entre 0,20% y 0,70%).

La concentración de B estuvo en un amplio sentido, entre 61 y $81,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3), sin que dicho nivel tuviera afectación en la producción y calidad del grano. Específicamente, durante el primer año, una mayor concentración en las hojas fue detectada a favor del tratamiento con B foliar, respecto al tratamiento donde se aplicó Mg, condición que puede asociarse más a la variabilidad de los registros, que al efecto de los tratamientos propiamente dicho.

Para 2008 las concentraciones de B se incrementaron hasta 89 mg kg^{-1} y fueron estadísticamente diferentes a la concentración hallada en el tratamiento con N y P suministrados conjuntamente (65 mg kg^{-1}).

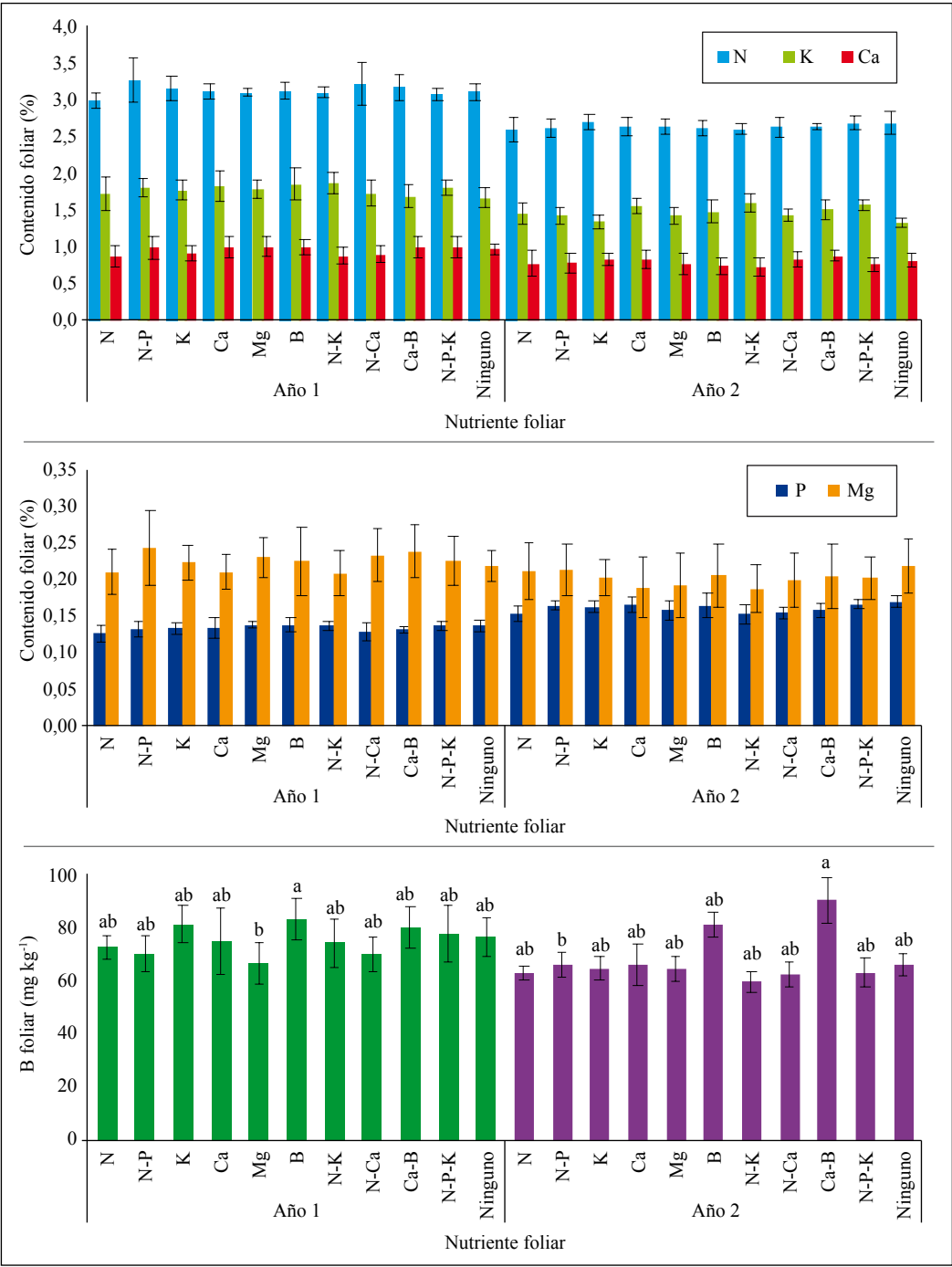
En La Catalina, los niveles de N, P, K, Ca y Mg no se afectaron significativamente por efecto de su aplicación vía foliar (Figura 4). Los valores promedios fueron 2,90%, 0,14%, 2,00%, 0,85% y 0,18%, respectivamente. Igual a lo manifestado en las localidades anteriores, los contenidos de Ca estuvieron en promedio por debajo del rango adecuado (0,30%-0,40%) reportado por Valencia (1986).

Con relación al B, las concentraciones foliares durante los dos periodos de observación estuvieron entre 59,5 y $69,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Los mayores niveles se presentaron cuando este elemento se aplicó conjuntamente con el Ca. Para el segundo año, pese a las tendencias observadas, no pudo establecerse un efecto claro y diferencial a favor de la aplicación de B, tanto individual o conjunta con el Ca, debido a la alta variabilidad en las concentraciones de este nutriente en diferentes tratamientos estudiados.



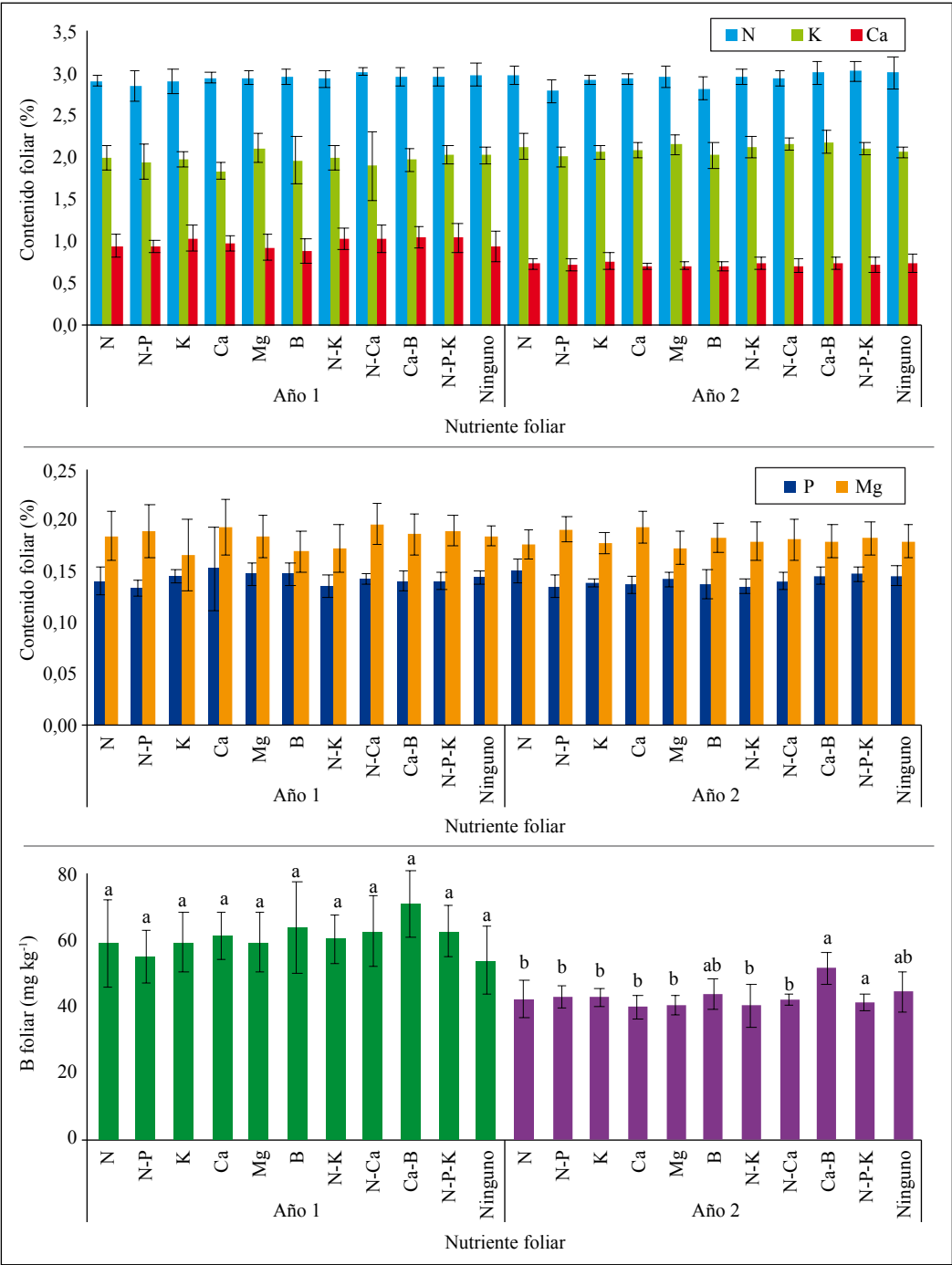
Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 2. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Naranjal. Barras verticales indican error estándar.



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 3. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Paraguaicito. Barras verticales indican error estándar.



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 4. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en La Catalina. Barras verticales indican error estándar.

Finalmente, para las condiciones de Villa Arcadia, la tendencia en los niveles foliares de N, P, K, Ca y Mg, mantuvieron una relación similar a la observada en las demás localidades del estudio. De este modo, la mayor concentración promedio fue de N (2,90%), seguida por K (1,60%), Ca (0,90%), Mg (0,20%) y P (0,10%). Destacándose que el nivel de Mg fue inferior a 0,30% y que se reporta, es el límite por debajo del cual la planta de café presenta una carencia de este elemento (Valencia, 1986). En el tratamiento con fertilización edáfica, los valores promedio fueron respectivamente 2,60%, 1,30%, 0,80%, 0,22% y 0,17% (Figura 5).

El B suministrado provocó incrementos significativos del 34% en su concentración foliar respecto a los demás tratamientos evaluados durante el primer año del estudio (Figura 5). Para el segundo año, los niveles estuvieron en muchos casos por debajo del nivel mínimo requerido según Valencia y Arcila (1977). Efecto que puede asociarse a un fenómeno ambiental ajeno al experimento cuyos resultados vienen en discusión.

Es de resaltar que, para las localidades donde los niveles de Mg foliar estuvieron por debajo del rango “adecuado” para café en Colombia, tal fenómeno puede asociarse con el manejo de la fertilidad del suelo (fertilización, fuentes fertilizantes y manejo de la acidez), por lo tanto, no debería asumirse como efecto antagónico de los nutrientes suministrados en los tratamientos foliares, dado que dicha condición se presentó también en el testigo.

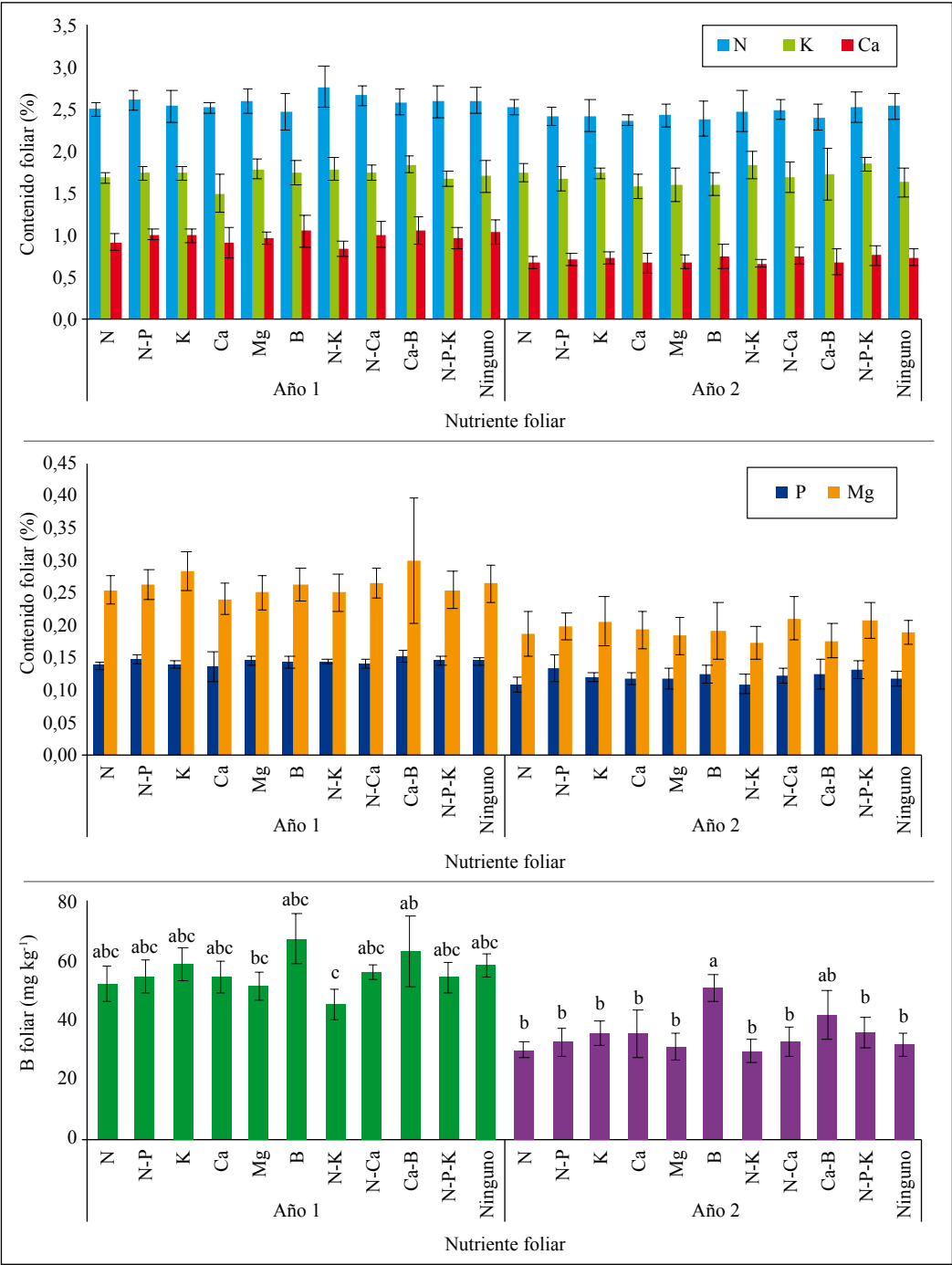
Desde el punto de vista de la época en la que se aplicaron los tratamientos y que correspondió a los 60 y 90 días después de floración, puede decirse que dicha práctica estuvo enmarcada con el momento de mayor demanda de nutrientes por los frutos. Sadeghian et al. (2012) y Sadeghian et al.

(2013), encontraron que entre los 60 y 120 días luego de la floración, se presenta la mayor acumulación de nutrientes en los frutos. Aun así, los resultados muestran que, a excepción del B en algunos sitios y épocas específicas, la absorción de los nutrientes aplicados vía foliar fue prácticamente nula.

La baja respuesta a la aplicación foliar de nutrientes puede asociarse entonces con las características de las hojas del café, cuya composición y anatomía diversa, pueden condicionar la velocidad de absorción de los nutrientes que fueron suministrados al cultivo a través de las fuentes fertilizantes y la modalidad de aplicación descrita en el estudio. Sobre este aspecto se discute con un mayor nivel de detalle a continuación.

Es bien sabido que la anatomía foliar de las plantas incluye superficies cubiertas por cutícula, la cual está compuesta por una matriz de biopolímeros con ceras. Fernández et al. (2015) sostienen que esta condición hace que dichas estructuras sean eficaces para evitar la pérdida de agua desde la planta, y al mismo tiempo limiten la absorción de nutrientes desde el medio. Dichos autores añaden además que, pese a esta consideración, la presencia de grietas cuticulares o la abundancia de algunas estructuras epidérmicas modificadas tipo estomas, pueden contribuir a incrementar el potencial de absorción de minerales a través de las aplicaciones foliares.

En el café específicamente, se ha demostrado que el grosor de la cutícula foliar es variable entre genotipos (Kitagami et al., 2013; Queiroz et al., 1992). Dicha característica sumada al grosor histológico foliar y del parénquima de empalizada, así como de la frecuencia estomática que suele predominar en el envés de las hojas (Dedecca, 1957), presenta variaciones significativas entre especies y variedades de café por efecto de la cantidad de energía



Letras distintas representan diferencia entre tratamientos para cada año de evaluación, según prueba Tukey al 5%.

Figura 5. Concentración foliar de nutrientes aplicados en su tratamiento correspondiente en Villa Arcadia. Barras verticales indican error estándar.

radiante que incide en el sistema de producción (Lima et al., 2013; Rodríguez et al., 2016; Oliveira et al., 2008). Como consecuencia de lo anterior, una baja absorción de nutrientes en las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento era de esperarse, puesto que la aplicación de los tratamientos se efectuó sobre la epidermis adaxial o superior.

En el conjunto de fenómenos que limitan la absorción de los nutrientes aplicados por aspersión foliar, puede haber una excepción cuando se trata del B, dado que su configuración química le permite moverse sin obstáculo a través de la cutícula de la hoja (Fernández et al., 2015). Este fenómeno puede explicar por qué dicho elemento fue el único que se asimiló por esta ruta de manera efectiva, condición que ha sido corroborada por diferentes investigaciones como lo reporta Carvajal (1984). Pese a esto, se recalca que no necesariamente una absorción foliar de B es garantía de su translocación hacia los órganos reproductivos, los cuales a la postre, reflejarían una ganancia en producción.

Finalmente, la literatura presenta experiencias exitosas en materia de absorción de nutrientes vía foliar en café, en la medida en que los fertilizantes empleados presenten una dimensión de sus partículas inferior a 100 nm (nano partículas), con el fin de favorecer su absorción y posterior asimilación a través del complejo sistema foliar antes mencionado. En este sentido, el suministro de nano partículas de Zn ha favorecido el crecimiento y algunas

variables asociadas con el metabolismo de la fotosíntesis de en dos especies de *Coffea arabica* (*C. arabica* var. Anacafé 14 y *C. canephora* var. Nemaya), que crecieron en suelos deficientes en este elemento (Rossi et al., 2019). Dicho efecto puede ser aún más promisorio en la medida en que se trabaje con agentes coadyuvantes o formulaciones cuyo pH se controle minuciosamente para favorecer la permeabilidad de las estructuras foliares, especialmente la cutícula (Fernández et al., 2015).

Lo discutido en este documento, explica el por qué una recomendación de fertilización foliar para los sistemas de producción de café, con las fuentes fertilizantes tradicionalmente aplicadas al suelo, puede derivar resultados inconsistentes.

Puede concluirse que, dadas las mínimas concentraciones de nutrientes absorbidos por las hojas del café, la fertilización foliar, llevada a cabo con los elementos, las concentraciones, las fuentes fertilizantes empleadas y la modalidad de aplicación en las épocas objeto de estudio, no complementa total ni parcialmente la fertilización edáfica según el análisis de suelos.

El suministro foliar de B con las dosis del nutriente y las fuentes empleadas en este estudio, puede conducir a la corrección de una deficiencia nutricional de este elemento, sin que dicha práctica derive en una toxicidad ni en el aumento de la producción.

LITERATURA CITADA

Abdelsalam, N. R., Kandil, E. E., Al-Msari, M. A. F., Al-Jaddadi, M. A. M., Ali, H. M., Salem, M. Z. M., & Elshikh, M. S. (2019). Effect of foliar application of NPK nanoparticle fertilization on yield and genotoxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Science of the Total*

Environment, 653, 1128–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.023>

Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café.

Avances Técnicos Cenicafé, 311, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4215>

- Ashouri, M., Fatahi, M. J., & Eshghi, S. (2018). Influence of late season foliar application of urea, boric acid and zinc sulfate on nitrogenous compounds concentration in the bud and flower of Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae*, 242, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.029>
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., Grebby, S., & Fisk, I. D. (2018). Non-destructive analysis of sucrose, caffeine and trigonelline on single green coffee beans by hyperspectral imaging. *Food Research International*, 106, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.031>
- Caro, H. (1992). Efecto de diferentes concentraciones y frecuencia de aplicación con nitrato de Potasio foliar en la producción de café *Coffea arabica*. *Agronomía*, 5(1), 29–32.
- Carvajal, J. F. (1984). *Cafeto: Cultivo y fertilización* (2ª ed.). Instituto Internacional de la Potasa.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2003). *Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2002-2003*.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2006). *Informe anual de actividades Disciplina de Fitotecnia 2005-2006*.
- Clemente J. M., Prieto, H. E., Woods, A., Poltonieri, Y., Cecon, P. R., & Lonfover, J. L. (2018). Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality, and Chemical compounds in Coffee Beans. *Journal of Food Quality*. 2018, ID7960231. <https://doi.org/10.1155/2018/7960231>
- Dedecca, D. M. (1957). Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. Typica Cramer. *Bragantia*, 16(23), 315–366. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051957000100023>
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., Abadía, J., Val, J., Davarynejad, G., Aran, M., & Khorassani, R. (2018). Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani). *Scientia Horticulturae*, 230, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.023>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2015). *Fertilización foliar. Principios científicos y prácticas de campo*. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA).
- Flórez, N., Balaguera, H. E., & Restrepo, H. (2015). Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv.septentrionale) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Scientia Horticulturae* 186, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.021>
- Guzmán, C. A., & Riaño, N. M. (1996). Respuesta de plantas de café en etapa de almácigo a la fertilización foliar. *Avances Técnicos Cenicafé*, 232, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Halvin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management* (6th ed.). Prentice Hall.
- Huang, L., Li, M., Zhou, K., Sun, T., Hu, L., Li, C., & Ma, F. (2018). Uptake and metabolism of ammonium and nitrate in response to drought stress in *Malus prunifolia*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 127, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.031>
- Ierna, A., Pellegrino, A., & Malvuccio, A. (2017). Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 38–44.
- Kitagami, J. T., Salatino, A., Guerreiro, O., & Faria, M. L. (2013). Foliar cuticular waxes of cultivated species and varieties of *Coffea*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 46, 116–119. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.09.012>
- Li, M., Wang, S., Tian, X., Li, S., Chen, Y., Jia, Z., & Zhao, A. (2016). Zinc and iron concentrations in grain milling fractions through combined foliar applications of Zn and macronutrients. *Field Crops Research*, 187, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.018>
- Lima, R., Santos, T. B., Estevez, L. G., Lucio, M., Ferrarese, O., Donatti, D., Torres, M., & Oliveira, C. L. (2013). Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of leaves (*Coffea arabica* L.). *Carbohydrate Polymers*, 93(1), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.015>
- Malavolta, E. (1982). Nutricao mineral e adubacao do cafeeiro; passado, presente e perspectivas. En E. Malavolta, T. Yamada, & J. A. Guidolim (Eds.), *Nutricao e adubacao do cafeeiro* (pp. 138–178). Instituto da Potassa e Fosfato.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principios de nutrición de plantas*. International Potash Institute.
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E. & Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio

- húmedo tradicional. *Revista Cenicafe*, 59(2), 120–142. <http://hdl.handle.net/10778/59>
- Oliveira, A. R., Puiatti, M., Contin, M., & Cecon, P. R. (2008). Plasticidade anatômica da folha de taro cultivado sob diferentes condições de sombreamento. *Bragantia*, 67(4), 1037–1045. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400028>
- Queiroz, R. B., Fahl, J. I., & Carvalho, M. L. (1992). Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. *Revista Brasileira Fisiologia Vegetal*, 4(2), 99–105.
- Rajabi, A., Ehsanzadeh, P., & Razmjoo, J. (2019). Partial Relief of Drought-Stressed Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Response to Foliar-Applied Zinc. *Pedosphere*, 29(6), 752–763. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60438-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60438-7)
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafe*, 59(3), 238–259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- Rodríguez, L. A., Guevara, F., Gómez, H., Fonseca, M., Gómez, C. J., & Pinto, R. R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* Var. Caturra rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 65(3), 248–254. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe*, 32, 1–44. <http://hdl.handle.net/10778/587>
- Sadeghian, S. (2010). Fertilización: una práctica que determina la producción de los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe*, 39(1), 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/377>
- Sadeghian, S., Mejía, B., & González, H. (2012). Acumulación de nitrógeno fósforo y potasio en los frutos de café. *Revista Cenicafe*, 63(1), 7–18. <http://hdl.handle.net/10778/519>
- Sadeghian, S., Mejía, B., & González, H. (2013). Acumulación de calcio magnesio y azufre en los frutos de café *Coffea arabica* L. variedad Castillo. *Revista Cenicafe*, 64(1), 7–18. <http://hdl.handle.net/10778/522>
- Sanz, J. R., & Oliveros, C. E. (2017). Calidad del café en cereza. Método CERPER-2 para centrales de beneficio y beneficiaderos comunitarios. *Avances Técnicos Cenicafe*, 48(1), 1–4.
- Silva D. M., Souza, K. R., Boas, L. V., Alvez, Y. S., & Alves, J. (2017). The effect of magnesium nutrition on the antioxidant response of coffee seedlings under heat stress. *Scientia Horticulturae*, 224, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.029>
- Tolessa, K., Rademaker, M., De Baets, B., & Boeckx, P. (2016). Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. *Talanta*, 150, 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.039>
- Valencia, G., & Arcila, J. (1977). Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. *Revista Cenicafe*, 28(4), 119–138.
- Valencia, G. (1986). Niveles adecuados de nutrimentos en suelos y en hojas para varios cultivos. *Avances Técnicos Cenicafe*, 13(1), 1–4.
- Wimmer, M. A., & Eichert, T. (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203–204, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.12.012>

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

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
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción
Agropecuaria Ecológica

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico, M.Sc.
Esther Cecilia Montoya R., Estadístico, M.Sc.
Hernando García O., Ing. Agroforestal
Luis Carlos Imbachi Q., Estadístico

Economía Agrícola

Hugo Mauricio Salazar E., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M.Sc.

Fisiología Vegetal

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

Suelos

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

Fitotecnia

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo
Cristian Salomón Rodríguez V., 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. Mecatrónico
Marlio Fernando Abella D., Agrónomo
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de
Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal

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 Entomólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Mauricio Jiménez Q., Agrónomo
Jesús Hernando Gómez L., Biólogo
Juan Diego Maldonado C., Biólogo
Laura Alexandra Laiton J., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Luis Eduardo Escobar S., Tecnólogo en Gestión
Agropecuaria
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

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos

Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información
Luis Gonzaga Henao R.
Luis Fernando Torres Q.
Orlando Salazar G.

Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Rosa Lilia Ferrucho, Ing. Agrónoma, Ph.D.
Lina María del Mar Escobar T., Bióloga, 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 Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
María Paula Trujillo B., Pasante
Angy Paola Cardona Ríos., Aprendiz

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.
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
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.
María Valentina Restrepo R., Pasante
Juliana Correa Q, Aprendiz

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
Alejandra Marcela Garcés G., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
Yolanda Castaño G.

Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Carlos Yohanny Cardona Z., 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 Paraguaicito
Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio

Carlos Roberto Ariza O., Ing. Agrónomo, Esp.

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

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
Andrés Felipe Arias López., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.
Rufina Perdomo G.
Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.
Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público
Andrés Felipe Mejía Henao., Técnico laboral por competencias en gestión administrativa
Viviana Grajales V., Pasante

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

Ángela Jaramillo G., Profesional 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.
Johana Betancur M., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónico
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.

Gestión de Tesorería

Jesús Danilo González O., Contador, Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, M.Sc.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional,
M.Sc.
Germán Uriel Granada., Administrador de Empresas, Esp.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de
Negocios

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Juan Manuel Meza S., Administrador de empresas, M.Sc.
Ángelo Quintero R., Contador Público
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas
Cindy Yohanna Salazar V., Técnica en Administración

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: $10\text{ °C}/\text{h}$ 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 °C y 20 °C o hileras a 3 , 6 y 9 m , pero 14% , 16% y 18% .
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones.

BIBLIOGRAFÍA

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título - Máximo 16 palabras

- Que sea breve y preciso.
- Que identifique el aporte del estudio, es decir, hágalo interesante pero preciso.
- Si se incluye el nombre común o el binomial (científico) de una especie en el 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.