

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 68 Número 2

Julio - Diciembre 2017



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Mauricio Cárdenas Santamaría

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Juan Guillermo Zuluaga Cardona

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

María Lorena Gutiérrez Botero

Director del Departamento Nacional de Planeación

Luis Fernando Mejía

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Nicolás Pérez Marulanda

COMITÉ NACIONAL

Periodo 1° enero/2015- diciembre 31/2018

José Fernando Montoya Ortega

José Alirio Barreto Buitrago

Eugenio Vélez Uribe

Danilo Reinaldo Vivas Ramos

Pedro Gonzalo Carrillo Urariyu

Javier Bohórquez Bohórquez

Álvaro Espitia

Ricardo Arturo Hernández Rubio

Jesús Armando Benavides Portilla

Alfredo Yáñez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

German Parra Correa

Héctor Santos Galvis

Luis Javier Trujillo Buitrago

Camilo Restrepo Osorio

Gerente General

Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo

Carlos Alberto González Arboleda

Gerente Financiero

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Mario Eduardo Vega Roa (E)

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.

Editada en diciembre de 2017
Tel: 57(6)8506550 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. 68

JULIO - DICIEMBRE 2017

No. 2

CONTENIDO

ALGORITMO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAFÉ LAVADO AFECTADO POR LA BROCA DEL CAFÉ. Juan Mateo Castrillón Cuervo; Juan Rodrigo Sanz Uribe; Paula Jimena Ramos Giraldo	7
ALGORITHM FOR THE IDENTIFICATION OF WASHED COFFEE AFFECTED BY COFFEE BERRY BORER	7
ASPECTOS BIOLÓGICOS DE <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) EN <i>Coffea arabica</i> EN CONDICIONES DE LABORATORIO. Marisol Giraldo Jaramillo; José Roberto Postalí Parra	20
BIOLOGICAL ASPECTS OF <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) IN <i>Coffea arabica</i> UNDER LABORATORY CONDITIONS	20
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELEMENTOS MINERALES EN CAFÉ VERDE Y TOSTADO, CON RELACIÓN A SUELOS Y ALTITUD. Gloria Inés Puerta Quintero; Claudia Patricia Bolívar Forero; Claudia Patricia Gallego Agudelo	28
CHEMICAL COMPOSITION OF MINERAL ELEMENTS IN GREEN AND ROASTED COFFEE WITH RESPECT TO SOIL AND ALTITUDE	28
EVALUACIÓN DE UN GASIFICADOR DE FLUJO DESCENDENTE UTILIZANDO ASTILLAS DE MADERA DE CAFÉ. Carlos Eugenio Oliveros Tascón; Juan Rodrigo Sanz Uribe; Nelson Rodríguez Valencia	61
EVALUATION OF A DOWNSTREAM GASIFIER USING COFFEE WOOD CHIPS	61
MÉTODO DE LABORATORIO PARA EVALUAR EL EFECTO DE INSECTICIDAS SOBRE LA BROCA DEL CAFÉ. Leidy Johana Tapias Isaza; Claudia Patricia Martínez Díaz; Pablo Benavides Machado; Carmenza Esther Góngora Botero.....	76
LABORATORY METHOD TO EVALUATE THE EFFECT OF INSECTICIDES ON COFFEE BERRY BORER	76
REMOCIÓN DE SEDIMENTOS EN EXTRACTOS DE CAFÉ MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA CON UNA MANANASA DE <i>Hypothenemus hampei</i>. Laura Vanessa Zuluaga Cardona; Beatriz Elena Padilla Hurtado; Carolina Aguilera Galvez; José Luis Ocampo; José Ricardo Acuña Zornosa	90
SEDIMENTS REMOVAL IN COFFEE EXTRACTS BY ENZYMATIC HYDROLYSIS WITH A MANNANASE OF <i>Hypothenemus hampei</i>	90

COMITÉ EDITORIAL

Álvaro L. Gaitán B.	PhD. Director, Cenicafé
Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Ing. Mecánico. Poscosecha, Cenicafé
Carmenza E. Góngora B.	PhD. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
José Ricardo Acuña S.	PhD. Microbiólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Siavosh Sadeghian K.	PhD. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

EDITORES ESPECIALIZADOS

Carmenza Góngora B.	PhD. Cenicafé, FNC
Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Cenicafé, FNC
José Ricardo Acuña Z.	PhD. Cenicafé, FNC
Zulma Nancy Gil	PhD. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino C.	MSc. Cenicafé, FNC

REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 68 NO 1 Y NO 2

Álvaro L. Gaitán B.	PhD. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Hernando Duque O.	MSc. Gerencia Técnica (FNC)
Pablo Benavides M.	PhD. Cenicafé, FNC
Siavosh Sadeghian K.	PhD. Cenicafé, FNC
Flor E. Acevedo B.	PhD. Cenicafé, FNC
Marisol Giraldo J.	PhD. Cenicafé, FNC
Aída E. Peñuela M.	MSc. Cenicafé, FNC
Fernando Farfán V.	MSc. Cenicafé, FNC
Aristóteles Ortiz	MSc. Cenicafé, FNC
Álvaro Jaramillo R.	MSc. Cenicafé, FNC
Carolina Ramírez C.	Esp. Cenicafé, FNC
Rodrigo Alarcón S.	Ing. Químico, Almacafé, FNC
Germán Huertas	Ing. Agrónomo, Comité de Cafeteros del Quindío, FNC
Rolando Tito Bacca I.	PhD., Universidad de Tolima
Alveiro Salamanca J.	PhD., en Suelos y Biogeoquímica
Héctor José Ciro	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
José Régulo Cartagena V.	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Jorge Julián Vélez U.	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales
José Miguel Cotes T.	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Aloisio Coelho Junior	Ph.D. Universidad de Sao Paulo
Flavio A. Prieto O.	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá
Iván Darío Aristizábal T.	PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Wálter Ricardo López	PhD. Universidad de Caldas
Edilson León Moreno C.	PhD. Universidad Nacional de Colombia
Johanna Bajonero C.	PhD. Universidad de Sao Paulo, Laboratorio de Biología de Insecto
Germán Amat G.	MSc. Instituto Ciencias Naturales
Artemo López L.	Ing. Agrónomo
Alma Henao T.	Bibliotecóloga. Cenicafé, FNC
Olga Umaña C.	MA. Traducción. Lic. en Lenguas Modernas

ALGORITMO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAFÉ LAVADO AFECTADO POR LA BROCA DEL CAFÉ

Juan Mateo Castrillón Cuervo*; Juan Rodrigo Sanz Uribe**; Paula Jimena Ramos Giraldo**

CASTRILLÓN C., J. M.; SANZ U., J. R.; RAMOS G., P. J. Algoritmo para la identificación de café lavado afectado por la broca del café. *Revista Cenicafé* 68(2):7-19. 2017

Esta investigación tuvo como propósito utilizar técnicas de visión artificial para identificar los granos de café afectados mediana y ligeramente por la broca del café, en el estado de café lavado. Esta técnica puede usarse para la clasificación de café en una máquina electrónica. Esto permitirá realizar la clasificación del café y posiblemente mejorar los ingresos de los caficultores, a través del incremento del precio de venta de café o incursionar en el mercado de cafés especiales. Se hicieron pruebas con un escáner y se implementó un sistema de visión artificial conformado por una cámara industrial de alta velocidad y un sistema de iluminación controlado, diseñado con requerimientos específicos, con el que se tomaron imágenes a 500 granos de café lavado en estados sano y brocado. Posteriormente, se desarrolló un algoritmo que consistió en segmentar los granos de café lavado e identificar las posibles perforaciones de broca y deterioro, recorriendo las imágenes con una máscara de dimensiones variables, para identificar las características de la afectación causada por el insecto. Se encontró que con una máscara de 3x3 píxeles, en imágenes con una resolución de 33,5 píxeles/cm (ppcm), se identifican los granos de café lavado afectado por la broca del café con el menor costo computacional y una eficacia promedio de identificación superior al 90%, el cual fue el criterio mínimo de aceptación. Este hallazgo permite concluir que es técnicamente viable la construcción de una máquina basada en visión artificial para la clasificación de café afectado por la broca del café.

Palabras clave: Visión artificial, clasificación, *Hypothenemus hampei*, imagen digital, calidad.

ALGORITHM FOR THE IDENTIFICATION OF WASHED COFFEE AFFECTED BY COFFEE BERRY BORER

The purpose of this research project was to use machine vision techniques to identify washed coffee beans moderately and slightly affected by coffee berry borer. This technique can be used to sort coffee in an electronic machine and, probably, to rise the income of the farmers by increasing the retail price of coffee or by getting into the specialty coffees market. A scanner was used to make tests and an artificial vision system was made up by using a high-speed industrial camera and a controlled lighting system, designed with specific requirements, that was used to take images of 500 washed coffee beans, both healthy and damaged by coffee berry borer. Subsequently, an algorithm to segment washed coffee beans and to identify potential borings or deterioration was developed by going through the images with a mask of variable dimensions in order to identify the characteristics of the damage caused by the insect. Washed coffee beans affected by coffee berry borer are identified with a 3x3 pixel mask in images with a resolution of 33.5 pixels/cm (ppcm) with the lowest computational cost and an average identification efficiency of over 90%, which was the minimum acceptance criterion. This finding leads to the conclusion that the construction of an artificial vision-based machine for the sorting of coffee affected by coffee berry borer is technically feasible.

Keywords: Artificial vision, *Hypothenemus hampei*, digital image, quality.

* Asistente de Investigación, Disciplina de Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico III e Investigador Científico I, respectivamente, Disciplina de Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La calidad del café colombiano se debe al control riguroso en el cultivo y en los procesos de cosecha y poscosecha. Uno de los principales enemigos de la calidad es la broca del café (*Hypothenemus hampei*), un insecto que ingresó a nuestro país a finales del siglo pasado, el cual es causante de grandes pérdidas económicas en la caficultura colombiana. Las infestaciones del insecto son más severas durante el evento de El Niño, el cual es consecuencia del calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial (8), que se manifiesta con sequías prolongadas en la mayoría de las zonas cafeteras de Colombia.

En el mundo se estima que la broca causa pérdidas anuales de más de 500 millones de dólares (5, 6), debido al detrimento de calidad física y organoléptica del café, y su efecto directo en el precio de venta. Los frutos infestados presentes en el suelo o en el árbol causan aumento en las poblaciones del insecto, lo cual requiere establecer un manejo de la broca en el campo para mantener los niveles de infestación en valores controlables (3). Las tazas de café con altos porcentajes de granos dañados por insectos poseen un olor nauseabundo, acidez acre o nula, amargor muy fuerte, cuerpo pesado y sabores a contaminado o carbonoso que la hacen imbebible (1).

Hay diferentes sistemas para la clasificación del café, que a su vez sirven para la remoción de café afectado por la broca. Dentro de estos sistemas se destaca el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (SHTTS), capaz de separar material liviano (97,7%) e impurezas pesadas y duras del café en cereza (88,2%) por densidad (11). Otro sistema que realiza

un trabajo muy similar al SHTTS es el tanque sifón, pero con mayor consumo específico de agua (10). Adicionalmente, existen los sistemas para la clasificación por densidad del café lavado, como son el canal de correteo (14, 17, 18), el canal semi-sumergido¹, el hidrociclón (1), entre otros, en los cuales se separan fácilmente granos de café afectados severamente por la broca. No obstante, los granos de café mediana y ligeramente afectados por la broca, daño conocido como punto de broca, son difíciles de remover, dado que la densidad de ellos es muy similar a la de los granos sanos².

La implementación de visión por computador ha optimizado procesos de selección, entre los que cabe destacar el diseño y la construcción de la máquina seleccionadora de frutos de café cereza por color, la cual clasifica los frutos de café en cinco estados de maduración, con una eficacia de clasificación superior al 95%, a una capacidad de 50 frutos/s, equivalente a la capacidad de una despulpadora de 300 kg.h⁻¹ (13, 16). En el mercado actual se encuentran numerosas máquinas clasificadoras basadas en visión artificial, las cuales realizan controles de calidad en productos alimenticios como cereales, semillas y granos, incluyendo los de café trillado, ampliamente utilizadas en las trilladoras de café (2).

En Colombia, las trilladoras se valen de diferentes sistemas para clasificar café trillado, utilizando combinaciones en serie y paralelo, de diferentes máquinas de clasificación densimétrica y electrónica: mesas densimétricas, catadoras neumáticas y las clasificadoras electrónicas. En observaciones de la masa de entrada y salida para dos

¹MÁRQUEZ G., S.M. Canal semisumergido para la clasificación del café cereza y pergamino húmedo: Informe. Chinchiná : Cenicafé, 1988. 32 p.

²CASTRILLÓN C., J.M.; RÍOS G., J.A. Informe visita trilladora Almacafé Manizales: Máquinas selectoras de café almendra. Manizales : Cenicafé, 2015.

máquinas electrónicas diferentes, la mayor eficacia encontrada para separar granos con puntos de broca fue del 70% y para granos brocados se encontraron eficacias que variaban entre el 25% y 44%. Se observó que aparte de todas las clasificaciones hechas a los granos en máquinas, que han seguido procesos rigurosos de calibración, al final del proceso es necesario hacer una separación manual en una banda transportadora (Figura 1), para cumplir con los estándares de calidad establecidos para la exportación del café. Todos los procesos mencionados anteriormente se traducen en un alto costo de mano de obra y de energía eléctrica.

En pruebas realizadas en los procesos de remoción del mucílago de café, se observó que los granos con endospermo (almendra) defectuoso pueden ser fácilmente observables cuando el café está en estado lavado, porque

el endocarpio (pergamino) es translúcido y se encuentra adherido al endospermo. Es más, como el grano está con su máxima humedad, el endospermo también tiene un grado de translucidez que permite apreciar características internas. De esa manera, un grano con afectación mediana o ligera de la broca del café, el cual no es separado por densidad en alguna de las etapas del beneficio húmedo del café, presenta características que son fácilmente observables a simple vista o a través del procesamiento de imágenes digitales. Las características apreciables de los granos brocados mediana y ligeramente, que los diferencia de los granos sanos, son un agujero de 1,13 mm de diámetro en promedio³, el cual normalmente se encuentra en la cara plana del grano (4), y las cavernas perforadas por el insecto en el endospermo, que por el deterioro se tornan oscuras.



Figura 1. Clasificación manual del café almendra al final de los procesos industriales de clasificación automática en la trilladora.

³ SANZ U., J.R. Visión artificial para la clasificación automática de café pergamino húmedo: Primer informe parcial. Bogotá : Colciencias, 2014.

Este trabajo de investigación tuvo como propósito utilizar técnicas de visión artificial para identificar eficazmente los granos de café afectados mediana y ligeramente por la broca del café, en el estado de café lavado. Esta información puede ser utilizada para el desarrollo de una máquina para remover los granos con este defecto, con el fin de ayudarlo al caficultor a ofrecer un café con mejor calidad, lo cual se traduce en un mayor precio de venta. Así mismo, se pretende ayudar a las industrias trilladoras regionales para obtener una mejor materia prima, evitar procesos y reducir los costos de mano de obra y energía eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue llevada a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Visión Artificial de la Disciplina de Poscosecha en Cenicafé.

La metodología de investigación se realizó en tres fases: 1) Adquisición de las imágenes, 2) Caracterización y análisis de los defectos causados por la broca del café, y 3) Desarrollo de los algoritmos de segmentación e identificación.

El café lavado utilizado provenía de la Estación Experimental Naranjal, de plantaciones con Variedad Castillo[®], el cual fue procesado por fermentación natural y lavado manual o mecánico. El café se trabajó siempre con menos de dos horas de haber realizado la remoción del mucílago, el cual después de escurrido presentaba una humedad media de 53% base húmeda.

Fase I. Adquisición de las imágenes

La adquisición de las imágenes fue hecha en formato TIFF (*Tagged Image File Format*)

sin compresión de datos, a través de un escáner CanonScan[®] 5600F a una resolución de 116,9 ppcm¹ y una cámara HS 2000C de la marca Emergent[®] Vision Technologies con una resolución de 83,8 ppcm.

Se diseñó y construyó un sistema de iluminación controlada, para adquirir imágenes con la cámara Emergent[®] Vision dentro de una campana de inspección de 0,15 m³. La iluminación estuvo conformada por cintas LEDs (*Light Emitting Diodes*) de 24 W de bajo requerimiento energético y generación de calor despreciable, la cual ayuda a mantener la humedad en los granos durante la inspección. Se seleccionaron estos LEDs con esa potencia, porque dispuestos adecuadamente iluminan de manera homogénea y uniforme, con poca incidencia de sombras y brillos indeseados. En el fondo de la campana se dispuso un elemento de contraste azul cian con componentes *Red*: 0, *Green*: 116 y *Blue*: 238 (referencia comercial LG-SCO 2067). Sanz *et al.* (15) verificaron que dicho elemento de contraste segmenta la totalidad de los defectos apreciables en este estado. En la Figura 2 puede observarse dicho montaje experimental.

Fase II. Caracterización y análisis de los defectos

El análisis se realizó con las herramientas computacionales Scilab, C++ y su librería, para el procesamiento de imágenes OpenCV, de código abierto y libre distribución.

Para la caracterización se dispusieron simultáneamente 80 granos sanos y 80 granos brocados en el escáner, el cual se adaptó con el contraste de fondo descrito en la Fase I. Mediante la biblioteca OpenCV

¹ ppcm: Píxeles por centímetro. Unidad del sistema internacional para denotar la densidad de píxeles de una imagen digital.



Figura 2. Sistema utilizado para la adquisición de las imágenes, **a.** Iluminación tipo LED; **b.** Campana de inspección con fondo de contraste; **c.** Cámara industrial de alta velocidad HS 2000C con bastidor de soporte.

para C++ y su visualizador Qt-Creator se observaron las intensidades en RGB de los granos sanos y los granos brocados, tanto en pequeñas perforaciones como en áreas con deterioro avanzado.

También se analizaron otros aspectos morfológicos de los granos como el tamaño de los orificios donde la broca penetra los granos, coloraciones de las hendiduras y otras imperfecciones de los granos que tienen un alto potencial de diferenciación para su implementación en este algoritmo.

Se determinó la consistencia del tamaño del orificio de la broca, a través de la desviación estándar del número de píxeles que representa dicha perforación sobre los granos de café brocados.

Fase III. Desarrollo de los algoritmos de segmentación e identificación

Los algoritmos fueron desarrollados en Scilab, con las librerías de procesamiento de imágenes IPD y SIVP.

Para el algoritmo de segmentación se utilizó la representación del color YCbCr, la Ecuación <1> muestra la conversión del espacio de color RGB a YCbCr (8, 9).

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65,48 & 128,55 & 24,96 \\ -37,79 & -74,20 & 112 \\ 112 & -93,78 & -18,21 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} <1>$$

Las componentes *Cb* y *Cr* representan componentes de crominancia azul y roja, respectivamente. Los granos de café poseen intensidades azules bajas, lo cual facilita la segmentación de éstos sobre un fondo o contraste de coloración azul. En la Figura 3 se muestra un histograma de la componente *Cb*, con dos picos máximos, un máximo global correspondiente a la información de píxeles de fondo y un máximo local correspondiente a la información de granos de café brocado y sanos.

En la Tabla 1 se aprecia el algoritmo para segmentar los granos de café. Dicho algoritmo no se ve afectado por los brillos que produce el agua y elimina las pequeñas

impurezas de la imagen, dejando solamente los granos como región de interés, como se observa en la Figura 4.

Tabla 1. Algoritmo para segmentar café pergamino húmedo.

Paso	Descripción
1	Obtener la imagen digital
2	Almacenar las componentes RGB en memoria
3	Convertir al espacio de color YCbCr
4	Establecer el punto de umbralización mediante umbral adaptativo Otsu (12)
5	Obtener la matriz binaria
6	Etiquetar los objetos en la imagen
7	Eliminar los objetos pequeños (errores de umbralización)

Para la identificación de las perforaciones de la broca se desplazó una máscara cuadrada de $N \times N$ a través de la imagen, siendo N el tamaño de la matriz a desplazar. Cuando el promedio de todos los elementos de dicha máscara es inferior al umbral T , dicha región es clasificada como un grano afectado por la broca. El umbral T y el tamaño N son determinados de acuerdo a los resultados de la Fase II. En la Tabla 2 puede observarse el algoritmo con mayor detalle.

Tabla 2. Algoritmo para la detección de broca.

Paso	Descripción
1	Calcular la matriz de la escala de grises
2	Multiplicar punto a punto la imagen en escala de grises por la matriz binaria
3	Iterar la máscara de $N \times N$ a través de la matriz resultante del Paso 2
4	En cada iteración calcular el promedio de los píxeles contenidos en la máscara
5	Si el promedio es menor al umbral de necrosis clasificar dicha región como un grano brocado

Calibración del algoritmo. Se calibraron los siguientes parámetros del algoritmo:

- Píxeles por centímetro de la imagen, ppcm (tamaño de la imagen)
- Tamaño de la máscara, $N \times N$ en píxeles
- Umbral de necrosis, T , en píxeles

Se calculó la eficacia del algoritmo para diferentes parámetros de calibración, densidad de píxeles entre 16,8 y 116,9 ppcm, N entre 3 y 11 píxeles, y T entre 60 y 140 píxeles.

Dichos parámetros fueron ajustados con el fin de obtener la mayor eficacia posible con el menor número de puntos por centímetro, y así encontrar la imagen más pequeña posible que permita implementar un algoritmo rápido y confiable. También se registró el tiempo de cómputo por cada grano.

Para llevar a cabo la calibración, inicialmente se encontró la imagen de menor tamaño (menor número de píxeles por centímetro), con la cual se mantenía una eficacia de al menos 90%, posteriormente, se ajustaron los dos parámetros restantes para incrementar dicho valor.

A partir de un análisis de matriz de confusión o tabla de contingencia (10), se calculó la eficacia de identificación (Ecuación <2>).

$$E = \frac{N_{ss} + N_{bb}}{N} \quad \langle 2 \rangle$$

Donde:

E = Eficacia

N_{ss} = Número de granos sanos identificados como sanos

N_{bb} = Número de granos brocados identificados como brocados

N = Número total de granos analizados

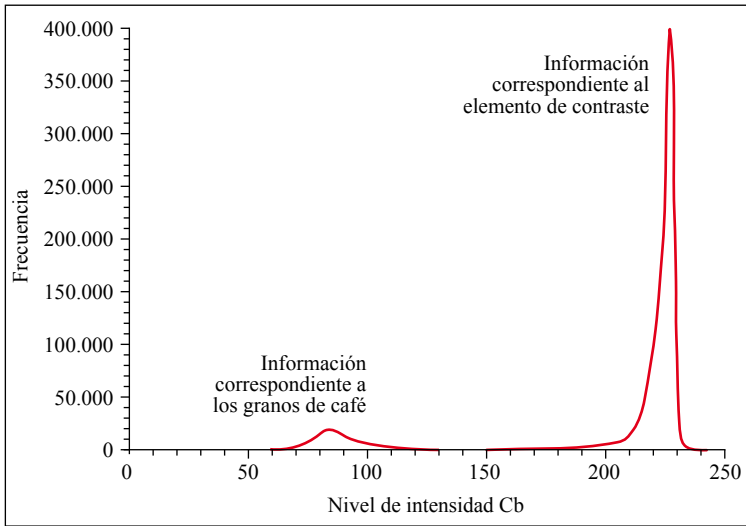


Figura 3. Histograma de intensidades para granos sanos y brocados.

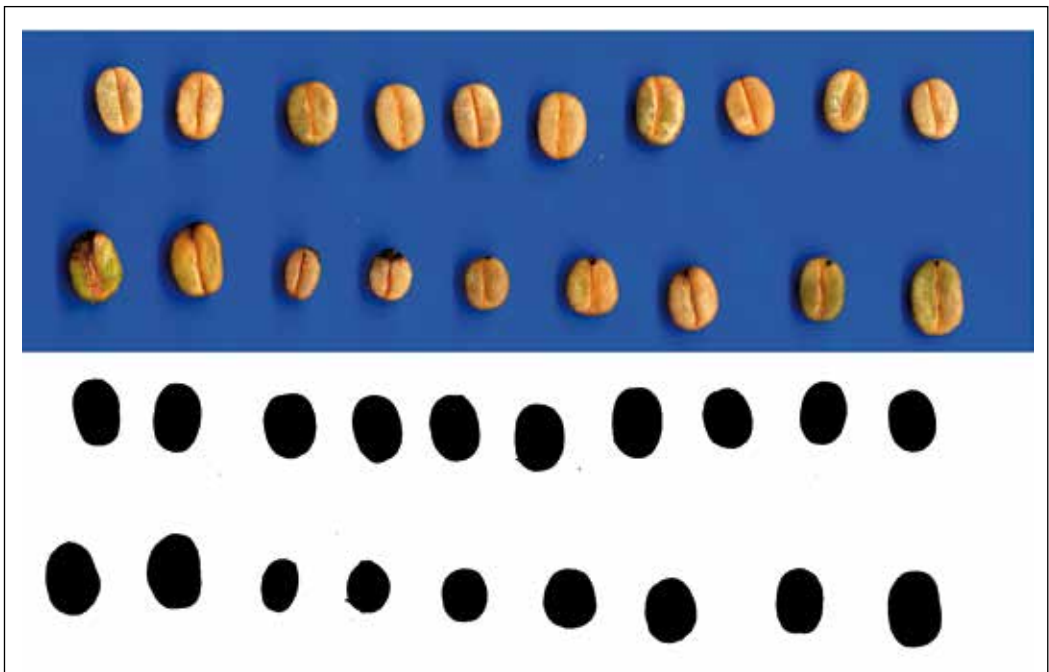


Figura 4. Umbralización granos brocados y sanos. Imagen original arriba e imagen umbralizada abajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El algoritmo de segmentación logró identificar el 100% de los granos brocados y el 100% de los granos sanos. El umbral adaptativo Otsu, de bajo costo computacional, permitió tener un algoritmo de segmentación robusto, con una incidencia baja ante los cambios de iluminación, efectos de sombras y reflejos de luz producidos por el agua.

En la Figura 5 puede observarse un caso típico de perforación de la broca en el grano de café, imagen obtenida con el escáner sin algún tipo de modificación. Puede observarse que el diámetro aproximado es de nueve píxeles y los niveles de intensidad en los tres canales RGB son muy bajos (oscuros).

A través de método de píxeles calibrados, se corroboró que en promedio el tamaño del daño de broca es de aproximadamente 1,13 mm de diámetro en las perforaciones de los granos, con una desviación estándar de 0,12 mm, lo que evidencia una alta

consistencia en el tamaño de las perforaciones y facilita la implementación del algoritmo con un tamaño de máscara fija que recorra la imagen en busca de puntos con bajos niveles de intensidad.

Calibración del algoritmo. Para las imágenes de granos adquiridas con el escáner se obtuvieron eficacias de identificación que variaron entre el 50,00% y 93,12%. En la Figura 6, utilizando un umbral de la máscara de 100, se observa claramente que las eficacias superiores al 80,00% se obtienen con imágenes de un tamaño entre 60 y 80 ppcm y una máscara con un tamaño N de 11x11 ó 9x9; sin embargo, se busca un algoritmo rápido y con estas resoluciones se experimentaron tiempos de ejecución superiores a los 20 s por cada escena (Figura 7).

El tamaño de máscara de 3x3, aplicado a una imagen con 23,4 ppcm, posee una eficacia del 89,37%; mientras que para las imágenes a 46,8 ppcm se tienen eficacias del 90,62% y 88,12%, para máscaras de tamaño

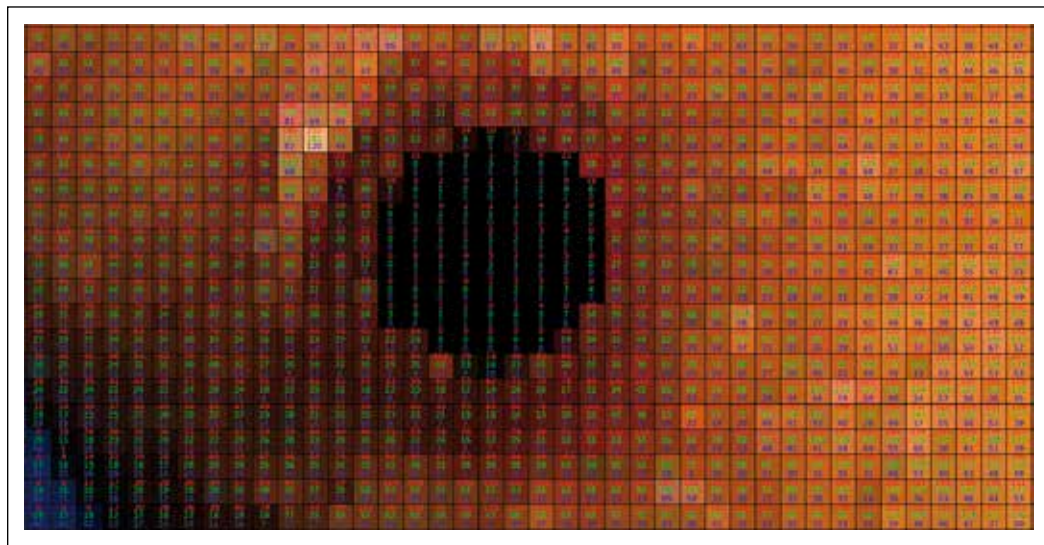


Figura 5. Perforación típica de *H. hampei* y sus niveles de intensidad RGB.

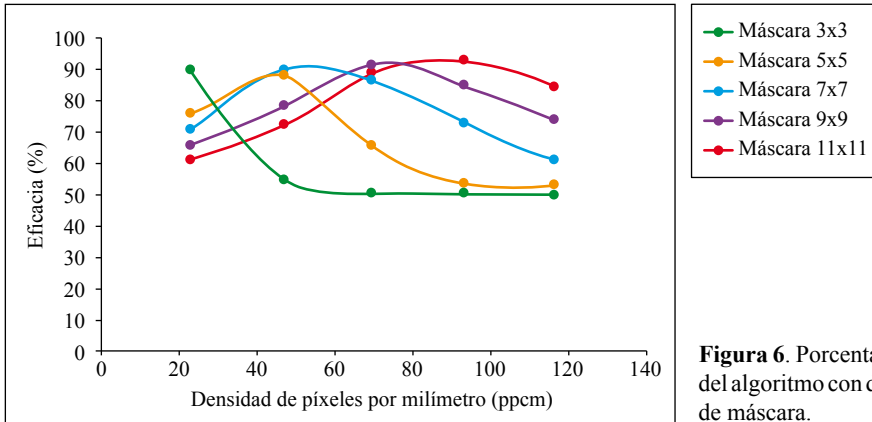


Figura 6. Porcentaje de las eficacias del algoritmo con diferentes tamaños de máscara.

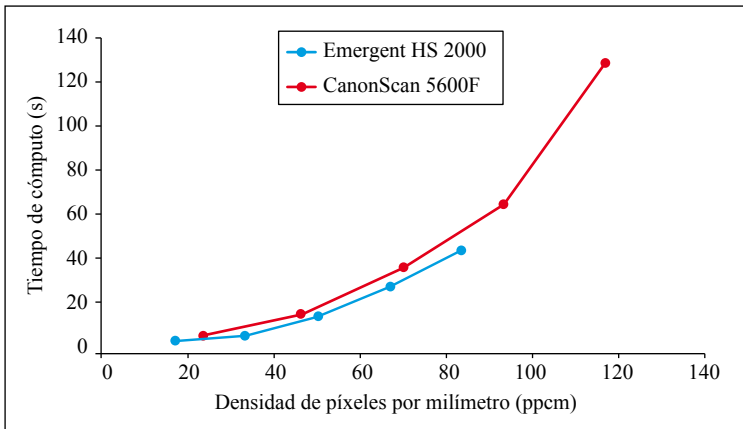


Figura 7. Tiempo de cómputo promedio empleado por el algoritmo según la resolución de la imagen.

7x7 y 5x5, respectivamente. Por lo que se seleccionan dichas densidades de píxeles para continuar la calibración.

Para una resolución de 46,8 ppcm y un umbral T de 60, se obtuvo una eficacia del 95%. Del mismo modo se realizaron más pruebas del algoritmo, en la Tabla 3 se presentan las eficacias más altas y sus parámetros de operación; se aprecia que las mayores eficacias se obtuvieron con imágenes a 46,8 ppcm. Al variar los demás parámetros de calibración con imágenes a 23,4 ppcm no se encontraron eficacias mayores

al 80%, excepto la que se incluyen en la Tabla 3. En la Figura 8 puede apreciarse el reconocimiento de granos brocados mediante el algoritmo en el punto de trabajo óptimo encontrado (parámetros en la primera fila de la Tabla 3).

Análogamente, se realizó el mismo proceso de calibración para las imágenes adquiridas mediante la cámara Emergent HS 2000C. Las eficacias obtenidas, el tiempo de cómputo empleado para cada reconocimiento y los parámetros con que estos datos fueron obtenidos se presentan en la Tabla 4. Solo

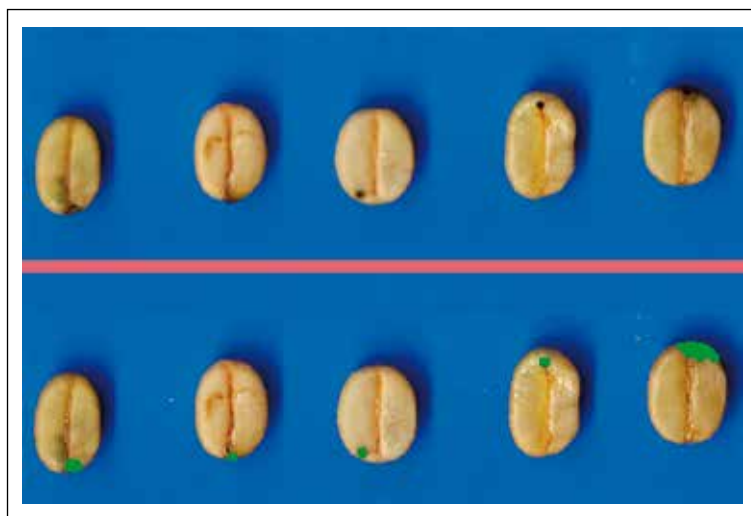


Figura 8. Reconocimiento de granos perforados por la broca del café y zonas con deterioro.

Tabla 3. Eficacias y sus parámetros de operación para imágenes adquiridas con el CanonSacn 5600F.

Eficacia (%)	Densidad (ppcm)	Tamaño de máscara (píxeles x píxeles)	Umbral (Intensidad)	Tiempo de ejecución (s)
95	46,8	3x3	60	16,79
91	46,8	5x5	80	16,56
91	46,8	5x5	100	16,81
91	46,8	9x9	120	16,47
91	46,8	7x7	100	16,48
89	23,4	3x3	100	7,87

Tabla 4. Eficacias y parámetros de operación para imágenes adquiridas con la cámara Emergent HS 2000C.

Eficacia (%)	Densidad (ppcm)	Tamaño de máscara (píxeles x píxeles)	Umbral (Intensidad)	Tiempo de ejecución (s)
91	33,5	3x3	80	7,75
91	50,3	3x3	80	16,60
89	33,5	5x5	100	7,47
89	50,3	7x7	100	16,40

se muestran valores de 33,5 y 50,3 ppcm, debido a que las eficacias obtenidas a menor resolución no superaron el 70%.

Para ambos casos de adquisición, ninguna de las eficacias alcanzó el 100%, debido a que existen algunos granos de café brocado que no presentan perforaciones visibles por su cara plana. Se encontraron granos con perforaciones en la cara convexa (menos del 1%) y en una menor proporción granos cuyas perforaciones eran solamente visibles al tener el grano sostenido verticalmente y observar el costado de sus extremos (Figura 9).

Las eficacias más altas para ambos métodos de adquisición fueron resultado del trabajo con imágenes de gran tamaño; sin embargo, el tiempo de cómputo supera los 20 s, debido al elevado número de iteraciones que deben realizarse para recorrer la imagen. Los parámetros hallados permiten diferenciar entre granos brocados y sanos a una velocidad de 25 granos/s con una eficacia del 91%, para el caso de las imágenes procedentes de la cámara industrial.

Posteriormente, se realizaron ensayos con 800 granos brocados y 800 granos sanos para corroborar los datos obtenidos y confirmar

el punto óptimo de trabajo de la cámara. Las eficacias se mantuvieron superiores al 91% para todos los casos y los tiempos de cómputo fueron similares; sin embargo, los tiempos de cómputo observados fueron altos, debido a que esta parte de la investigación se llevó a cabo mediante un lenguaje de programación de alto nivel, para facilitar el diseño y desarrollo del algoritmo. Estos tiempos se están reduciendo a través de la implementación de un sistema autónomo con otro lenguaje de programación, haciendo uso eficiente de memoria y aprovechando al máximo los recursos del dispositivo, donde se han encontrado tiempos de ejecución del algoritmo menores a los 100 ms.

Además, se encontró que la máscara debe ajustarse al tamaño de la perforación en la imagen para obtener una alta eficacia, es decir, si se desea trabajar con imágenes de baja resolución se requiere un tamaño de máscara menor y viceversa.

Con la metodología descrita en este artículo se facilita dicha implementación con una cámara de bajo costo, ya que se tiene una metodología estandarizada para calibrar el algoritmo con diferentes medios de adquisición de imágenes.

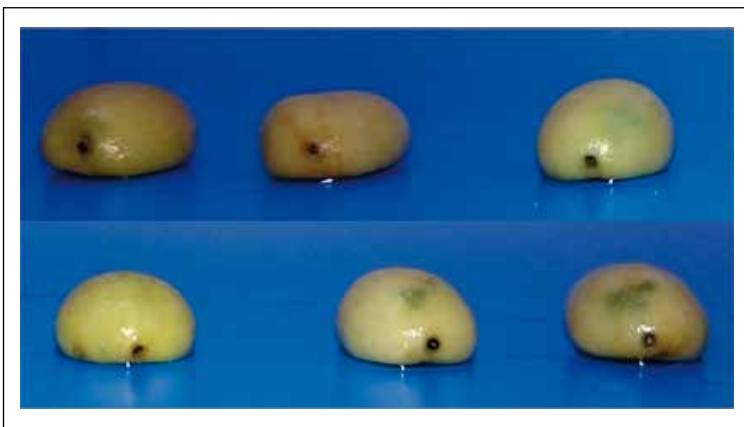


Figura 9. Perforación de la broca del café visible solamente desde costado de los granos.

Adicionalmente, se logró segmentar los demás defectos de los granos visibles a través del pergamino húmedo, incluso se llevó a cabo la segmentación de granos sin despulpar o parcialmente despulpados (comúnmente conocidos como guayaba y mediacara, respectivamente), que presentan intensidades de color relativamente diferentes a las que se observan en otros defectos y en granos sanos, para esto no hubo modificación del algoritmo de segmentación expuesto en la Tabla 1.

En un análisis posterior se expandió el algoritmo para la clasificación de granos sanos y los defectos brocado, guayaba y mediacara. Se creó un índice de perforación al dividir el número total de píxeles de cada grano (área visible del grano), entre el número de píxeles detectados como oscuros (debajo del umbral expuesto anteriormente). Se tomaron como granos negros aquellos cuyo índice es mayor a 0,75 y se definieron como sanos los de índice menor a 0,002; todos los demás se consideraron granos brocados. Se obtuvieron valores de 91,62%, 90,00% y 94,62% de verdaderos positivos para granos brocados, sanos y parcial o totalmente despulpados, respectivamente. La eficacia o sensibilidad del clasificador fue de 92,70%. Gracias a este hallazgo, se han desarrollado paralelamente varios algoritmos para separar estos defectos, con eficacias superiores al 90,00% y serán articulados en el sistema embebido mencionado, para realizar una selección de alrededor de 300 granos/s, donde se tiene como limitación principal el precio final de la máquina.

Actualmente se está estudiando la forma de alimentación del café lavado y su eyección, se están llevando a cabo los diseños pertinentes y se analiza la viabilidad de construcción de los mismos, teniendo en cuenta la capacidad de compra de los caficultores y la complejidad social del agro en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al doctor Pablo Benavides Machado por su ilustración y apoyo en temas relacionados con la biología de la broca. Al personal del Taller de Poscosecha y el Beneficiadero de semilla de Cenicafé. Al Gerente de Almacafé de Manizales doctor Rodrigo Botero Macía y al ingeniero Héctor Jaramillo por permitirnos visitar sus instalaciones.

LITERATURA CITADA

1. ARISTIZÁBAL T., I.D. Diseño, construcción y evaluación de un hidrociclón para lavar y clasificar café fermentado. Medellín: Universidad nacional de Colombia, 1995. 195 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
2. BEE, S. Optical sorting for the coffee industry. Trieste 19 : ASIC, 2001.
3. BENAVIDESM., P.; GONGORAB., C.E.; BUSTILLO P., A.E. IPM program to control coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. p. 511-540. En: PERVEEN, F. Insecticides: Advances in integrated pest management. Croatia : InTech, 2012. 708 p.
4. BUSTILLO P., A.E. La comunicación en insectos, reciben mensajes las plantas?: El caso de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Tolima : SOCOLEN, 2005. p. 57-85
5. BUSTILLO P., A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana: La broca del café. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 466 p.
6. BUSTILLO P., A.E.; CÁRDENAS M., R.; VILLALBA G., D.A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F.J. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná : FNC : Cenicafé, 1998. 134 p.
7. CONSTANTINOC., L.M.; GILP., Z.N.; JARAMILLO R., A.; BENAVIDES M., P.; BUSTILLO P., A.E. Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca de café, *Hypothenemus hampei* en la zona central cafetera de Colombia. Tolima : SOCOLEN, 2011. p. 106-121

8. FAWCETT, T. An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters* 27(8):861-874. 2006.
9. GONZÁLEZ, R.C.; WOODS, R.E.; EDDINS, S.L. *Digital image processing using MATLAB: Color image processing*, 2a. ed. Knoxville : Gatesmark publishing, 2009. 329 p.
10. MÁRQUEZ G., S.M. Evaluación y optimización de la operación del tanque sifón para el clasificado del café cereza. Medellín : Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, 1987. 117 p. Tesis: Ingeniero agrícola.
11. OLIVERO S.T., C.E.; SANZ U., J.R.; MONTOYAR., E.C.; MORENO C., E.L. Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. *Cenicafé* 60(3):229-238. 2009.
12. OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transaction on systems, man and cybernetics* 9(1):62-66. 1979.
13. RAMOS G., P.J. Diseño, construcción y evaluación de un sistema de identificación de estados de madurez a altas velocidades. Pereira : Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería eléctrica, 2008. 159 p. Tesis: Magister en ingeniería eléctrica.
14. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná : Cenicafé, 1999. 300 p.
15. SANZ U., J.R.; RAMOS G., P.J.; CASTRILLÓN C., J.M.; FERRIER, N. Characterization of defective washed coffee beans for electronic sorting. *Saint Petersburg : CIOSTA & CIGR*, 2015. p. 740-749.
16. SANZ U., J.R.; RAMOS G., P.J.; OLIVEROS T., C.E. Algorithm to identify maturation stages of coffee fruits. En: *IAENG. Transactions on electrical and electronics engineering: Computer society*. San Francisco : IEEE, 2008. p. 167-174.
17. TORRES A., S.E. Clasificación de café pergamino en canal de correteo y en máquina de aire zaranda. Chinchiná : Cenicafé, 1990. 99 p.
18. VILLABONA G., S. Estudio de la separación del café brocado en el canal de correteo. Chinchiná : Cenicafé, 1995. 45 p.

ASPECTOS BIOLÓGICOS DE *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) EN *Coffea arabica* EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Marisol Giraldo Jaramillo*; José Roberto Postali Parra**

GIRALDO J., M.; POSTALI P., J.R. Aspectos biológicos de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) en *Coffea arabica* en condiciones de laboratorio. Revista Cenicafé 68(2):20-27. 2017

Leucoptera coffeella (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) es una de las principales plagas del café en Brasil y un problema potencial en Colombia frente a escenarios de variabilidad climática. En este estudio fueron determinados algunos aspectos de la biología, desarrollo y reproducción de esta plaga en condiciones de laboratorio con temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, humedad relativa $70\%\pm 10\%$ y fotoperíodo 14:10, empleando hojas de *Coffea arabica* var. IAC Obatã 4739, variedad de café en expansión en Brasil. El ciclo del insecto de huevo a adulto fue $20,88 \pm 0,89$ días y la viabilidad total de $90\% \pm 8,7\%$. El insecto presenta un período de pre-oviposición de $3,4 \pm 0,2$ días y un promedio de fecundidad por hembra de $60,3 \pm 3,8$ huevos.

Palabras clave: Minador del café, plaga, café, ciclo de vida.

BIOLOGICAL ASPECTS OF *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) IN *Coffea arabica* UNDER LABORATORY CONDITIONS

Leucoptera coffeella (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) is a major pest of coffee in Brazil and a potential problem in Colombia in scenarios of climate variability. This study determined some aspects of the biology and development and reproduction conditions of this pest under laboratory conditions with a temperature of $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, relative humidity of $70\% \pm 10\%$, and photoperiod of 14:10, using leaves of *Coffea arabica* var. IAC Obatã 4739, a growing variety of coffee in Brazil. The cycle of the insect from egg to adult was 20.88 ± 0.89 days and the overall viability was $90\% \pm 8.7\%$. The insect has a pre-oviposition period of 3.4 ± 0.2 days and a female fertility average of 60.3 ± 3.8 eggs.

Keywords: Coffee leaf miner, pest, coffee, lifecycle.

*Investigador Científico I, Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Profesor Titular, Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil.

Las principales plagas del café a nivel mundial son: la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) y el minador del café (Lepidoptera: Lyonetiidae). Crowe (8) describió cuatro especies del género *Leucoptera* (Lepidoptera: Lyonetiidae) atacando al género *Coffea*, estas especies son: *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), *Leucoptera meyricki* (Ghesquière, 1940), *Leucoptera coma* (Ghesquière, 1940) y *Leucoptera cafeina* (Washbourn, 1940).

Existen diferentes autores que discrepan sobre el origen de *L. coffeella*. Bradley (5) argumenta que es una especie de origen Neotropical, mientras Green (15) afirma que fue introducida en América procedente de la Isla Reunión en el océano Índico. En Brasil es considerada como la principal plaga del café (12, 27, 32), por su ocurrencia generalizada y a los perjuicios económicos causados (12, 26), los cuales pueden llegar hasta un 50% de pérdidas en producción (20), debido a que todas las variedades de *Coffea arabica* cultivadas en Brasil son susceptibles a este insecto (16). Existen reportes de poblaciones de este insecto resistentes a insecticidas que son usados para controlarlo; Alves *et al.* (2) encontraron resistencia de *L. coffeella* a organofosforados, especialmente clorpirifos, con una frecuencia de insectos resistentes <12%. En 2002, Fragoso *et al.* (11) encontraron incrementos en la frecuencia de insectos resistentes superiores al 35%, para este mismo insecticida.

Otros países, como Puerto Rico, reportan daños económicos entre 20% y 40% y reducción de la fotosíntesis e impacto negativo en la producción (4); México reporta daños económicos de hasta 12%, siendo considerada allí como una plaga secundaria (31). En Colombia es considerada una plaga potencial, siendo comúnmente encontrada en cultivos localizados a bajas

altitudes (< 1.300 m) y en épocas secas. Las altas infestaciones son favorecidas por un manejo inadecuado de arvenses y al uso indiscriminado de agroquímicos (3, 6, 7). De acuerdo con David-Rueda *et al.* (9), este insecto se encuentra bajo control natural en el departamento de Antioquia, donde la estrategia de control se basa en control biológico de conservación.

La biología de este insecto ha sido estudiada por diversos autores (29, 32, 33, 35), quienes determinaron que el desarrollo del insecto de huevo a adulto puede variar de acuerdo a la variedad de café en la que se desarrolla, así como a las condiciones de temperatura, humedad relativa y precipitación pluviométrica. Los resultados con relación a la duración del ciclo de huevo a adulto reportados en la literatura, pueden variar entre 19 y 87 días, encontrándose como un rango favorable de temperatura para el desarrollo del insecto de 22 a 28°C (12, 13, 26, 27, 32). Trabajos adelantados en Brasil por Parra (26) y Magalhães *et al.* (19), evaluando diferentes genotipos del género *Coffea*, determinaron que la biología, sobrevivencia y fecundidad del insecto se ve afectada por el genotipo de *Coffea* en que se desarrolla y se atribuye a las diferencias de alcaloides y fenoles presentes en las hojas. De igual forma, en *Coffea racemosa*, Ramiro *et al.* (28) y Mondengo *et al.* (21, 22) identificaron posibles fuentes de resistencia a este insecto.

La variedad de café arábica IAC Obatã 4739 fue liberada para uso comercial en el año 2011, por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC) en Brasil, con atributos de resistencia a roya del cafeto, porte bajo adecuado para cultivos de alta densidad, con buena producción razón por la cual es una variedad que se ha extendido rápidamente en Brasil (1, 18), pero de acuerdo con De Matos

et al. (10) es una variedad susceptible a *L. coffeella*; sin embargo, no existen reportes del ciclo de vida y comportamiento reproductivo en ese genotipo de café.

El presente estudio tuvo por objetivo determinar en el laboratorio, aspectos de la biología y reproducción de *L. coffeella* en *C. arabica* var. IAC Obata 4739, a una temperatura constante de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en el laboratorio de Biología de Insectos del Departamento de Entomología y Acarología de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Brasil (latitud $22^\circ 42' 51,0366''\text{S}$, longitud $47^\circ 37' 41,556''\text{O}$).

Para iniciar la cría de *L. coffeella* se recolectaron hojas de *Coffea arabica* variedad Obatã, que tuvieran larvas y pupas de minador, las cuales fueron llevadas al área experimental del Departamento de Entomología y Acarología de ESALQ-USP en Piracicaba. Para el mantenimiento de la cría se adaptó la metodología desarrollada por Parra (26). Después de recolectar las hojas infestadas con los insectos, éstas fueron llevadas al laboratorio y se depositaron en cajas de Petri con papel filtro # 4, humedecido con agua destilada, con el fin de evitar el desecamiento de los insectos; cuando emergieron los adultos, éstos fueron separados por sexo, de acuerdo a las características externas del último segmento abdominal.

En una cámara climatizada con condiciones de temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa (HR) de $70\% \pm 10\%$ y fotoperíodo de 14 h, varios insectos (machos y hembras) fueron colocados en el interior de jaulas cubiertas con una malla de tul blanco. Las jaulas contenían

hojas de café variedad Obatã del tercer al cuarto nudo, conservadas en espuma floral humedecida con agua destilada. Diariamente de las hojas se recolectaron los huevos, se reemplazaron las hojas así como los insectos muertos, los cuales fueron sustituidos por otro individuo.

Biología de *L. coffeella*

Los parámetros biológicos de *L. coffeella* se evaluaron en temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, manteniendo los diferentes estados de los insectos en cámaras climatizadas en las condiciones antes descritas. Para alcanzar el objetivo, las hojas con los huevos obtenidos en las jaulas de cría, se llevaron a cajas de Petri de vidrio numeradas y conservadas en las cámaras climatizadas.

Se realizó una observación diaria de los insectos desde huevo hasta la fase adulta, para lo cual fueron evaluados 300 huevos, determinando la siguiente información: Duración de cada uno de los estados biológicos (huevo, larva, pupa), porcentaje de sobrevivencia de cada estado, número de machos y hembras con el fin de determinar la proporción sexual ($rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$).

Los adultos emergidos fueron alimentados con solución de sacarosa al 10% de acuerdo con Nantes y Parra (24), y con éstos fueron constituidas 100 parejas de insectos de edad similar, en las cuales se determinaron: El período de pre-oviposición y oviposición, el número de huevos/hembra/día, el número total de huevos/hembra, y la longevidad de machos y hembras.

Se realizó un análisis de estadística descriptiva para cada una de las variables: Duración del ciclo de vida, sobrevivencia, número de machos y hembras, proporción sexual, duración del período de oviposición,

número de huevos/hembra/día, número total de huevos/hembra y longevidad machos y hembras; medidas de tendencia central y medidas de variación (varianza, error estándar, rango).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biología de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842)

El tiempo de incubación del huevo fue de 3,4 días (Tabla 1), valor que difiere de los reportes de Parra (26), donde la duración de la incubación fue de 4,6 días a 27°C en la variedad de *C. arabica* Mundo Novo. Adicionalmente, Magalhães *et al.* (19), a una temperatura de 25°C, evaluaron 12 genotipos de *Coffea* sp., encontrando un tiempo de incubación de 5,0 días en promedio. Al eclosionar las larvas, éstas perforaron la parte superior de la epidermis de la hoja y penetraron al mesófilo, donde se alimentaron del parénquima de empalizada, formando lesiones visibles en la epidermis, conocidas como minas (26).

Se determinó que en café variedad IAC Obatã 4739, la duración del estado larval de *L. coffeella* fue de 11,0 días (Tabla 1). Parra (26) reporta un promedio de duración del estado larval de 9,5 días a 27°C, para café variedad Mundo-Novo. De acuerdo con Magalhães *et al.* (19) existen diferencias en los tiempos de desarrollo de este insecto en la fase larval debido a los compuestos químicos presentes en los genotipos de café. La sobrevivencia observada en esta fase fue del 97,0%, siendo concordante con lo reportado por Nantes y Parra (23) y Parra (26), quienes determinaron que el rango óptimo para el desarrollo de esta fase es de 22 a 28°C, mientras que en temperaturas superiores a 28°C se observa una disminución en la sobrevivencia de las larvas (17, 26).

Posteriormente, la larva realiza un corte en la mina para abandonarla y se dirige hacia al envés de las hojas, tejiendo allí un capullo sedoso en forma de X, dentro del cual empupa, la duración de esta fase presentó valores similares a los encontrados por Parra (26) y Katiyar y Ferrer (17), quienes registraron que el rango óptimo de desarrollo de esta fase está entre 22 y 28°C (Tabla 1). Para este estudio la viabilidad obtenida fue del 95%; el 5,0% de mortalidad observado se debió a la malformación del capullo, por lo que estas pupas no lograron desarrollarse, quedaron expuestas y se desecaron; la función de estos capullos es proteger el insecto, el capullo contiene las proteínas de seda que son sustancias secretadas por las glándulas labiales de los insectos pertenecientes al orden Lepidoptera, estos componentes se convierten en fibras semi-cristalinas que confieren resistencia (34).

De los 250 adultos obtenidos en este trabajo, 137 fueron hembras y 113 machos, dando una proporción sexual de 0,55, valor similar al encontrado por Parra (26), quien reporta una proporción sexual de 0,50.

Diversos autores reportan que el rango adecuado para el desarrollo de la fase inmadura de este insecto se encuentra entre 20 y 30°C, a partir de esta temperatura se produce un incremento en la mortalidad (13, 17, 23, 26).

Fase adulta

Período de pre-oviposición y oviposición.

El promedio de la duración del período de pre-oviposición de *L. coffeella* fue de 3,4 ± 0,2 días. Para una temperatura de 27°C, Parra (26) reporta una duración de 1,1 ± 0,8 días en promedio, y a medida que se incrementa la temperatura este tiempo puede disminuir.

Tabla 1. Duración promedio y viabilidad de las fases de huevo, larva y pupa, y el periodo huevo-adulto de *Leucoptera coffeella* en hojas de café variedad Obatã. Temperatura $25 \pm 1^\circ\text{C}$, HR: $70,0\% \pm 10,0\%$ y fotofase: 14 h.

Estado biológico	Número de individuos	Duración (días) Promedio \pm E.E.	Sobrevivencia (%) Promedio \pm E.E.
Huevo	300	$3,4 \pm 0,16$	$97,0 \pm 3$
Larva	291	$11,9 \pm 0,3$	$97,0 \pm 3$
Pupa	263	$5,9 \pm 0,2$	$95,0 \pm 3$
Huevo-adulto	250	$21,88 \pm 0,89$	$90,0 \pm 9$

E.E.: Error estándar

La fecundidad total determinada por el número de huevos colocados por las hembras fue de $60,3 \pm 3,8$ huevos en promedio, valores similares a los encontrados por Reyes (30), quien reporta 65 huevos en promedio por cada hembra, mientras Notley (25) reporta 75 huevos/hembra.

De las 100 hembras estudiadas en esta temperatura 95% ovipositaron. Speer (33) observó que en temperaturas inferiores a $21,9^\circ\text{C}$ y superiores a 27°C pocas hembras de *L. coffeella* ponían huevos.

El ciclo de vida de los adultos del minador del café además de ser influenciado por la temperatura también es afectado por el suministro de alimento durante el periodo de pre-oviposición y oviposición. Adultos

alimentados con solución de sacarosa pueden colocar hasta 2,1 veces más huevos que aquellos que no fueron alimentados con esta solución de sacarosa (24, 26).

En este estudio, el 80% de las hembras presentaron un máximo de postura en el quinto día (Figura 1), concordante con los resultados encontrados por Parra (26) y Katiyar y Ferrer (19).

El tiempo para alcanzar el 50% de oviposición total se presentó al día quinto, de acuerdo con Parra (26), Katiyar y Ferrer (19). Este tiempo puede estar influenciado por la temperatura: en temperaturas inferiores a 20°C pueden observarse oviposiciones entre 11 y 12 días y a temperaturas superiores a 20°C pueden registrarse oviposiciones entre

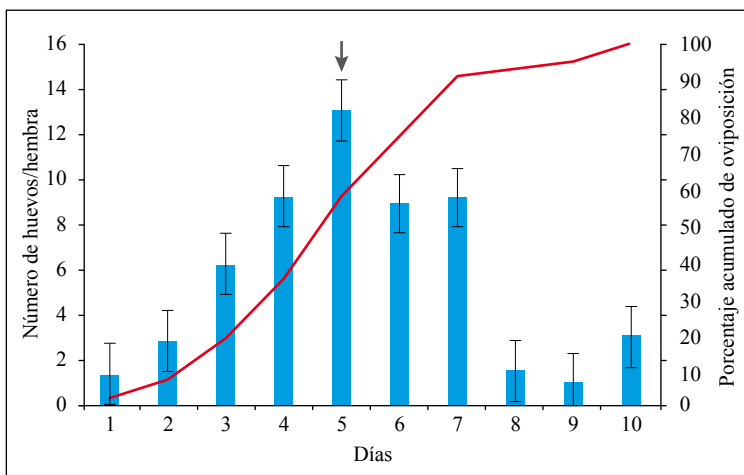


Figura 1. Promedio del número de huevos/hembra (\pm E.E.) y oviposición acumulada de hembras de *Leucoptera coffeella* en hojas de café variedad Obatã. Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$, HR: $70\% \pm 10\%$ y fotofase: 14 h. La flecha indica el momento en que se obtiene 50% del total de huevos.

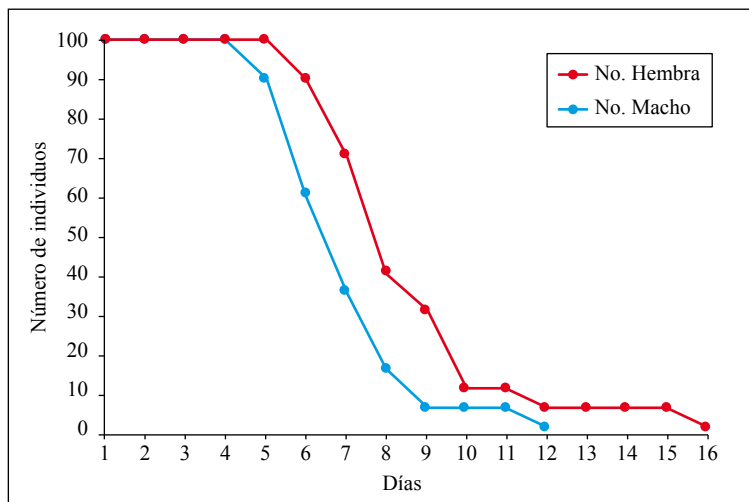


Figura 2. Longevidad de machos y hembras de *Leucoptera coffeella* alimentados con solución de sacarosa al 10% en hojas de café variedad Obatã. Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$, HR: $70\% \pm 10\%$ y fotofase: 14 horas.

el tercero y sexto día, siendo concordante con lo observado en este trabajo.

Longevidad de machos y hembras. En cuanto a la longevidad de los adultos, las hembras viven $9,6 \pm 0,5$ días, siendo superior a los machos que mostraron una longevidad de $6,2 \pm 0,5$ días, comportamiento similar a lo encontrado por Parra (26), cabe resaltar que la longevidad está determinada por el suministro de alimento, ya que adultos sin suministro alimenticio presentaron una disminución cercana del 50% de la esperanza de vida, información sustentada también por González *et al.* (14), quienes determinaron que la longevidad de los adultos depende de la temperatura y la alimentación.

En este estudio puede concluirse que la variedad de café arábica IAC Obatã 4739, permite el desarrollo de *L. coffeella*. Los insectos muestran una viabilidad total del $90\% \pm 8,7\%$, con una duración del ciclo de vida similar a los reportes en otras variedades de café arábica en temperaturas similares. Debido a que esta variedad se encuentra en expansión en las diferentes zonas productoras de Brasil, esta información puede ayudar en

apoyar los programas de manejo integrado de esta plaga.

LITERATURA CITADA

- AGUIAR, T.E.A.; GONCALVES, CH.; AYRES, M.E.; PATERNIANU, G.Z. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7a. ed. Campinas: Instituto agrônomico, 2014. 452 p.
- ALVES, P.M.P.; LIMA, J.O.G.; OLIVEIRA, L.M. Monitoramento da resistência do bicho mineiro do café, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), a inseticidas em Minas Gerais. Anais da sociedade entomológica do Brasil 21:77-91. 1992.
- BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; CONSTANTINO C., L.M.; VILLEGAS G., C.; GIRALDO J., M. Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y Monalonion. p. 215-260. En: Cenicafé. Manual cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: Cenicafé, 2013. 3 tomos.
- BORKHATARIA, R.R.; COLLAZO, J.A.; GROOM, J. Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto rican coffee plantation. Ecology applied 16(2):696-703. 2006.
- BRADLEY, J.D. Taxonomic notes of *Leucoptera* Meyrick Ghesq and *Leucoptera coffeella* (Guer-Men) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bulletin of entomological research 49:417-419. 1958.

6. BUSTILLO P., A.E. El minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). p. 360-363. En: BUSTILLO, A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : Cenicafé, 2008.
7. CÁRDENAS, R. El Minador de la hoja del cafeto *Leucoptera coffeella* (GM) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Chinchiná : Cenicafé : FNC, 1991. 31 p. (Boletín Técnico No. 14).
8. CROWE, T.J. Coffee leaf miners in Kenya: Species and life histories. Kenya coffee 29:173-183, 1964.
9. DAVIDR., G.; CONSTANTINO C., L.M.; MONTOYA R., E.C.; ORTEGA, O.; GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P. Diagnóstico de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) y sus parasitoides en el departamento de Antioquia, Colombia. Revista colombiana de entomología 42(1):4-11. 2016.
10. DEMATOS, J.W.; GUERREIRO F., O.; GONÇALVES, W.; RAMIRO, D.A.; FATOBENE, B.J.R. Antixenosis resistance to leaf miner *Leucoptera coffeella* in coffee species. Euphytica 181(2):253. 2011.
11. FRAGOSO, D.B.; GUEDES, R.N.C.; PICANÇO, M.C.; ZAMBOLINI, L. Insecticide use and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bulletin of entomological research 92(3):203-212. 2002.
12. GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA N., S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI F., E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. Entomologia agrícola. São Paulo : Agrônômica Ceres, 2002. 920 p.
13. GIRALDO J., M. Zoneamento de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas. Piracicaba : USP : ESALQ, 2016. 156 p. Tesis: Doutor em entomologia.
14. GONZÁLEZ, C.V.; KONNOROVA, E.; JASIC, J. Algunos resultados del estudio de la binomia del minador de las hojas de café (*Leucoptera coffeella* Guer.), ciencia. Ciencias biológicas 26:1-12. 1972.
15. GREEN, D. A proposed origin of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bulletin of the entomological society of America 30(1):30-31. 1984.
16. GUERREIRO F., O. Coffee leaf miner resistance. Brazilian journal physiology 18(1):109-117. 2006.
17. KATIYAR, K.P.; FERRER, F. Technique biology and sterilization of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* Guér (Lepidoptera: Lyonetiidae). Vienna : International atomic energy agency, 1968.
18. INSTITUTO AGRONÓMICO DE CAMPINAS. Centro de café Alcides Carvalho. [En línea]. Campinas : El instituto, 2012. Disponible en internet: <http://www.iac.sp.gov.br>. Consultado el 23 de junio de 2017.
19. MAGALHÃES, F.L.; FERNANDES, A.J.; DEMUNER, M.C.; PICANCO, P.; GUEDES, R.N.C. Phenolics and coffee resistance to the leaf mines *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Journal of economic entomology 103(4):1438-1443. 2010.
20. MARTINS, M.; GUIMARAES M., A.N.; NOGUEIRA A., M.I. Incidência de pragas e doenças em agroecossistemas de café orgânico de agricultores familiares em poço fundo-mg. Ciencia agrotecnologica 28(6):1306-1313. 2004.
21. MONDENGO, J.M.; GUERREIRO F., O.; BENGTON, M.H.; DUARTE, R.; MARIA F., J.; PASINI, M.; RAMIRO, D.; PEREZ, M.; CLEIDE, M.; MENOSSE, M. Isolation and characterization of coffee genes induced during coffee leaf miner (*Leucoptera coffeella*) infestation. Plant science 169:351-360. 2005.
22. MONDENGO, J.M.; DUARTE, M.P.; KIYOTA, E.; MARTÍNEZ, L.; CAMARGO, S.R. DE; CAROLA, F.P. DE; ALVEZ, B.S.; GUERREIRO, S.M.; OLIVA, M.L.; GUERREIRO F., O.; MENOSSE, M. Molecular characterization of a miraculin-like gene differentially expressed during coffee development and coffee leaf miner infestation. Planta 233(1):123-37. 2011.
23. NANTES, J.F.D.; PARRA, J.R.P. Biología de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), em três variedades de café (*Coffea* sp.). Anais da sociedade entomológica do Brasil 6:156-163. 1977.
24. NANTES, J.F.D.; PARRA, J.R.P. Influência de alimentação sobre a biologia de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Cientifica 6:263-268. 1978.

25. NOTLEY, F.B. The *Leucoptera* leaf miners of coffee on Kilimanjaro: *Leucoptera coffeella*. Bulletin of entomological research 46:899-912. 1956.
26. PARRA, J.R.P. Biología comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guerin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando seu zoneamento ecológico no estado de São Paulo. Revista brasileira de entomologia 29(1):45-76. 1985.
27. PEREIRA, E.J.G.; PICANÇO, M.C.; BACCI, L.; CRESPO, A.L.B.; GUEDES, R.N.C. Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*. Bulletin of entomological research 97(4):421-432. 2007.
28. RAMIRO, A.D.; GUERREIRO, O.; MAZZAFERA, P. Phenol contents, oxidase activities and the resistance of coffee to the leaf miner *Leucoptera coffeella*. Journal of chemical ecology 32(9):1977-1988. 2006.
29. REIS, P.R.; SOUZA, J.C.; ZACARIAS, M.S. Alerta para o bicho-mineiro. Cultivar 8:13-16. 2006.
30. REYES, J.A.O. Fertilidad, fecundidad, longevidad y vigor sexual del *Leucoptera coffeella* Guérin (Lepidoptera: Lyonetiidae) (minador de la hoja del café). Acta agronômica 23(3/4):19-26. 1972.
31. SEGURA, H.R.; BARRERA, J.F.; MORALES, H.; NAZAR, A. Farmers' perceptions, knowledge, and management of coffee pests and diseases and their natural enemies in Chiapas, Mexico. Journal economic entomology 97(5):1491-1499. 2004.
32. SOUZA, J.C.; REIS, P.R.; RIGITANO, R.L.O. Bicho mineiro do cafeiro: Biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte : EPAMIG, 1998. 28 p. (Boletim Técnico No. 54).
33. SPEER, M. Observações relativas à biologia do bicho mineiro das folhas do cafeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera-Buccolatricidae). Arquivos do instituto biologico 19:31-47. 1949.
34. SUTHERLAND, T.D.; YOUNG, J.H.; WIESMAN, S.; HAYASHI, C.Y.; MERRITT, D.J. Insect silk: One name, many materials. Annual review of entomology 55:171-188. 2010.
35. VEGA, F.E.; POSADA, F.; INFANTE, F. Coffee insects: Ecology and control. p. 1-4. En: PIMENTEL, D. Encyclopedia of pest management. London : M. Dekker, 2006.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELEMENTOS MINERALES EN CAFÉ VERDE Y TOSTADO, CON RELACIÓN A SUELOS Y ALTITUD

Gloria Inés Puerta Quintero*; Claudia Patricia Bolívar Forero*; Claudia Patricia Gallego Agudelo*

PUERTA Q., G. I.; BOLÍVAR F., C.P.; GALLEGO A., C.P. Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. Revista Cenicafé 68(2):28-60. 2017

Se midieron las concentraciones de 44 elementos químicos en café verde y tostado de 162 fincas ubicadas a altitudes de 1.050 a 2.050 m y 15 unidades de suelos en siete departamentos, por la espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y la digestión Kjeldahl. En las fincas se registró la trazabilidad y se hizo el beneficio. Hubo diferencias significativas según el rango de altitud: a mayores altitudes se encontraron mayores concentraciones en el café de As, Bi, Cr, In, Mg, Ni, P, Pd, Pt, Sb, Se, Te y Zn; por el contrario, fueron menores los contenidos de Ba, Ca, Cu, K, Li, Mo, Rb, Sc, Sr. También hubo diferencias por unidades de suelos en los minerales del café: granos de la unidad Malabar no presentaron Pd, pero sí altos contenidos de Fe; de las unidades Quindío y Montenegro mayor concentración de Ba, Ca y Sr; de unidad Siberia en Huila mayor contenido de P, y del Cesar con materiales ígneos-volcánicos menor P, y mayor Rb, Mo y Au. El café tostado presentó similares concentraciones de elementos minerales que el verde. Las diferencias halladas en los contenidos de elementos químicos minerales en el café de Colombia podrían utilizarse como variables químicas de diferenciación del grano de café para su comercialización destacando otros atributos del café de las regiones.

Palabras clave: Calidad, espectrometría de emisión óptica con plasma ICP-OES, trazabilidad, beneficio húmedo, cenizas, inocuidad, metales pesados.

CHEMICAL COMPOSITION OF MINERAL ELEMENTS IN GREEN AND ROASTED COFFEE WITH RESPECT TO SOIL AND ALTITUDE

The concentrations of 44 chemical elements in green and roasted coffee of 162 farms at altitudes between 1,050 and 2,050 m and 15 units of soils in 7 departments were measured by optical emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-OES) and Kjeldahl digestion. Traceability was recorded and the coffee process was made in the farms. There were significant differences according to altitude range: The higher the altitudes, the higher the concentrations in coffee of As, Bi, Cr, In, Mg, Ni, P, Pd, Pt, Sb, Te and Zn; on the other hand, there were less contents of Ba, Ca, Cu, K, Li, Mo, Rb, Sc, and Sr. Also, there were differences among soil units regarding minerals of coffee: The grains of the Malabar unit did not have Pd, but it had high contents of Fe; Quindío and Montenegro units had greater concentration of Ba, Ca, and Sr; Siberia unit in Huila had greater content of P, and Cesar unit with igneous-volcanic materials had low P and high Rb, Mo and Au. Roasted and green coffee showed similar concentrations of mineral elements. The differences found in the contents of mineral chemical elements in Colombian coffee could be used as chemical variables to differentiate the coffee bean for its market by highlighting other attributes of coffee regions.

Keywords: Quality, optical emission spectrometry with plasma ICP-OES, traceability, wet process, ashes, safety, heavy metals.

* Investigador Científico III, Asistente de Investigación y Asistente de Investigación, respectivamente, Disciplina de Calidad. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El café de Colombia se ha destacado comercialmente por su buena calidad y suavidad (36) y se cultiva en fincas de 22 departamentos, a altitudes entre 1.000 m y 2.000 m, y en suelos de materiales parentales como cenizas volcánicas, rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (12, 43).

La composición química del grano de café verde está conformada en promedio por 10% a 12% de agua, 83% a 86% de materia orgánica y 4% a 5% de cenizas. Los sabores y aromas del café tostado están formados de sustancias orgánicas. Las cenizas que contienen los elementos químicos minerales no aportan al sabor del café (34).

Varios autores han buscado diferenciar especies y procedencias del café midiendo los contenidos de sustancias orgánicas con métodos cromatográficos y espectrofotométricos (9, 10, 14, 48), sin embargo, no se ha logrado una diferenciación inequívoca porque los compuestos orgánicos como los aminoácidos, lípidos, azúcares y volátiles del café se modifican a través del procesamiento y almacenamiento del producto (34), debido a fenómenos térmicos y bioquímicos, por la acción de las enzimas y debido a las variaciones en las condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura y los gases (15, 21, 34, 37).

En la mayoría de los estudios sobre la composición química de los elementos minerales del café se han usado muestras comerciales, en las cuales se identificó el país o la especie, pero no su trazabilidad de procesos. Roffi *et al.* (42) y Ferreira *et al.* (13) evaluaron la calidad del café de Angola y determinaron por absorción atómica el contenido de 16 elementos químicos en el grano de café verde y tostado, pero no encontraron relación entre la calidad de la bebida con el contenido de elementos químicos,

ni diferencias por procedencia. Macrae *et al.* (22) sugirieron que el Mn podría estar relacionado con la calidad del café.

Santos y Oliveira (45) usaron la espectroscopia con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) para medir Cr en café soluble de Brasil, encontrando altos niveles de este elemento tóxico, los cuales se asociaron a procesos industriales y de cultivo. Pertoldi *et al.* (29) buscaron diferencias en bebida y espresso entre las especies, usando absorción atómica y columna de grafito (GFAAS), y reportaron mayores contenidos de Mn y Zn en Arábica que en Robusta. Martin *et al.* (24), mediante ICP-OES, afirmaron que el P, Mn y Cu permitirían detectar café Robusta en mezclas comerciales con café Arábica en estado tostado.

Quijano y Spetel (40) usaron espectrometría de rayos gama de alta resolución para medir elementos minerales en café verde *Coffea arabica*, *C. canephora*, *C. liberica* y *C. congensis* de la Colección Colombiana de Café de Cenicafé en Colombia y no reportaron diferencias entre especies. Clarke y Walker (7) no encontraron diferencias en los contenidos de K en el café verde y soluble de Colombia, Brasil, Uganda y Angola. Puerta (4, 5) detectó 1,88% de N y 1,34% de K, y afirmó que éstos eran los elementos más abundantes en café verde y tostado de las variedades Arábica procedentes de Chinchiná (Caldas) y la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena), en Colombia.

Prodolliet *et al.* (32) determinaron 57 elementos químicos en muestras comerciales de café de Costa Rica, Brasil, Colombia, Ecuador, Etiopía, Guatemala, Hawaii (Estados Unidos), Indonesia, Kenia, México, San Salvador y Tailandia, y concluyeron que “el perfil mineral del café no fue lo suficientemente discriminante para permitir una identificación

no ambigua de un café verde de origen geográfico desconocido”.

Anderson y Smith (2) midieron por ICP-OES 18 elementos químicos, en 160 muestras de café tostado de supermercados de Estados Unidos, provenientes de Costa Rica, Colombia, Guatemala, Panamá, Etiopía, Kenia, Indonesia y Sumatra, y dedujeron que se podría “separar el café por orígenes geográficos” por el contenido de varios elementos y también indicaron que los granos de Colombia presentaron los niveles más altos de Zn y los granos de Sumatra presentaron los niveles más bajos de Zn, Mn, K y Na, y los niveles más altos de Fe y Al. Por otro lado, los contenidos de P, Zn, Mg, Ca, K y S variaron muy poco entre los orígenes.

Villareal *et al.* (48) no encontraron diferencias por los contenidos de elementos químicos entre genotipos, ni entre tres localidades. Sadeghian *et al.* (44) indicaron que el N, P, Mg, S y Mn, medidos por absorción atómica, estaban en mayor concentración en café almendra, el K, Cu y B en la pulpa, y el Ca, Fe y Zn en el mucilago.

En otros productos agrícolas, Esehie (11) no logró diferenciar hierbas de Australia por procedencia, según el contenido de fibra, proteína, cenizas, extracto etéreo o P, K, Ca, Mg, Na, Cu, B, Zn, Mn y Fe, que fueron medidos por absorción atómica. Álvarez *et al.* (1) usaron ICP-OES para medir 12 elementos en vinos y conocer el aporte de estos elementos a la dieta. Day *et al.* (9) midieron por absorción atómica y por ICP-OES los contenidos de K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Ba, Rb, Al y Sr en uvas de Francia, y afirmaron que por análisis de la composición isotópica y los elementos podría determinarse el origen geográfico del vino, aunque indicaron que las variedades

afectaban en mayor grado la composición química del vino.

Krejcová y Cernohorsky (19) dedujeron que el B en el café y el té puede determinarse por ICP-OES. Malik *et al.* (23) reportaron que no hubo diferencias entre el café Arábica y Robusta por el contenido de sus elementos y que el café presentó mayores contenidos de Ca y Fe que el té.

La presente investigación se fundamentó en la estabilidad química de 44 elementos químicos minerales y las cenizas durante el almacenamiento del café, y buscó aportar al conocimiento de la química mineral del grano de café de siete departamentos de Colombia, según las unidades de suelo y el rango de la altitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de las fincas. Las fincas y lotes de café se escogieron entre Cenicafé y el Servicio de Extensión en el año 2005, teniendo en cuenta los registros del Sistema de Información Cafetera SICA, la información climática de los municipios, altitudes y unidades de suelos en los respectivos departamentos; además, las fincas del muestreo cumplieron con los siguientes requisitos para participar en la investigación:

1. Fincas en municipios y departamentos de producción de café en Colombia, donde se identificaran por parte del Servicio de Extensión de la zona, el desarrollo de las buenas prácticas agronómicas.
2. Fincas representativas del departamento que se hubieran destacado por su calidad, según criterios y registros del servicio de extensión de la zona.
3. Cultivos de segundo y tercer años de producción.

4. Cultivos que no se renovarían por siembra o zoqueo en los dos años siguientes al inicio del muestreo.

5. Lotes de café dentro de los rangos de altitud en estudio (menor a 1.300 m, entre 1.300 y 1.600 y por encima de 1.600 m), con información conocida sobre la unidad de suelo y el tipo de variedad cultivada.

6. Disponibilidad de la finca para: marcación del lote, visita del Extensionista para la toma de las muestras de café durante al menos 2 años de cosechas.

Procedencia de las muestras. Las muestras de café se obtuvieron de cultivos de café localizados en 216 lotes, 162 fincas ubicadas entre 1.050 y 2.050 m de altitud, en 15 unidades de suelos, 112 veredas, 35 municipios, 7 departamentos cafeteros (Antioquia, Caldas, Cesar, Huila, Quindío, Tolima y Santander). Además, se incluyeron varios lotes de las Estaciones Experimentales de Cenicafé Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar), San Antonio (Floridablanca, Santander), Paraguaicito (Buenavista, Quindío) y Naranjal (Chinchiná, Caldas) (Tablas 1 y 2).

Registros de trazabilidad. En Cenicafé se preparó un formato para la trazabilidad del café de las fincas con base en el Avance Técnico No. 355 (38), que se compartió con cada Extensionista en los departamentos, en el cual se registraron las variables de origen y de procesamiento del beneficio, secado y almacenamiento del café. Las muestras se codificaron con un código único.

Trabajo en campo. Se planificó y coordinó el cronograma de trabajo para la toma de muestras durante las cosechas en cada departamento. Para el segundo semestre del año 2005 se recolectaron muestras en los departamentos de Antioquia, Quindío, Caldas, Cesar y Santander. En el primer semestre

del 2006 se realizó el primer muestreo en Tolima y Huila y el segundo muestreo de Antioquia, Quindío, Caldas, Cesar y Santander. En el 2007 se completaron los muestreos de Tolima y Huila.

Tabla 1. Localización de las fincas participantes en el muestreo para la medición de la composición mineral del café verde y tostado, proyecto QIN3010.

Departamento	Municipio	Vereda
Antioquia	Andes	Alto del Rayo
		Bajo Cañaveral
		Cascajero
		El Chispero
		La Pava
		Momblan
		Palestina
		San Gregorio
		Sorrento
		Yarumal
	Betania	Cajones
		El Tirado
		La Italia
	Concordia	Las Ánimas
		Pueblo Rico
		Santa Rita
		Yarumal
		Zona Urbana
Fredonia	La Loma	
	La Toscana	
Giraldo	Murrapal	
Pueblo Rico	La Sierrita	
	Castalia	
Santa Bárbara	Patudal	
	El Guayabo	
	Las Mercedes	
	Los Naranjos	
Cesar	La Paz	Morro Plancho
		Filo Machete
	Pueblo Bello	La Laguna
		Cabecera Municipal
		Costa Rica

Continúa...

...continuación.

Departamento	Municipio	Vereda	Departamento	Municipio	Vereda
Cesar	Pueblo Bello	La Carolina	Quindío	Calarcá	Barcelona
		Montes Grandes			La Española
	Acevedo	El Mesón		La Paloma	
		La Marimba		La Julia	
		La Palma		La Pola	
		San Isidro		Villarazo	
	Aipe	La Esmeralda		El Paraíso	
		La Primavera		El Placer	
	Campo Alegre	San Miguel		El Vigilante	
	Hobo	El Batán		Calle Larga	
Estoracal		Pueblo Tapao			
Huila	Iquirá	El Recreo	Quimbaya	El Jazmín	
		Ibirco	Ibagué	El Cural	
		Juancho		Perico	
		San Francisco	Aguador		
	Neiva	Villa María	Naranjo		
		El Triunfo	Campo Alegre		
	Palermo	Pradera	El Delirio		
		El Mirador	Líbano	La Trinidad	
	Pitalito	Guadualito	Meseta Baja		
		Alto Naranjo	Meseta Baja (Alta)		
Rivera	Betania	Pantanillo			
	Los Laureles	Buenos Aires			
	Buena Vista	Calabazos			
	Honda Alta	La Luisa			
	Loma Larga	La Palmita			
	El Encanto	Los Andes			
Santa María	San Joaquín	Pijao			
	Santa Helena	Paz Baja			
Teruel	Arrayanes	Chinchiná	Altamira		
	La Floresta	Manizales	Naranjal		
	La María		El Rosario		
	Río Iquirá	Hoyo Frío			
Santander	Floridablanca	Vericute	Caldas	Km 41	
		El Caimo		La Java	
Quindío	Armenia	El Rhin	Palestina	Cartagena	
		La Patria	Risaralda	La Esperanza	
		La Revancha		Santana	
		Marmato	Sarciri		
	Mesopotamia	Surrumbi			
	Buena Vista	Río Verde Bajo			

Tabla 2. Rangos de altitud, unidades de suelo y materiales parentales de los sitios de muestreo, en cada departamento.

Rango de altitud	Unidad de suelo	Material parental	Departamento
Menor a 1.300 m	Chinchiná	Ceniza volcánica	Antioquia
	Parnaso-200	Ígneo extrusivo	
	Salgar	Metamórfico	
	Suroeste	Sedimentario	
	Chinchiná	Ceniza volcánica	Caldas
	La Montaña	Ígneo - volcánica	Cesar
	Malabar	Ceniza volcánica	Quindío
	Montenegro	Ceniza volcánica	
Quindío	Ceniza volcánica	Tolima	
Libano	Ceniza volcánica		
San Simón	Ígneo intrusivo		
Entre 1.300 y 1.600 m	Chinchiná	Ceniza volcánica	Antioquia
	Parnaso-200	Ígneo extrusivo	
	Suroeste	Sedimentario	
	Chinchiná	Ceniza volcánica	
	La Montaña	Ígneo - volcánica	Cesar
	Perijá	Sedimentario	Huila
	Campo Alegre	Ígneo intrusivo	
	La Espiga	Ígneo intrusivo	
	San Simón	Ígneo intrusivo	
	Siberia	Ígneo extrusivo	Quindío
	Montenegro	Ceniza volcánica	
	Quindío	Ceniza volcánica	Santander
	Paujil	Metamórfico	
	Libano	Ceniza volcánica	
San Simón	Ígneo intrusivo		
Mayor a 1.600 m	Parnaso-200	Ígneo extrusivo	Antioquia
	Salgar	Metamórfico	
	Suroeste	Sedimentario	
	Chinchiná	Ceniza volcánica	Caldas
	Perijá	Sedimentario	Cesar
	Campo Alegre	Ígneo intrusivo	Huila
	La Espiga	Ígneo intrusivo	
	San Simón	Ígneo intrusivo	
	Siberia	Ígneo extrusivo	
	San Simón	Ígneo intrusivo	Tolima

Prácticas de beneficio. Se tomaron dos tipos de muestras: Café proceso finca, correspondiente al café pergamino que se había producido en

la finca en días recientes al muestreo, del cual se registró su trazabilidad y la muestra se tomó del sitio de almacenamiento en la

finca; y café BPM, cosechado del mismo lote de la respectiva finca y procesado mediante fermentación y secado al sol, por intervención del Extensionista siguiendo los avances de buenas prácticas y trazabilidad de Cenicafé (33, 38) y el protocolo enviado por la disciplina de Calidad y usando los equipos y agua del beneficiadero de la finca.

Beneficio de las muestras de café BPM. Se tomaron 40 kg de frutos maduros de café cosechados de forma manual y selectiva, se beneficiaron según las Buenas Prácticas Agrícolas, con clasificación de la cereza en canecas con agua, fermentación sin agua por 16 h y secado al sol, en las instalaciones y superficies disponibles en la finca (33). El café se lavó siguiendo el método desarrollado por Zambrano (50). Todas las muestras secas se empaquetaron en bolsas plásticas transparentes, se etiquetaron con el nombre de la finca, lote, variedad, fecha, departamento, municipio y tipo de práctica de beneficio y se enviaron a Cenicafé. Se produjeron de 4 a 6 kg de café pergamino seco por año y sitio de muestreo. Se tomó 1 kg de café trillado para el análisis de los elementos químicos.

Análisis de laboratorio. Se analizaron 621 muestras de café verde y 621 de café tostado. Cada muestra de café pergamino se trilló, se tomaron todos los granos de tamaño superior a 15/64 de pulgada (*Seedburo company*, USA). La tostación del café se efectuó en grado medio, iniciando a 210°C, en una tostadora Probat de tambor de laboratorio. Cada muestra de café almendra o tostado se homogeneizó y se molió en grado 700 µm (serie Tyler, A.S.T.M., USA), se secó a 105°C en estufa hasta peso constante (ISO6673), luego se incineró en horno mufla (*thermolyne furnace* 30400) a 475°C por 4 h, y posteriormente, se diluyó con ácido HCl 1:1. La cuantificación del contenido de los elementos químicos se realizó por

triplicado con un espectrómetro de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), sistema simultáneo y axial de la marca Varian, referencia Vista-MPX CCD.

Previamente, en el laboratorio se estandarizaron las condiciones de análisis que incluyeron: Determinación de la cantidad de muestra de análisis que permitiera la detección de cada elemento, las concentraciones y combinaciones de los estándares para el análisis multi-elemental, de tal forma que se evitaran las interferencias espectrales, las condiciones de incineración y acidificación de las muestras, y las longitudes de onda para cada elemento. Los coeficientes de correlación de las curvas de calibración para todos los elementos químicos fueron superiores a 0,995. Además, para los elementos As, Se, Sb, Te, Bi y Sn se generó el respectivo hidruro antes de su cuantificación. El N total se midió por digestión Kjeldahl.

Variables. Las mediciones se expresan por peso de materia seca en las siguientes unidades: Porcentaje (%) para cenizas, N y K; g.kg⁻¹ para S, Mg, P, Ca; mg.kg⁻¹ (ppm) para Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu, Al, B, Ba, Zn, Li, In; ppb (µg.kg⁻¹) para Ni, Sn, Ti, Co, Pt, Cr, Tl, Mo, Pb, Ge, La, Te, Ce, Ga, Au, As, V, Ag, Se, Sb, Cd, Bi, Pd, Sc, Be.

Análisis estadísticos. Se estimaron los valores mínimo, máximo, media, mediana, error medio y coeficientes de variación de las concentraciones de los elementos en los granos de café, se efectuó el análisis de varianza ANOVA (Duncan 5%) y se analizaron correlaciones de *Pearson* al nivel del 5%, entre las variables químicas y con los factores de origen por departamentos, variedades, rangos de altitud, material parental y unidades de suelo y de proceso, prácticas de beneficio, tipos de beneficio, tipos de secado y procedencia del agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las fincas. Las fincas evaluadas tenían áreas de 0,6 a 507 ha, con un promedio de 38 ha; el mayor valor se registró en Cesar. El 57% de las fincas tenían áreas superiores a 5,1 ha en café, y el 32% tenían cafetales con sombrío. En cuanto a infestación por broca, se registraron promedios de 1,5% en los lotes y 2,5% en las fincas, y en el 46% de los lotes se usaron insecticidas. El 24,5% de las fincas se ubicaron por debajo de los 1.300 m; 44,4% entre 1.300 y 1.600 m y 31,1% por encima de 1.600 m. El 98,6% de los lotes se fertilizó con abonos químicos. Las variedades cultivadas fueron Caturra, Colombia, Maragogipe, Tabi, Borbón y algunos Catimor en Antioquia. La edad promedio de los lotes fue de 3,5 años.

En el 70% de las fincas se realizó fermentación con agua, en el 46,3% realizaban

mezclas de café despulpados hasta de 5 días. El combustible más usado para el secado del café en las fincas fue el carbón mineral, seguido por el aceite combustible para motores, ACPM. El 20% de los secadores al sol eran heldas, paseras y carros secadores con superficie de madera, otros tenían marquesinas y patios en cemento.

Cenizas. Variaron de 3,34% a 5,79% en el café verde, con un valor promedio de 4,12%, y en general, los valores de las concentraciones de las cenizas en el tostado fueron 10% mayores que en el grano verde, y variaron de 3,32% a 7,33%, con un promedio de 4,61%. En la tostación del café se pierde agua y materia orgánica, lo que explica en parte los cambios en las concentraciones de los elementos con respecto al verde. Se presentaron diferencias estadísticas en el contenido total de las cenizas, según los rangos de altitud, unidades de suelos y materiales parentales (Tablas 3, 4 y 5).

Tabla 3. Contenido de cenizas del grano de café verde y tostado, para cada rango de altitud.

Rango de Altitud (m)	Promedio de cenizas café verde %	Dif*	Promedio de cenizas café tostado %	Dif*
<1.300	4,21	A	4,69	A
1.300 a 1.600	4,12	B	4,63	A
>1.600	4,05	C	4,52	B

*Letras diferentes (Dif) para cada elemento indican diferencias entre rangos de altitud, Duncan (5%).

Tabla 4. Contenido de cenizas del grano de café verde y tostado, para cada material parental.

Material parental	Promedio de cenizas café verde %	Dif*	Material parental	Promedio de cenizas café tostado %	Dif*
Ígneo - volcánica	4,32	A	Ígneo - volcánica	4,71	A
Metamórfico	4,27	A	Ígneo intrusivo	4,69	A
Sedimentario	4,20	B	Sedimentario	4,67	A
Ceniza volcánica	4,13	C	Metamórfico	4,62	A
Ígneo intrusivo	4,09	D	Ceniza volcánica	4,62	A
Ígneo extrusivo	3,98	E	Ígneo extrusivo	4,30	B

*Letras diferentes (Dif) para cada elemento indican diferencias entre rangos de altitud, Duncan (5%).

Tabla 5. Contenido de cenizas del grano de café verde y tostado, para cada unidad de suelo.

Unidad de suelo	Promedio de cenizas café verde %	Dif*	Unidad de suelo	Promedio de cenizas café tostado %	Dif*
Salgar	4,45	A	Libano	5,00	A
La Montaña	4,32	B	Salgar	4,86	AB
Suroeste	4,30	B	La Espiga	4,79	BC
Quindío	4,19	C	Suroeste	4,72	BC
Malabar	4,18	CD	La Montaña	4,71	BC
Paujil	4,16	CD	San Simón	4,70	BC
Montenegro	4,13	D	Chinchiná	4,70	BC
Chinchiná	4,12	D	Malabar	4,64	BCD
Campo Alegre	4,12	D	Campo Alegre	4,63	CD
San Simón	4,09	D	Perijá	4,60	CD
Perijá	4,06	DE	Montenegro	4,52	D
Libano	4,06	DE	Quindío	4,50	D
Parnaso-200	4,05	DE	Paujil	4,49	D
La Espiga	4,01	EF	Parnaso-200	4,49	D
Siberia	3,94	F	Siberia	4,16	E

*Letras diferentes (Dif) para cada elemento indican diferencias entre rangos de altitud, Duncan (5%).

Abundancia. Los elementos químicos más abundantes en el grano de café verde fueron N, K, S, P, Ca, seguidos por Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu y Al (Tabla 6). En el café tostado el orden de abundancia de los elementos fue relativamente similar (Tabla 7). El potasio, azufre, magnesio, fósforo y calcio constituyeron el 63% del peso de las cenizas del café.

Los contenidos minerales con menor coeficiente de variación fueron en su orden: N, K, P, Mg, Ca, Cu, Na, Zn, los cuales son los elementos que están en mayor concentración en los granos de café, y además, corresponden a los elementos constituyentes más abundantes en los seres vivos, después del C, H y O.

Los coeficientes de variación cercanos o superiores a 100, registrados para el V, Tl, Te, Ti, As, Bi, Pd, Se, Cd, Sb, Ga y Al (Tabla 6), indican una alta variabilidad

de estos contenidos, que se asocian a las diferentes condiciones geográficas de las regiones, las propiedades de las unidades de suelos y la altitud del cultivo, que son los factores de estudio en esta investigación, pero también pueden influir en los niveles de estos elementos en los granos las sustancias que se usan como biocidas para el manejo del cultivo, los cuales contienen trazas de varios elementos (3, 16, 18, 26, 28, 35, 46, 47).

Nitrógeno. Se encontró como valor mínimo 1,31% y máximo 3,24% en el café verde, con un promedio de 2,04%. Puerta (4, 5) reportó contenidos de N de 1,65% para Borbón, 1,69% para Típica, 2,10% para Caturra y Colombia fruto rojo, y de 2,06% para Colombia fruto amarillo y valores de 2,06 a 2,11% para granos tostados de estas variedades. Sadeghian *et al.* (44) reportan un valor promedio de N de 1,89% en café almendra de la variedad Colombia.

Tabla 6. Promedios de los contenidos de elementos químicos en granos de **café verde** de fincas de Colombia, presentados en orden de abundancia.

Elemento químico	Unidades	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana	C.V. %	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
N	%	2,05	1,31	3,24	2,05	10,6	0,009	2,03	2,07
K	%	1,85	1,11	2,55	1,89	11,4	0,005	1,84	1,86
S	g.kg ⁻¹	3,26	0,18	12,30	3,02	40,9	0,031	3,20	3,32
Mg	g.kg ⁻¹	1,61	0,25	2,68	1,66	18,6	0,007	1,60	1,63
P	g.kg ⁻¹	1,38	0,21	1,96	1,40	15,0	0,005	1,38	1,39
Ca	g.kg ⁻¹	0,87	0,24	1,51	0,86	21,4	0,004	0,86	0,87
Na	mg.kg ⁻¹	67,33	8,52	205,90	63,44	41,7	0,651	66,06	68,61
Rb	mg.kg ⁻¹	53,32	1,99	224,00	44,61	59,9	0,740	51,87	54,77
Fe	mg.kg ⁻¹	21,53	2,55	141,10	20,00	47,9	0,239	21,06	22,00
Mn	mg.kg ⁻¹	17,04	0,41	81,40	15,43	54,1	0,214	16,62	17,46
Si	mg.kg ⁻¹	13,80	0,07	66,28	12,20	64,0	0,205	13,40	14,20
Sr	mg.kg ⁻¹	11,96	0,25	46,77	11,22	53,6	0,149	11,67	12,25
Cu	mg.kg ⁻¹	10,67	0,79	35,76	10,79	29,7	0,073	10,52	10,81
Al	mg.kg ⁻¹	10,21	0,00	123,20	7,26	99,5	0,236	9,75	10,67
B	mg.kg ⁻¹	7,44	0,00	43,87	6,90	43,1	0,074	7,30	7,59
Ba	mg.kg ⁻¹	6,14	0,01	24,13	5,23	61,5	0,088	5,97	6,31
Zn	mg.kg ⁻¹	3,92	0,19	11,51	3,79	38,7	0,035	3,85	3,99
Li	mg.kg ⁻¹	1,46	0,01	9,11	1,16	81,4	0,027	1,40	1,51
In	mg.kg ⁻¹	0,90	0,11	4,91	0,85	46,3	0,010	0,88	0,92
Ni	µg.kg ⁻¹	305,37	15,98	1613,00	261,60	65,2	4,614	296,32	314,42
Sn	µg.kg ⁻¹	235,25	7,34	2658,00	188,20	83,0	4,523	226,38	244,12
Ti	µg.kg ⁻¹	178,01	4,91	7981,00	119,80	167,8	6,924	164,43	191,59
Co	µg.kg ⁻¹	96,11	1,86	655,10	67,39	91,0	2,028	92,13	100,08
Pt	µg.kg ⁻¹	90,17	0,04	663,60	85,77	51,6	1,078	88,06	92,29
Cr	µg.kg ⁻¹	76,71	9,28	969,10	61,40	78,8	1,400	73,96	79,45
Tl	µg.kg ⁻¹	23,75	0,00	179,20	0,00	170,8	0,940	21,91	25,60
Mo	µg.kg ⁻¹	22,13	0,00	179,80	17,60	89,0	0,456	21,24	23,03
Pb	µg.kg ⁻¹	19,60	0,00	109,00	18,62	74,5	0,339	18,93	20,26
Ge	µg.kg ⁻¹	19,43	0,00	89,40	19,01	72,6	0,327	18,79	20,07
La	µg.kg ⁻¹	16,11	0,00	51,86	15,19	44,2	0,165	15,79	16,43
Te	µg.kg ⁻¹	15,51	0,00	277,80	4,38	175,8	0,632	14,27	16,75
Ce	µg.kg ⁻¹	13,22	0,00	66,90	12,50	55,8	0,171	12,88	13,55
Ga	µg.kg ⁻¹	10,48	0,00	136,70	8,70	108,8	0,264	9,96	11,00
Au	µg.kg ⁻¹	8,62	0,00	47,33	7,37	88,8	0,177	8,28	8,97
As	µg.kg ⁻¹	8,04	0,00	109,30	0,00	182,3	0,340	7,37	8,71
V	µg.kg ⁻¹	4,92	0,00	349,40	2,72	338,3	0,385	4,16	5,67
Ag	µg.kg ⁻¹	4,78	0,00	25,31	4,50	68,6	0,076	4,63	4,93
Se	µg.kg ⁻¹	4,76	0,00	44,39	2,14	136,8	0,151	4,46	5,05
Sb	µg.kg ⁻¹	3,82	0,00	23,14	1,79	121,7	0,108	3,61	4,04

Continúa...

...continuación.

Elemento químico	Unidades	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana	C.V. %	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
Cd	µg.kg ⁻¹	2,80	0,00	73,50	2,27	132,6	0,086	2,64	2,97
Bi	µg.kg ⁻¹	2,26	0,00	31,76	0,66	163,7	0,086	2,09	2,43
Pd	µg.kg ⁻¹	1,74	0,00	25,33	0,00	169,6	0,068	1,60	1,87
Sc	µg.kg ⁻¹	1,27	0,00	10,28	1,03	93,2	0,027	1,22	1,33
Be	µg.kg ⁻¹	0,19	0,00	2,30	0,16	105,4	0,005	0,19	0,20

*CV: Coeficiente de Variación.

Tabla 7. Contenidos de elementos químicos en granos de **café tostado** de fincas de Colombia.

Elemento químico	Unidades	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana	C.V. %	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
N	%	2,10	1,52	2,64	2,12	6,7	0,006	2,09	2,11
K	%	1,92	1,36	2,66	1,94	9,6	0,004	1,91	1,93
S	g.kg ⁻¹	3,35	0,21	18,68	3,02	51,4	0,042	3,26	3,43
Mg	g.kg ⁻¹	1,65	0,59	4,34	1,66	22,3	0,009	1,63	1,67
P	g.kg ⁻¹	1,50	0,89	4,84	1,46	19,9	0,007	1,48	1,51
Ca	g.kg ⁻¹	0,92	0,38	2,43	0,91	25,1	0,006	0,91	0,93
Rb	mg.kg ⁻¹	70,55	2,23	347,60	54,68	78,0	1,334	67,94	73,17
Fe	mg.kg ⁻¹	36,05	0,00	208,70	26,85	82,9	0,719	34,64	37,46
Na	mg.kg ⁻¹	35,13	0,00	269,10	28,59	74,1	0,631	33,90	36,37
Si	mg.kg ⁻¹	24,25	0,00	293,40	12,28	120,6	0,703	22,87	25,62
Sr	mg.kg ⁻¹	23,51	2,27	163,50	15,56	89,7	0,508	22,51	24,51
Ba	mg.kg ⁻¹	19,24	0,05	266,90	10,04	125,4	0,581	18,10	20,38
Mn	mg.kg ⁻¹	18,84	0,07	94,62	17,32	57,1	0,259	18,33	19,35
Al	mg.kg ⁻¹	11,58	0,00	151,40	7,88	108,8	0,303	10,99	12,18
Cu	mg.kg ⁻¹	10,72	0,00	41,07	9,52	54,0	0,139	10,44	10,99
B	mg.kg ⁻¹	6,12	0,00	22,35	5,84	36,5	0,054	6,02	6,23
Zn	mg.kg ⁻¹	3,82	0,00	45,00	3,62	61,0	0,056	3,71	3,93
Li	mg.kg ⁻¹	1,26	0,00	16,94	0,44	162,7	0,050	1,16	1,36
In	mg.kg ⁻¹	0,90	0,00	7,66	0,77	63,3	0,014	0,87	0,93
Ni	µg.kg ⁻¹	255,30	1,69	2152,00	192,85	87,9	5,433	244,64	265,95
Sn	µg.kg ⁻¹	231,64	0,00	3278,00	155,80	105,9	5,964	219,94	243,33
Ti	µg.kg ⁻¹	180,23	0,00	4755,00	126,30	141,5	6,197	168,08	192,38
Pt	µg.kg ⁻¹	126,57	0,00	685,90	105,50	77,0	2,371	121,92	131,22
Co	µg.kg ⁻¹	108,17	2,33	748,30	74,04	95,8	2,511	103,25	113,10
Cr	µg.kg ⁻¹	66,96	0,00	829,30	51,17	95,2	1,544	63,94	69,99
Te	µg.kg ⁻¹	36,81	0,00	320,60	14,95	138,7	1,273	34,31	39,31
Mo	µg.kg ⁻¹	27,12	0,00	178,30	20,79	89,7	0,589	25,96	28,27
Pb	µg.kg ⁻¹	20,44	0,00	210,20	13,85	112,9	0,559	19,35	21,54
As	µg.kg ⁻¹	20,26	0,00	99,27	13,67	105,3	0,532	19,22	21,31
Ge	µg.kg ⁻¹	18,92	0,00	138,90	13,19	102,5	0,476	17,99	19,86

Continúa...

...continuación.

Elemento químico	Unidades	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana	C.V. %	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
La	μg.kg ⁻¹	15,19	0,00	65,60	13,57	71,2	0,262	14,68	15,70
Ce	μg.kg ⁻¹	14,42	0,00	113,03	12,35	87,3	0,305	13,82	15,02
Ga	μg.kg ⁻¹	12,69	0,00	116,30	9,37	103,2	0,318	12,07	13,32
Se	μg.kg ⁻¹	10,15	0,00	79,93	6,28	124,7	0,316	9,53	10,77
Au	μg.kg ⁻¹	10,08	0,00	68,48	4,86	123,7	0,305	9,48	10,68
Pd	μg.kg ⁻¹	8,90	0,00	104,10	2,37	188,5	0,411	8,10	9,71
V	μg.kg ⁻¹	6,03	0,00	259,00	3,05	232,6	0,340	5,36	6,69
Bi	μg.kg ⁻¹	5,85	0,00	51,63	2,02	156,8	0,229	5,41	6,30
Sb	μg.kg ⁻¹	5,70	0,00	61,33	4,22	119,9	0,170	5,37	6,04
Ag	μg.kg ⁻¹	5,69	0,00	127,40	3,60	131,7	0,182	5,33	6,04
Cd	μg.kg ⁻¹	2,97	0,00	21,98	2,59	83,4	0,060	2,85	3,08
Tl	μg.kg ⁻¹	1,25	0,00	58,60	0,00	497,2	0,151	0,96	1,55
Sc	μg.kg ⁻¹	1,21	0,00	38,24	0,90	153,7	0,045	1,12	1,30
Be	μg.kg ⁻¹	0,70	0,00	15,02	0,46	116,6	0,020	0,66	0,74

*CV: Coeficiente de Variación.

El nitrógeno se adiciona como fertilizante al cafetal para el crecimiento, la formación de frutos y la producción. En la tostación del café, los aminoácidos del grano se transforman mediante las reacciones como Maillard y Strecker, y así se forman sustancias nitrogenadas como pirazinas, aldehídos, cetonas, melanoidinas, pirroles, piridinas, ácido nicotínico, entre otros, que dan sabor, color y aroma a la bebida de café (8, 34).

Potasio. Representó alrededor del 40% al 45% del peso de las cenizas del grano de café, con un valor promedio de 1,90% y valores mínimos y máximos de 1,29% y 2,50%. Se reportan en la literatura contenidos promedio de 1,10% a 1,51% de K en variedades Arábica (4, 5), un promedio de 1,39% en la variedad Colombia (44) y valores de 1,63% a 1,70% para excelso de Colombia, de 1,68% para café de Costa Rica y Kenia, de 1,77% a 1,88% para Brasil, valores de 1,84% a 2,00% para café Robusta de Uganda, Costa de Marfil, Ghana y Sierra Leona (7), y para café verde de Brasil de 1,52% a 1,98% (6).

En café tostado, valores promedio de 1,92% para café de Colombia, 1,86% para Costa Rica, 1,90% para Guatemala y 1,75% para Kenia (2).

El potasio hace parte de los fertilizantes del café necesarios para un adecuado crecimiento y resistencia de la planta, y facilita la actividad enzimática, el transporte de agua, nutrientes y azúcares y el control de la apertura estomatal (49). No hace parte de los compuestos químicos del sabor y aroma del café (34) y no se conoce su contribución a la calidad de la bebida de café.

Azufre. Conformó un 7,9% de las cenizas del grano de café, con un promedio de 3,00 g.kg⁻¹ y un coeficiente de variación del 40,9%. Anderson y Smith (2) presentaron un valor medio que correspondió a 1,48 g.kg⁻¹ para café tostado de Colombia, y Sadeghian *et al.* (44), 0,11% en café verde de la variedad Colombia. El azufre hace parte de los aminoácidos que conforman las proteínas del café y que se transforman en la tostación

del café en sustancias volátiles como tiofenos y tiazoles que tienen olores característicos y fuertes (8, 15, 34). Kawakami *et al.* (17) encontraron mayores concentraciones de S en el café tostado oscuro y en Robusta comparado con Arábica.

Magnesio. Constituyó un 3,9% de las cenizas del grano de café, con un valor promedio de 1,65 g.kg⁻¹ (C.V. 18,6%), valor similar a 0,16% a 0,17% para las variedades Arábica de Colombia y de 0,17% en café de la variedad Colombia (4, 5, 44). En la literatura se refieren contenidos de Mg en café de otros orígenes geográficos desde 0,058 a 0,390% (20, 22). El magnesio es un elemento de la molécula de la clorofila (49).

Fósforo. El contenido medio de P fue de 1,40 g.kg⁻¹ y conformó el 3,4% de las cenizas. Anderson y Smith (2) indican contenidos de 1,98 g.kg⁻¹ de P en el café tostado de Colombia, entre 1,10 y 1,60 g.kg⁻¹ en café verde de variedades Arábica (4,5) y un promedio de 0,16% en café verde de la variedad Colombia (44). El fósforo es importante en la etapa de almácigo y durante la fase de establecimiento de las plantas, así como antes de la floración y para impulsar el crecimiento radicular (49).

Calcio. Según la literatura el Ca es importante para el desarrollo productivo, la maduración y la obtención de granos de calidad (49). Constituyó un 2,1% de las cenizas del grano de café. Los contenidos de Ca en el grano de café variaron entre 0,86 y 1,46 g.kg⁻¹, valores que están dentro del rango de 0,23 a 4,00 g.kg⁻¹ (7, 22, 40), y entre 1,10 y 1,60 g.kg⁻¹ para granos de las variedades Arábica (4, 5) y de 0,16% en la variedad Colombia (44). Para café tostado de Colombia se conocen valores de 1,13 g.kg⁻¹ (2) y entre 0,8 y 1,2 g.kg⁻¹ (32). En café de Brasil, Morgano *et al.* (25) presentaron valores promedio de 0,83 g.kg⁻¹.

Sodio. Su contenido varió entre 12,23 y 173,79 mg.kg⁻¹, con un promedio de 64,20 mg.kg⁻¹, mientras que Ferreira *et al.* (13) encontraron 6 mg.kg⁻¹ de Na en café de Angola; Clarke y Macrae (6) reportan valores entre 4 y 174 mg.kg⁻¹ de Na, y Anderson y Smith (2) un valor medio de 40,1 mg.kg⁻¹ en café tostado.

Rubidio. Varió de 0,81 a 197,47 mg.kg⁻¹ con un promedio de 44,55 mg.kg⁻¹. Para café Arábica de Brasil se reportaron contenidos entre 6,50 a 48,50 mg.kg⁻¹ (20); para café verde Arábica y Robusta de Angola se reportaron valores entre 20,8 a 182 mg.kg⁻¹ (40) y de 6,63 a 41,96 mg.kg⁻¹ (13) y entre 2,66 a 102,71 mg.kg⁻¹ para café de varios países (32). Zaidi y Tagliaferro *et al.*, citados por Pohl *et al.* (30), presentaron valores de 12,3 a 34,0 mg.kg⁻¹ para café verde de varios países.

Hierro. Varió de 4,69 a 135,33 mg.kg⁻¹ con un promedio de 20,19 mg.kg⁻¹, valores que están dentro de los rangos reportados para variedades Arábica de Colombia, de 23 a 150 mg.kg⁻¹ en café verde y de 38,47 a 52,40 mg.kg⁻¹ en café tostado (4, 5), y de 37,15 mg.kg⁻¹ en café verde de la variedad Colombia (44). Para café de Brasil se encontraron valores de 22,89 a 37,58 mg.kg⁻¹ (22) y para café de otros países valores de 16,46 a 632,33 mg.kg⁻¹ (32).

Manganeso. Es parte de las enzimas del grano y presentó una variación de 0,62 a 79,84 mg.kg⁻¹ con un promedio de 15,55 mg.kg⁻¹ en el café de las fincas. Pertoldi *et al.* (29) encontraron contenidos de 28,16 mg.kg⁻¹ de Mn en café de Colombia, mientras que los cafés Robusta de otros países presentaron valores de 1,33 a 3,73 mg.kg⁻¹. Oleszczuk *et al.* (27) reportaron un valor de 50,5 ± 0,6 mg.kg⁻¹ de Mn en granos de café de Colombia, Sadeghian *et al.* (44) un valor

promedio de Mn de 42,25 mg.kg⁻¹ en café de la variedad Colombia, mientras Clarke y Macrae (6) resaltaron altos los valores de manganeso de 25 a 60 mg.kg⁻¹ en café Arabica de acuerdo con el reporte de Wilbaux, en comparación con 10,00 a 33,00 mg.kg⁻¹ en Robusta.

Elementos pesados. Los elementos pesados tienen una densidad mayor a 5 g.cm⁻³ y son muy tóxicos a ciertas dosis para diferentes sistemas humanos y animales y para el agua y el medio ambiente (3, 16, 18, 26, 28, 31, 35, 46, 47). En el grano de café se encontraron niveles de Be, Sc, Pd, Bi, Cd, Se y Sb menores a 2 µg.kg⁻¹, incluso no se detectaron en varias muestras, lo cual es favorable para la inocuidad del café de Colombia.

Es importante aclarar que no hay límites internacionales de los metales pesados para el café; para tener una referencia se toman los límites publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) para el agua potable. Todos los granos de café analizados presentaron algún contenido de Zn, Cu, Ni y Cr. El 5,3% de las muestras de café de Antioquia contenían niveles superiores a 200 µg.kg⁻¹ de cromo.

En cuanto al Ni, se destacaron los valores superiores a 1.000 µg.kg⁻¹, los cuales se encontraron en los granos de café de Antioquia (Concordia, unidad de suelo Parnaso-200, altitudes 1.650 y 1.868 m; Fredonia, unidad de suelo Suroeste, altitud 1.526 m; Andes, unidad de suelo Suroeste, altitud 1.215 m), en Caldas (Manizales, unidad de suelo Chinchiná, altitud 1.050 m), Huila (Iquirá y Aipe, unidad de suelo San Simón, altitudes 1.724 a 1.750 m y Campoalegre, unidad de suelo Campoalegre, altitud 1.450 a 1.500 m).

Los contenidos de As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sb y Zn en los granos de café de las fincas fueron menores que los datos reportados para café verde por Quijano y Spetel (40) y por Anderson y Smith (2) para café tostado de Colombia, a excepción del Cu que varió de 1,16 a 25,13 mg.kg⁻¹, similar a los valores presentados por Ferreira *et al.* (13) en café de Angola (1,00 a 33,00 mg.kg⁻¹). Maier, citado por Clarke y Macrae (6), reportó un valor de 0,8 mg.kg⁻¹ de Pb en granos de café, mientras que Pertoldi *et al.* (29) encontraron contenidos de Pb entre 0,5 ppm y 1 ppm en el café espresso. De otra parte, en café Arabica se encontraron valores de Zn en el grano de 2,45 a 57,0 mg.kg⁻¹ (13, 29, 41) y de 1,33 a 15,61 mg.kg⁻¹ en Robusta (13, 22, 29, 42).

Roffi *et al.* (42) no detectaron Bi, Cs, Ga, Se, Ti, V ni Pb en los granos de café de Angola, y Ferreira *et al.* (13) encontraron alta variabilidad en el contenido de Cr del café de Angola. Santos y Oliveira (45) indicaron que las variaciones de los elementos incluyendo al Cr pueden deberse a las condiciones en los procesos industriales y de cultivo. Rago *et al.* (41) atribuyeron al tipo de extracción la ocurrencia de metales pesados como Mn, Fe, Cu y Zn, en bebidas de café soluble que se comercializaban en Portugal.

Considerando la información de la literatura y de las etiquetas de los productos químicos usados en la agricultura (3, 16, 18, 26, 28, 42, 46, 47), se atribuyen como las posibles fuentes de As, Bi, Cd, Cr, Ni, Pb y Sb, en el grano de café, además de factores geográficos y geológicos, a las aguas y suelos contaminados, a través de sustancias químicas usadas en los cultivos como son los insecticidas, herbicidas y fungicidas, y a las actividades mineras e industriales cercanas a las zonas de producción, así como por yacimientos y actividad volcánica.

Diferencias estadísticas. Se encontraron diferencias estadísticas, prueba Duncan (5%), en el contenido promedio de varios elementos químicos en el grano de café verde. Se destacan las diferencias significativas en las concentraciones de elementos en los granos de café de Quindío, mayores concentraciones medias de Ba (11,2 mg.kg⁻¹), Ca (1.009,6 mg.kg⁻¹) y Sr (17,7 mg.kg⁻¹), del Huila por los mayores contenidos de P (1.470,1 mg.kg⁻¹) y en Cesar y Quindío por los menores contenidos de P (1.272,1 y 1.295,6 mg.kg⁻¹), así como mayores contenidos de Mn en Huila (18,4 mg.kg⁻¹) y Antioquia (22,8 mg.kg⁻¹). Igualmente, por la mayor concentración de S con respecto al promedio en el café del Huila (3.432,3 mg.kg⁻¹) y en Antioquia (3.911,7 mg.kg⁻¹).

Sin embargo, las mayores diferencias se observaron por los factores material parental, la unidad de suelos, el rango de altitud y la variedad. Como se ha demostrado, para el café de Colombia existe dependencia entre el departamento y el rango de altitud, entre el departamento y la unidad de suelo y el material parental, también entre el rango de altitud y la unidad de suelo (39). Por ejemplo, la variedad Maragogipe de Antioquia presentó mayores contenidos medios de Ge, Ga, Fe, Co, Mn y Ni.

Entre rangos de altitud hubo diferencias significativas en los contenidos de As, Ba, Bi, Ca, Cr, Cu, In, K, Li, Mg, Mo, Ni, P, Pd, Pt, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Te y Zn, en el grano de café y una tendencia positiva o negativa (Tabla 8). Así, a medida que aumentó la altitud del cultivo se encontró mayor concentración de As, Bi, Cr, In, Mg, Ni, P, Pd, Pt, Sb, Se, Te y Zn en el café; por el contrario, las concentraciones de Ba, Ca, Cu, K, Li, Mo, Rb, Sc, Sr fueron menores. En las Tablas 9 y 10 se observan los resultados de las diferencias estadísticas

en los contenidos de los elementos químicos en los granos de café según los materiales parentales y la unidad de suelos.

Relaciones estadísticas. Los mayores valores de las correlaciones (*Pearson*) entre los contenidos de elementos presentaron coeficientes entre 0,60 y 0,70, así: entre el Mn y S, coeficiente 0,68; Mg y P coeficiente 0,71; Ti y V coeficiente 0,70; Ga y V coeficiente 0,67; entre el departamento Quindío con el Ba y el Sr la correlación fue mayor a 0,70, lo cual permite estimar uno de los elementos con base en la determinación química cuantitativa en el laboratorio del otro.

Análisis de las diferencias. Se encontraron 24 elementos en todas las muestras de café de las fincas: N, K, S, Mg, P, Ca, Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu, B, Ba, Zn, Li, In, Ni, Sn, Ti, Co, Pt y Cr. Por el contrario, 20 elementos, Tl, Pd, As, Se, Bi, Be, Sb, Te, Au, Sc, Ga, Ge, Cd, Ag, V, Mo, Al, Pb, La y Ce, no se detectaron en varias muestras y en café de algunas fincas (Tablas 11 y 12).

Es de destacar que el Talio no se detectó en el café de fincas de Caldas, ubicadas por debajo de 1.300 m, y en el Cesar por encima 1.600 m. Igualmente, no se detectó As ni Pd en el café de la unidad Parnaso-200 de Antioquia, a altitud por debajo de 1.300 m. Tampoco se detectó Pd en el café de la unidad Malabar del Quindío, de lotes ubicados por debajo de 1.300 m.

Por el contrario, en el grano de café procedente de todas las fincas con unidades de suelos La Montaña en el Cesar, Paujil en Santander, Salgar en Antioquia y unidad Quindío en Quindío se detectaron los 44 elementos analizados. Por fincas, los elementos con frecuencia ausentes en el café verde fueron Tl, seguido por Pd, Se, As, Bi y Sb.

Tabla 8. Diferencias y abundancia en el contenido de los 44 elementos químicos en granos de café verde, entre rangos de altitud de fincas cafeteras de Colombia. Unidades de medición +.

Rango de altitud	Promedio (Ag)	Dif	Promedio (Al)	Dif	Promedio (As)	Dif	Promedio (Au)	Dif
<1.300 m	5,46	C++	10,49	A	3,83	A	9,81	B
1.300 a 1.600 m	4,33	A	9,88	A	7,36	B	8,01	A
>1.600 m	4,84	B	10,41	A	11,82	C	8,54	A
Rango de altitud	Promedio (B)	Dif	Promedio (Ba)	Dif	Promedio (Be)	Dif	Promedio (Bi)	Dif
<1.300 m	7,52	A	9,02	C	0,19	A	1,44	A
1.300 a 1.600 m	7,45	A	6,03	B	0,20	A	2,04	B
>1.600 m	7,38	A	4,25	A	0,20	A	3,12	C
Rango de altitud	Promedio (Ca)	Dif	Promedio (Cd)	Dif	Promedio (Ce)	Dif	Promedio (Co)	Dif
<1.300 m	0,99	C	3,17	B	13,47	B	93,59	A
1.300 a 1.600 m	0,86	B	2,64	A	12,39	A	87,33	A
>1.600 m	0,75	A	2,74	AB	14,04	B	108,11	B
Rango de altitud	Promedio (Cr)	Dif	Promedio (Cu)	Dif	Promedio (Fe)	Dif	Promedio (Ga)	Dif
<1.300 m	63,74	A	11,18	B	20,33	A	10,19	AB
1.300 a 1.600 m	79,23	B	10,53	A	22,06	B	11,16	B
>1.600 m	82,79	B	10,47	A	21,74	B	9,88	A
Rango de altitud	Promedio (Ge)	Dif	Promedio (In)	Dif	Promedio (K)	Dif	Promedio (La)	Dif
<1.300 m	19,86	B	0,83	A	1,88	B	16,05	B
1.300 a 1.600 m	18,16	A	0,87	A	1,88	B	16,92	B
>1.600 m	20,60	B	0,99	B	1,79	A	1,79	A
Rango de altitud	Promedio (Li)	Dif	Promedio (Mg)	Dif	Promedio (Mn)	Dif	Promedio (Mo)	Dif
<1.300 m	1,66	B	1,51	A	15,42	A	27,13	B
1.300 a 1.600 m	1,60	B	1,63	B	14,93	A	23,61	B
>1.600 m	1,14	A	1,67	B	20,71	B	16,82	A

Continúa...

...continuación.

Rango de altitud	Promedio (N)	Dif	Promedio (Na)	Dif	Promedio (Ni)	Dif	Promedio (P)	Dif
<1.300 m	2,07	A	70,52	B	221,69	A	1,29	A
1.300 a 1.600 m	2,04	A	67,54	AB	328,54	B	1,39	B
>1.600 m	2,05	A	64,82	A	336,24	B	1,44	C
Rango de altitud	Promedio (Pb)	Dif	Promedio (Pd)	Dif	Promedio (Pt)	Dif	Promedio (Rb)	Dif
<1.300 m	20,59	AB	1,48	A	83,69	A	70,67	C
1.300 a 1.600 m	18,63	A	1,55	A	89,55	B	50,82	B
>1.600 m	21,18	B	2,15	B	95,50	B	44,00	A
Rango de altitud	Promedio (S)	Dif	Promedio (Sb)	Dif	Promedio (Sc)	Dif	Promedio (Se)	Dif
<1.300 m	3,19	B	2,82	A	1,51	C	3,50	A
1.300 a 1.600 m	2,93	A	3,61	B	1,28	B	4,67	B
>1.600 m	3,71	C	4,79	C	1,10	A	5,76	C
Rango de altitud	Promedio (Si)	Dif	Promedio (Sn)	Dif	Promedio (Sr)	Dif	Promedio (Te)	Dif
<1.300 m	14,08	A	243,12	A	15,5	B	11,62	A
1.300 a 1.600 m	13,77	A	238,85	A	11,62	B	14,02	A
>1.600 m	13,61	A	225,35	A	9,88	A	20,05	B
Rango de altitud	Promedio (Ti)	Dif	Promedio (Tl)	Dif	Promedio (V)	Dif	Promedio (Zn)	Dif
<1.300 m	187,47	A	24,23	A	4,81	A	3,42	A
1.300 a 1.600 m	186,19	A	23,31	A	5,70	A	3,96	B
>1.600 m	161,43	A	23,96	A	4,04	A	4,23	B

+ Unidades: % N y K; g kg⁻¹, S, Mg, P, Ca; mg kg⁻¹ (ppm) para Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu, Al, B, Ba, Zn, Li, In; µg kg⁻¹, Ni, Sn, Ti, Co, Pt, Cr, Tl, Mo, Pb, Ge, La, Te, Ce, Ga, Au, As, V, Ag, Se, Sb, Cd, Bi, Pd, Sc, Be. ++ Para cada elemento, letras diferentes entre rangos de altitud indican diferencias significativas, Duncan (5%).

Tabla 9. Diferencias y abundancia en el contenido de los 44 elementos químicos en granos de café verde, entre materiales parentales de fincas cafeteras de Colombia. Unidades de medición +.

Material parental	Promedio (Ag)	Dif	Promedio (Al)	Dif	Promedio (As)	Dif	Promedio (Au)	Dif
Ceniza volcánica	4,07	A++	9,15	A	4,21	A	8,53	A
Ígneo - volcánica	6,78	C	12,85	B	4,33	A	11,37	B
Ígneo intrusivo	4,38	A	9,96	AB	16,39	B	7,20	A
Ígneo extrusivo	5,70	B	10,28	AB	4,57	A	10,29	B
Metamórfico	5,90	BC	13,08	B	3,06	A	10,10	B
Sedimentario	5,03	AB	11,71	AB	4,33	A	7,81	A
Material parental	Promedio (B)	Dif	Promedio (Ba)	Dif	Promedio (Be)	Dif	Promedio (Bi)	Dif
Ceniza volcánica	7,66	C	8,91	C	0,176	AB	1,76	AB
Ígneo - volcánica	6,23	A	6,20	B	0,234	BC	1,04	A
Ígneo intrusivo	7,56	BC	3,75	A	0,16	A	2,29	B
Ígneo extrusivo	7,74	C	5,21	B	0,28	C	3,94	C
Metamórfico	6,89	ABC	4,89	AB	0,25	BC	3,69	C
Sedimentario	6,41	AB	5,38	B	0,16	AB	1,10	AB
Material parental	Promedio (Ca)	Dif	Promedio (Cd)	Dif	Promedio (Ce)	Dif	Promedio (Co)	Dif
Ceniza volcánica	098	C	2,86	A	13,45	AB	75,66	A
Ígneo - volcánica	0,90	B	2,45	A	12,64	AB	69,13	A
Ígneo intrusivo	0,77	A	3,02	A	12,25	A	79,31	A
Ígneo extrusivo	0,75	A	2,55	A	12,77	AB	159,45	B
Metamórfico	0,90	B	2,90	A	15,35	BC	131,63	B
Sedimentario	0,92	B	2,45	A	17,50	C	147,41	B
Material parental	Promedio (Cr)	Dif	Promedio (Cu)	Dif	Promedio (Fe)	Dif	Promedio (Ga)	Dif
Ceniza volcánica	67,09	A	10,84	AB	21,74	C	11,03	AB
Ígneo - volcánica	59,44	A	11,47	B	16,58	A	7,71	A
Ígneo intrusivo	79,70	B	10,14	A	22,80	C	9,48	AB

Continúa...

...continuación.

Ígneo extrusivo	93,01	C	11,12	B	21,24	BC	12,13	B
Metamórfico	66,06	A	10,66	AB	17,51	AB	8,82	AB
Sedimentario	105,02	C	9,77	A	23,39	C	13,11	B
Material parental	Promedio (Ge)	Dif	Promedio (In)	Dif	Promedio (K)	Dif	Promedio (La)	Dif
Ceniza volcánica	17,14	A	0,94	B	1,87	BC	17,81	C
Ígneo - volcánica	21,68	B	0,59	A	1,93	C	12,92	A
Ígneo intrusivo	19,93	AB	0,89	B	1,85	B	16,45	B
Ígneo extrusivo	22,27	B	0,99	B	1,72	A	14,93	AB
Metamórfico	17,66	AB	0,84	B	1,91	BC	12,38	A
Sedimentario	20,74	AB	0,95	B	1,88	BC	13,79	A
Material parental	Promedio (Li)	Dif	Promedio (Mg)	Dif	Promedio (Mn)	Dif	Promedio (Mo)	Dif
Ceniza volcánica	1,80	C	1,55	B	16,38	B	24,02	B
Ígneo - volcánica	1,31	AB	1,55	B	12,028	A	37,54	C
Ígneo intrusivo	1,17	A	1,73	D	15,74	B	19,62	A
Ígneo extrusivo	1,27	A	1,65	C	21,72	C	17,33	A
Metamórfico	1,29	AB	1,38	A	18,45	BC	19,07	A
Sedimentario	1,68	BC	1,53	B	20,44	C	18,71	A
Material parental	Promedio (N)	Dif	Promedio (Na)	Dif	Promedio (Ni)	Dif	Promedio (P)	Dif
Ceniza volcánica	2,11	C	72,28	C	294,13	B	1,34	B
Ígneo - volcánica	2,02	AB	60,94	AB	189,08	A	1,25	A
Ígneo intrusivo	1,96	A	64,17	ABC	274,30	B	1,47	D
Ígneo extrusivo	2,09	BC	69,12	BC	386,39	C	1,41	C
Metamórfico	2,02	AB	63,25	ABC	405,79	C	1,31	AB
Sedimentario	2,03	AB	58,16	A	394,41	C	1,33	AB
Material parental	Promedio (Pb)	Dif	Promedio (Pd)	Dif	Promedio (Pt)	Dif	Promedio (Rb)	Dif
Ceniza volcánica	17,55	A	1,13	A	85,271	B	58,99	C
Ígneo - volcánica	22,54	B	2,39	BC	70,92	A	95,15	D

Continúa...

...continuación.

Ígneo intrusivo	20,42	AB	2,53	C	98,48	C	50,13	B
Ígneo extrusivo	21,19	AB	1,63	AB	92,10	BC	27,74	A
Metamórfico	23,48	B	0,93	A	77,75	AB	55,58	BC
Sedimentario	16,37	A	1,16	A	102,31	C	47,04	B
Material parental	Promedio (S)	Dif	Promedio (Sb)	Dif	Promedio (Sc)	Dif	Promedio (Se)	Dif
Ceniza volcánica	3,11	AB	3,00	B	1,52	B	4,38	B
Ígneo - volcánica	2,80	A	1,54	A	0,96	A	2,27	A
Ígneo intrusivo	3,03	A	5,60	C	1,25	A	6,17	C
Ígneo extrusivo	3,99	C	4,74	C	1,16	A	4,99	BC
Metamórfico	3,60	BC	1,60	AB	0,78	A	2,68	AB
Sedimentario	3,69	C	1,33	A	1,01	A	3,68	AB
Material parental	Promedio (Si)	Dif	Promedio (Sn)	Dif	Promedio (Sr)	Dif	Promedio (Te)	Dif
Ceniza volcánica	13,53	A	233,44	B	14,76	D	11,41	A
Ígneo - volcánica	12,69	A	268,47	BC	12,62	C	4,50	A
Ígneo intrusivo	14,37	A	188,20	A	11,05	BC	19,91	B
Ígneo extrusivo	13,14	A	247,65	BC	10,39	B	23,02	B
Metamórfico	14,93	A	311,53	CD	6,02	A	8,13	A
Sedimentario	14,74	A	360,73	D	7,85	A	15,75	AB
Material parental	Promedio (Ti)	Dif	Promedio (Tl)	Dif	Promedio (V)	Dif	Promedio (Zn)	Dif
Ceniza volcánica	207,12	A	18,43	A	5,13	A	3,80	B
Ígneo - volcánica	116,44	A	33,82	B	4,16	A	2,79	A
Ígneo intrusivo	164,08	A	23,20	AB	5,14	A	4,19	C
Ígneo extrusivo	161,91	A	23,29	AB	3,46	A	4,41	C
Metamórfico	135,35	A	52,53	C	8,43	A	3,88	BC
Sedimentario	234,68	A	25,64	AB	3,79	A	3,39	AB

+ Unidades: % N y K; g kg⁻¹, S, Mg, P, Ca; mg kg⁻¹ (ppm) para Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu, Al, B, Ba, Zn, Li, In; µg kg⁻¹, Ni, Sn, Ti, Co, Pt, Cr, Tl, Mo, Pb, Ge, La, Te, Ce, Ga, Au, As, V, Ag, Se, Sb, Cd, Bi, Pd, Sc, Be. ++ Para cada elemento, letras diferentes entre material parental indican diferencias significativas, Duncan (5%).

Tabla 10. Diferencias y abundancia en el contenido de los 44 elementos químicos en granos de café verde, entre unidades de suelos de fincas cafeteras de Colombia. Unidades de medición +.

Unidad de suelo	Promedio (Ag)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Al)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (As)	Dif
Salgar	6,94	A++	Paujil	13,80	A	La Espiga	19,82	A
La Montaña	6,78	A	La Montaña	12,85	A	San Simón	17,72	A
Siberia	5,86	A	Suroeste	11,90	AB	Campo Alegre	10,53	B
Suroeste	5,51	AB	Salgar	11,86	ABC	Libano	7,41	BC
La Espiga	5,48	AB	Perijá	11,46	ABC	Suroeste	5,90	BC
Parnaso-200	5,40	AB	Siberia	11,05	ABC	Quindío	5,36	BC
Paujil	5,28	ABC	Malabar	10,44	ABC	Salgar	4,76	BC
Malabar	5,09	ABC	San Simón	10,32	ABC	Parnaso-200	4,64	BC
Montenegro	4,65	BC	Campo Alegre	10,02	ABC	Siberia	4,54	BC
San Simón	4,46	BC	Chinchiná	9,84	ABC	La Montaña	4,33	BC
Perijá	4,42	BCD	Libano	9,33	ABC	Montenegro	3,69	BC
Chinchiná	4,26	CD	Montenegro	9,13	BC	Chinchiná	3,51	BC
Campo Alegre	3,61	DE	Parnaso-200	8,79	BC	Malabar	3,41	BC
Libano	3,27	DE	Quindío	8,06	C	Perijá	2,38	C
Quindío	2,77	E	La Espiga	7,12	C	Paujil	2,06	C

Unidad de suelo	Promedio (Au)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (B)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ba)	Dif
Malabar	12,78	A	Libano	8,83	A	Montenegro	11,39	A
Salgar	11,73	A	Siberia	8,28	A	Quindío	10,85	A
La Montaña	11,37	A	Montenegro	8,24	A	Malabar	10,06	A
Siberia	10,62	A	San Simón	7,71	AB	Salgar	6,67	B
Montenegro	10,33	A	Campo Alegre	7,34	ABC	Suroeste	6,51	B
Parnaso-200	9,67	A	Chinchiná	7,22	ABC	La Montaña	6,20	B
Paujil	9,14	AB	Malabar	7,19	ABCD	Libano	6,17	B
Suroeste	9,03	AB	Paujil	7,11	BCD	Siberia	6,08	B
Quindío	8,63	AB	Quindío	6,95	BCD	Chinchiná	5,76	B

Continúa...

...continuación.

La Espiga	8,62	AB	La Espiga	6,87	BCD	Perijá	3,97	C
San Simón	7,12	B	Parnaso-200	6,72	BCD	San Simón	3,92	C
Campo Alegre	6,83	B	Salgar	6,52	BCD	Paujil	3,83	C
Chinchiná	6,55	B	Perijá	6,48	CD	Parnaso-200	3,56	C
Perijá	6,28	B	Suroeste	6,36	CD	Campo Alegre	3,38	C
Líbano	6,20	B	La Montaña	6,23	D	La Espiga	3,35	C
Unidad de suelo	Promedio (Be)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Bi)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ca)	Dif
Siberia	0,35	A	Paujil	5,38	A	Montenegro	1,03	A
Paujil	0,30	A	Siberia	4,49	A	Suroeste	0,96	AB
La Montaña	0,23	B	Parnaso-200	2,88	B	Quindío	0,96	AB
Perijá	0,22	B	Campo Alegre	2,46	BC	Malabar	0,95	AB
Chinchiná	0,21	B	San Simón	2,35	BC	Chinchiná	0,95	B
La Espiga	0,18	BC	Chinchiná	2,14	BC	Líbano	0,94	B
Quindío	0,17	BC	Malabar	2,09	BCD	Paujil	0,91	BC
Montenegro	0,16	BC	Líbano	1,75	BCD	La Montaña	0,90	BC
San Simón	0,16	BC	Montenegro	1,60	BCD	Salgar	0,89	BC
Campo Alegre	0,16	BC	Perijá	1,54	BCD	Perijá	0,86	CD
Líbano	0,15	BC	La Espiga	1,52	BCD	La Espiga	0,80	DE
Salgar	0,15	BC	Quindío	1,35	CD	Campo Alegre	0,79	E
Parnaso-200	0,15	C	La Montaña	1,04	CD	Parnaso-200	0,77	E
Suroeste	0,12	C	Salgar	0,81	CD	San Simón	0,76	E
Malabar	0,05	C	Suroeste	0,75	D	Siberia	0,73	F
Unidad de suelo	Promedio (Cd)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ce)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Co)	Dif
La Espiga	5,57	A	Suroeste	18,95	A	Salgar	248,6	A
Malabar	3,61	AB	Salgar	18,10	AB	Suroeste	188,3	B
Montenegro	3,41	B	Malabar	17,82	ABC	Malabar	182,5	B
Salgar	3,17	B	Perijá	15,68	BC	Siberia	178,7	B

Continúa...

...continuación.

	Promedio (Cr)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Cu)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Fe)	Dif
Libano	2,92	B	Chinchiná	15,38	BC	Libano	149,1	C
San Simón	2,81	B	Parnaso-200	15,29	BC	Parnaso-200	122,6	D
Paujil	2,74	B	Paujil	13,74	CD	Chinchiná	103,98	E
Siberia	2,71	B	La Espiga	13,18	CD	La Espiga	90,60	EF
Perijá	2,68	B	San Simón	12,77	D	Paujil	87,86	EF
Quindío	2,62	B	La Montaña	12,64	D	Campo Alegre	86,43	EF
Campo Alegre	2,56	B	Libano	12,51	DE	San Simón	76,21	F
La Montaña	2,45	B	Quindío	12,35	DE	La Montaña	69,13	F
Suroeste	2,28	B	Montenegro	12,31	DE	Perijá	60,75	FG
Chinchiná	2,26	B	Siberia	11,45	DE	Quindío	44,82	G
Parnaso-200	2,25	B	Campo Alegre	10,11	E	Montenegro	43,89	G
Unidad de suelo	Promedio (Cr)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Cu)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Fe)	Dif
Suroeste	114,55	A	Libano	12,20	A	Malabar	25,06	A
Siberia	104,45	A	Parnaso-200	11,56	A	Campo Alegre	24,22	A
Perijá	93,15	AB	La Montaña	11,47	A	Suroeste	24,00	A
Campo Alegre	84,83	B	Montenegro	11,46	A	Siberia	22,96	A
Quindío	81,73	BC	Paujil	11,40	AB	San Simón	22,64	A
San Simón	79,74	BC	Siberia	10,89	AB	Perijá	22,63	A
Salgar	73,05	BCD	Malabar	10,59	ABC	Libano	22,28	A
Parnaso-200	71,16	BCD	Campo Alegre	10,43	BC	Chinchiná	21,81	A
Libano	68,38	BCD	Chinchiná	10,40	BC	Montenegro	21,79	A
La Espiga	67,73	BCD	San Simón	10,17	BC	Quindío	21,28	A
Chinchiná	64,79	CD	Perijá	10,10	BC	La Espiga	20,78	A
Montenegro	62,96	CD	Quindío	9,92	C	Parnaso-200	17,97	AB
Paujil	61,95	CD	Suroeste	9,50	C	Paujil	17,72	AB
La Montaña	59,44	D	Salgar	9,41	C	Salgar	17,14	AB
Malabar	53,34	D	La Espiga	9,27	C	La Montaña	16,58	B

Continúa...

...continuación.

Unidad de suelo	Promedio (Ga)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ge)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (In)	Dif
Suroeste	17,86	A	Siberia	24,06	A	Malabar	1,43	A
Siberia	14,22	B	Suroeste	21,85	AB	Suroeste	1,12	B
La Espiga	12,92	BC	La Espiga	21,84	AB	La Espiga	1,11	B
Montenegro	12,33	BC	La Montaña	21,68	AB	Salgar	1,10	B
Quindío	11,15	CD	Campo Alegre	19,98	AB	Siberia	1,06	B
Chinchiná	11,07	CD	San Simón	19,64	AB	Quindío	1,05	BC
Paujil	9,22	CDE	Libano	19,54	AB	Chinchiná	1,03	BC
San Simón	9,15	CDE	Perijá	19,36	AB	Libano	0,93	CD
Campo Alegre	9,05	CDE	Parnaso-200	18,85	B	San Simón	0,90	D
Salgar	8,15	CDE	Montenegro	18,34	B	Parnaso-200	0,85	DE
Parnaso-200	8,14	DE	Paujil	17,75	BC	Montenegro	0,81	EF
La Montaña	7,71	DE	Salgar	17,49	BCD	Campo Alegre	0,79	EF
Perijá	7,17	DE	Chinchiná	17,27	BCD	Perijá	0,73	EF
Libano	6,28	E	Quindío	14,28	CD	Paujil	0,70	FG
Malabar	2,83	E	Malabar	7,42	D	La Montaña	0,59	G
Unidad de suelo	Promedio (K)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (La)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Li)	Dif
Quindío	1,98	A	Montenegro	18,67	A	Suroeste	2,11	A
Salgar	1,94	AB	Quindío	17,95	AB	Montenegro	1,95	A
La Montaña	1,93	AB	Chinchiná	17,80	AB	Chinchiná	1,84	AB
Malabar	1,93	AB	Campo Alegre	17,31	ABC	Quindío	1,81	AB
La Espiga	1,92	AB	La Espiga	16,41	BC	La Espiga	1,54	ABC
Suroeste	1,90	BC	San Simón	16,19	BC	Malabar	1,38	ABCD
Paujil	1,89	BC	Libano	15,85	BC	Salgar	1,35	BCD
Libano	1,89	BC	Siberia	15,79	C	Siberia	1,33	CD
Chinchiná	1,88	BC	Suroeste	14,78	CD	La Montaña	1,31	CD
San Simón	1,85	BCD	Paujil	14,24	CD	Paujil	1,26	CD

Continúa...

...continuación.

Perijá	1,85	BCD	Parnaso-200	13,29	CD	Campo Alegre	1,18	CD
Parnaso-200	1,83	CD	La Montaña	12,92	CD	Parnaso-200	1,15	CD
Montenegro	1,82	D	Malabar	12,73	CDE	Perijá	1,14	CD
Campo Alegre	1,81	D	Perijá	12,55	DE	San Simón	1,12	D
Siberia	1,67	E	Salgar	9,23	E	Libano	1,12	D
Unidad de suelo	Promedio (Mg)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Mn)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Mo)	Dif
Campo Alegre	1,77	A	Suroeste	25,56	A	La Montaña	37,54	A
La Espiga	1,75	A	Salgar	25,10	A	Malabar	30,78	AB
San Simón	1,71	A	Siberia	23,42	A	La Espiga	29,90	B
Siberia	1,66	AB	Malabar	22,87	AB	Montenegro	28,59	B
Chinchiná	1,64	AB	Chinchiná	19,33	B	Perijá	25,68	B
Malabar	1,63	ABC	La Espiga	18,64	B	Quindío	25,42	B
Quindío	1,63	BC	Parnaso-200	18,48	B	Paujil	22,64	BC
Parnaso-200	1,63	BC	Libano	17,19	BC	Siberia	20,40	BC
Libano	1,58	BC	San Simón	15,71	C	Chinchiná	19,65	BC
La Montaña	1,55	C	Quindío	15,54	CD	San Simón	18,60	BC
Suroeste	1,54	C	Campo Alegre	14,63	CD	Campo Alegre	18,46	BC
Perijá	1,52	C	Paujil	14,54	CDE	Libano	16,48	CD
Montenegro	1,44	C	Perijá	14,04	CDE	Suroeste	13,13	CD
Paujil	1,43	C	Montenegro	13,94	DE	Salgar	13,00	CD
Salgar	1,29	D	La Montaña	12,03	E	Parnaso-200	11,46	D
Unidad de suelo	Promedio (N)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Na)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ni)	Dif
Malabar	2,34	A	Malabar	79,58	A	Salgar	510,19	A
Quindío	2,17	A	La Espiga	78,00	A	Parnaso-200	443,20	AB
Chinchiná	2,13	AB	Siberia	77,12	A	Suroeste	414,00	BC
Suroeste	2,11	ABC	Montenegro	73,50	A	Chinchiná	387,04	C
Parnaso-200	2,11	ABC	Libano	71,76	A	Perijá	369,93	C

Continúa...

...continuación.

Montenegro	2,09	ABC	Chinchiná	71,57	A	Siberia	356,67	C
Siberia	2,09	ABC	Quindío	71,43	A	Paujil	344,38	CD
Salgar	2,06	ABCD	Paujil	66,92	AB	Quindío	299,78	D
La Montaña	2,02	BCD	Campo Alegre	65,27	AB	San Simón	281,41	D
Libano	2,01	BCD	San Simón	61,99	ABC	Campo Alegre	261,40	D
Paujil	2,00	CD	La Montaña	60,94	ABC	La Espiga	250,39	DE
San Simón	1,98	D	Suroeste	60,47	ABC	Montenegro	234,12	DE
Campo Alegre	1,95	D	Salgar	57,00	BC	Libano	228,13	DE
La Espiga	1,93	D	Parnaso-200	56,10	C	Malabar	224,60	DE
Perijá	1,93	D	Perijá	55,28	C	La Montaña	189,08	E
Unidad de suelo	Promedio (P)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Pb)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Pd)	Dif
Campo Alegre	1,54	A	La Espiga	26,33	A	Campo Alegre	3,27	A
La Espiga	1,50	AB	Paujil	25,92	A	San Simón	2,47	B
Malabar	1,46	ABC	La Montaña	22,54	A	La Montaña	2,39	BC
San Simón	1,45	BC	Siberia	22,38	A	Siberia	1,90	CD
Siberia	1,43	BC	San Simón	20,75	A	Libano	1,50	CDE
Libano	1,43	BC	Montenegro	20,27	A	Perijá	1,43	CDE
Chinchiná	1,41	C	Salgar	19,33	AB	La Espiga	1,28	CDE
Paujil	1,39	CD	Libano	18,95	AB	Montenegro	1,28	CDE
Parnaso-200	1,37	CD	Parnaso-200	18,91	AB	Salgar	1,16	CDE
Quindío	1,36	CD	Perijá	16,91	AB	Parnaso-200	1,11	DE
Perijá	1,33	CD	Campo Alegre	16,75	AB	Chinchiná	1,03	DE
Suroeste	1,32	D	Suroeste	15,94	AB	Suroeste	0,95	DE
Montenegro	1,26	E	Chinchiná	15,61	AB	Quindío	0,93	E
La Montaña	1,25	E	Malabar	15,54	AB	Paujil	0,80	E
Salgar	1,16	F	Quindío	14,42	B	Malabar	0,00	E

Continúa...

...continuación.

Unidad de suelo	Promedio (Pt)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Rb)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (S)	Dif
Suroeste	116,66	A	La Montaña	95,15	A	Salgar	4,84	A
La Espiga	104,53	AB	Montenegro	71,95	B	Suroeste	4,68	A
Campo Alegre	104,29	AB	Quindío	71,14	B	Siberia	4,32	A
Siberia	99,77	B	Paujil	70,27	B	Malabar	4,77	AB
San Simón	95,91	BC	Campo Alegre	58,70	C	La Espiga	3,45	BC
Chinchiná	92,01	BCD	Libano	51,36	CD	Parnaso-200	3,37	C
Montenegro	86,76	BCDE	La Espiga	48,39	D	Chinchiná	3,15	CD
Perijá	84,37	BCDEF	Perijá	48,06	D	Montenegro	3,15	CD
Libano	82,16	CDEF	San Simón	47,76	D	San Simón	3,03	CDE
Salgar	77,87	CDEFG	Suroeste	46,23	DE	Quindío	2,97	CDE
Paujil	77,68	DEFG	Chinchiná	41,76	E	Libano	2,95	CDEF
Parnaso-200	77,43	EFG	Siberia	31,15	E	Paujil	2,88	DEF
Quindío	77,24	EFG	Salgar	30,60	EF	Campo Alegre	2,85	DEF
La Montaña	70,91	FG	Malabar	29,18	EF	La Montaña	2,80	EF
Malabar	44,11	G	Parnaso-200	21,23	F	Perijá	2,44	F
Unidad de suelo	Promedio (Sb)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Se)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Sc)	Dif
Campo Alegre	6,19	A	Quindío	1,98	A	Chinchiná	6,60	A
Siberia	5,81	A	Montenegro	1,82	AB	San Simón	6,51	A
San Simón	5,46	A	La Espiga	1,65	ABC	Campo Alegre	5,98	A
La Espiga	5,41	A	Libano	1,56	BCD	Siberia	5,22	AB
Libano	4,17	AB	Campo Alegre	1,43	CD	Suroeste	4,58	AB
Malabar	3,91	AB	Siberia	1,36	CD	Parnaso-200	4,54	AB
Montenegro	3,49	B	Suroeste	1,24	CDE	Libano	3,92	ABC
Quindío	2,79	BC	San Simón	1,14	DE	Malabar	3,89	ABC
Parnaso-200	2,69	BC	Salgar	1,05	DEF	La Espiga	3,61	BC
Chinchiná	2,17	BCD	La Montaña	0,96	EF	Montenegro	3,36	BC

Continúa...

...continuación.

Salgar	1,95	BCD	Chinchiná	0,95	EF	Quindío	3,01	BC
Suroeste	1,76	CD	Parnaso-200	0,78	F	Paujil	2,83	BC
La Montaña	1,54	CD	Perijá	0,72	F	Perijá	2,56	BC
Paujil	1,39	CD	Paujil	0,62	F	Salgar	2,43	BC
Perijá	0,79	D	Malabar	0,52	F	La Montaña	2,27	C
Unidad de suelo	Promedio (Si)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Sn)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Sr)	Dif
Malabar	20,58	A	Suroeste	385,82	A	Montenegro	17,80	A
Perijá	17,46	AB	Paujil	337,99	AB	Quindío	17,67	A
Paujil	17,28	AB	Perijá	329,37	AB	Malabar	14,41	B
San Simón	15,01	BC	La Montaña	268,47	B	Siberia	13,50	B
Montenegro	14,43	BCD	Chinchiná	267,58	B	La Montaña	12,62	B
Campo Alegre	14,26	BCD	Salgar	266,55	BC	Líbano	12,58	B
Siberia	14,01	CD	Parnaso-200	256,75	BC	Campo Alegre	11,56	BC
Quindío	12,96	CDE	Siberia	242,90	BC	La Espiga	11,34	BCD
Chinchiná	12,89	CDE	Malabar	235,40	BCD	San Simón	10,85	CD
La Montaña	12,69	CDE	Montenegro	227,78	CD	Chinchiná	10,19	DE
Suroeste	12,56	CDE	Quindío	205,52	CD	Salgar	8,65	EF
Líbano	11,51	DE	La Espiga	197,87	CD	Suroeste	8,37	F
Parnaso-200	11,49	DE	San Simón	192,92	CD	Perijá	7,19	F
Salgar	10,93	DE	Líbano	191,87	CD	Paujil	4,47	G
La Espiga	9,83	E	Campo Alegre	168,42	D	Parnaso-200	4,45	G
Unidad de suelo	Promedio (Te)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Ti)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Tl)	Dif
Parnaso-200	28,39	A	Suroeste	259,20	A	Salgar	69,38	A
Suroeste	24,37	AB	Montenegro	258,90	AB	La Espiga	51,29	B
Siberia	20,21	B	Perijá	228,03	AB	Paujil	42,62	BC
San Simón	20,13	B	Malabar	204,39	ABC	Malabar	34,55	BCD
Campo Alegre	20,07	B	La Montaña	200,40	ABC	La Montaña	33,82	CD

Continúa...

...continuación.

Unidad de suelo	Promedio (V)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Zn)	Dif	Suroeste	30,33	CD
La Espiga	18,21	BC	Siberia	185,38	ABC	Suroeste	30,33	CD
Libano	15,32	BC	Campo Alegre	185,24	ABC	Libano	27,50	CD
Montenegro	14,22	BC	Chinchiná	176,65	ABC	Parnaso-200	24,00	D
Paujil	10,11	BCD	La Espiga	172,80	ABC	Quindío	23,52	D
Chinchiná	8,90	BCD	San Simón	156,49	ABC	Siberia	22,92	D
Malabar	8,77	BCD	Salgar	147,85	ABC	Montenegro	22,74	D
Quindío	8,14	CD	Libano	128,77	BC	Campo Alegre	21,01	D
Perijá	4,98	CD	Paujil	128,00	BC	San Simón	20,12	D
Salgar	4,75	CD	Parnaso-200	117,05	C	Perijá	19,78	D
La Montaña	4,50	D	La Montaña	116,44	C	Chinchiná	6,95	E
Unidad de suelo	Promedio (V)	Dif	Unidad de suelo	Promedio (Zn)	Dif			
Suroeste	10,58	A	Siberia	4,81	A			
Campo Alegre	7,95	AB	Campo Alegre	4,62	AB			
Chinchiná	6,91	AB	Malabar	4,38	ABC			
Perijá	5,75	ABC	Libano	4,15	BC			
Parnaso-200	5,25	ABC	San Simón	4,14	BC			
La Espiga	5,02	ABC	Salgar	4,00	BC			
Montenegro	4,59	ABC	Chinchiná	3,89	C			
Libano	4,38	ABC	Paujil	3,80	C			
San Simón	4,31	ABC	Montenegro	3,79	C			
La Montaña	4,15	ABC	Parnaso-200	3,65	CD			
Salgar	3,96	ABC	Perijá	3,59	CD			
Paujil	3,69	ABC	La Espiga	3,58	CD			
Quindío	3,68	BC	Quindío	3,44	CD			
Siberia	2,53	C	Suroeste	3,24	D			
Malabar	0,68	C	La Montaña	2,79	E			

+ Unidades: % N y K; g kg⁻¹, S, Mg, P, Ca; mg kg⁻¹ (ppm) para Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu, Al, B, Ba, Zn, Li, In; µg kg⁻¹, Ni, Sn, Ti, Co, Pt, Cr, Tl, Mo, Pb, Ge, La, Te, Ce, Ga, Au, As, V, Ag, Se, Sb, Cd, Bi, Pd, Sc, Be. ++ Para cada elemento, letras diferentes entre unidades de suelo indican diferencias significativas Duncan (5%).

Tabla 11. Porcentaje de muestras con ausencia de algunos elementos químicos en el café verde.

Elemento químico	Muestras que no contenían el elemento (%)
Tl	43,2
Pd	38,2
As	30,0
Se	28,2
Bi	24,5
Be	21,0
Sb	20,2
Te	18,1
Au	7,4
Sc	5,2
Ga	4,8
Ge	4,2
Cd	4,2
Ag	4,0
V	2,9
Mo	1,6
Al	1,1
Pb	0,8
La	0,5
Ce	0,3

Tabla 12. Porcentaje de fincas donde no se encontraron algunos elementos químicos en el café verde.

Elemento químico	Fincas donde no se detectó el elemento (%)
Tl	19,2
Pd	13,5
Se	9,0
As	7,7
Sb	7,7
Te	7,1
Bi	5,8
Be	5,1
Au	2,6
Sc	1,3

En el 47,5% de las fincas no se detectó en el grano de café verde al menos uno de los siguientes elementos: As, Be, Tl, Pd, Bi, Sb, Se, Te; en el 9,3% de las fincas no se encontraron dos de estos elementos; y en el 7,4% no se detectaron tres de estos elementos.

Los elementos As, Be, Tl, Pd, Bi, Sb y Se no se detectaron en el café de una finca de Andes Antioquia; seis elementos no se detectaron en dos fincas, una de Caldas y otra del Cesar; y cuatro elementos no se encontraron en el café de dos fincas, una del Cesar y otra de Antioquia. El café que no presentó elementos químicos pesados presenta ventajas de inocuidad y calidad.

En conclusión, el material parental, la unidad de suelos y el rango de altitud fueron los factores que más diferenciaron los contenidos minerales del grano de café.

El Pd parece estar ausente en la región de Quimbaya con unidad de suelo Malabar; el café de esta región también puede asociarse con un alto contenido de Fe. Los granos de café con altos contenidos medios de Rb ($83,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) y altas concentraciones de Au ($10,1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) estarían asociados al café del Cesar.

Hubo diferencias según la altitud en la presencia y contenido de varios elementos químicos en el café, por encima de 1.600 m fueron mayores los contenidos de As, Bi, Cr, In, Mg, Ni, P, Pd, Pt, Sb, Se, Te y Zn en los granos de café; por el contrario, fueron menores los contenidos de Ba, Ca, Cu, K, Li, Mo, Rb, Sc, Sr (Tabla 8).

Las variaciones en las concentraciones de los elementos pesados y los micro-elementos (con niveles de $\mu\text{g.kg}^{-1}$), Tl, Pd, As, Se, Bi, Be, Sb, Te, Au, Sc, Ga, Ge, Cd, Ag, V, Mo, Al, Pb, La y Ce, estuvieron influenciadas por la altitud, el material parental y la unidad

de suelos, y también como se mencionó anteriormente, pueden estar asociadas a las condiciones geográficas, al origen geológico de los suelos cafeteros en cada región, así como a los productos usados para la fertilización y manejo fitosanitario de plagas y enfermedades.

Las diferencias en los contenidos de elementos químicos minerales en el café de Colombia halladas con esta investigación podrían utilizarse como variables químicas de diferenciación del grano de café para su comercialización, destacando otros atributos del café de las regiones.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio de Extensión Rural de Antioquia, Quindío, Huila, Tolima y a las Estaciones de Cenicafé en Santander, Pueblo Bello y Paraguaicito, y a la Cooperativa de Caficultores de Anserma (Caldas). A Diana Marcela Muñoz N., Liliana Moncayo M., Paula Tatiana Miranda A., Kevin Adolfo Hincapié V., Luisa Fernanda Gallego B., Francly Marcela Acosta N. y al doctor Luis Fernando Samper.

Esta investigación hizo parte del proyecto QIN3010 “Estudio de perfiles sensoriales y componentes químicos del café de Colombia para su verificación de origen y calidad”, que se desarrolló en la disciplina de Química Industrial de Cenicafé y se desarrolló con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ, M.; MORENO, I.M.; PICHARDO, S.; CAMEAN, A.M.; GONZÁLEZ, A.G. Mineral profile of “fino” wines using inductively coupled plasma optical emission spectrometry methods. *Food chemistry* 135(1):309-313. 2012.
2. ANDERSON, K.A.; SMITH, B.W. Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee. *Journal of agricultural and food chemistry* 50(7):2068-2075. 2002.
3. BOWEN, H.J.M. Trace elements in biochemistry. Nueva York : Academic press, 1966. 241 p.
4. CENICAFÉ. Informe anual Cenicafé: 1998-1999. Chinchiná : Cenicafé, 1999. 163 p.
5. CENICAFÉ. Informe anual Cenicafé: 1999-2000. Chinchiná : Cenicafé, 2000. 161 p.
6. CLARKE, R.J. Coffee: Chemistry. Amsterdam : Elsevier applied science, 1985. 306 p.
7. CLARKE, R.J.; WALKER, L.J. Potassium and other mineral contents of green, roasted and instant coffees. *Journal of the science of food and agriculture* 25(11):1389-1404. 1974.
8. CLARKE, R.J.; VITZHUM, O.G. Coffee: Recent developments. New Jersey : Wiley Blackwell, 2001. 272 p.
9. DAY, M.P.; ZHANG, B.; MARTIN, G.H. Determination of the geographical origin of wine using joint analysis of elemental and isotopic composition: Differentiation of the principal production zones in France for the 1990 vintage. *Journal of science of food and agriculture* 67(1):113-123.
10. DOWNEY, G.; SPENGLER, B. Compositional analysis of coffee blends by near infrared spectroscopy. *Irish journal of agricultural food research* 35(2):179-188. 1996.
11. ESECHIER, H.A. Distribution of chemical constituents in the plant parts of six tropical-origin forage grasses at early anthesis. *Journal of the science of food and agriculture* 58(3):435-438, 1992.
12. FNC. Nuestras regiones cafeteras. [En línea]. Bogotá: La Federación, [s.f.]. Disponible en internet: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/regiones_cafeteras/. Consultado en junio de 2015.
13. FERREIRA, L.A.B.; FRAGOSO, M.A.C.; PERALTA, M.F.; SILVA, M.C.C.; REBELO, M.C. Constituintes minerais dos cafés de Angola. Paris : ASIC, 1971.
14. FREGA, N.; BOCCI, F.; LERCKER, G. High resolution gas chromatographic method for

- determination of Robusta coffee in commercial blends. *Journal of high resolution chromatography* 17(5):303-307. 1994.
15. ILLY, A.; VIANI, R. Espresso coffee: The science of quality. 2a. ed. Amsterdam : Elsevier, 2005. 398 p.
 16. KABATA P, A. Trace elements in soils and plants. 2a. ed. Boca Raton : CRC press, 1992. 365 p.
 17. KAWAKAMI, Y.; KUNIEDA, S.; SATO, A.; TAKASHIMA, Y.; KANISAWA, T. Studies on volatile compounds in a series of roasted coffee beans: Changes of the amounts of volatile compounds and total sulfur. Paris : ASIC, 1995.
 18. KOTHNY, E.L. Trace elements in the environment. Washington : American chemical society, 1973.
 19. KREJCOVA, A.; CERNOHORSKY, T. The determination of boron in tea and coffee by ICP-AES method. *Food chemistry* 82:303-308. 2003.
 20. KRIVAN, V.; BARTH, P.; MORALES, A.F. Multielemental analysis of green coffee and its possible use for the determination of origin. *Microchimica acta* 110(4/6):217-236. 1993.
 21. LAMBOT, C.; HUSSON, J.; BEDON, L.; GOULOIS, E.; PRIVAT, I.; MICHAUX, S.; BROUN, P. Identification of biochemical and physiological markers related to green coffee under storage: Nestlé R&D center tours. Costa Rica : ASIC, 2012.
 22. MACRAE, R.; PETRACCO, M.; ILLY, E. Trace metal profiles of green coffees. Paris : ASIC, 1993.
 23. MALIK, J.; SZAKOVA, J.; DRABEK, O.; BALIK, J.; KOKOSKA, L. Determination of certain micro and macro elements in plant stimulants and their infusions. *Food chemistry* 111(2):520-525. 2008.
 24. MARTIN, M.J.; PABLOS, F.; GONZÁLEZ, A.G. Characterization of Arabica and Robusta roasted coffee varieties and mixture resolution according to their metal content. *Food chemistry* 66:365-370. 1999.
 25. MORGANO, M.A.; PAULUCI, L.F.; MANTOVANI, D.M.B.; MORY, E.E.M. Determinação de minerais em café cru. *Ciência tecnologia alimentos* 22(1):19-23. 2002.
 26. NICHOLAS, D.J.D.; EGAN, A.R. Trace elements in soil plant animal systems. Nueva york : Academic press, 1975. 417 p.
 27. OLESZCZUK, N.; CASTRO, J.C.; SILVA, M.M. DA; GRACAS, M. DAS; KORN, A.; WELZ, B.; VALE, M.G. Method development for the determination of manganese, cobalt and copper in green coffee comparing direct solid sampling electrothermal atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Talanta* 73(5):862-869. 2007.
 28. PAIS, I.; JONES JR., J.B. The handbook of trace elements. Boca raton : St. Lucie press, 1997. 223 p.
 29. PERTOLDI M., G.; PROCIDA, G.; PALO, D. DE; WEBER, A. Characterization of Arabica and Robusta coffee varieties according to their trace heavy metals content. Paris : ASIC, 2001.
 30. POHL,P.;STELMACHE,E.;WELNA,M.;SZYMCZYCHA M., A. Determination of the elemental composition of coffee using instrumental methods. *Food analytical methods* 6(2):598-613. 2013.
 31. PRIETO M., H.E.; POLTRONIERI, Y.; FARAH, A.; PERRONE, D. Zinc supplementation, production and quality of coffee beans. *Ceres* 60(2):293-299. 2013.
 32. PRODOLLIET, J.; ZBINDEN, P.; ANDREY, D.; BAUMGARTNER, M. Determination of the geographical origin of green coffee by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Paris : ASIC, 2001.
 33. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. Chinchiná : Cenicafé, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349).
 34. PUERTA Q., G.I. Composición química de una taza de café. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 12 p. (Avances Técnicos No. 414).
 35. PUERTA Q., G.I. Contaminantes del café: Seminario presentado en diplomado de evaluación de la calidad del café. Manizales : Universidad Autónoma de Manizales, 2011. 31 diap.
 36. PUERTA Q., G.I. Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 316).
 37. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Chinchiná : Cenicafé, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 352).
 38. PUERTA Q., G.I. Registro de la trazabilidad del café en la finca. Chinchiná : Cenicafé, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 355).

39. PUERTA Q., G.I.; GONZÁLEZ R., F.O.; CORREA P., A.; ÁLVAREZ L., I.E.; ARDILA C., J.A.; GIRÓN O., O.S.; RAMÍREZ Q., C.J.; BAUTE B., J.E.; SÁNCHEZ A., P.M.; SANTAMARÍA B., M.D.; MONTOYA, D.F. Diagnóstico de la calidad del café según altitud suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Cenicafé* 67(2):15-51. 2016.
40. QUIJANOR, M.; SPETTEL, B. Análisis instrumental por activación con neutrones térmicos de algunas muestras de café. París : ASIC, 1973.
41. RAGOSO, M.A.C.; FERREIRA, L.A.B.; PERALTA, M.F. Metais pesados em cafês. París : ASIC, 1971.
42. ROFFI, J.; SANTOS, A.C. DOS; MEXIA, J.T.; BUSSON, F.; MAIGROT, M. Cafês verts et torrefies de l'Angola etude chimique. París : ASIC, 1971.
43. SADEGHIAN K., S.; GAONA J., S. El suelo: Formación, fertilidad y conservación: Fundamentos agronómicos. [cd rom]. Chinchiná : Cenicafé : FNC : FMM : SENA, 2005.
44. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4):251-261. 2006.
45. SANTOS, E.J. DOS; OLIVEIRA, E. DE. Determination of mineral nutrients and toxic elements in brazilian soluble coffee by ICP-AES. *Journal of food composition and analysis* 14(5):523-531. 2001.
46. TINKER, P.B. Levels, distribution and chemical forms of trace elements in food plants. *Philosophical transactions of the Royal society of London* 294(1071):41-55. 1981.
47. UNDERWOOD, E.J. Trace elements in human and animal nutrition. 2a. ed. Nueva York : Academic press, 1962. 429 p.
48. VILLARREALP, D.; BERTRAND, B.; LAFFARGUE, A.; POSADA S., H.E.; LASHERMES, P.; DUSSERT, S. Chemometric discrimination of coffee *Coffea arabica* L. genotypes and growing origins. París : ASIC, 2008.
49. YARA. Nutrición vegetal: Café resumen nutricional. [en línea]. Bogotá: YARA, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.yara.com.co/crop-nutrition/crops/cafè/informacion-esencial/resumen-nutricional/>. Consultado en enero de 2016.
50. ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanquetina. Chinchiná: Cenicafé, 1993. 8p. (Avances técnicos No. 197).

EVALUACIÓN DE UN GASIFICADOR DE FLUJO DESCENDENTE UTILIZANDO ASTILLAS DE MADERA DE CAFÉ

Carlos Eugenio Oliveros Tascón*; Juan Rodrigo Sanz Uribe*; Nelson Rodríguez Valencia*

OLIVEROST, C.E.; SANZ U., J.R.; RODRÍGUEZ V., N. Evaluación de un gasificador de flujo descendente utilizando astillas de madera de café. Revista Cenicafé 68(2):61-75. 2017

Se evaluó un equipo de fabricación comercial diseñado para generar electricidad mediante la gasificación de biomasa lignocelulósica, Unidad Generadora de Energía Eléctrica (UGEE), con gasificador de flujo descendente de biomasa y gases y potencia máxima de 20 kWe, utilizando astillas de madera del café. Se utilizó un diseño factorial 2x3, con dos tamaños de las astillas recomendados por el fabricante (100% y 85%), de longitud entre 10 y 40 mm, y tres cargas externas conectadas al dispositivo (un motor eléctrico de 5,0 kW y dos de 6,6 kW). En cada tratamiento se tuvieron cinco réplicas. Las variables de respuesta fueron consumo de biomasa, producción de energía y eficiencia térmica. El gas combustible obtenido de la gasificación de la madera del café, con un contenido de humedad de 10% a 15% (base húmeda), presentó 19,0% de CO, 19,9% de H₂, 3,0% de CH₄, 10,0% de CO₂, 0,2% de O₂ y poder calorífico inferior de 5.669,3 kJ.m³. El tamaño de las astillas en la biomasa utilizada y la carga externa aplicada afectó el desempeño de la UGEE. La mayor eficiencia térmica (63,8%) y producción de gas (2,48 m³.kg⁻¹ de biomasa) se obtuvieron utilizando astillas de café del tamaño recomendado por el fabricante y conectando a la UGEE los tres motores eléctricos. Con biomasa con 85% de astillas de madera del café del tamaño requerido se presentaron interrupciones en su flujo a través de la garganta del gasificador, que afectaron la producción de gas combustible y ocasionan la detención del motor de combustión interna del equipo.

Palabras clave: Biomasa residual, eficiencia térmica, madera de café, bioenergía.

EVALUATION OF A DOWNSTREAM GASIFIER USING COFFEE WOOD CHIPS

A commercially manufactured equipment designed to generate electricity by lignocellulosic biomass gasification, Electric Energy Generating Unit (UGEE), with a downward flow biomass and gases gasifier and a maximum power of 20 kWe, using coffee wood chips was evaluated. A 2x3 experimental factorial design with two chip preparations: 100% and 85% of chips with the size recommended by the manufacturer, *i.e.*, a length between 10 and 40 mm and three external loads connected to the device (an electric engine of 5.0 kW and two of 6.6 kW) were used. Each treatment had five repetitions. The response variables were: biomass consumption, energy production and thermal efficiency. The gas obtained from the gasification of the coffee wood, with a moisture content between 10% and 15% (wet basis), had 19.0% of CO, 19.9% of H₂, 3.0% of CH₄, 10.0% of CO₂, 0.2% of O₂ and a low calorific value of 5,669.3 kJ.m³. The size of the chips in the biomass and the external load affect the performance of the UGEE. The highest thermal efficiency (63.8%) and gas production (2.48 m³.kg⁻¹ of biomass) were obtained using coffee wood chips of the size recommended by the manufacturer and connecting the three electric motors to the UGEE. The use of biomass with 85% of coffee wood chips of the required size has flow interruptions down the throat of the gasifier, which affect the production of fuel gas and make the internal combustion engine of the equipment stop.

Keywords: Residual biomass, thermal efficiency, coffee wood, bioenergy.

* Investigador Principal e Investigadores Científicos III, respectivamente. Disciplina de Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El consumo anual de electricidad *per cápita* en Colombia, entre 2010 y 2014, fue de 1.123 kWh (3), generada principalmente en grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas (68,1%), en plantas termoeléctricas (31,4%), turbinas eólicas (0,12%) y 0,38% en plantas de cogeneración en el Valle del Cauca utilizando el bagazo de la caña de azúcar (8). En el 2013 la capacidad instalada para cogeneración era 187 MW, de los cuales 51 MW fueron vendidos a la red nacional de energía (2). Para el 2017 se espera generar 360 MW en las plantas instaladas en el sector azucarero y vender 166 MW a la red nacional (*ibidem*).

En la producción anual de café en Colombia, 14,2 millones de sacos de 60 kg en 2016, se genera la siguiente biomasa: 3 Mt de madera seca durante la renovación de cafetales, 0,37 Mt de pulpa seca, 1,0 Mt de mucílago y 0,16 Mt de cascarilla o cisco seco de café. La madera producida tiene potencial de generar hasta 52,47 PJ.año⁻¹ de energía. Actualmente, la mayoría de la madera se utiliza en las cocinas rurales, con bajo aprovechamiento de su energía (< 10%). La cascarilla se emplea para calentar el aire en secadores mecánicos utilizados en el secado del café empleando tecnologías que aprovechan del 30% al 50% de su potencial energético.

La gasificación de biomasa lignocelulósica es utilizada para la generación de energía térmica, mecánica y eléctrica de una manera eficiente y sostenible, con menor impacto medioambiental que el producido por los combustibles fósiles (13, 28). Su desarrollo y utilización ha sido más evidente en tiempos de altos precios del petróleo y, más recientemente, debido a las preocupaciones ambientales. En Colombia, su uso es muy limitado, principalmente con fines académicos (9), aunque hay abundante

disponibilidad de biomasa adecuada para la gasificación, principalmente de la producción de café (11).

Mediante la gasificación de la madera del café puede producirse energía térmica con mayor eficiencia y menor impacto ambiental que con las tecnologías que se encuentran actualmente en uso en Colombia en el secado del café (22). También puede generarse energía eléctrica en forma sostenible para utilizarla en comunidades rurales que no estén conectadas al sistema nacional interconectado.

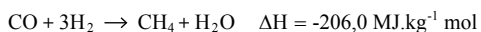
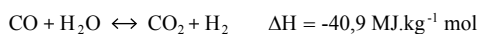
La gasificación es un proceso termoquímico en el cual se obtiene gas combustible, denominado gas de síntesis (syngas), a partir de oxidación parcial de la biomasa o carbón mineral a temperaturas entre 800 y 900°C (14). El gas obtenido con bajo poder calorífico (4 a 6 MJ/Nm³), consta principalmente de CO₂, H₂ y CH₄ y fluidos condensables que deben ser retirados en alto porcentaje mediante procesos físicos o químicos para utilizar el syngas en motores de combustión interna (5).

En la gasificación se presentan los procesos de secado, pirólisis, oxidación y reducción. En el proceso de secado, con temperatura de hasta 100°C, se retira agua de la biomasa. En el proceso de pirólisis se presenta la degradación térmica o volatilización de la materia en ausencia de oxígeno, iniciando a temperaturas cercanas a 200°C (27), obteniéndose un material sólido (carbón o biochar) y fluidos condensables que dan origen a combustibles (12). La celulosa y la hemicelulosa son las fuentes principales de volátiles (4). En el proceso de oxidación, en presencia de un agente reactivo (aire en la mayoría de los casos), se producen gases, vapor de agua y carbón (5, 21, 22, 23), bajo las siguientes reacciones químicas (19):

En la zona de oxidación (1.100°C - 1.500°C)



En el proceso de reducción, con temperatura entre 900 y 1.100°C, se obtienen los principales gases combustibles del syngas (CO, H₂ y CH₄), en las reacciones que se indican a continuación (*ibídem*),



Las tecnologías utilizadas para la gasificación de la biomasa pueden clasificarse en dos grandes grupos (4): de lecho fijo y de lecho fluidizado. Dependiendo de la dirección relativa de la biomasa y de los gases generados, los gasificadores de lecho fijo pueden clasificarse como de flujo ascendente, flujo descendente y flujo cruzado. Los más utilizados en la

producción de energía de hasta 1MW son los de flujo ascendente y descendente, con las principales ventajas y desventajas que se indican en la Tabla 1.

Las principales propiedades de la biomasa para la producción de energía son el contenido de humedad, el poder calorífico, la relación carbono fijo/volátiles, el contenido de cenizas y el contenido de álcalis (15).

El desempeño de un gasificador es afectado principalmente por el tipo y condiciones de la biomasa (contenido de humedad, tamaño y densidad), flujo de la biomasa, agente oxidante utilizado y flujo y relación de equivalencia (kg de aire/kg de biomasa suministrado y kg de aire/kg de biomasa estequiométrico) (10, 12, 14, 27).

Para madera de café se reporta el análisis proximal y elemental presentado en la Tabla 2. De acuerdo con esta información, la fórmula química empírica para la madera del café es C₃H₄O₂ y el aire estequiométrico requerido en la combustión es 6,35 kg aire/kg de madera (28).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de gasificadores de flujo descendente y ascendente (1, 22).

Tipo	Ventajas	Desventajas
Flujo ascendente	Baja caída de presión Alta eficiencia térmica Baja producción de escoria	Alta producción de alquitranes en el gas combustible
Flujo descendente	Producción de gas con baja concentración de alquitranes	Altura de los equipos No apropiados para partículas de tamaño inferior a 10 mm.

Tabla 2. Análisis proximal y elemental de la madera del café (25).

Humedad (% base seca)	Análisis proximal (%)				Análisis elemental (%)				
	Volátiles	Carbono fijo	Azufre	Cenizas	C	O	H	N	S
11,44	73,63	12,9	0,06	2,03	43	36,3	4,7	0,9	0,07

En la literatura consultada no se encontró información sobre empleo de la madera del café (astillas) en gasificadores de flujo descendente ni de otro tipo. En esta investigación se evaluó el desempeño de un equipo de gasificación comercial de flujo descendente, utilizando astillas de la madera del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Esta investigación se realizó en Cenicafé (Manizales), localizado a 5° 00' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y altitud de 1.310 m. Con temperatura y humedad relativa promedio de 20,7°C y 78%, respectivamente.

Equipos. El equipo utilizado fue una unidad generadora de energía eléctrica (UGEE) con

capacidad máxima de 20 kWe (GEK 20 kWe), presentado en la Figura 1, fabricado por la empresa All Power Labs (APL) de Estados Unidos.

La UGEE consta de los siguientes elementos:

- Un gasificador de flujo descendente de gases y biomasa (Figura 2a).
- Un ciclón para retirar partículas presentes en el gas combustible producido (Figura 2b).
- Un filtro construido con chips de madera de café para retener partículas y retirar gran parte del alquitrán presente en el gas combustible producido (Figura 2c).
- Un dispositivo para retirar continuamente las cenizas producidas en el reactor.



Figura 1. Unidad utilizada para generar energía eléctrica GEK 20 kWe (UGEE) a partir de astillas de madera de café.



Figura 2. Componentes principales del gasificador: **a.** Reactor, **b.** Ciclón, **c.** Filtro, **d.** Sacudidor de la canasta donde se realiza el proceso de reducción, **e.** Motor de combustión interna, **f.** Generador.

- Un dispositivo para sacudir la canasta en la cual se realiza el proceso de reducción, evitando su obstrucción por partículas y cenizas (Figura 2d).
- Un motor de combustión interna con cilindrada de 3,0 L operado con el gas combustible producido en la gasificación (Figura 2e).
- Un generador que entrega a su máxima capacidad 20 kWe (Figura 2f).

Adicionalmente el equipo dispone de termopares tipo K y sensores de presión para monitorear su funcionamiento y obtener el mejor desempeño ajustando principalmente el sacudidor de la canasta en forma manual o automática.

Las astillas de madera requeridas para la operación de gasificador, según el fabricante del equipo, deben presentar longitud entre 10 y 40 mm para evitar obstrucciones en su paso a través de la garganta del gasificador, por la formación de puentes (*bridging*) entre ellas. Para obtenerlas se utilizó una máquina de dos cuchillas marca Koyote CK4 (Figura 3a) y tallos de 80 cm de longitud, de árboles de café Variedad Castillo® de 5 años, renovados por zoqueo. El material cortado con la máquina se clasificó utilizando dos mallas, con aberturas de 25 x 25 mm y 12,5 x 12,5 mm, y con separación manual de astillas de más de 40 mm de longitud. El material seleccionado se secó hasta humedad del 10% al 15% (base húmeda), recomendada por el fabricante, obteniendo

el producto que se presenta en la Figura 3b. La densidad promedio de los chips con las especificaciones mencionadas fue 229,0 kg.m³ (D.E. 8,0 kg.m³).

El costo de la producción de astillas a partir de la madera del café fue de US\$ 0,31. kg⁻¹ considerando la mano de obra empleada y el costo de operación de la máquina (17). La energía utilizada en la obtención de astillas fue equivalente al 1,83% de la energía producida por las astillas, valor similar al reportado por Sjaak y Koppejan (28).

Para la carga de las astillas, operación y limpieza del equipo al final de cada ensayo se siguió el procedimiento recomendado por el fabricante. La potencia eléctrica generada por la UGEE se utilizó para el accionamiento de motores AC: uno con una potencia de 5,0 kW y dos de 6,6 kW conectados a 220V, cada uno acoplado a un ventilador centrífugo.

Para medir la biomasa consumida en los ensayos con la UGEE se utilizó una báscula de piso marca Jaramillo con capacidad máxima de 3.000 kg y resolución de 0,5 kg.

La energía eléctrica requerida por los motores conectados a la UGEE en cada ensayo se midió utilizando un vatímetro trifásico análogo marca Elster con resolución de 0,1 kWh.

La composición (v/v, %) de los principales gases combustibles producidos por la gasificación de la madera del café (CO₂, CO, H₂, CH₄, O₂) y el poder calorífico inferior de la mezcla gaseosa se midió utilizando un analizador de gases marca Gasboard 3100 P.

Diseño experimental. La UGEE se evaluó utilizando un diseño factorial 2x3, dos porcentajes de tamaño de chips en la masa utilizada y tres cargas externas aplicadas, como se presenta en las Tablas 3 y 4. En cada tratamiento se tuvieron cinco repeticiones y el tiempo mínimo de operación del equipo para cada uno fue de 1 hora.

En cada ensayo se midieron las siguientes variables:

- Peso de biomasa, m_b (kg), cada 15 min (Δt)
- Tiempo (t) definido para cada medición



Figura 3. Obtención de astillas de la madera del café. a. Equipo utilizado, b. Astillas con las dimensiones recomendadas por el fabricante UGEE.

Tabla 3. Factores y niveles para la evaluación de la UGEE GEK 20 kW

Porcentaje de astillas en la masa utilizada del tamaño recomendado por el fabricante (10 a 40 mm)	100% y 85% (mínimo porcentaje para evitar fallas en el equipo, observado en ensayos preliminares)
Carga externa aplicada	5,0 kW – 11,6 kW y 18,2 kW

Tabla 4. Tratamientos utilizados en la evaluación de la UGEE GEK 20 kW.

Tratamiento	Astillas del tamaño recomendado por el fabricante (%)	Carga externa aplicada (kW)
T1	100	5,0
T2	100	11,6
T3	100	18,2
T4	85	5,0
T5	85	11,6
T6	85	18,2

- Velocidad del aire en la entrada al gasificador (m.s⁻¹)
- Eficiencia de conversión de biomasa en combustible (η_g),% (Ecuación <2>)

$$\eta_g = \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_b} \cdot 100 \quad <2>$$

Donde:

\dot{m}_g : Flujo másico de gas producido (kg.h⁻¹)

\dot{m}_b : Flujo de biomasa (kg.h⁻¹)

- Temperatura ambiente y en las zonas de combustión y reducción del gasificador (°C)
- Presión en las zonas de combustión, reducción y en el filtro del gasificador (Pa)
- Energía consumida (E) en los motores AC (kWh)
- Caída de presión en el medidor de orificio (mm H₂O)

A partir de la información anterior se obtuvieron las siguientes variables de respuesta:

- Consumo específico de biomasa (C_e), kg.kWh⁻¹, usando la Ecuación<1>:

$$C_e = \frac{m_b}{E} \quad <1>$$

En cada ensayo, \dot{m}_g se obtuvo a partir del caudal y la densidad de los gases producidos. Para obtener el caudal se midió la caída de presión en un medidor de orificio con relación área de orificio/área de ducto de 0,5 y constante 0,64 (20). La densidad promedio del gas producido se obtuvo considerando la composición estimada en ensayos preliminares (CO, CO₂, H₂, CH₄ y O₂) y temperatura promedio de 50°C (0,783 kg.m³).

- Eficiencia térmica (η_T), %, (Ecuación <3>)

$$\eta_T = \frac{Q.LHV_g}{\dot{m}_b.LHV_b} \cdot 100 \quad <3>$$

Donde:

Q : Flujo de gas combustible ($m^3 \cdot h^{-1}$)

LHV_g : Poder calorífico inferior del gas producido ($kJ \cdot m^{-3}$)

\dot{m}_b : Flujo de biomasa ($kg \cdot h^{-1}$)

LHV_b : Poder calorífico inferior de la biomasa ($kJ \cdot kg^{-1}$). Para madera de café con contenido de humedad de 11,4% (base húmeda), reportan $17.493,3 \text{ kJ} \cdot kg^{-1}$ (25).

- Producción específica de gas combustible (syngas) (G_p), $m^3 \cdot kg^{-1}$ de biomasa (Ecuación <4>)

$$G_p = \frac{Q}{\dot{m}_b} \quad <4>$$

Adicionalmente, se tuvieron las siguientes variables complementarias:

- Consumo de biomasa (C_b), $kg \cdot h^{-1}$, (Ecuación <5>)

$$C_b = \frac{w_b(t + \Delta t) - w_b(t)}{\Delta t} \quad <5>$$

- Relación de equivalencia (RE), utilizando la Ecuación <6>:

$$RE = \frac{\left(\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_b}\right)_{Experimental}}{\left(\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_b}\right)_{Estequiométrico}} \quad <6>$$

- Flujo de aire ($kg \cdot h^{-1}$)/flujo de biomasa ($kg \cdot h^{-1}$)
- Flujo de gas producido ($kg \cdot h^{-1}$)

Para cada tratamiento se obtuvo el promedio y el error de estimación. Se aplicó el análisis

de varianza de una vía, al arreglo factorial 2×3 , al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición del gas producido y poder calorífico inferior

En la Figura 5 se presenta la composición del syngas durante el ensayo. Se observó mayor variación en CO que en H_2 . La Tabla 5 presenta la composición media del gas producido (v/v, %). Los valores obtenidos fueron similares a los reportados para gasificadores de flujo descendente utilizando diferente material lignocelulósico (5, 6, 7, 26).

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos en los tratamientos considerados en la investigación, con cinco repeticiones por tratamiento.

La mayor producción de gas combustible (syngas), con mayor poder calorífico y menor concentración de alquitranes, por el craqueo térmico (21, 28), se obtiene cuando las temperaturas en las zonas de oxidación y reducción alcanzan valores entre $800 - 900^\circ C$ y $600 - 750^\circ C$, respectivamente, lo cual ocurre después de una hora de operación del equipo (Figura 6). A partir de este momento es posible encender el motor de combustión interna e iniciar la generación de energía eléctrica.

Flujo de aire. A medida que aumenta el número de motores eléctricos conectados a la UGEE debe aumentar la producción de gas combustible para atender la nueva demanda de energía. El flujo de aire que ingresó a la zona de combustión del gasificador alcanzó valores entre $9,29$ y $17,67 \text{ kg} \cdot h^{-1}$, manteniendo la relación de equivalencia en valores entre $0,21$ y $0,27$, que se observan en proceso de gasificación de la biomasa lignocelulósica (4, 12, 21).

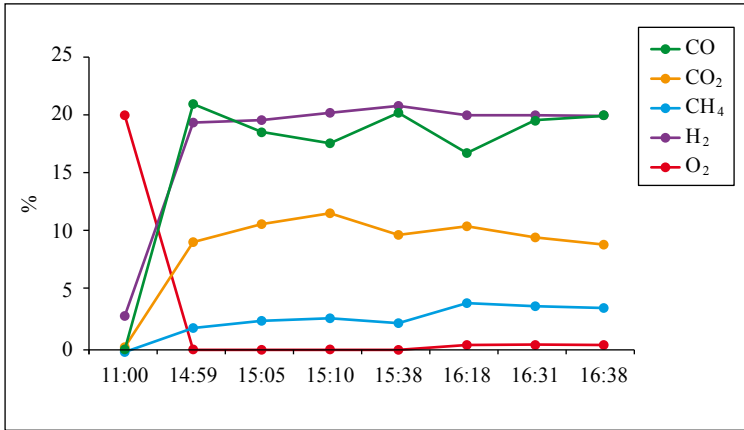


Figura 5. Comportamiento de los componentes del gas producido utilizando chips de madera del café.

Tabla 5. Composición promedio (v/v, %) y poder calorífico inferior del gas producido utilizando chips de madera del café, con longitud entre 10 y 40 mm y contenido de humedad de 12,5% (base húmeda).

	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂	O ₂	kJ.m ⁻³
Media	19,0	10,0	3,0	19,9	0,2	5.669,3
D.E.	1,5	0,9	0,8	0,4	0,2	297,1

Consumo de biomasa. La combustión de la biomasa genera la energía que se requiere en el proceso de gasificación. Al aumentar las cargas externas conectadas al equipo aumenta la producción de gas combustible y, en consecuencia, el consumo de biomasa. Para las cargas externas aplicadas, los consumos promedios de biomasa variaron entre 8,16 y 17,2 kg.h⁻¹, similares a los presentados por el fabricante para condiciones similares de operación del equipo. Para la carga externa máxima (18,2 kW) la potencia eléctrica generada es 20,0 kW, considerando eficiencia global del equipo del 25% (9). De acuerdo con este resultado el aprovechamiento de la potencia eléctrica generada con el equipo fue del 91%.

La madera seca producida en el zoqueo de un cafetal tecnificado (11), 16 t.ha⁻¹, serviría para la operación del equipo a plena carga durante 232,6 h, considerando el rendimiento

de astillas con las dimensiones requeridas, obtenido por Oliveros (17).

Flujo de gas combustible. El flujo de gas combustible producido en el gasificador, con el poder calorífico y concentración de alquitranes requeridos, debe permitir el correcto funcionamiento del motor de combustión interna del equipo. El flujo de gas combustible producido en el gasificador aumentó a medida que el flujo de aire suministrado en la zona de combustión y el flujo de biomasa aumentaron. Los promedios variaron entre 15,76 y 32,04 kg.h⁻¹.

Eficiencia térmica. Los promedios obtenidos fueron inferiores a los reportados para la gasificación de biomasa lignocelulósica en equipos de flujo descendente (14, 21). Los mayores valores se obtuvieron al aplicar las cargas externas más altas que, al exigir mayor potencia del motor de combustión

Tabla 6. Promedio y error estándar (EE) para las variables obtenidas en cada tratamiento para la evaluación de la UGEE.

Tratamiento	Eficiencia térmica		Consumo específico de biomasa		Producción específica de gas		Relación de equivalencia		Flujo de aire		Flujo de gas		Consumo de biomasa	
	%		kg.(kWh) ⁻¹		m ³ .kg ⁻¹ biomasa		$RE = \frac{\left(\frac{m_g}{m_b}\right)_{Experimental}}{\left(\frac{m_g}{m_b}\right)_{Estequimétrico}}$	kg.h ⁻¹		kg.h ⁻¹		kg.h ⁻¹		kg.h ⁻¹
T1	Media	59,69	1,21		2,32		0,23	9,29		16,34		8,16		
	EE	3,34	0,08		0,13		0,01	0,96		1,39		0,56		
T2	Media	47,31	1,47		1,84		0,24	13,57		20,52		12,66		
	EE	1,72	0,06		0,07		0,03	1,18		0,75		0,20		
T3	Media	63,80	1,11		2,48		0,25	15,69		29,19		13,73		
	EE	4,27	0,07		0,17		0,01	1,33		1,23		1,45		
T4	Media	52,03	1,41		2,02		0,25	10,13		15,76		8,85		
	EE	4,80	0,16		0,19		0,01	0,78		1,93		0,25		
T5	Media	62,15	1,14		2,42		0,27	11,90		20,69		9,92		
	EE	4,29	0,09		0,17		0,02	0,70		1,08		0,82		
T6	Media	54,21	1,27		2,11		0,21	17,67		32,04		17,20		
	EE	0,97	0,04		0,04		0,01	0,73		0,57		0,39		

interna, con mayor succión de aire, permitieron alcanzar temperaturas más altas en las zonas de combustión y reducción del reactor.

La mayor eficiencia (63,8%) se obtuvo aplicando la mayor carga externa (18,2 kW), utilizando biomasa con astillas con el 100% de las dimensiones recomendadas por el fabricante.

Las bajas eficiencias térmicas obtenidas, especialmente en el tratamiento T2, pueden atribuirse principalmente a las bajas temperaturas que se presentaron en la zona de reducción, inferiores a 600°C, que dieron

origen a gas combustible con alta concentración de alquitranes que ocasionaron daños al motor que se observan en la Figura 7.

La eficiencia térmica global del equipo podría aumentar utilizando parte de la energía que es disipada en el radiador del motor de combustión interna, que representa 32,2 kWh (38,6% de la energía entregada por la biomasa), en procesos como el secado del café (17).

Consumo específico de biomasa. Los promedios variaron entre 1,14 y 1,47 kg de biomasa.kWh⁻¹, dependiendo de la carga

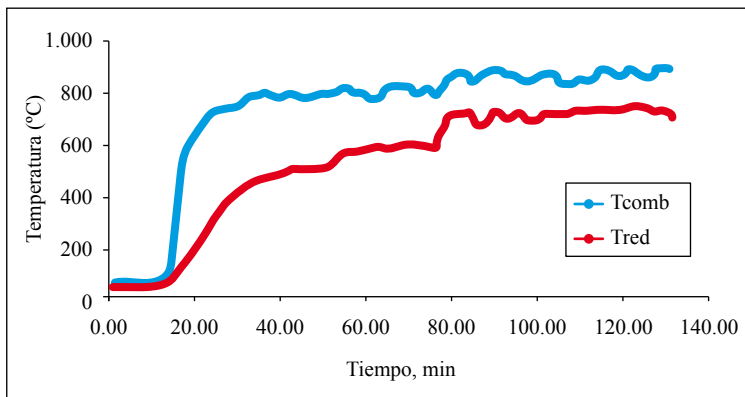


Figura 6. Comportamiento de la temperatura en las zonas de combustión (Tcomb) y reducción (Tred) del gasificador, utilizando biomasa con 85% de astillas del tamaño recomendado por el fabricante y tres motores eléctricos conectados a la UGEE.



Figura 7. a. Presencia de alquitranes en el múltiple de admisión del motor de combustión interna del equipo GEK 20 kWe y **b.** válvula impregnada con alquitranes.

externa conectada al equipo. *All Power Labs* (fabricante de la UGEE) reporta un valor promedio de $1,2 \text{ kg.kWh}^{-1}$ utilizando diferente biomasa lignocelulósica.

A partir de la madera de café seca y de astillas con el tamaño recomendado por el fabricante reportado por Oliveros (17), $4,0 \text{ t.ha}^{-1}$, con consumo específico promedio de biomasa ($1,27 \text{ kg.kWh}^{-1}$), se podrían procesar diariamente 15 toneladas de café cereza, considerando el uso de la tecnología Ecomill® 3000 (18) y secado mecánico (24). Este resultado podría ser de utilidad en proyectos de beneficiaderos comunitarios, especialmente en sitios distantes del sistema nacional interconectado.

Producción específica de gas. Los promedios variaron entre $1,84$ y $2,48 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ de biomasa, dependiendo de la carga externa conectada al equipo. Utilizando pulpa de café en un gasificador Ankur BG-10WW-NW7, reportan $2,3 \text{ m}^3$ de gas por $1,0 \text{ kg}$ de pulpa con humedad entre $5,2\%$ y $8,0\%$ (base húmeda) (16).

Relación de equivalencia. Los promedios variaron entre $0,21$ y $0,27$, en el rango

reportado para la gasificación de madera (7, 12) y del bagazo de la caña de azúcar (1).

El ANOVA para las variables de respuesta consumo de biomasa, eficiencia térmica y producción de gas mostró efecto de la interacción, es decir, su respuesta depende de la composición de la masa y de la carga externa conectada a la UGEE. De acuerdo con el análisis de contraste al 5%:

- El mayor consumo de biomasa se presentó cuando la masa utilizada contenía 85% de chips de la longitud recomendada por el fabricante y carga externa de $18,2 \text{ kW}$ (Figura 8).
- La mayor eficiencia térmica se obtuvo utilizando biomasa con el tamaño recomendado por el fabricante y carga externa de $18,2 \text{ kW}$ (Figura 9).
- La mayor producción de gas combustible (syngas) se obtuvo utilizando biomasa con el tamaño recomendado por el fabricante y carga externa de $18,2 \text{ kW}$ (Figura 10).

Con empleo de astillas de la madera del café se obtuvo gas combustible con poder

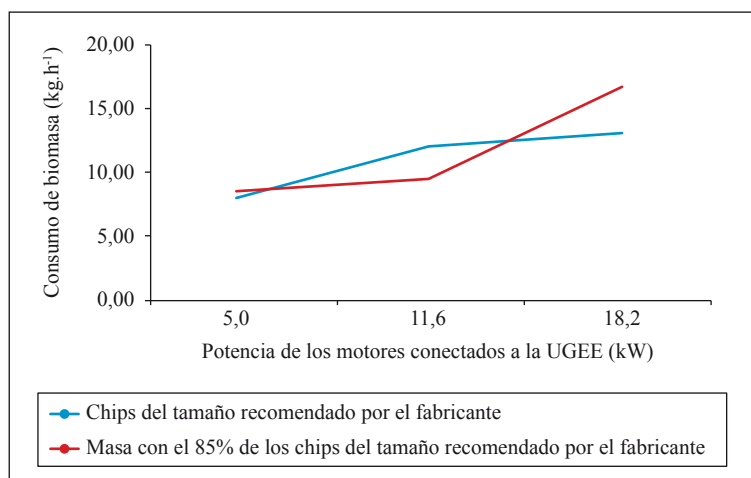


Figura 8. Comportamiento de la variable consumo de biomasa, de acuerdo al tamaño de los chips utilizados y la potencia de los motores conectados a la UGEE.

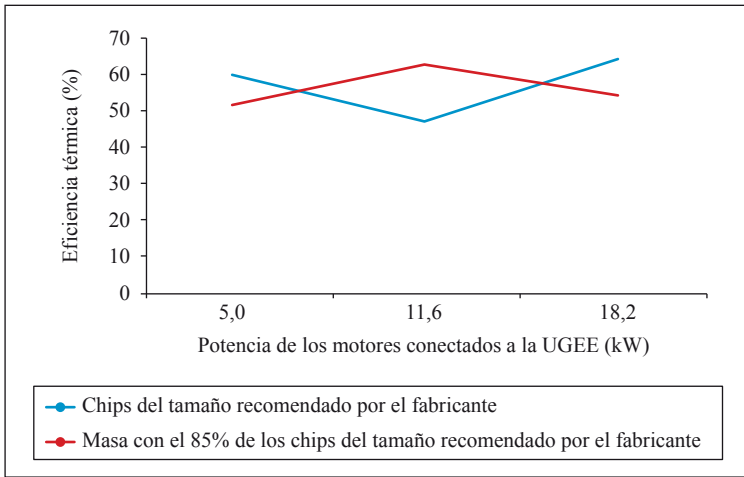


Figure 9. Comportamiento de la variable de respuesta eficiencia térmica, de acuerdo al tamaño de los chips utilizados y la potencia de los motores conectados a la UGEE.

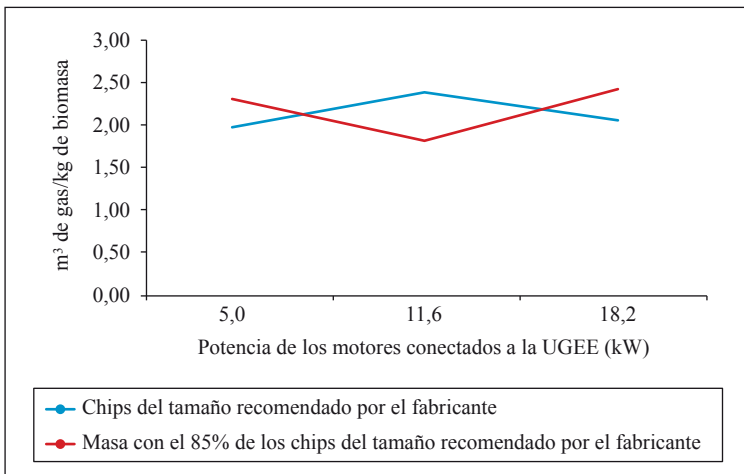


Figura 10. Comportamiento de la variable de respuesta producción de gas, de acuerdo al tamaño de los chips utilizados y la potencia de los motores conectados a la UGEE.

calorífico de $5.669,3 \text{ kJ.m}^3$, con composición promedio de CO , H_2 y CH_4 de 19,0%, 19,9% y 3,0% (v/v), respectivamente. La mayor producción de gas combustible (syngas), con mayor poder calorífico y menor concentración de alquitranes, por el craqueo térmico, se obtuvo cuando las temperaturas en las zonas de oxidación y reducción alcanzan valores entre $800 - 900^\circ\text{C}$ y $600 - 750^\circ\text{C}$, respectivamente. El gas combustible producido presentó alto contenido de alquitranes que causaron fallas en el funcionamiento del motor de combustión interna utilizado en el

equipo. El tamaño de la biomasa y la carga externa aplicada afectan el desempeño de la UGEE. Los mejores resultados en eficiencia térmica (63,8%) y producción de gas ($2,48 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ de biomasa) se obtuvieron utilizando chips de café en el tamaño recomendado por el fabricante y conectando a la UGEE de los tres motores eléctricos que en total representan 18,2 kW. Se requiere mejorar el sistema utilizado para retirar alquitranes en el gas combustible producido a niveles que permitan su operación sin presentar fallas y daños en el motor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la fundación Borlaug y al Departamento de Agricultura de Estados Unidos por la beca otorgada, la capacitación recibida y la donación de la UGEE. Al doctor Akwasi Boateng y al ingeniero Mark Shaffer del Departamento de Agricultura de Estados Unidos por la orientación recibida durante el entrenamiento y la asesoría en el análisis de los gases producidos, a la doctora Esther C. Montoya por la asesoría estadística y al señor Ricardo Grisales por su colaboración para la realización de los ensayos.

LITERATURA CITADA

1. ARTEAGA P., L.E.; CASAS L., Y.; PÉREZ B., R.; RODRÍGUEZ M., L.; PERALTAS., L.M.; PRIETO G., J.O.; DEWULF, J. Determinación de la calidad energética y la composición del gas de síntesis producido con biocombustibles: Combustibles sólidos, bagazo de caña de azúcar. *Afinidad* 69(557):35-41. 2012.
2. ASOCAÑA. El sector azucarero colombiano, más que azúcar, una fuente de energía renovable para el país. [En línea]. Cali : La asociación, 2014. Disponible en internet: <http://www.asocana.org/documentos/2692014-90F926BD-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>. Consultado el 24 Junio de 2016.
3. BANCO MUNDIAL. Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita). [En línea]. Washington : El banco, (s.f.). Disponible en internet: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>. Consultado en Mayo de 2015.
4. BASU, P. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory. 2a. ed. Londres : Academic press, 2011. 548 p.
5. CHAUDHURY, M.A. Development of a small downdraft biomass gasifier: A potential technology for developing countries as a source of decentralized power supply. Mauritius : Lambert academic, 2012. 102 p.
6. COUTO, N.; ROUBOA, A.; SILVA, V.; MONTEIRO, E.; BOUZIANE, K. Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas. *Energy procedia* 36:596-606. 2013.
7. DOGRU, M.; HOWARTH, C.R.; AKAY, G.; KESKINLER, B.; MALIK, A.A. Gasification of hazelnut shells in a downdraft gasifier. *Energy* 27(5):415-427. 2002.
8. ENERGIA ELÉCTRICA. Colombia. Ministerio de minas y energía. Energía eléctrica. [En línea]. Bogotá : El ministerio, 2015. Disponible en internet: <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/614096/4-Energia.pdf/97e512a3-3416-4f65-8dda-d525aa616167>. Consultado en Mayo de 2015.
9. GARCÍA F., L.F. Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo. Bogotá : Universidad nacional de Colombia, 2011. 112 p. Tesis: Magister en ingeniería mecánica.
10. ERLICH, C.; FRANSSON, T.H. Downdraft gasification of pellets made of wood, palm-oil residues respective bagasse: Experimental study. *Applied energy* 88(3):899-908. 2011.
11. FARFÁN V., F.F. El zoqueo del café conserva el bosque nativo. Chinchiná : Cenicafé, 1994. 4 p. (Avances Técnicos No. 209).
12. GUO, F.; DONG, Y.; DONG, L.; GUO, C. Effect of design and operating parameters on the gasification process of biomass in downdraft fixed bed: An experimental study. *International journal of hydrogen energy* 30:1-9. 2014.
13. HIGMAN, C.; VAN DER BURGT, C. Gasification. 2a. ed. Texas : Gulf professional, 2008. 456 p.
14. JAYAH, T.H.; AYE, L.; FULLER, R.J.; STEWART, D.F. Computer simulation of a downdraft wood gasifier for tea drying. *Biomass and bioenergy* 25(4):459-469. 2003.
15. MCKENDRY, P. Energy production from biomass: Overview of biomass. *Bioresource technology* 83(1):37-46. 2002.
16. MELÉNDEZ D., J.B.; RODRÍGUEZ U., A.E.; URRUTIA C., G.A. Implementación de la tecnología de gasificación para operar en los beneficios de café. San Salvador : Universidad centroamericana José Simeón Cañas. Facultad de ingeniería y arquitectura, 2006. 111 p. Tesis: Ingeniero mecánico.
17. OLIVEROST, C.E. Evaluation of a gasifier using coffee wood. Chinchiná : Cenicafé, 2015. 40 p.

18. OLIVEROS T., C.E.; TIBADUIZA V., C.A.; MONTÓYAR, E.C.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café en proceso con fermentación natural. *Cenicafé* 65(1):44-56. 2014.
19. PARTHASARATHY, P.; SHEEBA N., K. Hydrogen production from steam gasification of biomass: Influence of process parameters on hydrogen yield a review. *Renewable energy* 66:570-579. 2014.
20. PERRY, R.H.; GREEN, D.W. *Perry's chemical engineers' handbook*. 6a. ed. New York : MacGraw Hill, 1984.
21. RAMAN, P.; RAM, N.K.; RUCHI, G. A dual fired downdraft gasifier system to produce cleaner gas for power generation: Design, development and performance analysis. *Energy* 54:302-314. 2013.
22. RAVJANSHI, A.K. *Biomass gasification: Alternative energy in agriculture*. Florida : CRC press, 1986.
23. RINCÓN, S.; GÓMEZ, A.; KLOSE, W. *Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial: Gasificación de carbonizados*. Kassel : Kassel university press, 2011. 120 p.
24. ROAM, G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ H., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. *Beneficio ecológico del café*. Chinchiná : Cenicafé, 1999. 273 p.
25. ROMOO, N.; FLORES P., L.M.; TORO, A.F.; CANAS V., A. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de tallos de café y su análisis económico para la producción de pellets como biocombustible sólido. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*. 10:79-91. 2011.
26. RUIZ, J.A.; JUÁREZ, M.C.; MORALES, M.P.; MUÑOZ, P.; MENDÍVIL, M.A. Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and sustainable energy reviews* 18:174-183. 2013.
27. SHARMA, A.K. Experimental investigations on a 20 kWe, solid biomass gasification system. *Biomass and bioenergy* 35:421-428. 2011.
28. SJAAB, L. VAN; KOPPEJAN, J. *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Abingdon : Routledge, 2008.

MÉTODO DE LABORATORIO PARA EVALUAR EL EFECTO DE INSECTICIDAS SOBRE LA BROCA DEL CAFÉ

Leidy Johana Tapias Isaza*; Claudia Patricia Martínez Díaz*; Pablo Benavides Machado*; Carmenza Esther Góngora Botero*

TAPIAS I., J.; MARTÍNEZ D., C.P; BENAVIDES M., P; GÓNGORA B., C.E. Método de laboratorio para evaluar el efecto de insecticidas sobre la broca del café. Revista Cenicafé 68(2):76-89. 2017

Continuamente se busca evaluar nuevos productos que ocasionen efectos adversos sobre la broca del café, tales como mortalidad y repelencia de adultos, disminución de la capacidad reproductiva o que afecten la metamorfosis de los estados inmaduros; sin embargo, los métodos de evaluación que se emplean actualmente permiten solamente evaluar el efecto en la mortalidad de adultos, lo que limita el uso de los productos que causan otros efectos. El propósito de este trabajo fue establecer metodologías en el laboratorio que permitan evaluar productos con diferentes efectos sobre la broca del café, de manera rápida y económica. Se plantearon dos metodologías que emplean frutos de café verde desinfectados. Para determinar el método de desinfección de los frutos, se evaluaron diferentes tratamientos, siendo el mejor el que consistió en sumergir los frutos en hipoclorito de sodio al 0,5% y después irradiarlos con luz UV durante 15 min. Además, se realizaron ensayos con la finalidad de establecer las condiciones de infestación óptimas para obtener frutos brocados con los adultos iniciando la penetración del fruto. Se determinó que transcurridas 5 h a 21°C se obtiene la mayor cantidad de frutos con esta condición. Una vez establecido el método de desinfección y las condiciones de infestación, se propusieron dos metodologías, una para evaluar sobre la broca del café el efecto de contacto directo de los productos y otra para evaluar el efecto de ingestión, las cuales permitirán realizar evaluaciones aproximadas a las condiciones reales de campo.

Palabras clave: *Hypothenemus hampei*, desinfección, metodología, café verde, infestación.

LABORATORY METHOD TO EVALUATE THE EFFECT OF INSECTICIDES ON COFFEE BERRY BORER

There is a permanent interest in evaluating new products that may cause adverse effects on coffee berry borer, such as mortality and repellence of adults, reduction of reproductive capacity or complications in the metamorphosis of immature states. However, the methods currently used allow to evaluate only the effect on the mortality of adults, which limits the use of products that cause other effects. The purpose of this research work was to establish laboratory methodologies to evaluate products with different effects on coffee berry borer, in a fast and cost-effective manner. Two methodologies that use disinfected green coffee beans are proposed. In order to determine the beans disinfection method, different treatments were evaluated, the best one consisted of immersing the beans affected by coffee berry borer in 0.5% sodium hypochlorite and then irradiating them with UV light for 15 minutes. In addition, tests were made to establish the optimal infestation conditions to obtain beans affected by adult coffee berry borers that are starting the drilling. After 5 h at 21° C the largest number of beans with this condition is obtained. Once the disinfection method and the infestation conditions were established, two methods were proposed: One to evaluate the effect of direct contact of the products on coffee berry borer and another one to evaluate the effect of ingestion; both of them will allow results resembling actual field conditions.

Keywords: *Hypothenemus hampei*, disinfection, methodology, green coffee, infestation.

*Asistente de Investigación e Investigador Científico III, respectivamente, Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

El control químico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) se basa en el uso de insecticidas organofosforados y productos que contienen diamidas antranílicas (4, 6). A pesar de que éstos han sido eficaces (2, 3) y permiten la rotación con diferentes modos de acción para evitar la selección por resistencia en los insectos (22), la toxicidad de los organofosforados y su estatus actual en la producción agrícola mundial los hace susceptibles de ser restringidos en el futuro, por lo que se hace necesario ampliar las opciones de pesticidas para el control de la plaga. Para la evaluación de nuevos insecticidas se requiere de metodologías expeditas y económicas que permitan seleccionar productos rápidamente. Actualmente se usan procedimientos de laboratorio y campo empleando dietas artificiales conteniendo café (27, 29), realizando aspersiones sobre café pergamino seco (1, 2, 25) y usando mangas entomológicas sobre ramas con frutos (5, 34). Las dietas, a pesar de permitir la evaluación del efecto sobre todos los estados del insecto (27, 28), son costosas (30). El café pergamino facilita la evaluación de la capacidad reproductiva del insecto; sin embargo, la composición del pergamino difiere a la del pericarpio del fruto. Cuando se emplea café pergamino los granos de café son asperjados o sumergidos con la sustancia a evaluar; como la estructura y la composición del pergamino de la semilla es distinta al pericarpio del fruto, se esperaría que la interacción entre el insecticida y el café sea diferente. Con el café pergamino la molécula puede absorberse fácilmente y así generarse una mortalidad mayor a la que se presentaría en frutos de café. Además, el café pergamino es comparativamente caro y no es el sustrato natural del insecto (24). En el caso de la dieta artificial, el producto es adicionado a ésta, permitiendo la evaluación de los productos no solo en el insecto adulto sino también en el estado larval o huevos.

En este caso el insecto se ve obligado a permanecer, alimentarse y desarrollarse en la misma. Lastimosamente el costo de estas dietas es alto debido a sus componentes (30). Para evitar estos inconvenientes y si no existen limitaciones con respecto a la cantidad de producto a evaluar, algunos estudios se llevan a cabo en el campo, pero este método exige mano de obra y largos períodos de evaluación (3).

Una condición más próxima a la real, rápida y económica, requeriría usar frutos de café verdes o maduros; sin embargo, cuando se usan frutos provenientes del campo en el laboratorio, con frecuencia muestran altas contaminaciones y deshidratación, ya que en la epidermis del fruto del café están presentes microorganismos y ácaros (1, 24, 31). Debido a las dificultades para mantener la broca en los frutos de café frescos en el laboratorio, éstos aún no se usan para la evaluación de productos para el control de la broca del café, pero sí se usan para mantener crías del insecto, en estos casos existen procedimientos para la desinfección y conservación de los frutos, empleando combinación de diferentes agentes.

Las metodologías empleadas para incrementar la vida útil de los frutos durante su almacenamiento conllevan el uso de técnicas que impidan alteraciones del fruto y que disminuyan la carga y desarrollo microbiano, con el fin de mantener la calidad y propiedades de los productos. Con este fin, se utilizan desinfectantes como hipoclorito de sodio, cloruro de benzalconio y fungicidas, así como procedimientos con calor y radiación (1, 7, 13, 17, 24, 25, 31). Adicionalmente, los métodos para la evaluación de insecticidas en el control de la broca requieren simular que las hembras adultas estén volando en búsqueda de frutos o se encuentran penetrándolos (6, 10). Para esto se realizan infestaciones artificiales de los frutos en el campo (2, 3, 34).

Esta investigación empleando frutos de café verdes se realizó con el objetivo de estandarizar un bioensayo para la evaluación de productos con efecto de contacto y con efecto por ingestión, usados para el control de la broca del café bajo ambientes controlados que se asemejen a las condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el laboratorio de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café “Pedro Uribe Mejía” Cenicafé, ubicado en el municipio de Manizales (Caldas, Colombia), a 04° 59’ de latitud Norte, 75° 35’ de longitud Oeste y altitud de 1.413 m.

Para alcanzar el objetivo se realizaron dos evaluaciones, la primera con el fin de seleccionar un método de desinfección de frutos verdes de café y, la segunda, con el fin de estandarizar las condiciones de laboratorio para garantizar que las brocas hembras permanezcan en posición de entrada al fruto durante la aplicación de los tratamientos. Se utilizaron brocas hembras adultas recién emergidas, proporcionadas por el laboratorio Biocafé¹, los mismos días del montaje de los bioensayos. Estos adultos fueron desinfectados usando el protocolo de Bustillo y Marín (9), donde las brocas fueron sumergidas en solución de hipoclorito al 0,5% mientras se agitaron lentamente con un pincel durante 10 min, transcurrido este tiempo se filtraron con una tela muselina y se realizaron tres lavados con agua destilada estéril. Se retiró el exceso de agua con toallas de papel estéril. Se usaron frutos verdes de árboles de café *C. arabica* Variedad Castillo®, con una edad de 120 a 150 días después de floración, conteniendo más del 20% de materia seca,

los cuales fueron recolectados en la Estación Experimental Naranjal (Cenicafé), ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas, Colombia), a 04° 58’ de latitud Norte, 75° 42’ de longitud Oeste y altitud de 1.400 m.

Selección del método de desinfección de frutos verdes

Para la selección del método de desinfección se realizaron dos bioensayos, en donde se evaluaron diferentes agentes desinfectantes y combinaciones de éstos.

Los bioensayos se realizaron en el laboratorio, donde fueron seleccionados frutos sanos y de tamaño uniforme, a los cuales se les retiró el pedúnculo, se lavaron con agua y jabón líquido y se secaron con toallas de papel. Estos frutos se dividieron en grupos y se sometieron a los diferentes tratamientos.

Bioensayo 1: Se evaluaron seis tratamientos, T1: irradiación con luz UV durante 24 h; T2: inmersión en hipoclorito 0,5% por 30 min + irradiación con luz UV durante 4 h; T3: inmersión en hipoclorito 0,5% por 30 min; T4: inmersión en carbendazim al 1,5% durante 8 h; T5: inmersión en cloruro de benzalconio al 2% durante 4 h; y T6: frutos sin tratar (control). La unidad experimental (UE) estuvo conformada por una caja plástica (20 cm x 30 cm) conteniendo 20 frutos de café y 40 adultos de broca.

Bioensayo 2: Se seleccionaron tres tratamientos, T1: irradiación con luz UV durante 4 h; T2: inmersión con hipoclorito 0,5% por 15 min + UV 15 min; y T3: frutos sin tratar (control). La UE estuvo conformada por una caja plástica (20 cm x 30 cm) conteniendo 30 frutos de café y 60 adultos de broca.

¹ <http://avispititas.blogspot.com.co/p/biocafe.html>

Una vez aplicados los tratamientos a los frutos, aquellos sumergidos en agentes químicos, fueron lavados con agua destilada estéril y secados con toallas de papel estériles. Posteriormente se conformaron las UE. Por tratamiento se tuvieron cinco UE, las cuales fueron ubicadas aleatoriamente en un estante en el laboratorio, bajo condiciones controladas de temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad de $71 \pm 5\%$, con un fotoperíodo de 12 h. A los 20 días se registró el porcentaje de frutos con signos de necrosis (contaminación) y la mortalidad de adultos de broca por UE. Se disecaron los frutos y se contabilizaron en el interior los estados biológicos para determinar el número de estados de broca por fruto.

Como variables de respuesta se tomaron el porcentaje de mortalidad de adultos y el porcentaje de contaminación de los frutos. Como variable complementaria se determinó el promedio de estados inmaduros de broca por fruto.

El análisis estadístico consistió en estimar el promedio y el error estándar para cada tratamiento con todas las variables. Se realizó el análisis de varianza, bajo el modelo de análisis para el diseño completamente aleatorio al 5% y se aplicó la prueba Dunnett al 5%. Se seleccionó como mejor estrategia de desinfección aquella que presentara la menor mortalidad de adultos, la menor contaminación e implicara el menor tiempo de ejecución.

Estandarización de las condiciones de laboratorio que garantizaran obtener frutos infestados con adultos de broca en posición A

Se realizaron bioensayos para establecer las condiciones de laboratorio que permitieran obtener frutos infestados con una sola

perforación en el canal de entrada al fruto (Figura 1), para esto se realizaron tres bioensayos empleando frutos verdes desinfectados y a 66% de humedad relativa en el ambiente.

Bioensayo 3: Se realizaron infestaciones de 50 frutos con proporción de brocas a frutos de 2:1 y se evaluaron diferentes condiciones de temperatura y tiempo de infestación; T1: 21°C por 15 h; T2: 21°C por 6 h; T3: 25°C por 7 h; y T4: 27°C por 8 h.

Bioensayo 4: Se realizó la infestación de 100 frutos a 21°C , con proporción de brocas a frutos de 3:2. Las evaluaciones se realizaron transcurridas 5 y 6 h de infestación.

Bioensayo 5: Se validaron las condiciones de infestación, utilizando 90 frutos y se realizaron infestaciones en relación brocas a frutos de 4:3 y se dejaron a 21°C durante 5 h.

Se evaluaron tres repeticiones en cada bioensayo, para las cuales se usaron cajas plásticas de 20 cm x 30 cm, donde se depositaron los frutos y las brocas desinfectadas, en el número y proporciones descritas. Se evaluó el porcentaje de infestación de los granos, el número de perforaciones por fruto y la posición de las brocas en los frutos. Como variable de respuesta se tomó el porcentaje de frutos con una sola perforación en posición A.

El análisis estadístico consistió en estimar el promedio y el error estándar para cada tratamiento con la variable. Se realizó el análisis de varianza, bajo el modelo de análisis para el diseño completamente aleatorio al 5% y se aplicó la prueba Duncan al 5%. Se seleccionó como mejor condición aquella que presentara el mayor porcentaje de frutos con una sola perforación en posición A, de acuerdo a la Figura 1.

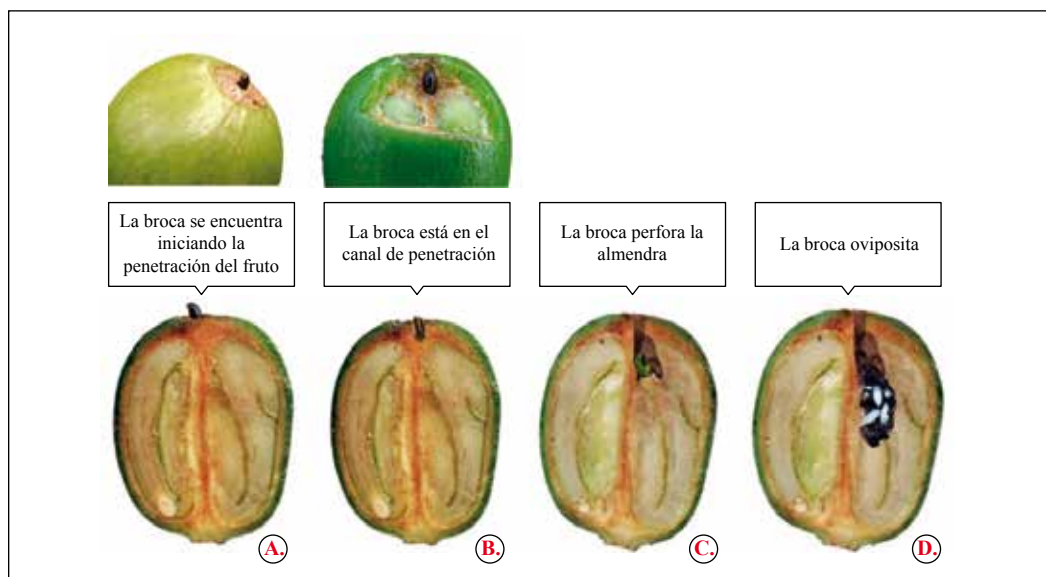


Figura 1. Posiciones de penetración de la broca en frutos de café.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección del método de desinfección de frutos verdes

Biensayo 1: En la Tabla 1 se presentan los resultados de la evaluación de frutos expuestos a los diferentes tratamientos de desinfección respecto a las variables porcentaje de mortalidad de adultos, porcentaje de contaminación de los frutos y promedio de los estados de la broca por fruto, a los 20 días de infestación, en el bioensayo 1.

Con respecto a la variable porcentaje de contaminación, el análisis de varianza mostró diferencias entre tratamientos ($F = 12,38$; $P = 0,0001$); la comparación de Dunnett al 5% indicó que todos los tratamientos redujeron la carga microbiana con respecto al testigo. También se presentaron diferencias entre tratamientos con respecto a la variable porcentaje de mortalidad de adultos ($F = 11,13$; $P = 0,0001$), siendo el hipoclorito

al 0,5% y el carbendazim los que mayor mortalidad presentaron con respecto al testigo, mientras que los demás tratamientos ocasionaron una mortalidad comparable con la encontrada en el control, siendo ésta la condición deseada. En cuanto a la variable promedio de estados inmaduros de broca por fruto no hubo diferencias significativas ($F = 0,67$; $P = 0,65$) (Tabla 1), al evaluar el error tipo II, éste fue menor del 20%. Es decir, ninguno de los procedimientos aplicados afectó la capacidad reproductiva de las brocas que sobrevivieron.

La efectividad en la desinfección de los frutos con los tratamientos se debió a las propiedades de cada uno de los agentes empleados. En el caso del carbendazim, al ser un fungicida sistémico de rápida penetración, amplio espectro y efecto preventivo-curativo (14, 15), se evitó la proliferación y reproducción de hongos durante un tiempo prolongado; sin embargo, este tratamiento fue descartado ya que causó la muerte del 37% de los adultos.

Tabla 1. Efecto de los tratamientos de desinfección de los frutos en el desarrollo de la broca del café, después de 20 días de realizar la infestación con adultos del insecto. Biensayo 1.

Tratamiento	N	Contaminación (%)	E.E.	Mortalidad (%)	E.E.	N	Total estados de broca por fruto	E.E.
Irradiación con luz UV 24h	5	2% *	2%	16%	2%	64	7,8	1,1
Hipoclorito de sodio 0,5% + UV 4 h	5	9% *	2%	11%	3%	57	8,9	0,7
Hipoclorito de sodio 0,5%	5	8% *	4%	25% *	4%	64	7,3	0,9
Carbendazim 3%	5	0% *	0%	37% *	3%	59	7,2	1,6
Cloruro de benzalconio 2%	5	4% *	1%	22%	2%	61	7,2	0,9
Control	5	17%	3%	12%	2%	66	9,0	0,8

* Medias significativamente diferentes al control (Dunnet 0,05; $P \leq 0,05$). E.E.: Error Estándar.

De igual forma ocurrió con el tratamiento hipoclorito, éste afectó a los microorganismos, pero también a los insectos debido a su poder oxidante, que no solo promueve la inhibición enzimática irreversible por la sustitución de hidrógeno con cloro y la oxidación de los grupos sulfhidrilo (SH), sino que además ocasiona la degradación de lípidos (18). Por su parte, el cloruro de benzalconio se mostró efectivo en la desinfección de frutos, ya que es un bactericida y fungicida que inactiva las enzimas productoras de energía, desnaturaliza proteínas celulares esenciales y ocasiona la ruptura de la membrana celular de microorganismos (21); sin embargo, a pesar de la efectividad no se escogió por el riesgo que puede representar para la salud y el medio ambiente de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008 (19).

La efectividad de los procedimientos en los que se irradió con luz UV se debe a daños directos e indirectos en el ADN de los microorganismos potenciales contaminantes de los frutos. El daño directo al ADN resulta de la formación de foto-productos tales como dímeros de pirimidinas, hidratos de pirimidina y entrecruzamientos entre ADN y proteínas.

El daño indirecto se debe a la aparición de peróxido de hidrógeno, oxígeno singlete y radicales hidroxilos que oxidan la pentosa del ADN y rompen la hebra de la molécula (16). Ambos tipos de daño interfieren en la replicación normal del ADN y, finalmente, producen mutaciones o la muerte de la célula, dependiendo de la cantidad de energía recibida (12).

De acuerdo a los resultados se seleccionaron los tratamientos para el biensayo 2. Se disminuyó el tiempo de exposición de los frutos al UV de 4 h a 15 min, debido a que la irradiación por largo tiempo ocasionó necrosis en el fruto y deshidratación de las semillas.

Biensayo 2: En este bioensayo se presentaron diferencias estadísticas entre el control y los tratamientos con respecto a la variable porcentaje de contaminación de frutos ($F = 16,19$; $P = 0,0004$) (Tabla 2), mostrándose los dos tratamientos igualmente efectivos en la remoción de la carga microbiana en los frutos. Con respecto a la variable porcentaje de adultos muertos se presentaron diferencias con el tratamiento que contenía hipoclorito

Tabla 2. Efecto de los tratamientos de desinfección de los frutos en el desarrollo de la broca del café, después de 20 días de realizar la infestación con adultos del insecto. Biensayo 2.

Tratamiento	N	Contaminación (%)	E.E.	Mortalidad (%)	E.E.	N	Total estados de broca por fruto	E.E.
UV 4 h	5	5% *	1,3	8%	1,8	93	6,4	1,0
Hipoclorito 0,5% + UV 15'	5	6% *	1,2	5% *	2,0	97	6,5	0,7
Control	5	19%	2,9	17%	3,7	96	7,0	0,7

* Medias significativamente diferentes al control (Dunnet 0,05; $P \leq 0,05$). E.E.: Error Estándar.

(Tabla 2) ($F = 5,37$; $P = 0,0216$), siendo menor la mortalidad del insecto cuando se empleó este procedimiento, al ser comparado con el de 4 h de luz UV. El uso de hipoclorito y UV combinados fue el tratamiento que permitió tener más insectos adultos viables.

Con respecto al promedio de estados inmaduros de broca por fruto, tanto en los tratamientos como en el control, los resultados fueron similares ($F = 0,17$; $P = 0,846$) (Tabla 2). Los dos tratamientos fueron igualmente efectivos, por lo que se seleccionó la inmersión de los frutos por 15 min en hipoclorito de sodio al 0,5% seguida de irradiación con luz UV durante 15 min, como procedimiento de desinfección (Figura 2). Este método de desinfección no alteró las propiedades de los frutos dado que no se necrosaron, no afectó la viabilidad ni la capacidad reproductiva de la broca, al no disminuir los estados del insecto en los frutos, y puede garantizarse que no queden residuos de hipoclorito de sodio que interfieran con las sustancias a evaluar, debido a que la literatura reporta que la radiación UV degrada el ion hipoclorito (11, 20, 32) mediante la catálisis de reacciones en las que se produce oxígeno molecular y ion cloruro, o clorato y cloruro (23, 26), las cuales son menos reactivas y tóxicas (33).

Estandarización de las condiciones de laboratorio que garanticen la obtención de frutos infestados con adultos de broca en posición A

Establecido el método de desinfección de frutos se continuó con los bioensayos para determinar las condiciones de infestación en el laboratorio que permitieran obtener frutos con brocas hembras en posición de entrada.

Biensayo 3: En el bioensayo 3 los porcentajes de infestación, estuvieron entre 81% y 89%, para todos los tratamientos ($F = 2,87$; $P = 0,104$) (Tabla 3). Resultados comparables con los reportados por Bustillo *et al.* (8), quienes lograron niveles de infestación del 88% a 26°C, con una relación brocas a frutos de 2:1.

Con respecto a la variable porcentaje de frutos con una sola perforación en posición A, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($F = 47,40$; $P < 0,0001$). Los resultados indican que la mejor condición fue a 21°C durante 6 h, donde el 38% de los frutos se encontró con una sola perforación, el 24% correspondió a brocas en posición A y el 14% tenía brocas en posición B (Tabla 3). Cuando el proceso de infestación continuó por un tiempo mayor a 21°C, el 32% de los

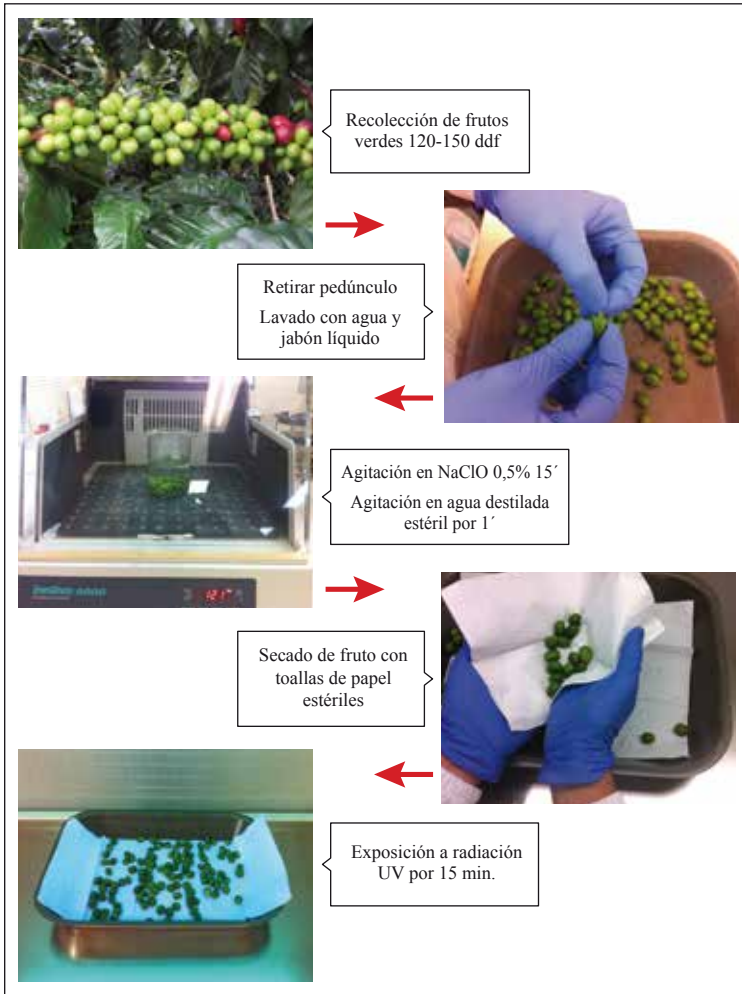


Figura 2. Procedimiento de desinfección de frutos verdes.

Tabla 3. Efecto de los tratamientos de temperatura y tiempo de infestación (relación brocas-frutos 2:1), en la infestación de los frutos, número de perforaciones y posición de la broca. Bioensayo 3.

Condición	N	Infestación (%)	EE	Frutos con una perforación (%)		Frutos con múltiples perforaciones (%)
				Posición A	Posición B	
21 °C (15 h)	3	84,7	3,3	2,0 B	32,0 A	50,7 AB
21 °C (6 h)	3	77,3	1,8	24,0 A	14,0 B	39,3 B
25 °C (7 h)	3	80,9	3,6	1,3 B	37,3 A	42,3 AB
27 °C (8 h)	3	88,7	2,4	0,0 B	35,3 A	53,3 A

Letras diferentes indica diferencias significativas (Duncan 0,05).

insectos pasó a posición B, y sólo el 2% se encontró en posición A (Figura 3), además se observó el 51% de los frutos con múltiples perforaciones. Cuando se incrementó la temperatura entre 25 y 27°C, la mayor parte de los insectos alcanzaron la posición B en menos de 8 h. La penetración más rápida de la broca dentro del fruto es consecuencia de una mayor actividad del insecto debido al incremento en las temperaturas (8). Jaramillo *et al.* (24) reportan que a 25°C la broca tarda entre 1 y 2 h para alcanzar posición A y entre 6 y 8 h para llegar a la posición B.

Otro factor importante en el resultado obtenido fue la relación broca a fruto. La proporción en la que se infestó fue de dos brocas por cada fruto, la cual favoreció que los frutos presentaran múltiples perforaciones. Para obtener un mayor número de brocas, en posición A, pero en frutos con una sola perforación, en el bioensayo 4 se varió la proporción de brocas por fruto, realizándose infestaciones con relación tres brocas por cada dos frutos (3:2).

Bioensayo 4: En estas condiciones los porcentajes de infestación bajaron al 65%. Sin embargo,

se encontraron menos frutos con múltiples perforaciones (Tabla 4). También se evidenció que dejar la infestación avanzar a 21°C, por 1 h más, no muestra diferencias en el proceso (Figura 4). De acuerdo a estos resultados se establecieron las condiciones y relación de infestación brocas:frutos para el bioensayo 5.

Bioensayo 5: En este bioensayo el porcentaje promedio de infestación fue del 71%, el 13% de los frutos presentaron múltiples perforaciones, 59% de los frutos tenía una sola perforación, donde el 35% correspondieron a brocas en posición A.

Determinado el método de desinfección de frutos (Figura 2) y establecidas las condiciones de infestación que permiten que los adultos de la broca permanezcan en posición de entrada a los frutos (liberación en proporción 3:2 ó 4:3 a 21°C por 6 h), se plantearon dos protocolos de evaluación empleando frutos de café.

El primer método consiste en aplicar los tratamientos sobre frutos desinfectados, donde 30 frutos se llevaron a cajas plásticas y luego se infestaron con los adultos de broca en

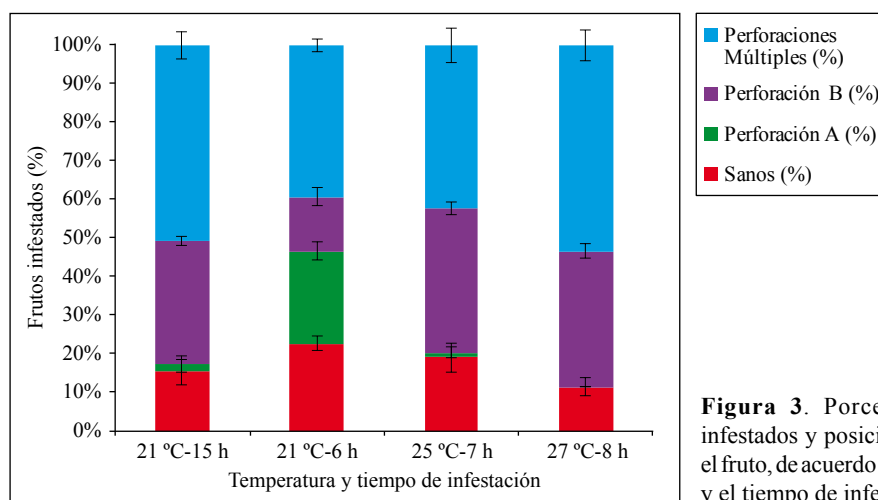


Figura 3. Porcentaje de frutos infestados y posición de la broca en el fruto, de acuerdo con la temperatura y el tiempo de infestación.

Tabla 4. Efecto de los tratamientos de temperatura y tiempo de infestación (relación brocas-frutos 3:2), con relación a la infestación de los frutos, número de perforaciones y posición de la broca. Bioensayo 4.

Condición	N	Infestación (%)	E.E.	Frutos con una perforación (%)		Frutos con múltiples perforaciones (%)
				Posición A	Posición B	
21 °C (6 h)	3	65,2	1,4	27,4	23,7	14,0
21 °C (5 h)	3	63,3	1,8	20,0	26,0	17,3

No hay diferencias significativas ($P \leq 0,05$). E.E.: Error Estándar.

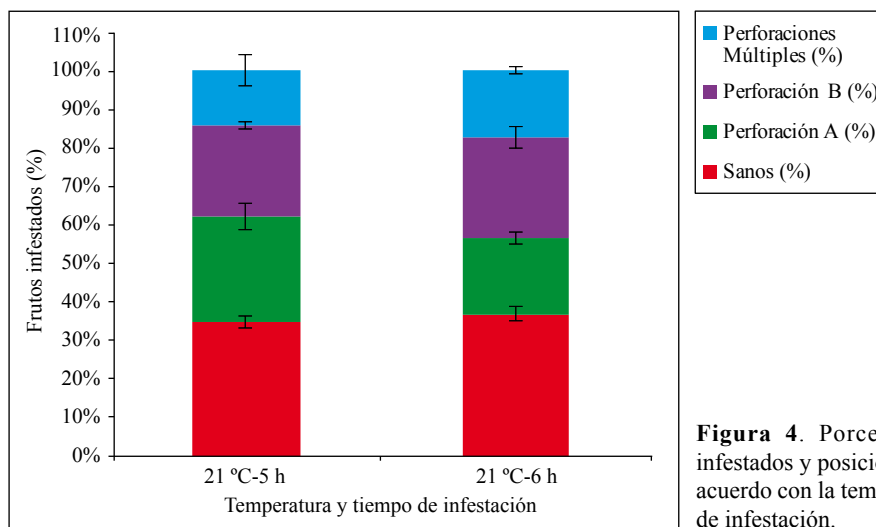


Figura 4. Porcentaje de frutos infestados y posición de la broca, de acuerdo con la temperatura y tiempo de infestación.

relación broca fruto 2:1, conformando así la UE. Éstas se dejaron en un cuarto bajo condiciones controladas de temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $71\% \pm 5\%$, con un fotoperíodo de 12 h; transcurridos 20 días después de la infestación se evaluaron las UE y se contabilizaron los estados biológicos al interior de cada fruto y la mortalidad de adultos de broca por UE (Figura 5). Con este método la aplicación se realiza antes de la infestación, lo cual permite evaluar el efecto por contacto e ingestión del producto, una vez la broca tiene que caminar y comer al perforar el fruto.

En el segundo método se tomaron frutos desinfectados, se llevaron a cajas plásticas y luego se infestaron con los adultos de broca en las relaciones, temperaturas y tiempos determinados (3:2 ó 4:3 a 21°C por 5 h). Posteriormente, se seleccionaron los frutos verdes infestados con una broca en posición A, se llevaron a gradillas plásticas de 96 pozos y se colocaron de tal forma que los tratamientos fueran aplicados directamente sobre la broca perforando, efecto curativo (Figura 6). La UE se conformó por 96 frutos brocados en gradillas, éstas se dejaron en un cuarto bajo las mismas condiciones controladas del primer método.

Transcurridos 20 días después de la infestación se evaluaron las UE y se contabilizaron los estados biológicos al interior de cada fruto (Figura 7). Con este método se determinó el efecto por contacto de un producto sobre la broca, debido a que la aspersión se realizó directamente sobre el insecto.

Con este trabajo se estableció un método de desinfección de frutos de café verdes, cuyas aplicaciones van más allá de la evaluación de insecticidas. Esta también puede ser usada para la evaluación del efecto de antibiosis o

antixenosis de diferentes genotipos de café que varíen por su susceptibilidad a la broca. Además, se determinaron las condiciones de infestación para obtener brocas en posición A, lo cual permite realizar evaluaciones con resultados que se aproximan a las condiciones de campo. Se proponen dos metodologías, una que permite evaluar el efecto de contacto de los productos, y otra para evaluar el efecto de ingestión de los productos, de tal manera que pueden evaluarse diferentes modos de acción de productos sobre la broca del café.

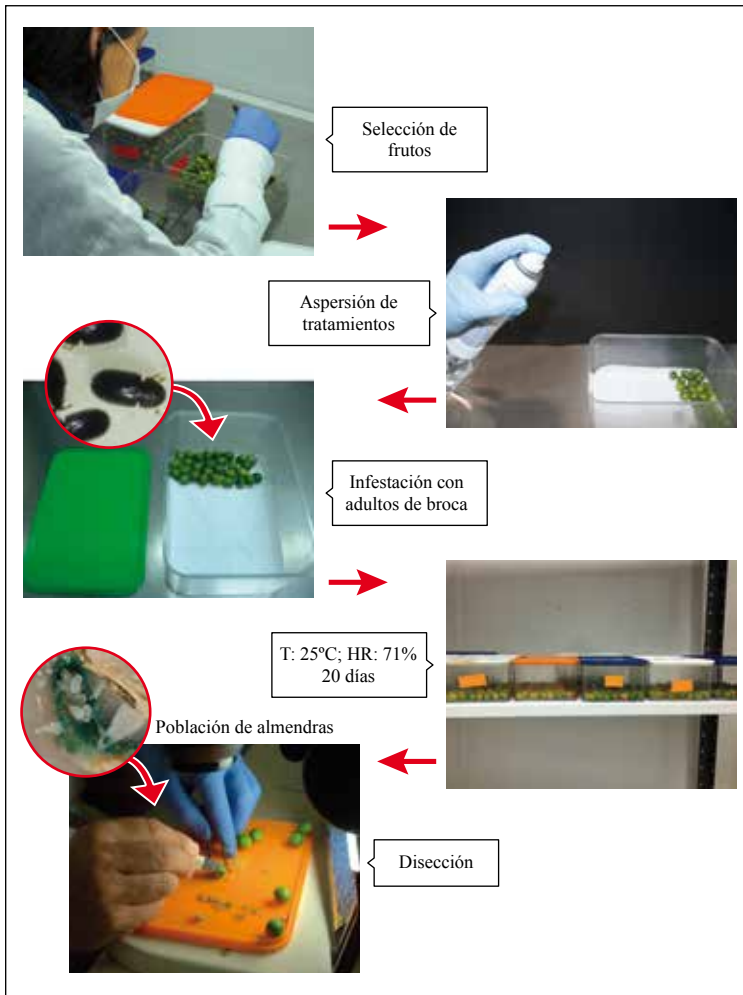


Figura 5. Procedimiento para la evaluación de productos con efectos adversos sobre la broca del café por ingestión y contacto, usando frutos verdes.

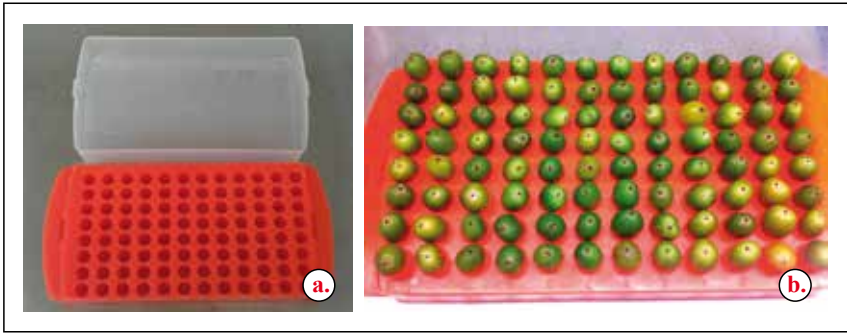


Figura 6. a. Gradilla de 96 pozos. **b.** Unidades de observación de la evaluación del efecto curativo; gradilla de 96 pozos con frutos brocados en posición A.

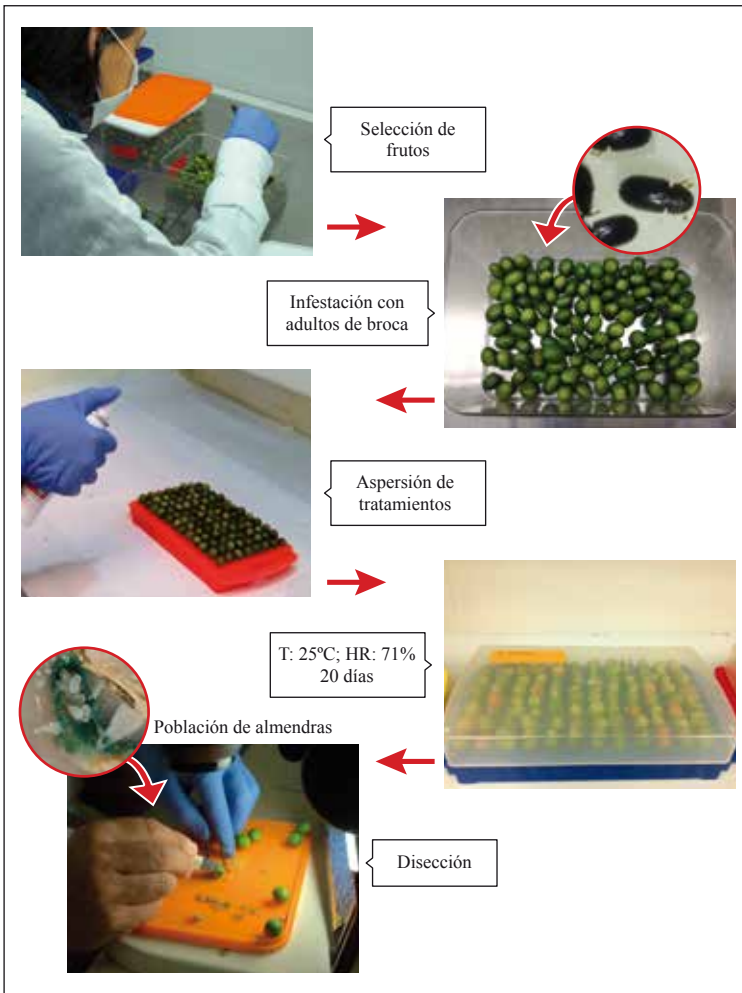


Figura 7. Procedimiento para la evaluación de productos con efectos adversos sobre la broca del café, por contacto, usando frutos verdes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, al Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), a Colciencias, al grupo de coloides de la Universidad de Antioquia, a la empresa Nexentia-Sumicol S.A, a los auxiliares de la Disciplina de Entomología: Diana María Giraldo, Gloria Patricia Naranjo y Juan Paulo Pimentel; a la Estación Experimental Naranjal y a Jhon Félix Trejos.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ S., J.H.; CORTINA G., H.A.; VILLEGAS M., J.F. Métodos para evaluar antibiosis a *Hypothenemus hampei* en café bajo condiciones controladas. *Cenicafé* 52(3):205-214. 2001.
2. ARCILA M., A.; DUARTE C., A.F.; VILLALVA G., D.A.; BENAVIDES M., P. Nuevo producto en el manejo integrado de la broca del café en Colombia. *Manizales : CENICAFÉ*, 2013. 8 p. (*Avances Técnicos* No. 437).
3. ARCILA M., A.; BENAVIDES M., P.; MEJÍA O., J. Nueva alternativa de control químico para el manejo integrado de la broca del café. *Manizales : Cenicafé*, 2015. 8 p. (*Avances Técnicos* No. 453).
4. ARCILA M., A. Insecticidas químicos recomendados para el control de la broca del café. *Manizales : Cenicafé*, 2016. 2 p. (*Brocarta* No. 49).
5. BASTIDAS, A.; VELÁSQUEZ, E.; MARÍN, P.; BENAVIDES M., P.; BUSTILLO P., A.E.; OROZCO, F.J. Evaluación de preformulados de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin, para el control de la broca del café. *Agronomía* 17(1):44-45. 2009.
6. BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; GÓNGORA B., C.E.; ARCILA M., A. Manejo integrado de plagas. p. 179-214. En: *Cenicafé. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Manizales : FNC : Cenicafé*, 2013. 3 vols.
7. BUSTILLO P., A.E.; OROZCO H., J.; BENAVIDES M., P.; PORTILLA R., M. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. *Cenicafé* 47(4):215-230. 1996.
8. BUSTILLO P., A.E.; CÁRDENAS, A.E.; VILLALBA, R.; BENAVIDES, D.A.; OROZCO, J.; POSADA, F.J.; GRISALES, F.L. DA. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. *Chinchiná : Cenicafé*, 1998.
9. BUSTILLO P., A.E.; MARÍN M., P. ¿Cómo reactivar la virulencia de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café?. *Manejo integrado de plagas* 63:i-iv. Hoja Técnica No. 40. 2002.
10. BUSTILLO P., A.E. A review of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), in Colombia. *Revista colombiana de entomología* 32(2):101-116. 2006.
11. CLARKSON, R.M.; MOULE, A.J. Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Australian dental journal* 43(4):250-256. 1998.
12. CERDÁ O., E.; MARTÍN R., V.; CUBERO, B. Causes of cell death following ultraviolet B and C exposures and the role of carotenes. *Photochemistry and photobiology* 64(3):547-551. 1996.
13. CELESTINO, F.N.; PRATISSOLI, D.; MACHADO, L.C.; SANTOS J., H.J.G.D.; MARDGAN, L.; RIBEIRO, L.V. Adaptação de técnicas de criação da broca do café [*Hypothenemus hampei* (Ferrari)]. *Coffee science* 11(2):161-168. 2016.
14. DAVIDSE, L.C.; FLACH, W. Differential binding of methyl benzimidazol-2-yl carbamate to fungal tubulin as a mechanism of resistance to this antimetabolic agent in mutant strains of *Aspergillus nidulans*. *The journal of cell biology* 72(1):174-193. 1977.
15. DAVIDSE, L.C. Benzimidazole fungicides: Mechanism of action and biological impact. *Annual review of phytopathology* 24(1):43-65. 1986.
16. DIFFEY, B.L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Physics in medicine and biology* 36(3):299. 1991.
17. DOMÍNGUEZ, L.; PARZANESE, M. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. [en línea]. Secretaría de agricultura, ganadería y pesca, 2012. Disponible en internet: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/52/articulos/r52_13_LuzUltravioleta.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.
18. ESTRELA, C.; ESTRELA, C.R.; BARBIN, E.L.; SPANÓ, J.C.E.; MARCHESAN, M.A.; PÉCORÁ, J.D. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal* 13(2):113-117. 2002.

19. EUROPEA, U. Reglamento (CE) no 1272/2008 del parlamento europeo y del consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el reglamento (CE) no 1907/2006. Bélgica : Consejo de la unión europea, 2009.
20. FRAIS, S.; NG, Y.L.; GULABIVALA, K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *International endodontic journal* 34(3):206-215. 2001.
21. GILBERT, P.; MOORE, L.E. Cationic antiseptics: Diversity of action under a common epithet. *Journal of applied microbiology* 99(4):703-715. 2005.
22. GÓNGORA B., C.E., POSADA, F.J.; BUSTILLO, A.E. Detección molecular de un gen de resistencia al insecticida endosulfan en una población de broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera: Scolytidae) en Colombia. Pereira : SOCOLEN, 2001.
23. GORDON, G.; ADAM, L.C.; BUBNIS, B.P. Minimizing chlorate ion formation in drinking water when hypochlorite ion is the chlorinating agent. Denver : AWWA, 1995.
24. JARAMILLO, J.; CHABI O., A.; POEHLING, H.M.; KAMONJO, C.; BORGEMEISTER, C. Development of an improved laboratory production technique for the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, using fresh coffee berries. *Entomologia experimentalis et applicata* 130(3):275-281. 2009.
25. JARAMILLO, J.L.; MONTOYAR., E.C.; BENAVIDES M., P.; GÓNGORA B., C.E. Beauveria bassiana y Metarhizium anisopliae para el control de broca del café en frutos del suelo. *Revista colombiana de entomología* 41(1):95-104. 2015.
26. LISTER, M.W. Decomposition of sodium hypochlorite: The uncatalyzed reaction. *Canadian journal of chemistry* 34(4):465-478. 1956.
27. MARTÍNEZ, C.P.; ECHEVERRI, C.; FLÓREZ, J.C.; GAITÁN B., A.L.; GÓNGORA B., C.E. In vitro production of two chitinolytic proteins with an inhibiting effect on the insect coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) and the fungus *Hemileia vastatrix* the most limiting pests of coffee crops. *AMB express* 2(1):1-11. 2012.
28. PADILLA, B.E.; ACUÑAZ., R.J.; VELÁSQUEZ, C.S.; RUBIO, G.; DAVID, J. Inhibidores de α -amilasas de la broca del café *Hypothenemus hampei* en diferentes especies de vegetales. *Revista colombiana de entomología* 32(2):125-130. 2006.
29. PORTILLA R., M. Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría de *Hypothenemus hampei*. *Cenicafé* 50(1):24-38. 1999.
30. PORTILLA R., M.; STREETT, D. Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. *Cenicafé* 57(1):37-50. 2006.
31. PÉREZ, J.; INFANTE, F.; VEGA, F.E. Does the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) have mutualistic fungi?. *Annals of the entomological society of America* 98(4):483-490. 2005.
32. ROJAS V., R.A.; GUEVARA V., S. Estabilidad del hipoclorito de sodio producido in situ mediante electrólisis. *Hojas de divulgación técnica* 79:1-5. 2000.
33. TYAGI, V.P. Essential chemistry. Delhi : Ratna sagar, 2009.
34. VILLALBA G., D.A.; BUSTILLO P., A.E.; CHAVES C., B. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. *Cenicafé* 46(3):152-163. 1995.

REMOCIÓN DE SEDIMENTOS EN EXTRACTOS DE CAFÉ MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA CON UNA MANANASA DE *Hypothenemus hampei*

Laura Vanessa Zuluaga Cardona*; Beatriz Elena Padilla Hurtado*; Carolina Aguilera Galvez*; José Luis Ocampo**; José Ricardo Acuña Zornosa***

ZULUAGA, L.V.; PADILLA, B.E.; AGUILERA, C.; OCAMPO, J.L.; ACUÑA S., J.R. Remoción de sedimentos en extractos de café mediante hidrólisis enzimática con una mananasa de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 68(2):90-98. 2017

Con el objeto de encontrar alternativas para la remoción enzimática de sedimentos en extractos concentrados de café, se evaluó la producción de una mananasa clonada a partir del genoma de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y su uso en la hidrólisis de los galactomananos que componen estos sedimentos. La producción de la mananasa se hizo mediante fermentaciones en biorreactor con una cepa de *Pichia pastoris*, previamente recombinada con el gen de la mananasa de la broca. Se evaluaron tres medios de cultivo y de cada fermentación se purificó la mananasa mediante cromatografía de afinidad. La actividad enzimática se verificó mediante una prueba de hidrólisis con galactomanano purificado de semillas de café. Se evaluó la actividad enzimática de la mananasa recombinante junto con otras enzimas comerciales, utilizando como sustrato el galactomanano puro. La actividad enzimática se calculó midiendo la cantidad de manosa producida en función del tiempo y la cantidad de enzima utilizada. La mananasa de la broca mostró la mayor actividad enzimática. Se evaluó el porcentaje de remoción de sedimentos en extractos concentrados de café mediante hidrólisis enzimática con la mananasa de la broca en comparación con otras enzimas comerciales. La incubación de los extractos con la mananasa de la broca logró el 95% de remoción de sedimentos en comparación con el 66% y 33% de remoción con otras enzimas. El uso de esta mananasa es una alternativa para la remoción de sedimentos en el proceso de industrialización del café, sin afectar la calidad sensorial del extracto.

Palabras clave: Broca del café, galactomanano, remoción de sedimentos.

SEDIMENTS REMOVAL IN COFFEE EXTRACTS BY ENZYMATIC HYDROLYSIS WITH A MANNANASE OF *Hypothenemus hampei*

In order to find alternatives for the enzymatic removal of sediments in concentrated coffee extracts, the production of a mannanase cloned from the genome of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and its use in the hydrolysis of the galactomannans that make up these sediments were evaluated. The production of mannanase was made by fermenting, in a bioreactor, a strain of *Pichia pastoris*, previously recombined with the gene of the coffee berry borer mannanase. Three culture media were evaluated and the mannanase in each fermentation was purified by affinity chromatography. The enzymatic activity was verified by a hydrolysis test with purified galactomannan of coffee seeds. The enzymatic activity of the recombinant mannanase, along with other commercial enzymes, was assessed using pure galactomannan as substrate. The enzymatic activity was calculated by measuring the amount of mannanase produced depending on the time and the amount of enzyme used. The mannanase of the coffee berry borer showed greater enzymatic activity. The percentage of sediments removal in concentrated coffee extracts was evaluated by enzymatic hydrolysis with the mannanase of coffee berry borer compared to other commercial enzymes. The extracts incubation with the coffee berry borer mannanase reached 95% of sediments removal compared with 66% and 33% of removal with other enzymes. The use of this mannanase is an alternative to the removal of sediment in the process of coffee industrialization, without affecting the sensory quality of the extract.

Keywords: Coffee berry borer, galactomannan, sediments removal.

* Ingeniera Química, Bacterióloga e Química Farmacéutica (hasta el año 2009), Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Ingeniero Gestión Ambiental, Fábrica de Café Liofilizado Buencafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Investigador Científico III, Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Los extractos del café son procesados industrialmente en café instantáneo o en extractos concentrados para exportación. Durante el almacenaje y transporte comercial de los extractos concentrados se forman sedimentos insolubles, los cuales se consideran como un defecto de calidad y una limitante comercial del producto (6). El porcentaje de sedimentos cambia con el grado de tostación, aunque la materia prima y el grado de extracción de los sólidos solubles también puede influir, Buencafé Liofilizado de Colombia reporta contenidos de hasta un 14% de sedimentos (V/V;10°Brix) en extractos de café de alta tostación (comunicación personal).

El principal componente de los sedimentos es el galactomanano, un polisacárido lineal que por asociaciones químicas forma regiones cristalinas muy rígidas que se precipitan en el proceso de manufacturación del extracto concentrado. El galactomanano junto con otros polisacáridos constituyen el 56% en base seca de la semilla de café y forman parte de las paredes celulares vegetales, siendo el 26% de galactomanano (3).

El galactomanano está constituido por una cadena enlazada de β -(1 \rightarrow 4)-mananos bifurcada lateralmente por unidades de galactosa. En el grano de café el galactomanano tiene una relación de galactosa/manosa muy baja (1:10-30), que lo hace muy insoluble en agua. Esta insolubilidad es la responsable de la proporción de sedimentos no extraíbles durante la producción de café soluble, lo que impide un incremento en el rendimiento industrial, además de generar una alta viscosidad y dificultades en el almacenamiento del licor concentrado (6).

La enzima esencial para la degradación de los mananos es una endo- β -mananasa, la cual hidroliza el enlace interno β -(1 \rightarrow 4)-D-manopiranosil en el esqueleto del manano

originando una mezcla de oligo-mananos, principalmente manotriosa, manobiosa y manotetrosa, que son solubles en agua. Esta enzima es producida por varios organismos, incluyendo bacterias, levaduras, hongos, plantas, algas marinas y, muy recientemente, se ha demostrado que esta enzima fue transferida horizontalmente de una bacteria simbiote a la broca del café (*Hypothenemus hampei*) para conferirle ventajas adaptativas para alimentarse de granos de café (1). Se han utilizado productos comerciales que incluyen mezclas de celulasas, proteasas, pectinasas y mananasas para digerir sedimentos presentes en extractos de café. La mayor reducción se obtuvo usando Rohapect BIL[®] (pectinasa) y Galactomananasa ACH[®], en concentraciones de 0,3 y 0,1 mg de proteína por cada gramo de sedimento, respectivamente (6).

Recientemente, en la broca del café se identificó un gen (*HhMan*) que codifica una endo-mananasa, la cual fue aislada del tracto digestivo del insecto y ha demostrado su capacidad catalítica para hidrolizar el galactomanano de la semilla del café (1). El gen de la mananasa de la broca fue clonado en la levadura *Pichia pastoris* y se logró la producción de proteína en fermentaciones hechas en condiciones controladas de bioreactor. La mananasa (*rHhMan*) fue purificada y se determinaron las condiciones óptimas de máxima actividad enzimática (2).

En este trabajo se evaluó la reducción de sedimentos en extractos de café mediante hidrólisis enzimática con una endo-mananasa recombinante (*rHhMan*) proveniente de la broca del café y se comparó con la de otras enzimas comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue desarrollado en los laboratorios de Mejoramiento Genético del Centro Nacional

de Investigaciones de Café- Cenicafé y las pruebas de calidad en taza se realizaron en las instalaciones de Investigación y Desarrollo de la Fábrica de Café Liofilizado-Buencafé.

1. Enzimas comerciales:

Las enzimas Rohapect B1L[®], Rohalasa GMP (AB Enzymes, Darmstadt, Alemania) y CoffeeMax (Proenzimas S.A., Cali, Colombia) se obtuvieron comercialmente. La enzima Rohapect B1L es una preparación con base en pectinasas y hemicelulasas, recomendada por el fabricante para el tratamiento de extractos de café. La enzima Rohalasa GMP es un producto que contiene mananasa como su principal actividad enzimática, y glucanasa, xilanasas y celulasas como actividades colaterales, es recomendada por el fabricante para cualquier aplicación donde los galactomananos y otros polisacáridos requieran ser hidrolizados.

2. Producción de mananasa de la broca mediante fermentación en bioreactor:

Se utilizó una cepa de *Pichia pastoris* previamente transformada con el plásmido pPICZ α A, de acuerdo a la metodología

descrita por Padilla *et al.* (8) y Aguilera *et al.* (2), y que contenía el gen de la mananasa de la broca (Secuencia GenBank ADF22325.1). Como control se utilizó una cepa de *P. pastoris* sin transformar. Cada cepa fue inoculada en 100 mL de medio BMGY (1% extracto de levadura, 2% peptona, 1% glicerol, 400 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ Biotina, y 0,1 M fosfato de potasio, pH 6,0), a 30°C, en agitación constante (250 rpm) y a la oscuridad. Al siguiente día se realizó la inoculación de 5 mL de biomasa en 45 mL de solución nutritiva. Se evaluaron tres formulaciones de solución nutritiva BMGY, BMMY y BSM, enriquecidas con peptona (Tabla 1). Los cultivos se incubaron durante 4 días y se inocularon diariamente con 0,5% (v/v) de metanol y 1,0% (v/v) de sorbitol. Para cada una de las fermentaciones mediante centrifugación durante 10 min a 6.000 rpm y 4°C se recolectó el sobrenadante. Se purificó la mananasa de cada uno de los sobrenadantes mediante cromatografía de afinidad, usando una resina de Níquel (Qiagen, Valencia, CA, USA), y posteriormente se eluyó de la columna con 400 μL de imidazol (500 mM). Las fracciones eluyentes se concentraron por ultrafiltración a través de un filtro Amicon

Tabla 1. Composición de los medios de cultivo usados en las fermentaciones con cepas de *P. pastoris* recombinadas con el gen de mananasa de la broca del café.

Medio BMGY	Medio BMMY	Medio BSM (1 L)
Peptona, 2,0%	Peptona, 2,0%	Ácido fosfórico (85%), 26,7 mL
Extracto de levadura, 1,0%	Extracto de levadura, 1,0%	Sulfato de calcio (0,93 g)
Medio base de levadura, 1,34%	Medio base de levadura, 1,34%	Sulfato de potasio (18,2 g)
Buffer fosfato de potasio (pH=6,0) 100 mM	Buffer fosfato de potasio (pH=6,0), 100 mM	Sulfato de magnesio (14,9 g)
Biotina (0,0004%)	Biotina (0,0004%)	Hidróxido potasio (4,13 g)
Glicerol 1% (v/v)		Hidróxido de amonio (pH=5,0)
		Glicerol (40 g)
		Solución PTM1 (Vitaminas)

ultra-0,5 kDa® (Millipore, Bedford, MA, USA). De cada fracción concentrada se evaluó la pureza de la mananasa (*rHhMan*) mediante electroforesis SDS-PAGE (12%), de acuerdo a la metodología descrita por Laemli (7). Las bandas de proteína se visualizaron mediante tinción con Coomassie R-250 y se utilizó un estándar de bajo peso molecular como referencia (Biorad, Hercules, California, EUA).

3. Cuantificación de proteína:

La enzima se cuantificó de acuerdo al método de Bradford (4) siguiendo las instrucciones del fabricante del kit Bio-Rad Protein Assay (Biorad Laboratories Inc, CA, USA). Se hizo una curva de calibración con Albúmina Sérica Bovina (BSA), partiendo de una solución stock de 1.000 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ y realizando diluciones de 750, 500, 250 y 125 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Para cuantificar la proteína de una muestra se utilizaron 1.250 μL de reactivo, 40 μL de NaCl al 0,85% y 10 μL de la enzima mananasa recombinante y se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 595 nm.

4. Preparación del galactomanano:

El galactomanano que se utilizó como sustrato en las reacciones de hidrólisis enzimática se obtuvo a partir de 30 g de café verde, siguiendo la metodología descrita por Cerqueira *et al.* (5). Para los experimentos el galactomanano se disolvió al 1,0% (p/v) en 200 mM de acetato de sodio y 100 mM de NaCl (pH = 6,0).

5. Hidrólisis enzimática de galactomanano:

En tubos de micro-centrífuga (1,5 mL) se dispensaron 500 μL de la solución de galactomanano (1%) y se adicionaron, respectivamente, 6 μg de proteína de Rohapect B1L®, Rohalasa® GMP, CoffeeMax® y Mananasa

de la broca (*rHhMan*), obtenida como se describió anteriormente. En ese momento se tomaron 100 μL de muestra para la medición de manosa en el tiempo cero. El resto de la muestra se incubó a 50°C y se dejó transcurrir la hidrólisis durante 30 min. En ese instante se tomaron 100 μL de la mezcla y se determinó la actividad enzimática. Cada reacción se hizo por triplicado para cada una de las enzimas evaluadas. La actividad de la enzima se determinó calculando la cantidad de manosa liberada por segundo y por miligramo de enzima usada. La manosa se determinó con el método del ácido dinitrosalicílico (DNS) para la determinación de azúcares reductores (8). La curva de calibración de manosa se construyó usando ocho diluciones (factor de dilución dos) de una solución pura de manosa (100 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$; Sigma, St. Louis, EUA) en un rango de concentración desde 50 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ hasta 0,318 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$. La determinación de manosa se realizó mezclando 100 μL de muestra y 100 μL de reactivo DNS, durante 5 min en baño María en ebullición. Después se agregó 1 mL de agua destilada y se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a longitud de onda de 540 nm. Se realizó un análisis de varianza para determinar si hubo diferencias significativas en la producción de manosa dependiendo de la enzima utilizada en la hidrólisis del galactomanano. En caso de encontrar diferencias se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey con una confianza del 95%.

Para verificar los subproductos de la hidrólisis del galactomanano con la mananasa de la broca se adicionaron fracciones de 0,4 μg de *rHhMan* a soluciones de goma de algarroba (Sigma, St Louis, Missouri, EE.UU.) en búfer citrato de sodio 0,1 M (pH 5,5). Las reacciones se incubaron a 30 ° C durante 24 h. Alícuotas de la reacción se recogieron a 0, 15 y 30 min, así como

a las 6, 12 y 24 h y se calentaron a 100°C durante 5 min. Los azúcares se analizaron por la técnica de cromatografía en capa fina, de acuerdo a la metodología previamente descrita (2). Los subproductos se separaron en placas de sílice 60F 254 (Merck, Darmstadt, Alemania) con cloroformo: acetato de etilo: n - propanol: agua (0,2: 1: 1,5: 0,5 v/v) y se revelaron por aspersión de ácido sulfúrico en etanol al 5,0%, seguido de calentamiento a 100°C durante 5 min.

6. Reducción de sedimentos por hidrólisis enzimática del extracto de café:

Por cada enzima se pesaron 5 g de extracto concentrado de café con sedimentos y se adicionaron 150 ppm de cada una de las siguientes enzimas: Rohapex®, CoffeeMax® y Mananasa de la broca (*rHhMan*). La hidrólisis se realizó a baja temperatura (10-15°C), con agitación constante de 180 rpm y durante 2 h, para lo cual después de transcurrido el tiempo se tomó una alícuota de 3,3 g y se disolvió hasta un volumen total de 15 mL en agua, se centrifugó a 5.000 rpm durante 15 min y se determinó el porcentaje de sedimentos y de reducción de sedimentos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Reducción de sedimentos} = \frac{\%SB - \%SM}{\%SB} * 100$$

%SB = Porcentaje de sedimentos del blanco

%SM = Porcentaje de sedimentos de la muestra

7. Prueba de taza del extracto sin sedimentos:

Extractos concentrados de café se incubaron durante 4 h en agitación constante, con una solución con 75 ppm de mananasa de la broca del café (*rHhMan*). Luego, los extractos sin sedimentos se evaluaron en pruebas de taza por un panel de catación del área de Calidad de la Fábrica de Café Liofilizado-Buencafé. El panel estuvo constituido por tres catadores

que calificaron de uno a diez las características sensoriales de aroma, cuerpo, acidez, amargo, dulce, carácter a café e impresión global del extracto con enzima y se comparó con las calificaciones de un gráfico descriptivo no paramétrico “tipo radar” de un extracto de café estándar de la Fábrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Producción y actividad enzimática de la mananasa de la broca:

En todas las fermentaciones con *Pichia pastoris* se observó un incremento diario de la densidad óptica del cultivo, lo que se reflejó en un incremento de la biomasa. La producción de proteína total fue aproximadamente el doble en los cultivos con la cepa recombinante, en comparación con los cultivos de la cepa control, posiblemente debido a la producción de la mananasa, proveniente de la cepa recombinante. En las fermentaciones con la cepa control no se detectó la producción de mananasa. La producción de mananasa recombinante en la fermentación con los tres medios de cultivo fue similar, siendo 10 mg.L⁻¹ la más alta, obtenida en el medio BMMY (Tabla 2).

El análisis por SDS-PAGE demostró que de cada una de las tres fracciones concentradas se obtuvo una proteína homogénea, con un peso molecular aproximado de 35,5 kDa, correspondiente a 33 kDa de la secuencia de proteínas, sin la secuencia de señalización nativa, y 2,5 kDa de una etiqueta de polihistidina N-terminal (Figura 1a); el cual coincide con el peso molecular previamente calculado para la mananasa recombinante de la broca (1, 8).

La funcionalidad de la mananasa producida se evaluó cualitativamente por la capacidad de formar los productos esperados, cuando se puso a reaccionar con galactomanano,

Tabla 2. Crecimiento y producción de proteína de las fermentaciones hechas con *P. pastoris* en diferentes medios de cultivo. Las lecturas de densidad óptica (DO_{600}) fueron registradas a las 3, 6, 9, 12 y 24 h de incubación y corresponden al aumento de biomasa.

Medio de cultivo	Cepa de <i>Pichia pastoris</i> usada en la fermentación	DO_{600}					Proteína Total ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	Endo-mananasa ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)
		3 h	6 h	9 h	12 h	24 h		
BSM	Recombinante	1,33	2	2,57	2,72	2,56	215	94
	Control	1,35	1,88	2,6	2,57	2,53	121	0
BSM+ Peptona	Recombinante	1,19	2,42	2,5	2,88	2,95	239	95
	Control	1,26	2,73	2,75	2,93	2,96	143	0
BMMY	Recombinante	2,5	2,83	2,89	2,91	2,85	247	101
	Control	2,7	2,79	3,04	3,05	3,14	146	0

de acuerdo al procedimiento descrito en la metodología. En la Figura 1b se muestra la separación cromatográfica en capa fina de los manano-oligosacaridos producidos después del tratamiento enzimático del galactomanano puro del café con la mananasa de la broca. Se observó que durante el transcurso de la reacción se incrementó la concentración de cada uno de los manano-oligosacaridos, siendo la manobiosa la fracción más representativa (Figura 1b). Se comprobó que la enzima recombinante producida en las fermentaciones con la cepa de *P. pastoris* es funcionalmente activa para hidrolizar el galactomanano del café, lo que permitió usarla en los experimentos con extractos concentrados de café.

2. Hidrólisis enzimática de galactomananos con enzimas comerciales y la enzima recombinante (*rHhMan*):

La mananasa de la broca mostró una actividad enzimática dos veces mayor (4,0) que las actividades de las enzimas CoffeMax® (1,5) y Rohalasa® (1,0), y casi el doble que la de la enzima Rohapec® (2,5). De acuerdo con el análisis de varianza hubo diferencias estadísticas en la producción de manosa de acuerdo a la enzima utilizada ($F(3,8)=30,83$, $p=0,0001$). La prueba de Tukey reveló que la producción de manosa con la enzima de

la broca fue estadísticamente mayor que la producción con la enzima CoffeMaX ($-2,46 \pm 0,32$, $p=0,000$), con la enzima Rohalasa ($-2,83 \pm 0,32$, $p=0,000$) y con la enzima Rohapec ($-1,34 \pm 0,32$, $p=0,014$) (Figura 2). La *rHhMan* es una enzima aislada de la broca del café y su eficiencia para hidrolizar el galactomanano del café comparada con las otras enzimas comerciales, estaría favorecida por su grado de pureza y por la co-evolución de la broca con la semilla del café por miles de años (1).

En la prueba de reducción de sedimentos a partir de una muestra de extracto concentrado de café, el tratamiento con la mananasa redujo el contenido de sedimentos en un 94,67%. Los tratamientos con la enzima 1 (Rohapec®) y la enzima 2 (CoffeMax®) redujeron los sedimentos del extracto en 66,7% y 33,3%, respectivamente. La mananasa de la broca presenta a concentraciones equivalentes en cantidad de proteína, una reducción de sedimentos superior a los preparados enzimáticos comerciales (Figura 3a).

3. Análisis de prueba de taza:

En la Figura 4 se muestran los resultados del análisis sensorial de extractos concentrados de café a los cuales se les hizo un tratamiento

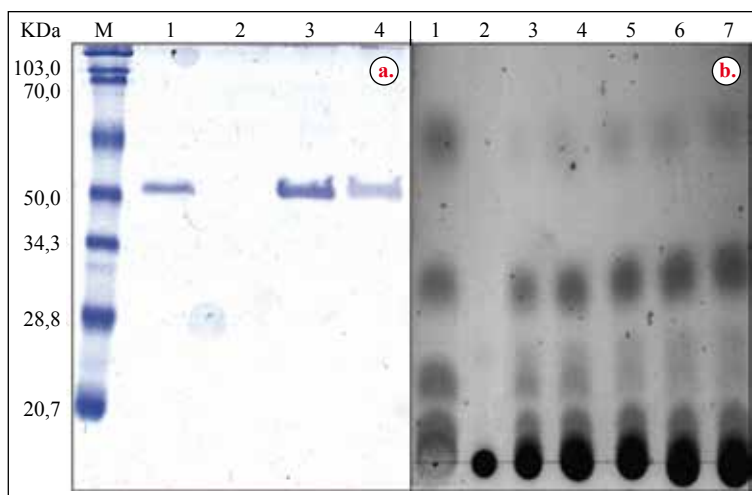


Figura 1. a. Separación electroforética de la mananasa purificada a partir de los sobrenadantes de las fermentaciones hechas con la cepa recombinante de *Pichia pastoris* en tres medios de cultivo. Marcador de peso molecular (M); Medio BSM (carril 1), Medio BMMY (carril 3), Medio BSM+ peptona (carril 4) y cepa sin transformar (carril 2); **b.** Separación cromatográfica en capa fina de los subproductos formados durante la reacción enzimática del galactomanano del café con la enzima recombinante de la broca (*rHhMan*). En el carril 1 mezcla estándar de mano-oligosacaridos (manosa, manobiosa, manotriosa, manotetraosa y manopentosa); en los carriles 2-7 se indican los tiempos de incubación: 0, 15, 30 min, 6, 12 y 24 h, respectivamente.

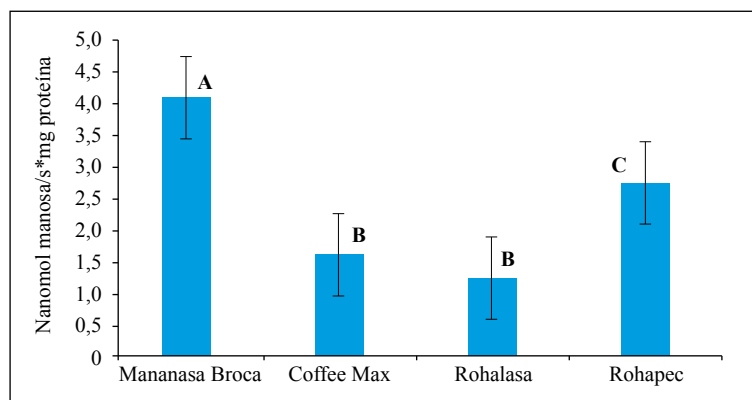


Figura 2. Actividad enzimática de enzimas comerciales y la mananasa de la broca. La mezcla de reacción contenía 16 mg de galactomanano puro diluido en búfer acetato de sodio (pH=6,0) y 6 µg de proteína de Rohapect B1L®, Rohalasa® GMP, CoffeeMax® y mananasa de la broca. Las muestras se incubaron a 50°C durante 30 min. Cada reacción se hizo por triplicado y la actividad enzimática se determinó calculando la cantidad de manosa liberada por segundo y por miligramo de enzima usada. Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente según prueba de Tukey (nivel 5%).

de remoción de sedimentos con mananasa de la broca comparado con el de extractos concentrados de café sin algún tratamiento. Se observó que la adición de la endo-mananasa sobre el extracto de café no afectó sus propiedades organolépticas por lo que es factible su aplicación industrial en empresas

que produzcan extractos concentrados de café y donde el porcentaje de sedimentos deterioren la calidad del producto; sin embargo, se observó una leve desmejora en el carácter a café, la cual se explica por la necesidad de pasteurizar el extracto para inactivar la enzima.

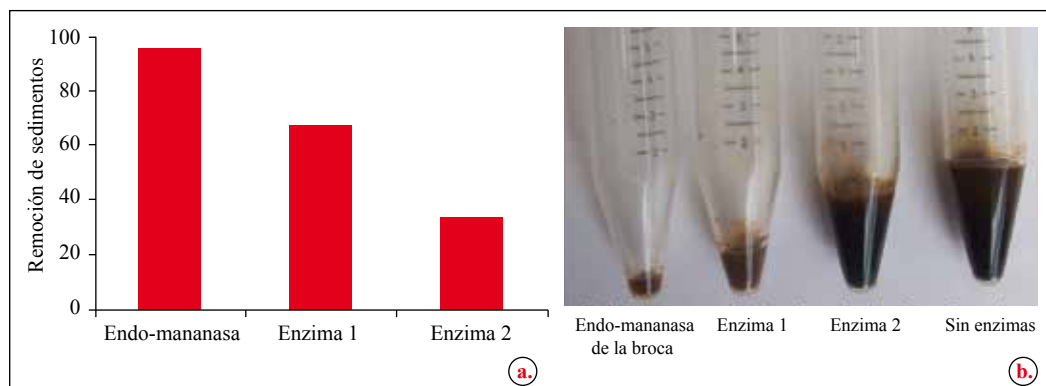


Figura 3. Reducción enzimática de sedimentos en un extracto concentrado de café. **a.** Porcentaje de remoción de sedimentos usando tres enzimas diferentes: Mananasa de la broca, Rohapec® (Enzima 1) y CoffeMax® (Enzima 2), los datos corresponden a la evaluación hecha de una sola muestra por cada enzima; **b.** Se observa la cantidad de sedimentos remanentes en el extracto concentrado después del tratamiento enzimático y se compara con los sedimentos de un extracto sin tratamiento enzimático.

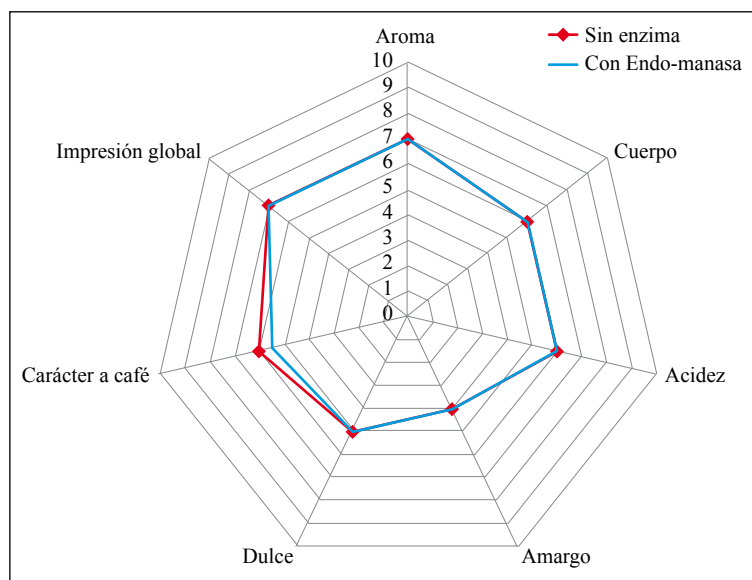


Figura 4. Comparación del análisis sensorial de extractos concentrados de café tratados con mananasa de la broca y sin tratamiento. Las calificaciones se compararon contra un gráfico descriptivo no paramétrico “tipo radar” de un extracto de café estándar.

En conclusión, la mananasa clonada a partir de la broca del café hidroliza más eficientemente los sedimentos presentes en extractos concentrados de café en comparación con otras enzimas comerciales utilizadas para este fin, sin afectar significativamente las características sensoriales del extracto. En caso de ser necesario, la mananasa podría ser inmovilizada a un sustrato inerte y el extracto podría recircularse cuantas veces sea requerido para eliminar los sedimentos de manano y así evitar que la enzima quede integrada al extracto. La técnica de inmovilización enzimática ha sido evaluada con mananos extraídos del café e hidrolizados con mananasas purificadas a partir del hongo *Sclerotium rolfisii* (10). La enzima también podría ser utilizada en el aprovechamiento de la borra, un subproducto del proceso del café tostado y molido, donde podrían obtenerse enzimáticamente Manano-OligosacáridoS (MOS), que son compuestos utilizados como prebióticos para el consumo humano (9). La producción de mananasa de la broca podría llevarse a escala industrial e incluirla en el portafolio comercial de enzimas con aplicaciones en el proceso de fabricación de café soluble. Este trabajo abre nuevos campos de investigación porque en el tracto digestivo de la broca existen otras enzimas capaces de hidrolizar eficientemente carbohidratos de la semilla del café y que podrían ser identificadas y caracterizadas con fines biotecnológicos.

LITERATURA CITADA

1. ACUÑA Z., J.R.; PADILLA, B.E.; FLOREZ R., C.P.; RUBIO, J.D.; HERRERA P., J.C.; BENAVIDES M., P.; LEE, S.J.; YEATS, T.H.; EGAN, A.N.; DOYLE, J.J. Adaptive horizontal transfer of a bacterial gene to an invasive insect pest of coffee. *Proceedings of the national academy of sciences* 109(11):4197-4202. 2012.
2. AGUILERA G., C.; VÁSQUEZ O., J.J.; GUTIÉRREZ S., P.; ACUÑA Z., J.R. Cloning and biochemical characterization of an endo-1, 4-β-mannanase from the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *BMC research notes* 6:1–8. 2013.
3. BRADBURY, A.G.W.; HALLIDAY, D.J. Chemical structures of green coffee bean polysaccharides. *Journal of agricultural food chemistry* 38(2):389-392. 1990.
4. BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical biochemistry* 72(1/2):248-254. 1976.
5. CERQUEIRA, M.A.; PINHEIRO, A.C.; SOUZA, B.W.S.; LIMA, Á.M.P.; RIBEIRO, C.; MIRANDA, C.; TEIXEIRA, J.A.; MOREIRA, R.A.; COIMBRA, M.A.; GONÇALVES, M.P. Extraction, purification and characterization of galactomannans from non-traditional sources. *Carbohydrate polymers* 75(3):408-414. 2009.
6. DELGADO, P.A.; VIGNOLI, J.A.; SHIKA A., M.; FRANCO, T.T. Sediments in coffee extracts: Composition and control by enzymatic hydrolysis. *Food chemistry* 110(1):168-176. 2008.
7. LAEMMLI, U. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227:680-685. 1970.
8. PADILLA H., B.; FLOREZ R., C.P.; AGUILERA G., C.; MEDINA O., J.; RAMÍREZ S., A.; RUBIO G., J.; ACUNA Z., J.R. Cloning and expression of an endo-1,4-beta-xylanase from the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *BMC research notes* 5(1):23. 2012.
9. SALINARDI, T.C.; RUBIN, K.H.; BLACK, R.M.; ST-ONGE, M.P. Coffee manno-oligosaccharides, consumed as part of a free living, weight maintaining diet, increase the proportional reduction in body volume in overweight men. *The journal of nutrition* 140(11):1943-1948. 2010.
10. SACHSLEHNER, A.; FOIDL, G.; FOIDL, N.; GÜBITZ, G.; HALTRICH, D. Hydrolysis of isolated coffee mannan and coffee extract by mannanases of *Sclerotium rolfisii*. *Journal of biotechnology* 80(2):127-134. 2000.

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.
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Álvaro Jaramillo Robledo., Ing. Agrónomo, M.Sc
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola. Esp. **
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola **
Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Alexander Restrepo Á., Tecnólogo en Electrónica
Myriam Giraldo M.
Luis Gonzaga Henao R.
Luis Fernando Torres Q.
Orlando Salazar G.

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.
Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.
Hernando García O., Ing. Agroforestal **
Lina Marcela Díaz Bejarano., Estadístico **

Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos, M.Sc.
Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp.
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacteriología**
Luz Fanny Echeverry G., Química
Lady Juliet Vargas G., Ing. de Alimentos
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Duván Gallego A., Tecnólogo en Producción Agrícola
Alexis Urriago Y., Técnico en Producción Agrícola
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción Agropecuaria Ecológica
Gustavo Echeverri M.

Economía

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M.Sc
Marisol González G., Economista**

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 Ph.D.
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo Ph.D.
Lucio Navarro E., Biólogo, Ph.D
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo, M.Sc.
Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo

Ferney López F., Ing. Agrónomo/Contador
Mauricio Jiménez Q., Agrónomo
Laura Alexandra Laiton J., Ing. Agrónomo
Jorge Luis Jaramillo González, Ing. Agrónomo
Adriana Paola Gómez C., Tecnólogo en Administración y Producción Limpia de Café
Juan Paulo Pimentel S., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Wilmar Osorio C., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias **
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Faber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.
Alejandra María Pérez D., Pasante Universitario

Fisiología Vegetal

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Aristóteles Ortiz, Químico, M.Sc.
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Marcela Mora A.**
Mario Fernando Abella D.**
Mario Franco A.
Claudia Patricia Valencia V.
Laura Calle G., Pasante Universitario

Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Nancy del Carmen Arciniegas B., Ing. Agrónoma, M.Sc.**
Juan Manuel López V., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Mario Calle, Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de Computadores y Redes de datos.
Alejandro Gallego, Tecnólogo en Gestión Agropecuaria
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Jaroliver Cardona G.
Alexander Jaramillo J.
Ángela Lorena Castrillón M., Aprendiz

Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo, M.Sc.
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Leidy Natalia Bermúdez F., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo, Esp.
Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo
Jorge Alexis Ramos P., Ing. Agrícola**
Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola**

Gustavo Bedoya C., Agrónomo
Cristian Salomón Rodríguez V., Ing. Agrónomo
Carlos Augusto Ramírez C., Técnico Profesional en Técnicas Forestales**
Miguel Ángel Erazo R., Tecnólogo en Agricultura de Precisión
Jonniier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en gestión agropecuaria**
Gabriel Santiago Gil M., Tecnólogo en Producción Agrícola
Juan Gilberto Vargas P., Tecnólogo en Producción Agrícola

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.
María del Pilar Moncada B., Ing. Agrónomo Ph. D
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo M.Sc.
Andrea Valencia O., Bióloga M.Sc.
Hernando A. Cortina G., Ing. Agrónomo M.Sc
Julio Quiroga Cardona, Ing. Agrónomo M.Sc
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal

Poscosecha

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola, Ph.D.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto, M.Sc.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc.*
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico, M.Sc.**
Juan Carlos López N., Microbiólogo, M.Sc
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química, M.Sc
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola **
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista **
Viviana Lorena Bohórquez Z., Bióloga
Cristy Mayerly González D., Ing. Ambiental
Andrés Felipe Osorio O., Ing. Químico
Gustavo Adolfo Gómez Z., Biólogo**
Jenifer Andrea Galeano S., Bióloga
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura por Arco y por Soplete
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda.
Walter Mauricio Osorio O.
Sebastián Bravo C., Pasante Universitario
Lina Marcela González J., Aprendiz
Julliet Milena Jurando C., Pasante, M.Sc.
Gustavo Emilio Zamudio C., Aprendiz Universitario

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc.*
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc.*

Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga, M.Sc.
Vanessa Catalina Díaz P., Química, Esp.
Janneth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental
Wadi Andrey Castaño C., Ing. Agrónomo
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola **
Leina Carina Vitobis A., Agrónomo
Mónica María Bedoya R., Ing. Agrónomo
Johan Cuervo C., Ing. Agrónomo
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química
Rigoberto Ochoa I., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Stephanía Rincón B., Tecnóloga Química
Sebastián Mejía G., Tecnólogo Químico
Sebastián García B. Tecnólogo en Gestión de Recursos Naturales
Alejandro Molina G., Tecnólogo en Procesos Biotecnológicos
Wilder Andrés Gutiérrez A.
Arturo Gómez V.

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
José Farid López D., 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.

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

Diego Fabián Montoya., Agrónomo
Francisco Javier Álzate O.
Vidal de Jesús Largo T.

Estación Experimental La Trinidad

Carlos Julio Ramírez Q., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Paraguaitico

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo**
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.

APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, 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
Julieth Sofía Veloza B., Profesional en Diseño Gráfico
Paula Andrea Marroquín B., Diseñadora Gráfica
Laura Hernández L., Aprendiz

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.**
Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas,
Bibliotecóloga, 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.
Humberto Iván Ríos, Ing. Ambiental, Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones, Esp.
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones, Esp.
José Rubiel Castrillón G., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones.**
Audberto Quiroga M., Biólogo, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, Esp.
Juan Pablo Carvajal B., Ing. Electrónico
Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo
de Sistemas de Información

Unidad de Gestión de Proyectos

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos, M.Sc.
Paola Andrea Espejo G., Antropóloga, Esp.
Diana Lorena García O., Ingeniera Industrial, Esp.
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista**
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y
Zootecnista**
Josué David Espitia F., Economista

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

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

Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.
Jesús Danilo González O., Contador, Esp.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público
María Camila Ramírez J., Contadora, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.
Diana Marcela Buitrago R. Administración de empresas
Jesús Alberto Vergara T., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista, M.Sc.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial

Juan Manuel Meza S., Administrador de empresas, Esp.
Daniel Lince C., Administrador de empresas
Lina María Giraldo, Administrador financiero
Diego Alejandro Muñoz G., Economista
Luisa Fernanda Medina S., Técnico en gestión del servicio **
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de
Negocios
Gabriel Antonio Melo P.
Julián Marín G., Aprendiz
Kevin Andrés Cuervo R., Aprendiz
Daniela Morales R. Pasante Universitario

Gestión de Bienes y Servicios-Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónico**
Paulo Alejandro Arias C., Ing Electricista, Esp.
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica
Robinson Guzmán G., Técnico Electricista
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Javier Vanegas V., Técnico Electricista
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria
y Financiera
Albert Johanne Agudelo L. Tecnólogo en Electrónica
Uriel López P.
Rogelio Rodríguez G.
Eduardo Villegas A.
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

Carlos Andrés Pineda M., Contador Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, M.Sc.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud
Ocupacional, M.Sc.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de
Negocios**
Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.
Luz Adriana Tibaduiza G., Aprendiz Universitario
Carlos Alberto Castro G., Aprendiz

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc.
Juan Manuel Muñoz O., Administrador de empresas, M.Sc
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp. PMP®
Juan Sebastián Gómez C., Contador, Esp.
Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas, Esp.
Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión
Administrativa
Ángelo Otálvaro M., Aprendiz

* Comisión de Estudios

** Adelantando estudios en el país

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, $m^3 \cdot s^{-1}$ 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 g.día⁻¹, y no 5 g de peso seco.día⁻¹
 - _ Se aplicaron 25 g.ha⁻¹ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
 - _ Cada planta recibió 20 g.ha⁻¹ de agua, y no 20 g H₂O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/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 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 los siguientes modelos para citar las bibliografías, de acuerdo con los criterios determinados por el Comité Editorial de Cenicafé.

Libros, folletos y monografías

- Autor(es) . Título : Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Partes o capítulo de un libro

- Autor(es) del capítulo o parte. Título del capítulo o parte : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Compilador(es) o editor(es) del trabajo general . Título del trabajo general: Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. del libro.

Ponencias

- Autor(es) ponencia, congreso, etc . Título de la ponencia, etc. : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Título oficial del congreso, simposio, etc . (No. arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Trabajos de grado

- Autor(es) del trabajo. Título : Subtítulo. Ciudad : Institución universitaria que otorga el título. Facultad o Escuela, Fecha. No. total de págs. Trabajo de grado: título recibido.

Congresos, Seminarios, Simposios

- Nombre del congreso en mayúscula sostenida la primera palabra : Memorias, Actas, Procedimientos, etc. (No. Arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Artículos de revistas

- Autor(es) . Título del artículo : Subtítulo . Título de la revista. Volumen(número):Pág. inicial-pág.final del artículo. Año

Separatas y reimpresos

- Autor(es). Título de la separata : Subtítulo. En: Título de la publicación de la cual se extrae la separata Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha) si es un libro, o, Volumen y/o número si es una revista Año. (separata). No. Total de págs.

Boletines y Publicaciones en serie

- Autor(es) . Título : Subtítulo . Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. (Avances Técnicos, Boletín Técnico, Circular, etc. No. 00).

Normas

- Autor(es). Título : Subtítulo. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). (NTC 000). No. de págs.

Documentos electrónicos

- Autor(es). Título : Subtítulo. [En línea]. Lugar de publicación : Publicador, fecha. Disponible en internet: <http://www. ...> . Parte de un documento electrónico o registro de base de datos Consultado el ...Fecha de la consulta.

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 Cenicafe, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año)
- Proeveer 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 y se debe enumerar siguiendo un orden ascendente Las referencias deben citarse en el texto utilizando el número correspondiente al orden alfabético

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve.

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión:

1.200 ejemplares

Para canjes con esta publicacion 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