

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

Cenicafé

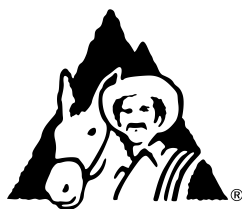
Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Volumen 73 Número 1

Enero - Junio 2022



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

José Manuel Restrepo Abondano

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

María Ximena Lombana Villalba

Director del Departamento Nacional de Planeación

Luis Alberto Rodríguez Ospino

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Marcela Urueña Gómez

Periodo 1° enero/2019 - 31 diciembre/2022

José Eliecer Sierra Tejada (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo y Financiero

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Juan Camilo Ramos Mejía

Gerente Técnico

Hernando Duque Orrego

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

Uso del material de esta revista:

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

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

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

DOI - <https://doi.org/10.38141/rev.cenicafe73-1>

Editada en junio de 2022

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

E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com

www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 73

ENERO - JUNIO 2022

No. 1

CONTENIDO

EFFECTO DE LA COMBINACIÓN DE PROCESOS DE SECADO EN LA CALIDAD DEL CAFÉ NATURAL OBTENIDO VÍA SECA. Valentina Osorio Pérez; Jenny Pabón Usaquén; Joel Shuler; Mario Roberto Fernández Alduenda	7
EFFECT OF THE COMBINATION OF DRYING PROCESSES ON THE QUALITY OF NATURAL COFFEE PROCESSED BY DRYING METHODS	7
EFFECTO DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE TUESTE EN LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ. Valentina Osorio Pérez; Jenny Pabón Usaquén	24
EFFECT OF ROASTING TEMPERATURES AND TIMES ON COFFEE SENSORY QUALITY	24
EFICIENCIA DE ENMIENDAS UTILIZADAS COMO CORRECTIVOS DE LA ACIDEZ DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN COLOMBIA. Vanessa Catalina Díaz-Poveda; Siavosh Sadeghian	38
EFFICIENCY OF AMENDMENTS USED TO CORRECT SOIL ACIDITY IN COFFEE GROWING IN COLOMBIA	38
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA FUENTE CARBONATADA EN PLANTAS DE CAFÉ EN ALMÁCIGO. Natalia Catalina Flechas Bejarano; José Ricardo Acuña Zornosa	55
EVALUATION OF THE EFFECT OF THE APPLICATION OF A CARBONATED SOURCE ON COFFEE NURSERIES	55
PRODUCCIÓN DE CAFÉ CON FERMENTACIONES INCOMPLETAS Y FERMENTACIONES PROLONGADAS UTILIZANDO EL FERMAESTRO®. Juan Rodrigo Sanz Uribe; Javier Velásquez Henao	66
COFFEE PRODUCTION WITH INCOMPLETE FERMENTATION AND PROLONGED FERMENTATION USING FERMAESTRO®	66
VALIDACIÓN DEL MANEJO DE <i>Neochavesia caldasiae</i> (Balachowsky, 1957) HEMIPTERA: RHIZOECIDAE EN FREDONIA, ANTIOQUIA. Zulma Nancy Gil Palacio; Aníbal Arcila Moreno; Juan Sebastián Márquez; Carlos Mario Ospina Penagos; Silvia Elena Mejía; Pablo Benavides Machado	77
VALIDATION OF THE MANAGEMENT OF <i>Neochavesia caldasiae</i> (Balachowsky, 1957) (HEMIPTERA: RHIZOECIDAE) IN FREDONIA, ANTIOQUIA	77

COMITÉ EDITORIAL

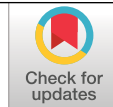
Pablo Benavides M.
Carmenza Esther Góngora B.
José Ricardo Acuña Z.
Diana María Molina V.
Luis Fernando Salazar G.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

EFFECTO DE LA COMBINACIÓN DE PROCESOS DE SECADO EN LA CALIDAD DEL CAFÉ NATURAL OBTENIDO VÍA SECA

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Pabón Usaquén *, Joel Shuler **, Mario Roberto Fernández Alduenda ***

Osorio, V., Pabón, J., Shuler, J., & Fernández-Alduenda, M. R. (2022). Efecto de la combinación de procesos de secado en la calidad del café natural obtenido vía seca. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73101. <https://doi.org/10.38141/10778/73101>



En Colombia, el proceso de poscosecha más frecuente es el denominado beneficio por vía húmeda, que da origen a cafés suaves lavados. Actualmente existe una tendencia emergente en la búsqueda de perfiles sensoriales diferenciados y esto ha incrementado el interés en cafés procesados por vía seca que dan como resultado los cafés naturales. Con el fin de conocer el efecto del cambio en el orden del tipo de secado de cafés naturales, se evaluaron cuatro tratamientos: secado solar 100%; secado mecánico 100%; secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico, y café secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% finalizando con secado solar. Para cada uno de los tratamientos se realizó la evaluación sensorial con el protocolo SCA (Specialty Coffee Association) y la determinación de la composición química mediante la técnica de espectroscopia infrarrojo cercano NIRS. El tiempo promedio del secado solar 100% fue de 14 días, para el secado mecánico 8 días y, para los tratamientos asociados a combinaciones y cambios, estuvo en 12 días. No hubo diferencias entre tratamientos para el puntaje total SCA, se obtuvo un puntaje promedio de 82,90 con máximo de 84,92 puntos. El atributo fragancia/aroma fue diferente a favor del secado mecánico con un valor promedio de 8,01 y el contenido del ácido graso palmítico fue de 40,11% para el tratamiento de secado 100% solar con respecto al secado mecánico de 38,69%.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., secado, natural, humedad, sensorial, ácidos, NIRS.

EFFECT OF THE COMBINATION OF DRYING PROCESSES ON THE QUALITY OF NATURAL COFFEE PROCESSED BY DRYING METHODS

In Colombia, the most frequent post-harvest process is the so-called wet method, which results in mild washed coffee. There is currently an emerging trend in the search for differentiated sensory profiles and this has increased interest in coffee processed by drying methods, which result in natural coffees. In order to determine the effect of changes on the order of the type of drying of natural coffees, four treatments were evaluated: 100% sun drying; 100% mechanical drying; sun drying with decrease of the initial percentage of humidity to 40% and ending with mechanical drying, and mechanical drying coffee with decrease of the initial percentage of humidity to 40% ending with sun drying. For each treatment, the sensory evaluation was performed with the SCA (Specialty Coffee Association) protocol and the chemical composition was determined using the Near Infrared Spectrometry technique, NIRS. The average time for 100% sun drying was 14 days, for mechanical drying was 8 days, and for treatments associated with combinations and changes was 12 days. There were no differences between treatments for the total SCA score, an average score of 82.90 was obtained with a maximum of 84.92 points. The fragrance/aroma attribute was different in favor of mechanical drying with an average value of 8.01 and the palmitic fatty acid content was 40.11% for 100% sun drying treatment, while for mechanical drying it was 38.69%.

Keywords: *Coffea arabica* L., drying, natural, quality, sensory, acids, NIRS.

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

** Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8517-6539>

*** SCA Specialty Coffee Association. <https://orcid.org/0000-0001-6144-5562>



Los frutos de café comúnmente son denominados cerezas, por su tonalidad rojiza en el estado maduro. Estas cerezas, por su alto contenido de agua y material orgánico lábil, son altamente perecederas y, por tal motivo, son sometidas a un proceso denominado beneficio. El beneficio del café se define como el conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café cereza en granos de café seco (Roa et al., 1999). Este proceso debe conservar la calidad exigida por las normas de comercialización y evitar pérdidas del producto. Comercialmente se reconocen básicamente tres tipos de beneficio: seco, húmedo y semi-seco (Puerta, 2013a, 1999). En el beneficio seco, luego de que el café es recolectado, se realiza una clasificación y una selección hidráulica para retirar los frutos defectuosos e impurezas y, posteriormente, es sometido al proceso de secado. El método húmedo da lugar a los cafés conocidos como lavados e implica la eliminación de la pulpa y el mucílago del café, así como también un lavado antes de que sea sometido al proceso de secado (Clifford, 1985; Wintgens, 2004).

Dentro de las etapas del beneficio, el secado es el proceso donde se realiza la disminución del contenido de agua y, consecuentemente, la actividad de la misma, y se logra la conservación y la estabilidad del café durante su almacenamiento y comercialización. En cafés lavados, disminuye desde un contenido inicial de agua entre 50%–55% hasta el 10%–12% obteniendo el denominado café pergamino seco, en el que valores superiores a 12,5% (actividad de agua superior a 0,67) puede causar pérdidas a la calidad del grano al producir calentamiento de la masa y generar focos de hongos e insectos (Ospina et al., 1991; Puerta, 2006), y la probable generación de sustancias que afectan al consumidor (toxinas). El proceso de secado se efectúa de dos maneras, mediante secado solar y secado mecánico; para este último, en Colombia los equipos

más utilizados son los silos de capa estática (Parra et al., 2017). Según Borém et al., (2008), el secado de café es una de las etapas más importantes en la producción de café, en lo que se refiere a la calidad de la bebida y también al consumo de energía, debido a que el fruto recolectado tiene un alto contenido de agua cercano al 60%, tornándose obligatoria su reducción hasta niveles seguros para el almacenamiento.

El tipo de beneficio seco da lugar a los cafés conocidos como cafés naturales. En este proceso, posterior a la recolección, el fruto completo es sometido al proceso de secado (Borém et al., 2008). En Brasil, el proceso típico de secado de café natural consta de dos etapas de secado. En la primera etapa, los frutos de café se extienden en terrazas pavimentadas, donde el contenido de humedad disminuye a porcentajes comprendidos entre el 35%–30% y en la segunda etapa el café pasa a secadores mecánicos de lecho fijo hasta aproximadamente 13% de humedad (Guimarã et al., 1998). Durante el proceso de secado de capa fija, se recomienda la rotación del café a intervalos regulares de tres horas, debido a que este procedimiento reduce los gradientes de humedad en la masa de grano (Finzer et al., 2007). Así mismo, con el fin de disminuir los gradientes de humedad en el café durante el proceso de secado se recomiendan alturas de capa de secado inferiores a 50 cm y temperaturas del aire de secado de 50°C (Silva et al., 2010). La temperatura debe controlarse para no sobrepasar los 40°C en la masa de café, para no causar algún daño a la calidad del producto (Borém et al., 2014).

La temperatura del aire, la de los granos y el flujo de aire, entre otras variables, son parámetros importantes que deben monitorearse durante este proceso. Altas temperaturas y flujos de aire elevados no permiten garantizar la preservación de la

integridad del café y su calidad, debido a que se generan gradientes de humedad tanto al interior del grano como en la masa de café, también se aumenta la porosidad del grano y es posible perder algunos precursores químicos. Del mismo modo, el uso de temperaturas excesivamente altas ocasiona defectos como los granos cristalizados. Estudios mostraron que el secado con temperaturas moderadas, intercalado con períodos de reposo, representa una mejor eficiencia en el consumo específico de energía y la calidad final del café (Coradi et al., 2007). Para establecer las temperaturas máximas utilizadas durante el proceso de secado es necesario considerar que la temperatura del aire casi siempre es mayor que la temperatura del grano y que, durante la última etapa de secado, la temperatura de la masa de granos tiende a igualarse con la del aire. Al igual que en los procesos de beneficio por vía húmeda, el café natural secado a 60°C, después de 90 días de almacenamiento, presentó calidad inferior con respecto al café procesado a 40°C (Coradi et al., 2007). Así mismo, con el fin de asegurar una buena calidad para los cafés procesados vía húmeda, se recomienda no utilizar temperaturas superiores a los 50°C. Por su parte, Alvés et al. (2017) reportan que un aumento de la temperatura de 40 a 45°C da lugar a una disminución de la calidad fisiológica, sólo en el caso del café despulpado y un aumento de la tasa de secado. Las tecnologías disponibles de secado mecánico de café solamente permiten un aumento de la tasa de secado mediante el incremento de la temperatura o el flujo de aire. No obstante, temperaturas de la masa de café superiores a 40°C causan daños térmicos que deprecian su calidad (Borém et al., 2014; Isquierdo et al., 2013; Oliveira, et al., 2013).

La primera etapa del secado de cafés naturales frecuentemente se realiza utilizando el secado solar; el café se dispone en una capa

delgada en patios y es sometido a constante movimiento para mantener la temperatura y lograr un proceso homogéneo. Este proceso puede tomar desde varios días a semanas, pues depende de la temperatura y humedad del ambiente donde se desarrolle. Este logra acelerarse al ser complementado con secado mecánico. El secado puede ser realizado en patios o en secadores mecánicos, pero se han obtenido buenos resultados con la combinación de los dos métodos (Borém et al., 2008).

Durante el proceso de secado de café natural se producen cambios en el grano, los cuales se reflejan en los atributos sensoriales de la bebida. La respuesta a este proceso puede ser diferencial, dependiendo del tipo de secado, por tal razón es necesario identificar si las combinaciones de los procesos de secado permiten una expresión diferente de la calidad sensorial del café natural. En esta investigación se evaluó el efecto de los cambios en el orden del proceso de secado de cafés naturales, finalizando cuando el contenido de humedad del grano se encontraba en un rango comprendido entre 10% al 12%, determinando la calidad física, sensorial y la composición química por la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de café

Se emplearon frutos de café de la especie *Coffea arabica* L., variedad Cenicafé 1, provenientes de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), recolectados en la cosecha principal del año 2020. Se utilizaron frutos maduros de café, los cuales se beneficiaron por vía seca en la sede de Cenicafé – Planalto, cuyas condiciones para el año 2020 fueron: altitud 1.413 m, temperatura mínima 17,3°C, temperatura máxima 26,8°C, temperatura media 21,4°C y humedad relativa

de 79,4%. La unidad experimental estuvo conformada por 50 kg de café cereza, para cada tratamiento se tuvieron cinco repeticiones. La evaluación de los tratamientos se realizó con el diseño bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fue la masa de café maduro cosechado en cinco momentos diferentes. Los frutos de café recibidos fueron clasificados hidráulicamente, eliminando frutos de menor densidad; posteriormente se eliminaron los frutos inmaduros, pintones y secos, dejando solo frutos maduros.

Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados fueron:

- Secado al sol 100% (S).
- Secado mecánico 100% (M).
- Secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M).
- Secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40%, finalizando con secado solar (M40S).

Todos los tratamientos finalizaron cuando el porcentaje de humedad final del café estuvo entre el 10% al 12%. Para el secado solar se empleó una pasera solar con 2 cm de capa, con frecuencia de cuatro volteos al día y para el secado mecánico se utilizó una temperatura de aire de secado de 40°C con una capa de 10 cm.

Secado del café

Para todas las unidades experimentales se determinó el contenido inicial de humedad de los frutos maduros por el método estándar de la estufa, según la ISO 6673 a 105°C (ISO, 2003). Para cada unidad experimental el valor correspondió al promedio de tres mediciones.

Después de determinado el contenido inicial de los frutos, se estimaron los pesos de los frutos necesarios para alcanzar la humedad de cambio de los procesos de secado; para esto se aplicó la Ecuación <1> de secado (Jurado et al., 2009). El contenido promedio de humedad inicial (Chi) de las unidades experimentales evaluadas fue del 68% y el contenido humedad de cambio fue del 40%. Para lo anterior, se calculó el peso del café para ese contenido de humedad, y por monitoreo constante cuando se alcanzaba la reducción necesaria se realizaba el cambio de secado solar a mecánico y viceversa. Esta misma ecuación se utilizó para determinar el peso del café para el porcentaje final de humedad del 10% al 12%.

$$Chf = \left[1 - \frac{P_i (1 - Chi)}{P_f} \right] 100 \quad <1>$$

Donde:

Pi: masa inicial del café, g

Chi: contenido inicial de humedad, %, base húmeda (68%)

Pf: masa final, g

Chf: contenido final de humedad estimada

Durante el proceso de secado se monitoreó la pérdida de peso de los frutos de café, lo que permitió construir las curvas de secado; de igual manera y de forma complementaria se determinó el parámetro actividad de agua, para verificar su comportamiento con respecto a la disminución del porcentaje de humedad. Para este parámetro se utilizó el equipo medidor de aw Lab Master Neo – Novasina, con método manual, donde el equilibrio del valor no es limitado por el tiempo de medición y la estabilidad de la lectura se alcanzaba cuando la variación no superaba ±0,003 durante dos minutos con control de temperatura de medición (25°C).

Calidad física, sensorial y composición química

En el análisis de la calidad física de la cereza seca se midió el contenido de humedad de la cereza y la almendra, por método directo, así como el porcentaje de merma (incluido el peso de la cáscara seca), pasilla, granos negros y vinagres, granos brocados y porcentaje de almendra sana (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). A diferencia del café pergamino seco, el porcentaje de los diferentes granos defectuosos se valoró con respecto a la almendra total después de trillada y no con respecto a la masa inicial del café cereza seco.

Para cada uno de los tratamientos y unidades experimentales, se realizó la evaluación sensorial con el protocolo SCA (Specialty Coffee Association SCA, 2003). Este protocolo incluye procedimientos de preparación: tueste del grano, colorimetría, proporción de café, granulometría, temperatura y calidad del agua, además de temperaturas de análisis, con la participación de cinco catadores certificados Q- Grader por el CQI (Coffee Quality Institute), que pertenecen al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Con esta metodología se registraron diez atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador, defectos y total. La calidad sensorial expresada como puntaje total SCA, fue la variable de respuesta.

La determinación de la composición química se realizó mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para estimar los contenidos de cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina presentes en el café verde de las muestras obtenidas. Las muestras de café almendra se analizaron en el rango de longitud de onda de

680–2.500 nm en un instrumento monocromador (NIRS model 6500, NIRSystems, Silver Spring, Maryland, USA) (Gómez, et al. 2021).

Análisis de la información

Para cada tratamiento, se estimaron los promedios y error estándar, tanto de la variable de respuesta como de las variables complementarias. Se realizó el análisis de varianza con el diseño experimental bloques completos al azar, al 5%, con la variable de respuesta. Cuando hubo efecto de tratamientos, se aplicó el test de Bonferroni 5%, para identificar el tratamiento con mayor puntaje total y la relación con la composición química. Para la determinación de la diferencia de los contenidos de humedad del café natural se utilizó la prueba t de muestras emparejadas al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para garantizar la homogeneidad de la materia prima en todas las repeticiones se realizó clasificación hidráulica asegurando las mismas condiciones de operación para las unidades experimentales, para descartar frutos de menor densidad y/o muy brocados. Adicionalmente, se realizó la selección por color de frutos pintones de forma manual, para asegurar que los frutos estuvieran 100% maduros. En la Tabla 1 se presenta el tiempo promedio de secado en días de cada uno de los tratamientos. Las condiciones ambientales en el período en el cual se desarrolló el secado solar fueron: temperatura mínima 18,1°C, temperatura máxima 27,1°C, temperatura media 21,9°C y humedad relativa de 82,2%.

El secado al sol 100% (S) tardó más tiempo con relación a los demás tratamientos (Tabla 1) y es un 38,6% superior al mecánico 100% (M), sin embargo, el análisis de varianza no presentó diferencias significativas en la duración del

Tabla 1. Promedio, máximo y mínimo del tiempo de secado en días, para cada tratamiento.

Tratamiento	Promedio (días)	Máximo (días)	Mínimo (días)
S: 100 % solar	14	17	9
M: 100 % mecánico	8,6	11	5
S40M: Solar y mecánico	11,4	15	8
M40S: Mecánico y solar	12,6	17	9

secado de los tratamientos evaluados ($P > 0,05$), posiblemente asociado a la temperatura de secado utilizada en los tratamientos con secado mecánico ($40 \pm 5,0^\circ\text{C}$). El secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M) gastó un 9,5% menos de tiempo que el secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40%, finalizando con secado solar (M40S). Esta diferencia de tiempo a favor del S40M está asociada a la naturaleza del proceso de secado, pues en la etapa final se necesita un mayor gradiente entre la temperatura del aire y del grano para facilitar la migración del agua del grano. Durante la última etapa de secado este gradiente es mayor en el tratamiento asociado a la finalización con secado mecánico.

En la Figura 1 se presentan las curvas de secado para todos los tratamientos. El tiempo de secado finalizó cuando el café alcanzó una humedad del $11\% \pm 1\%$. En el día 5, los tratamientos M y S40M habían disminuido en un 37,9% la humedad inicial, muy similar a los tratamientos S y M40S con una disminución del 37,4%. La diferencia de tiempo entre tratamientos se marca en los días posteriores a este día de secado y se debe a que un mayor gradiente de temperatura en los tratamientos M y S40M en comparación con los tratamientos S y M40S, hace que disminuir la humedad promedio del grano en el día 5 de 31,2% hasta el rango del 10% al 12%, presente diferencias de hasta 10 días

para secado al sol 100%. El tratamiento S40M tomó 4 días para alcanzar un promedio de humedad del 40,10%; en este mismo tiempo los tratamientos S y M alcanzaron contenidos de humedad promedio de 44,10% y 32,70% respectivamente. El tratamiento M40S alcanzó una humedad promedio de 40,5% en tres días de secado y en este mismo periodo los tratamientos S y M alcanzaron valores de 53,70% y 48,10%.

Actividad de agua

La actividad de agua es una propiedad termodinámica de los alimentos que está relacionada con la disponibilidad potencial del agua para participar en reacciones químicas, bioquímicas y en el desarrollo microbiano (Labuza, 1980). El valor de esta propiedad varía entre 0 y 1; los alimentos con actividad de agua inferior a 0,7 son poco susceptibles a la mayoría de las causas de deterioro físico, químico o biológico. En la Figura 2 se observa, por tratamiento, el comportamiento de esta variable desde el fruto de café cereza con una humedad del 68% y una actividad de agua (a_w) promedio de 0,9848 hasta el café almendra con un contenido de humedad en el rango del 10% al 12% y una a_w promedio de 0,5857.

Como parte de las estrategias de poscosecha en café se tiene la disminución inmediata y continua del contenido de humedad y la conservación de este nivel en la cadena de

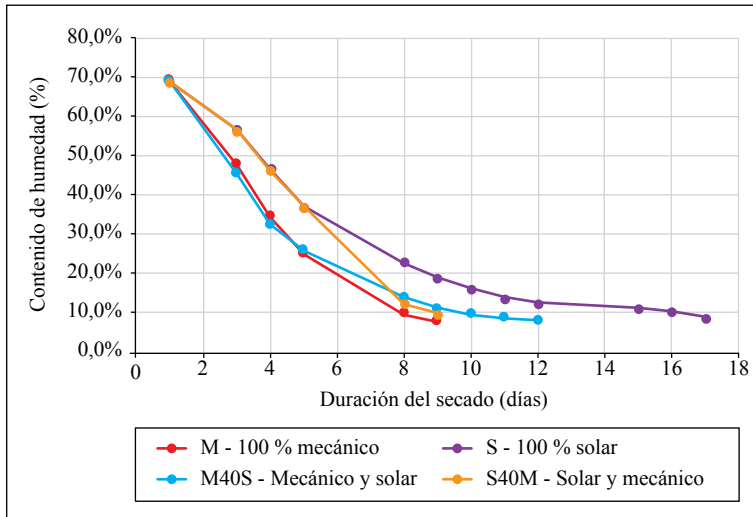


Figura 1. Duración del tiempo de secado según el tratamiento aplicado.

comercialización, puesto que altos contenidos de humedad generan altos valores de actividad de agua (Oliveira et al., 2019).

Valores de a_w que oscilan entre 0,935 y 0,965 y temperaturas de 25 a 32°C son óptimas para el crecimiento de *Aspergillus carbonarius*, mientras que para *Aspergillus ochraceus* los intervalos de a_w son de 0,940 a 0,990 y temperaturas entre 21 y 30°C. Las condiciones en las que las cepas muestran el mayor índice de riesgo de Ocratoxina A (OTA) son las siguientes: para *A. carbonarius*, a_w entre 0,95 y 0,99 y temperaturas entre 22 y 32°C; para *A. ochraceus*, a_w entre 0,97 y 0,99 y temperaturas entre 25 y 30°C (Oliveira et al., 2019). La reducción de la actividad de agua en los primeros cinco días de secado, a valores cercanos a 0,7, disminuye el riesgo de crecimiento de microorganismos productores de OTA. De forma similar, Puerta (2006) encontró para cafés lavados con capas de secado de 2,0 cm, que el riesgo para la producción de OTA es de cinco días. También reporta para cafés lavados que valores de a_w de 0,83 y 0,87 corresponden a porcentajes de humedad del grano del 18% a 28%. Además, en este

estudio para café natural se encontró que para este rango de humedad, medido a 25°C, corresponde a un valor promedio de a_w de 0,6668. El proceso de secado que asegura bajos valores de actividad de agua disminuye la probabilidad de producción de toxinas, aunque por otro lado a_w muy bajas pueden generar inconvenientes en el proceso de tueste, al impactar la movilidad de los reactantes de la reacción de Maillard.

Calidad física

Para cada muestra, los contenidos finales de humedad del café fueron estimados empleando el método de la estufa (ISO 6673), en la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos. Inicialmente, al café cereza seco (ccs) se le retiró el pericarpio seco mediante la trilla, dejando el café almendra, y se determinó nuevamente el contenido de humedad, lo anterior con el objetivo de cuantificar las diferencias de la medición. El promedio de la diferencia de humedad fue de 2,2% a favor del café cereza seco con un intervalo de diferencias entre 1,3% y 3,1%. Dicha diferencia, fue estadísticamente mayor de cero ($P < 0,0001$), según prueba t

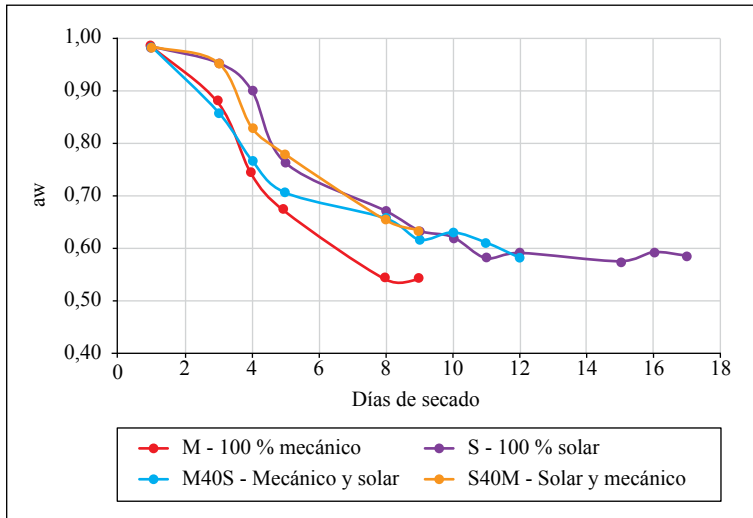


Figura 2. Promedio de los valores de actividad de agua para todos los tratamientos durante el secado.

de muestras emparejadas al 5%, indicando mayor humedad cuando se mide en el café cereza seco con respecto al café almendra. La pulpa de café está compuesta, entre otros, por azúcares reductores (5,4% de la pulpa seca-ps), proteínas (9,4% ps) y pectinas (20,5% ps) (Rodríguez et al., 2020), esta última podría ser la responsable de la alta higroscopicidad de la pulpa y explicar estas diferencias de humedad. En café pergamino seco sucede un fenómeno similar, aun cuando las diferencias no son tan grandes, la diferencia promedio es de 0,21% con un intervalo de diferencias entre 0,14% y 0,27%, indicando mayor humedad

cuando se mide en el café verde con respecto al café pergamino seco.

Las variables de calidad física determinadas para el café natural, son diferentes a los valores recomendados para café obtenido por un proceso de lavado. El porcentaje de merma se refiere a la cantidad de pergamino que tiene el grano seco. Para este tipo de procesamiento, donde la cáscara (conocida como pulpa) queda adherida al grano de café almendra, los valores son mayores a los que se reportan para el café lavado (Figura 3). El café lavado tiene un porcentaje promedio de

Tabla 2. Contenidos de humedad del café cereza seco y almendra de café naturales sometidos a cuatro tratamientos de secado.

Tratamiento	Café cereza seco		Café almendra		Diferencia
	Prom.	Desv. Estándar	Prom.	Desv. Estándar	
S: 100 % solar	13,80%	1,30%	11,40%	0,90%	2,4%
M: 100 % mecánico	12,30%	1,90%	10,50%	1,80%	1,8%
S40M: Solar y mecánico	12,83%	0,27%	10,77%	0,75%	2,1%
M40S: Mecánico y solar	14,10%	0,90%	11,40%	1,00%	2,7%

merma del 19%, mientras que el promedio de merma de los cafés naturales evaluados en esta investigación, con doble clasificación previa al secado, fue de 54,94%, y esta variable no tuvo efecto de tratamientos. Para la determinación del porcentaje de los granos defectuosos y los granos sanos se realizaron los cálculos con respecto a la muestra de café almendra, sin impurezas, después de la trilla. En el caso del café natural, el color general de la muestra presenta un ligero cambio en las tonalidades del verde característico del café lavado y se observa más cubierto por el endospermo. En ocasiones se torna ligeramente amarillento y/o rojizo lo que no podría definirse como un defecto físico si no

como una característica propia del proceso, debido probablemente a la migración de antocianinas desde el exocarpio al endospermo (Puertas-Mejía et al., 2012).

Los principales defectos físicos fueron vinagres totales. Además, la proporción de almendras defectuosas o pasillas fue de 4,1%, encontrando el máximo valor de 5,1% en el tratamiento con secado mecánico 100% (M) y el mínimo en el tratamiento S40M con un valor de 3,3%. La proporción de almendra sana se reporta como la cantidad de granos sanos sin tener en cuenta la merma, con un promedio de 90,61% de almendra sana en todos los tratamientos de secado (Tabla 3).

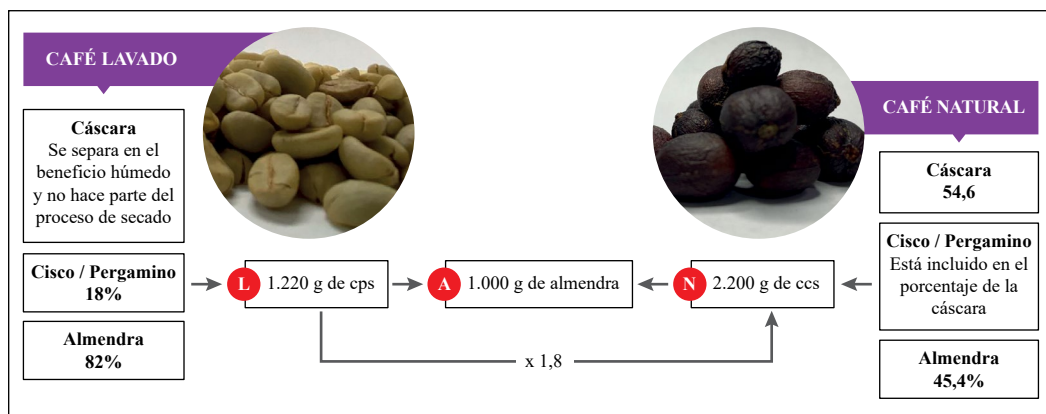


Figura 3. Composición del grano de café lavado y de café natural; cps: café pergamino seco; ccs: café cereza seco.

Tabla 3. Promedio y desviación estándar para las variables físicas del café natural por tratamiento de secado.

Variable	S		M		S40M		M40S	
	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.
Merma* (%)	54,6%	3,4%	55,9%	3,1%	54,1%	2,3%	55,4%	4,5%
Almendra defectuosa (%)	3,6%	1,9%	5,1%	1,8%	3,3%	0,7%	4,3%	1,1%
Broca (%)	4,9%	1,2%	6,0%	1,1%	5,4%	2,0%	4,9%	1,3%
Almendra sana** (%)	91,5%	2,8%	88,9%	2,8%	91,2	1,4%	90,85%	1,9%

*Incluye la cáscara; **Calculada con respecto al peso total de la almendra.

Calidad sensorial

Las muestras de todos los tratamientos presentaron calidad libre de defectos sensoriales. El tratamiento con secado mecánico 100% (M) obtuvo el valor promedio máximo de los atributos fragancia/aroma, sabor, sabor residual y balance, el tratamiento con secado solar 100% (S) obtuvo el promedio máximo para el atributo de acidez (Tabla 4). Oliveira et al. (2013), encontraron los valores más altos de los atributos de equilibrio e impresión general en café natural secado en patio y los valores más bajos de estos atributos en el tratamiento de secado con temperaturas de 40/60°C, lo que indica un posible daño a los componentes que expresan las características sensoriales. En este estudio los atributos sabor, sabor residual, acidez, balance y cuerpo no presentaron diferencias

por tratamientos, lo anterior puede ser explicado por las temperaturas utilizadas, que para el caso de los tratamientos que incluían secado mecánico no fueron superiores a 40°C, lo que evitó variaciones sustanciales en el grano que se reflejaran en la calidad sensorial.

El análisis de varianza presentó efecto para la variable fragancia/aroma, el secado mecánico 100% mostró el mayor promedio de fragancia/aroma (Tabla 5, Figura 4), el análisis de datos incorporó el test de Bonferroni que permite realizar comparaciones múltiples en intervalos cortos y comparar las medias de los niveles de un factor, después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante el análisis de varianza (Figura 4). Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 4. Promedio de los atributos sensoriales del café natural en los tratamientos de secado probados.

Tratamiento	Sabor	Sabor residual	Acidez	Balance
S: 100% solar	7,53	7,40	7,58	7,52
M: 100% mecánico	7,58	7,52	7,55	7,57
S40M: Solar y mecánico	7,48	7,43	7,55	7,48
M40S: Mecánico y solar	7,52	7,42	7,52	7,50
General	7,53	7,44	7,55	7,52

Tabla 5. Promedios de las variables fragancia/aroma del café natural por tratamiento de secado evaluado.

Tratamiento	Fragancia/Aroma		
	Promedio	Bon grouping	Desv. Est.
M: 100% mecánico	8,016	A	0,189
S40M: Solar y mecánico	7,752	B	0,102
S: 100% solar	7,716	B	0,142
M40S: Mecánico y solar	7,700	B	0,094

FR_AR Bonferroni Grouping for Means of TTO (Alpha = 0.05)

Means covered by the same bar are not significantly different.

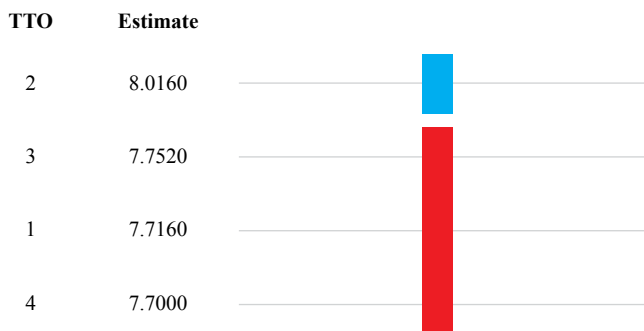


Figura 4. Comparación de medias de la variable fragancia/aroma del café natural sometido a cuatro tratamientos de secado, mediante el test Bonferroni.

En general, para los cafés procesados vía seca y con cambios en el orden de secado se obtuvo un promedio de puntaje total SCA de 82,9 puntos con un valor máximo de 84,92 puntos en el tratamiento secado mecánico 100% (Tabla 6). No hubo diferencias según el análisis de varianza para el puntaje total SCA obtenido entre tratamientos, y la hipótesis de investigación no fue corroborada puesto que los tratamientos S40M y M40S no presentaron diferencias mayores en el puntaje total SCA con respecto a los tratamientos S y M. Todas las muestras reflejaron los descriptores de sabor

asociados al café natural: frutos rojos, notas vinosas, uvas, arándanos y arazá, entre otros.

Los atributos sensoriales de acidez y cuerpo presentan un comportamiento similar a los reportados por Oliveira et al. (2013), quienes para cafés naturales con diferentes temperaturas de procesamiento no obtuvieron diferencias, y en este estudio la combinación de los procesos de secado no presentaron diferencias con respecto al secado solar 100% (S) y mecánico 100% (M). Estos autores también reportan que los cafés naturales secados con aire a temperaturas

Tabla 6. Promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y error estándar para el puntaje total SCA del café natural en los tratamientos de secado probados.

Tratamiento	Promedio	Máximo	Mínimo	Dev. Est.	Error Est.
S: 100% solar	82,82	84,08	81,92	0,82	0,37
M: 100% mecánico	83,38	84,92	81,75	1,13	0,50
S40M: Solar y mecánico	82,70	84,42	81,75	1,06	0,47
M40S: Mecánico y solar	82,68	84,08	81,75	0,98	0,44
Total general	82,90	84,92	81,75	0,97	0,20

altas mostraron valores más bajos de acidez y cuerpo, comparados con los cafés secados en el patio, indicando inferior calidad sensorial de estos cafés. En cuanto al análisis sensorial, las diferencias significativas para la mayoría de los atributos sensoriales evaluados se dan cuando se compara el beneficio seco con el húmedo. Ferreira et al. (2013), definieron que el café lavado presenta calificaciones superiores que los cafés naturales, exceptuando el atributo de dulzura.

Composición química

Los valores promedios máximos de los compuestos químicos se encontraron en los tratamientos de la siguiente manera: solar

100% (S), ácido graso oleico; mecánico 100% (M), trigonelina, ácidos clorogénicos totales y lípidos; secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M), ácido graso esteárico, y café secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% finalizando con secado solar (M40S), cafeína, sacarosa y ácidos grasos linoleico y araquídico (Tabla 7).

Los valores promedio de la sacarosa superan el rango reportado para café arábica lavado, lo cual se debe al proceso de beneficio seco. Ferreira et al. (2013) reportan porcentajes promedios de azúcares reductores de diferentes regiones de Brasil de 0,52 y 0,29 para café

Tabla 7. Promedios de los compuestos químicos (%) del café natural bajo cuatro procesos de secado, mediante la técnica NIRS.

Compuesto (%)		S	M	S40M	M40S
		100% Solar	100% mecánico	Solar+Mec	Mec+Solar
Cafeína	Promedio	1,24	1,26	1,24	1,26
	Desv. Est.	0,04	0,06	0,06	0,06
Trigonelina	Promedio	0,93	0,94	0,94	0,93
	Desv. Est.	0,02	0,02	0,02	0,02
Ácidos clorogénicos totales	Promedio	7,22	7,18	7,11	7,15
	Desv. Est.	0,13	0,30	0,22	0,25
Sacarosa	Promedio	9,52	9,64	9,59	9,65
	Desv. Est.	0,29	0,45	0,31	0,23
Lípidos	Promedio	10,81	10,63	10,75	10,70
	Desv. Est.	0,32	0,61	0,41	0,54
A. G. Linoleico	Promedio	45,15	45,22	45,14	45,16
	Desv. Est.	0,50	0,61	0,22	0,88
A. G. Oleico	Promedio	9,97	10,21	11,02	10,21
	Desv. Est.	0,81	1,48	0,85	1,18
A. G. Esteárico	Promedio	7,94	7,79	7,86	7,93
	Desv. Est.	0,67	0,88	0,97	0,72
A. G. Araquídico	Promedio	1,97	1,97	1,90	2,03
	Desv. Est.	0,36	0,39	0,34	0,33

natural y lavado, respectivamente, mientras que para azúcares no reductores 6,87 y 0,52 respectivamente. Según Knopp et al. (2005), el análisis cuantitativo de los azúcares reductores en los granos de café verde reveló que los cafés con procesamiento en seco tenían contenidos relativamente más altos que los cafés procesados vía húmeda. Los valores promedios de cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales y sacarosa concuerdan con lo reportado para cafés naturales por Scholz et al. (2019), con datos promedios de 1,23%-1,22%; 1,19%-0,6%; 7,9%-8,06% y 8,36%-9,43% respectivamente. Por otro lado, el comportamiento de los lípidos difiere a los encontrados en este estudio con valores de 13,55%-13,49%; esto puede estar asociado a las diferentes variedades utilizadas. Echeverri et al. (2020), encontraron en variedades mejoradas de Colombia valores de contenidos de lípidos en el rango comprendido entre 10,7% – 12,2%. Mientras que Puerta (2013b), reportó para la variedad Colombia fruto amarillo contenidos de 13,07% y para Colombia fruto rojo de 14,27%.

El análisis de varianza presentó efecto para el ácido graso palmítico presente en el café obtenido con los cuatro tratamientos de secado (Tabla 8). El test de Bonferroni mostró que el contenido de este ácido graso fue mayor en el secado 100% solar (S) con relación al

100% mecánico (M) (Figura 5). Los valores promedios coinciden con los reportado por Echeverri et al. (2020), donde el ácido palmítico fue el ácido graso más abundante presente en la fracción lipídica del café verde, y representó entre el 38,7%–40,5%; según estos mismos autores este ácido es discriminador potencial de la calidad del café, puesto que una de las características deseables de la presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga es que aportan sabor y textura. Los ácidos grasos tienen un papel fisiológico fundamental, dado que constituyen y garantizan las propiedades de las membranas celulares (Carta et al., 2017). El palmítico se configura como uno de los ácidos grasos mayoritarios y una mayor concentración en el secado solar podría estar asociado a la necesidad de protección de las membranas celulares como respuesta a condiciones de secado más fluctuantes, en comparación con el secado mecánico donde estas son más homogéneas y constantes.

En este estudio puede concluirse que:

Diferentes actores de la cadena de comercialización de café se encuentran en la búsqueda constante de cafés con perfiles sensoriales diferenciados, que permitan su posicionamiento en el segmento de cafés de alta calidad. Para lograr lo anterior, se están pagando primas adicionales a cafés

Tabla 8. Promedios de ácido graso palmítico de cafés naturales por tratamiento de secado evaluado.

Tratamiento	Ácido graso palmítico (%)		
	Promedio	Bon grouping	Desv. Est.
S: 100% solar	40,1194697	A	0,42960516
S40M: Solar y mecánico	39,7747088	B A	0,25606648
M40S: Mecánico y solar	39,4349576	B A	0,74681740
M: 100% mecánico	38,6970047	B	0,78261827

Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

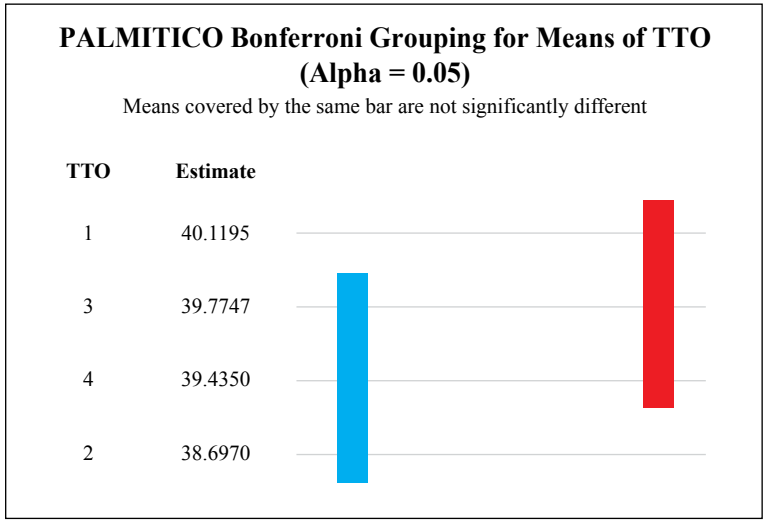


Figura 5. Comparación de los valores promedio del ácido graso palmítico del café natural sometido a cuatro tratamientos de secado, mediante el test Bonferroni.

procesados de manera no tradicional y es en este sentido que exploran en la búsqueda de café con descriptores sensoriales característicos del proceso de cafés naturales. Este estudio genera información que puede dar bases a los productores para el desarrollo del beneficio seco y la obtención del café natural en la finca. Se determinaron las características del proceso, las diferencias sensoriales y la composición química de algunos compuestos del café natural, al ser sometido a diferentes combinaciones de los procesos de secado, buscando avanzar en el desarrollo y conocimiento de este tipo de proceso en las condiciones del sistema productivo colombiano.

El secado al sol 100% (S) tomó más tiempo de secado con relación a los demás tratamientos de secado probados, fue un 38,6% más largo que el mecánico 100% (M) y un 50% más que el secado solar de café lavado, que puede tomar en promedio 7 días. La diferencia con el secado mecánico está asociada a que este último tiene un mayor gradiente de temperatura durante la última etapa de secado y con respecto al café lavado, este implica la eliminación de la cáscara en el beneficio húmedo, lo que

facilita la eliminación del agua al no ser esta una barrera a la que también debe reducirse su contenido inicial de agua de un 78,38% a un 16,8% en promedio.

Después de secado el fruto de café, el promedio de la diferencia de humedad entre el café cereza seco (ccs) y su almendra fue de 2,2% a favor del café cereza seco, con un intervalo de diferencias entre 1,3% y 3,1%. Dicha diferencia, indica mayor humedad cuando se estima en el café cereza seco con respecto al café almendra. Lo anterior está asociado al contenido de humedad superior de la cáscara seca (16,8%) cuando el café cereza seco se encuentra en el intervalo del 10% al 12% de humedad, explicado por la alta higroscopicidad de la pulpa debido a su contenido de pectina y azúcares (entre otras sustancias).

Las muestras de todos los tratamientos presentaron calidad libre de defectos sensoriales. En este estudio los atributos sabor, sabor residual, acidez, balance y cuerpo no presentaron diferencias por tratamientos; lo anterior puede ser explicado por la selección y clasificación previa de la materia prima realizada en todos

los tratamientos y a las temperaturas utilizadas, que para el caso de los tratamientos que incluían secado mecánico no fueron superiores a 40°C, lo que evitó daños en el grano que se reflejaran en la calidad sensorial.

Se evidenció que el cambio del orden en la combinación de los procesos de secado no genera diferente calidad sensorial del café natural, y no se encontró incidencia de la combinación del secado mecánico y solar en el puntaje total SCA. En general, para los cafés procesados vía seca y con cambios en el orden de secado, se obtuvo un promedio de puntaje total SCA de 82,9 puntos con un valor máximo de 84,92 puntos en el tratamiento secado mecánico 100% (M). No obstante, aunque sensorialmente no se evidenció diferencia, debe realizarse una revisión desde las implicaciones de cada uno de los tipos de secado. El secado solar tiene una mayor dependencia de las condiciones de clima y esto genera mayores tiempos de duración del proceso que a su vez implican mayores áreas de secado en la finca. En Colombia, los caficultores con promedios de producción inferiores a 200 arrobas de cps al año pueden realizar el secado del café lavado de manera solar (Oliveros et al., 2006), para secar 60 kg de café lavado requieren un área de 3,3 m². Cuando se realiza el proceso para obtener cafés naturales se lleva al área de secado un peso adicional promedio de 58,2% asociado a la pulpa y al mucílago. Un estimado inicial de área de secado para

obtener la misma cantidad de almendra sana proveniente de 54,9 kg de ccs es de 5,2 m² (2,3 veces más). Esta área fue calculada realizando una corrección por densidad del fruto y por el tiempo adicional de secado, que es aproximadamente un 50% más, comparado con la duración del secado de un café lavado, bajo las condiciones climáticas en las que se desarrolló la investigación y en el tipo de secadores solares utilizados.

El desarrollo de actividades enfocadas a determinar el efecto de los procesos poscosecha en la calidad sensorial y en la composición química del café incrementa el conocimiento que permite una mejor toma de decisiones y acciones, que de manera oportuna apoyan a los caficultores para avanzar en el cumplimiento de los parámetros de comercialización de café. El procesamiento del café debe tener una visión beneficio/costo donde se incluya el valor de los tiempos y actividades adicionales, que permita tener una verdadera valoración de la rentabilidad al realizar procesos diferentes a los tradicionalmente realizados.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Álvaro Gaitán Director de Cenicafé, a los compañeros de Cenicafé Claudia Gallego, Claudia Rocío Gómez, Paola Calderón, Wilson Vargas, Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López, John Félix Trejos, Rubén Medina y Cesar Osorio. Al personal de apoyo Víctor Castañeda.

LITERATURA CITADA

Alves, G. E., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Siqueira, V. C., Cirillo, M. Â., & Pinto, A. C. F. (2017). Physiological and sensorial quality of Arabica coffee subjected to different temperatures and drying airflows. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2), 225–233. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.31065>

Borém, F. M., Coradi, P. C., Saath, R., & Oliveira, J. A. (2008). Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1609–1615. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500038>

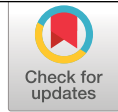
- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Oliveira, P. D., Ribeiro, F. C., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. da S. (2014). Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. *Bioscience Journal*, *30*(2), 609–616. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18209>
- Carta, G., Murru, E., Banni, S., & Manca, C. (2017). Palmitic Acid: Physiological Role, Metabolism and Nutritional Implications. *Frontiers in Physiology*, *8*, 902. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00902>
- Clifford, M. N. (1985). Chemical and Physical Aspects of Green Coffee and Coffee Products. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage* (pp. 305–374). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_13
- Coradi, P., Borém, F., Saath, R., & Marques, E. (2007). Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. *Coffee Science*, *2*(1), 38–47. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/37>
- Echeverri-Giraldo, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, *71*(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Ferreira, G. F. P., Novaes, Q. S., Malta, M. R., & Souza, S. E. (2013). Quality of coffee produced in the Southwest region of Bahia, Brazil subjected to different forms of processing and drying. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(20), 2334–2339. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7038>
- Finzer, J. R. D., Sfredo, M. A., Sousa, G. D. B., & Limaverde, J. R. (2007). Dispersion coefficient of coffee berries in vibrated bed dryer. *Journal of Food Engineering*, *79*(3), 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.011>
- Guimarães, A. C., Berbert, P. A., & Silva, J. S. (1998). Ambient-Air Drying of Pre-Treated Coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Agricultural Engineering Research*, *69*(1), 53–62. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0222>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). *NTC 2324: Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2003). *Green coffee — Determination of loss in mass at 105 degrees C*. (ISO Standard No.6673:2003). <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Isquierdo, E. P., Borém, F. M., Andrade, E. T., Corrêa, J. L. G., Oliveira, P. D., & Alves, G. E. (2013). Drying Kinetics and Quality of Natural Coffee. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, *56*(3), 1003–1010.
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & Garcia, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, *60*(2), 135–147. <http://hdl.handle.net/10778/188>
- Knopp, S., Bytof, G., & Selmar, D. (2006). Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*, *223*(2), 195–201. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1>
- Labuza, T. P. (1980). The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, *34*(4), 36–59.
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. S., Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality. *Coffee Science*, *8*(2), 211–220. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/414>
- Oliveira, G., Evangelista, S. R., Passamani, F. R. F., Santiago, W. D., Cardoso, M. G., & Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT*, *102*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. S., Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality. *Coffee Science*, *8*(2), 211–220. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/414>
- Oliveros, C., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Peñuela, A. E. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. *Avances Técnicos Cenicafé*, *35*(3), 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Ospina, J. E., Álvarez Mejía, F., & Roa Mejía, G. (1991). Evaluación de un secador intermitente de flujos concurrentes (IFC) para café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *44*(1–2), 51–79. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28478>

- Parra, A., Roa, G., Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2017). *Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Puerta, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Revista Cenicafé*, 50(1), 78–88. <http://hdl.handle.net/10778/58>
- Puerta, G. I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 352, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Puerta, G. I. (2013a). Calidad del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 3, pp. 81–110). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_30
- Puerta, G. I. (2013b). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Puertas-Mejía, M. A., Rivera-Echeverry, F., Villegas-Guzman, P., Rojano, B. A., & Peláez, C. (2012). Comparación entre el estado de maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.), el contenido de antocianinas y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(4), 360–367.
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Álvarez, J. R., Dávila, M. T., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/882>
- Rodríguez, R., Sánchez, J., & Ros, J. M. (2020). Evaluation of coffee pulps as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(2), 117–124. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i2.2068>
- Scholz, M. B., Prudencio, S. H., Kitzberger, C. S. G., & Silva, R. S. (2019). Physico-chemical characteristics and sensory attributes of coffee beans submitted to two post-harvest processes. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 831–839. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9995-x>
- Silva, J. N., Martin, S., Donzeles, S. M. L., Zanatta, F. L., & Bezerra, M. D. C. (2010, June 13–17). Quality of the pulped cherry coffee subjected to continuous and intermittent drying. *XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. Québec, Canada. <https://library.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100965.pdf>
- Specialty Coffee Association SCA. (2003). *Cupping Protocols*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Wintgens, J. N. (2004). Factors Influencing the Quality of Green Coffee. En J. N. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 789–809). Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch29>

EFFECTO DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE TUESTE EN LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Pabón Usaquén *

Osorio, V., & Pabón, J. (2022). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73102. <https://doi.org/10.38141/10778/73102>



La expresión del sabor y los atributos sensoriales del café se logran mediante el proceso térmico de tueste, este hace posible que al interior del grano se generen diferentes reacciones donde la composición química es crucial para manifestar la calidad lograda durante el proceso productivo. En esta investigación se evaluó el efecto de la interacción temperatura inicial y tiempo de tueste en la calidad sensorial de seis variedades mejoradas de café: Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® Naranjal, Castillo® Pueblo Bello, Castillo® El Tambo y Tabi. Se generaron cinco curvas de tueste por variedad. La curva base tuvo como temperatura inicial 200°C (CB), dos curvas con incrementos de temperatura a 215°C (I-15) y 230°C (I-30), y dos curvas con disminución de la temperatura de la curva base de tueste a 185°C (D-15) y 170°C (D-30). El tiempo final de tueste fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA para tostado. Los tiempos de tueste oscilaron entre 8 y 12 minutos, obteniéndose los mayores tiempos de tueste en el tratamiento D-30, con un promedio de 11,47 minutos, y los menores se presentaron en el tratamiento I-30 con un promedio de 8,39 minutos. La interacción de la temperatura inicial de tueste y la variedad tuvo efecto en el tiempo total del proceso, mientras que los atributos sensoriales fragancia/aroma, sabor y puntaje total presentan efecto solo por la variedad.

Palabras clave: Calidad, temperatura, tiempo, fragancia, acidez, cuerpo.

EFFECT OF ROASTING TEMPERATURES AND TIMES ON COFFEE SENSORY QUALITY

Flavor and the sensory attributes of coffee are formed through roasting, which makes it possible to generate different reactions inside the bean where the chemical composition is crucial to achieve quality during the production process. This research evaluated the effect of the initial temperature and roasting time interaction on the sensory quality of six improved coffee varieties: Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® Naranjal, Castillo® Pueblo Bello, Castillo® El Tambo and Tabi. Five roasting curves per variety were generated. The base curve had an initial temperature of 200°C (CB), two curves with temperature increases at 215°C (I-15) and 230°C (I-30), and two curves with temperature decreases of the base roasting curve at 185°C (D-15) and 170°C (D-30). The final roasting time was defined by the color of the grain 55-65 on the AGTRON/SCA scale for roasting. The roasting times ranged from 8 to 12 minutes, the highest roasting times were obtained in the D-30 treatment with an average of 11.47 minutes and the lowest occurred in the I-30 treatment with an average of 8.39 minutes. The interaction of the initial roasting temperature and the variety had an effect on the total time of the process, while the sensory attributes fragrance/aroma, taste and total score only had effect for the variety.

Keywords: Quality, temperature, time, fragrance, acidity, body.

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



Durante el proceso de tueste se generan diversas reacciones de los compuestos químicos del grano, lo que permite el desarrollo de las características sensoriales del café y la producción de cientos de compuestos volátiles y sustancias de sabor que el café almendra no posee inicialmente. Para lo anterior, el grano debe ser sometido a temperaturas que varían en el rango entre 100 y 200°C. Durante este proceso, los granos aumentan en volumen (50%-80%), se produce una pérdida de peso del 11%-20%, su estructura se vuelve frágil y el color verde es reemplazado por un tono marrón (Belitz & Grosch, 2009).

El control del proceso de tostado es muy importante, debido a que cualquier desviación de la condición de temperatura y tiempo podría generar un producto de baja calidad percibida por el consumidor. Aunque los controles de temperatura pueden permanecer en el nivel óptimo definido y pueden ser regulados automáticamente, el tiempo durante el cual los granos son sometidos al calor debe ser controlado cuidadosamente por el tostador, quien generalmente se guía por el color de los granos tostados (Clarke & Macrae, 1985). Las variables más comunes para el control del tueste son: el tiempo, la pérdida de peso y las diversas mediciones de color como son la luminosidad y la escala Agtron (Dias & Benassi, 2015). El peso de los granos antes y después del tueste suele ser objeto de un control continuo, puesto que la pérdida de peso no es solamente un factor económico importante, sino que esa medición es un indicador relevante del grado de tueste. Así, el café puede sufrir una pérdida de peso del 18% o más, mientras que, para un tueste muy ligero dicha pérdida podría tener un valor del 12% (Clarke & Macrae, 1985). En cuanto a la temperatura inicial de tostado, no hay consenso en los valores de temperatura inicial de tueste; sin embargo, la metodología estandarizada por la SCA (Specialty Coffee Association SCA, 2003), recomienda una temperatura

de 200°C; adicionalmente Schenker (2000) y Heriyanti (2019) reportaron que valores de 200°C permiten las reacciones químicas deseables como la reacción de Maillard y la pirólisis; sin embargo, valores mayores a 300°C pueden generar daños estructurales irreversibles en el grano.

La generación de los compuestos del café tostado y las modificaciones sustanciales producidas por la temperatura se deben a dos modos principales de reacción. La caramelización que consiste esencialmente en la pirólisis de los mono, di, oligo y polisacáridos, que por la deshidratación forman moléculas más complejas de color pardo, con aroma típico de caramelo; y la reacción de Maillard que implica la interacción entre azúcares reductores y aminoácidos o péptidos de bajo peso molecular, lo que conlleva a la formación de compuestos como pirroles, tiofenos, oxazoles y tiazoles (Flament, 2002). En la caramelización un calentamiento excesivo da origen a la caramelina o humina, de peso molecular muy alto y sabor desagradable (Badui, 1990).

Los lípidos son los compuestos químicos menos afectados por el proceso de tueste y son importantes para la retención del aroma; las proteínas involucradas con los azúcares reductores en la reacción de Maillard están asociadas con la producción de melanoidinas y compuestos de sabor/aroma (Kitzberger et al., 2016). La degradación de la sacarosa y los polisacáridos aumenta el contenido de algunos ácidos orgánicos, lo que repercute en la calidad sensorial. La cafeína y los ácidos clorogénicos totales (CGA) se han correlacionado con el amargor, menores contenidos de estos compuestos se encuentran en tuestes más oscuros (Barbosa et al., 2019), la percepción del sabor amargo en los cafés de tueste oscuro no sólo está relacionada con la presencia de cafeína y CGA sino también con la disminución de la acidez.

Un proceso de tueste desarrollado dentro de parámetros óptimos obtiene valores cercanos al promedio con respecto a la intensidad de los atributos sensoriales y la concentración de los compuestos de aroma. Los compuestos más fuertemente asociados con un tueste correcto son los ácidos orgánicos, lo que genera una mayor acidez percibida en comparación con diferentes defectos que se pueden presentar en el proceso. El tueste normal también se percibe como el más dulce y menos intenso de todas las muestras (Giacalone et al., 2019). La reducción del predominio del sabor ácido se da con el aumento del grado de tueste (Barbosa et al., 2019). La acidez del café proviene de compuestos como los ácidos cítrico y málico, sensibles al calentamiento, lo que provoca una disminución de su contenido durante el proceso (Koshiro, et al., 2015). En los granos con altos niveles de tostado (quemados) se pierden estos ácidos (Yang et al., 2016).

Giacalone et al. (2019) investigaron los defectos comunes de tostado del café teniendo en cuenta los aspectos compositivos GC-MS (Cromatografía de gases – Masas) y perceptivos (análisis descriptivo sensorial). Los análisis sensoriales y de GC-MS revelaron información idéntica respecto de las diferencias generales entre las muestras, además señalaron una gran influencia del proceso de tueste en el aroma y en el perfil sensorial; adicionalmente, evidenciaron que el aumento de la concentración de compuestos aromáticos, estaban asociados con un tiempo y una temperatura de tueste prolongados, lo que se tradujo en un aumento de descriptores sensoriales como amargo, quemado y tabaco. El tueste normal corresponde a un perfil de aroma plenamente desarrollado, que carece de sabores desagradables complementado con valores más altos en el atributo de complejidad. El proceso de tostado medio-ligero presentó mayores diferencias en la composición, los cuales se relacionaron con una mayor diversidad en los perfiles de TDS

(sólidos disueltos totales). El sabor amargo y el sabor tostado son atributos dominantes en el café de tueste oscuro, mientras que en los de tueste medio-claro se destaca el sabor ácido (Barbosa et al., 2019).

La calidad sensorial del café está altamente influenciada por la calidad inicial del café almendra verde, que determina en gran medida los atributos sensoriales. La tostación es un proceso crítico pues en este se logra o se inhibe la interacción de los compuestos químicos responsables de la expresión de los mismos. El proceso de tueste debe asegurar mínimo el control de variables como temperatura, tiempo y grado de tueste, siendo este último uno de los principales factores que influyen en las diferencias tanto químicas como sensoriales del café de una misma calidad. El sabor amargo y el sabor ácido son los atributos más relevantes para discriminar las bebidas producidas con cafés de diferentes grados de tueste en cuanto a la percepción sensorial (Barbosa et al., 2019; Díaz, et al., 2018). La dinámica de la percepción de los atributos de café depende de la materia prima, especialmente para aquellos con un grado de tostado menos intenso. El grado de tueste, comúnmente definido por el color, por sí solo no es un indicador de un proceso correcto, pues el grado de oscurecimiento del café no necesariamente indica que la curva de tueste, definida como la combinación de temperatura y tiempo a la cual el café almendra verde es sometida, permite el desarrollo del grano evitando imperfecciones del proceso tales como arrebatao u horneado. El color y la pérdida de peso por sí solos no son fiables como criterios de evaluación, también debe tenerse en cuenta la temperatura de tostado (Franca et al., 2009).

En esta investigación se evaluó el efecto de la temperatura y tiempo de tueste en la calidad sensorial del café, medida mediante la escala SCA, en seis variedades mejoradas

de café y se generaron cinco curvas de tueste con diferentes temperaturas iniciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El efecto de las temperaturas y los tiempos de tueste se evaluaron en seis variedades mejoradas: Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® Naranjal, Castillo® Pueblo Bello, Castillo® Tambo y Tabi. Las tres primeras variedades fueron cultivadas y procesadas en la Estación Experimental Naranjal ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), Castillo® Pueblo Bello, y Castillo® El Tambo en las Estaciones Experimentales Pueblo Bello y El Tambo en los departamentos de Cesar y Cauca, respectivamente, la variedad Tabi procedió de la Estación Experimental El Rosario ubicada en el departamento de Antioquia. Se tomaron individualmente en la cosecha principal de los años 2019 y 2020 y se realizó un proceso de recolección y beneficio estándar, con recolección selectiva asegurando un porcentaje de granos verdes inferior al 2,5%, despulpado en un tiempo inferior a 6 horas después de la recolección, fermentación espontánea con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro™, con secado mecánico hasta alcanzar un porcentaje de humedad entre el 10,0% y el 11,5%. Se realizó la trilla de café y una selección de la almendra sana, eliminando los defectos físicos. El café utilizado para los tratamientos fue el retenido por encima de la malla número 16/64.

Se estableció un diseño completamente aleatorio en arreglo factorial. De cada variedad se tomaron cinco unidades, cada una de 25 kg, y cada una fue dividida en cinco unidades de trabajo de 5 kg; a cada unidad se le aplicaron los tratamientos variando la temperatura inicial de tueste. Se generaron cinco curvas de tueste por variedad, la curva base tuvo como temperatura inicial 200°C (CB), dos curvas con incrementos de temperatura a 215°C (I-15) y 230°C (I-30),

y dos curvas con disminución de la temperatura de la curva base de tueste a 185 °C (D-15) y 170 °C (D-30). Se contó con un solo grado de tueste definido por el color del grano 55-65 AGTRON/SCA para todas las variedades y todas las temperaturas iniciales.

Para el análisis sensorial de la calidad del café, se utilizó el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA, 2000), con cinco catadores certificados Q-Grader por el CQI (Coffee Quality Institute), pertenecientes al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) y a diferentes empresas del gremio, obteniendo un solo resultado por cada muestra analizada. La metodología incluye el protocolo de preparación: proporción de café, molienda, temperatura y calidad del agua, además de temperaturas de análisis. Se registraron diez atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador, defectos y total. Estos atributos fueron evaluados en una escala de 10 puntos representando el nivel de calidad en una tabla entre 6 y 9 puntos. La escala parte de un valor mínimo de 0 a un valor máximo de 10 puntos. La parte baja de la escala representa los cafés comerciales, en la cual se evalúan principalmente defectos y sus intensidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se evaluó el efecto de cinco diferentes curvas de tueste (combinación tiempo y temperatura) en la calidad sensorial del café evaluada bajo el protocolo de análisis sensorial SCA. Aunque se generaron diferentes curvas, el grado de tueste final para todas las variedades y en todos los tratamientos fue uno solo y fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA, para garantizar el desarrollo completo del grano y evitar la generación de defectos del proceso.

Tiempo

Los tiempos de tueste oscilaron entre 8 y 12 minutos, y el tiempo final de tueste fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA para tostado. En la Tabla 1 se muestran las temperaturas (°C) y tiempos promedios (minutos) de las cinco curvas utilizadas para cada variedad. En el minuto 2,0 después de iniciado el proceso de tueste (punto de equilibrio), todas las temperaturas en cada curva de tueste disminuyeron entre 63,2%, 64,7%, 67%, 71,9% y 75,4% para las curvas I-30, I-15, CB, D-15 y D-30, respectivamente, esta disminución se explica por la búsqueda del sistema para entrar en equilibrio térmico y las diferencias entre ellas están dadas por los cambios de las temperaturas iniciales de carga de la tostadora.

El análisis de varianza del diseño completamente aleatorio en arreglo factorial presentó efecto significativo en la interacción variedad y temperatura inicial de tueste para la variable tiempo de tueste. Los mayores tiempos de tueste se encontraron en el tratamiento D-30 (170°C) con un promedio de 11,47 minutos, la variedad que presentó el mayor tiempo promedio fue Castillo Pueblo Bello con 11,90 minutos. Los menores tiempos de tueste estuvieron en el tratamiento I-30 (230°C) con un promedio de 8,39 minutos y la variedad con el menor tiempo de tueste fue Castillo El Tambo con un promedio de 8,03 minutos. En la Figura 1 se presentan los valores promedios por variedad y temperatura.

La temperatura de tueste inicial debe tenerse en cuenta como criterio de seguimiento para el proceso de tostado del café, en este caso el color del grano fue definido como un criterio de control y las diferencias en las curvas fueron definidas por los tiempos de tueste, afectados

por la temperatura y la variedad. El color por sí solo no es indicador de un correcto proceso de tueste, pues no garantiza la presencia de todos los atributos sensoriales de la bebida de café, estos dependen de los compuestos químicos de la variedad y su interacción durante el proceso. Los resultados concuerdan con lo expuesto por Sualeh et al. (2014), donde la interacción de la variedad de café por la duración de la torrefacción fue significativa ($P < 0,05$). La curva de tueste debe permitir el desarrollo del grano evitando imperfecciones del proceso tales como arrebato u horneado. Los compuestos químicos responsables del oscurecimiento del café pueden variar según el calor aplicado y del tiempo del tueste.

Fragancia y aroma

Los aspectos sensoriales aromáticos en el café tienen una correlación directa con el proceso de tostado, a medida que el café almendra verde es sometido a temperaturas que facilitan las reacciones químicas se forman olores que pueden variar desde cereal, maní, desarrollándose los dulces como caramelo, miel, vainilla, llegando a chocolate y finalizando con tabaco, tostado y humo, descriptores predominantes en puntos de tueste altos. En esta investigación no se generaron diferentes puntos de tueste para el mismo café, se estableció como punto de control el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA, para determinar la finalización del tueste, además se aseguró que los tiempos de tueste se encontraran entre 8 y 12 minutos, lo que permitió el desarrollo completo del grano y evitó defectos del proceso.

Baggenstoss et al. (2008) midieron el desarrollo de 16 compuestos aromáticos durante el tostado de café, y concluyeron que la obtención del mismo color del grano

Tabla 1. Temperaturas y tiempos promedios de las curvas de tueste.

Promedios	Variedad														
	Castillo General					Castillo Naranja					Cenicafé 1				
	I-30	I-15	CB	D-15	D-30	I-30	I-15	CB	D-15	D-30	I-30	I-15	CB	D-15	D-30
Tiempo (min)															
0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0
2	142,6	137,2	130,2	130,4	120,8	128,0	124,2	118,4	116,8	111,8	144,2	129,4	127,2	124,2	118,6
4	176,6	170,4	158,6	161,2	152,6	163,6	156,8	152,4	149,0	143,8	172,4	158,0	153,4	152,4	143,8
6	204,2	195,4	182,4	183,8	176,4	188,8	181,6	179,4	172,2	167,0	196,4	182,6	175,4	174,2	163,0
8	215,4	211,4	200,6	202,0	194,0	208,4	201,4	199,2	190,2	185,0	211,6	201,6	194,0	190,0	178,2
10			210,5	211,2	205,8		209,0	210,3	203,6	200,2			208,6	205,0	191,4
12					209,5					208,3					206,4
Tiempo final (min)	8:11	8:32	9:58	10:27	11:06	8:22	9:23	9:51	11:12	11:45	8:15	9:32	10:52	11:20	11:50
Promedios	Variedad														
	Castillo Pueblo Bello					Castillo El Tambo					Tabi				
	I-30	I-15	CB	D-15	D-30	I-30	I-15	CB	D-15	D-30	I-30	I-15	CB	D-15	D-30
Tiempo (min)															
0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0	230,0	215,0	200,0	185,0	170,0
2	145,8	142,0	140,0	139,4	140,4	152,6	147,4	138,4	136,8	133,6	158,8	154,2	149,8	150,2	143,4
4	171,6	170,8	163,2	161,2	159,6	181,8	175,0	164,0	163,0	157,2	185,6	182,6	177,8	177,8	167,0
6	195,4	193,4	182,6	180,6	176,8	206,8	198,6	184,2	182,6	176,8	209,8	205,0	200,6	198,8	186,8
8	214,0	210,8	200,4	196,4	196,8	219,2	215,6	203,2	199,8	191,6	224,4	222,2	217,8	214,0	201,8
10		220,0	213,4	209,8	207,6			215,5	213,0	205,4				221,3	211,3
12				216,0	214,6					211,8					215,3
Tiempo final (min)	9:27	9:55	11:22	11:36	11:54	8:02	8:30	9:59	10:24	11:36	8:03	8:15	8:43	8:57	10:39

de café (que es más frecuentemente referido como el grado de tostado) utilizando diferentes tiempos-condiciones de temperatura durante el tostado no significa necesariamente que los cafés sean equivalentes en términos de aroma.

En este estudio, el atributo sensorial fragancia/aroma no mostró efecto por los cambios en la temperatura inicial de tueste, ni por su interacción con la variedad. Este atributo presentó efecto por la variedad

según prueba de Tukey al 5% (valor p). La variedad Castillo® El Tambo presentó la máxima calificación con un valor de 7,694 (Tabla 2). El proceso de tostado es el que más afecta a la calidad de la bebida de café, es así como Sualeh et al. (2014) registraron una disminución de la intensidad aromática al aumentar la duración de la torrefacción e identificaron que la interacción entre la variedad y la duración del tueste fue muy significativa para la intensidad aromática.

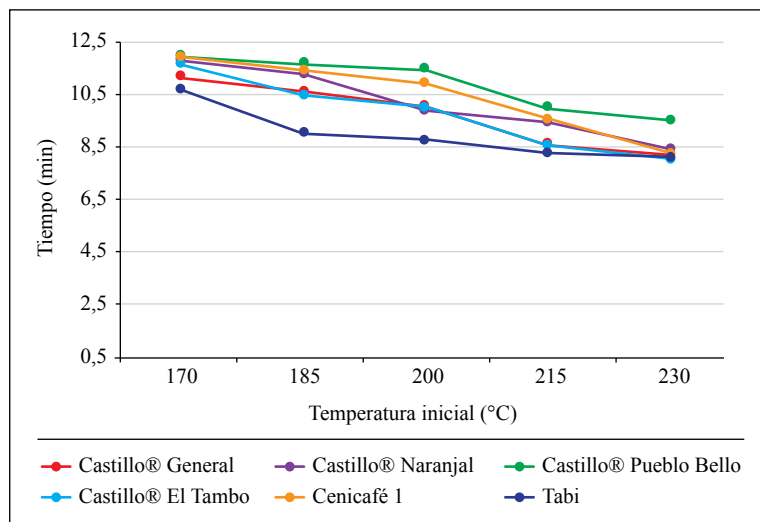


Figura 1. Promedios del tiempo del proceso tostado para seis variedades de café tostado y cinco temperaturas iniciales de tueste.

Tabla 2. Valores promedio y desviación estándar de la fragancia/aroma para cada variedad.

Variedad	Fragancia/Aroma (SCA)	Desvest
Castillo® El Tambo	7,694 A	0,078
Tabi	7,675 A	0,103
Castillo® Pueblo Bello	7,639 BA	0,170
Cenicafé 1	7,569 BC	0,053
Castillo® General	7,541 C	0,082
Castillo® Naranjal	7,540 C	0,108

Sabor

El sabor representa la principal característica sensorial del café, pues se define como una impresión combinada de las sensaciones gustativas con los aromas retro-nasales (SCA, 2000). Este atributo, al igual que la fragancia/aroma, está afectado por el punto final del tueste, el sabor se afecta de manera alta y significativa por la interacción del método de procesamiento y la duración del tostado (Sualeh et al., 2014). Estos autores registraron el valor máximo del sabor para el café lavado tostado durante 8 minutos, seguido por el café semi-lavado tostado durante el mismo tiempo, mientras que el valor más bajo fue para el café obtenido por vía seca y semi-lavados que fueron tostados durante 12 minutos. Lo anterior, definido para el mismo café con diferentes puntos de tueste finales.

El atributo de sabor no mostró efecto por los cambios en la temperatura inicial de tueste, ni por su interacción con la variedad. Este atributo presentó efecto por la variedad según prueba de Tukey al 5%. La variedad Castillo® El Tambo presentó la máxima calificación con un valor de 7,586 (Tabla 3).

Acidez

La acidez percibida en la bebida de café en el análisis sensorial es la característica buscada en los cafés suaves lavados, pues contribuye a la vivacidad del café, al dulzor y al carácter de la bebida. Desde el punto de vista sensorial, atributos como la fragancia, el aroma y el sabor tienen un incremento en su intensidad, relacionados con grados de tueste altos u oscuros, pero una disminución en la calidad de los descriptores. La acidez muestra un comportamiento diferente, pues su intensidad disminuye a medida que aumenta el grado de tostación (Barbosa et al., 2019), este cambio se asocia principalmente con la variación de la concentración de los ácidos orgánicos (ácido acético, ácido butanoico, ácido hexanoico), de acuerdo con lo reportado por Giacalone et al. (2019).

Para el atributo sensorial acidez no se presentaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas ni en su interacción con las temperaturas iniciales del proceso de tostado, puesto que el color del grano en todos los tratamientos se definió en el rango 55-65 en la escala AGTRON/SCA, denominado

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar del sabor para cada variedad.

Variedad	Sabor (SCA)	Desvest	
Castillo® El Tambo	7,586	A	0,047
Tabi	7,542	BA	0,100
Castillo® Pueblo Bello	7,482	BC	0,142
Cenicafé 1	7,479	BC	0,084
Castillo® Naranjal	7,446	C	0,118
Castillo® General	7,426	C	0,144

como tueste medio, lo que permitió la máxima expresión de este atributo y evitó su disminución o poco desarrollo por defectos del proceso, lo que concuerda con lo expuesto por Giacalone et al. (2019), donde el tueste medio recibe las mayores puntuaciones medias en este atributo. La acidez del café proviene de compuestos como los ácidos cítrico y málico, sensibles al calentamiento, lo que provoca una disminución de su contenido durante el proceso de tostado (Koshiro et al., 2015).

Los valores promedio de este atributo son de 7,442 para la variedad Castillo® General, de 7,484 para Castillo® Naranjal, de 7,473 para Castillo® Pueblo Bello, de 7,618 para Castillo® El Tambo, de 7,535 para Cenicafé 1 y de 7,521 para Tabi (Figura 2). El tueste medio obtiene generalmente valores cercanos a la media con respecto a la intensidad de los atributos sensoriales y a la concentración de los compuestos de aroma. Los compuestos de aroma más fuertemente asociados con este tueste son los ácidos orgánicos, que dan lugar a una

mayor acidez percibida, diferenciándose de los tostados de alta intensidad (quemados en particular), donde estos ácidos se pierden y donde abundan los compuestos de Maillard y los productos de descomposición de los lípidos (Giacalone et al., 2019).

Cuerpo

El cuerpo se define como la sensación de textura asociada al carácter y la fuerza de la bebida (SCA, 2000). Al igual que el sabor, el cuerpo tiene un incremento en su intensidad relacionado con grados de tueste altos u oscuros, pero una disminución en la calidad de los descriptores, pues al incrementarse el tiempo de tueste se pueden llegar a tener descriptores tales como pesados y ásperos. El cuerpo se afecta de forma alta y significativa ($p < 0,01$) por el efecto de interacción de la variedad de café por el tiempo de tueste (Sualeh et al., 2014). La puntuación más alta se registró con la duración de tostado de 8 minutos mientras que el valor más bajo se obtuvo para tostados con 12 minutos.

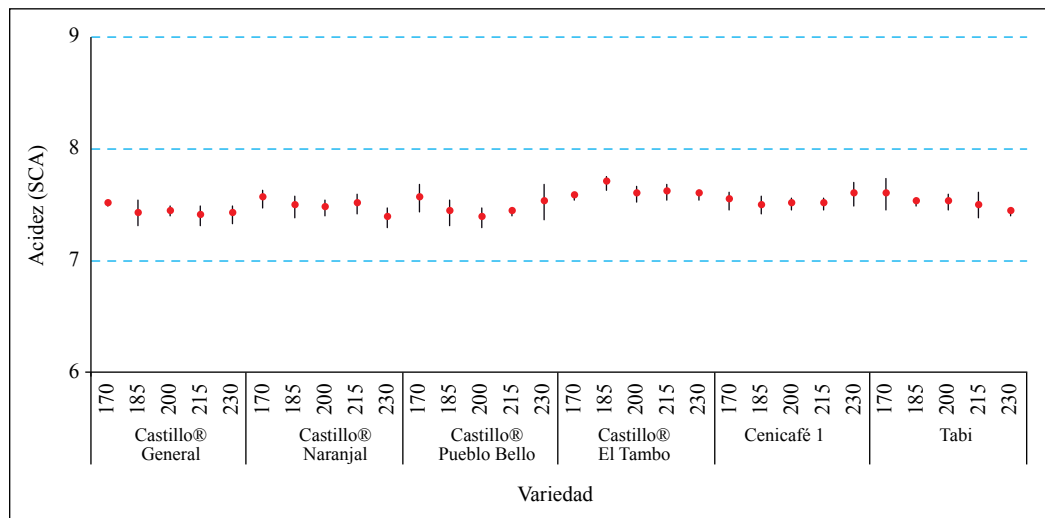


Figura 2. Valores promedio e intervalos de confianza para el atributo acidez por variedad y tratamientos (D-30 (170°C), D-15 (185°C), CB (200°C), I-15 (215°C), I-30 (230°C)).

Aunque en este estudio se generaron diversos tiempos de proceso, estos no estuvieron asociados a diferentes grados de tueste, lo que implicó que para el atributo cuerpo no se presentaran diferencias significativas entre las variedades evaluadas, ni en su interacción con las temperaturas iniciales del proceso de tostado. En todos los tratamientos el color del grano estuvo en el rango medio según la escala AGTRON/SCA (55-65), lo que permitió la máxima expresión de este atributo y evitó su disminución o poco desarrollo por defectos del proceso, además todos los tiempos de tueste se encontraron en el rango entre 8 y 12 minutos, lo que concuerda con lo expuesto por Sualeh et al. (2014), donde a medida que se incrementa la duración del tostado, de 6 a 8 minutos, aumenta el atributo de calidad del cuerpo. Los valores promedio de este atributo para las variedades son: 7,476 para Castillo® General, 7,460 para Castillo® Naranjal, 7,443 para Castillo® Pueblo Bello, 7,565 para Castillo® El Tambo, 7,501 para Cenicafé 1 y 7,519 para Tabi (Figura 3).

Balance

Para el atributo sensorial balance no se presentaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas ni en su interacción con las temperaturas iniciales del proceso de tostado. Los valores promedio de este atributo para las variedades son: 7,367 para Castillo® General, 7,391 para Castillo® Naranjal, 7,394 para Castillo® Pueblo Bello, 7,525 para Castillo® El Tambo, 7,432 para Cenicafé 1 y 7,464 para Tabi. El color del grano de todos los tratamientos, definido y clasificado como tueste medio según la escala AGTRON/SCA (55-65), generó la máxima expresión de todos los atributos sensoriales y evitó que fueran afectados por defectos del proceso, esto permitió que el balance se lograra en todas las variedades y tratamientos evaluados. El tueste medio generalmente permite una expresión moderada de la intensidad de los atributos sensoriales, lo que le da la posibilidad al analista de reconocerlos individualmente, así como su complementariedad, logrando

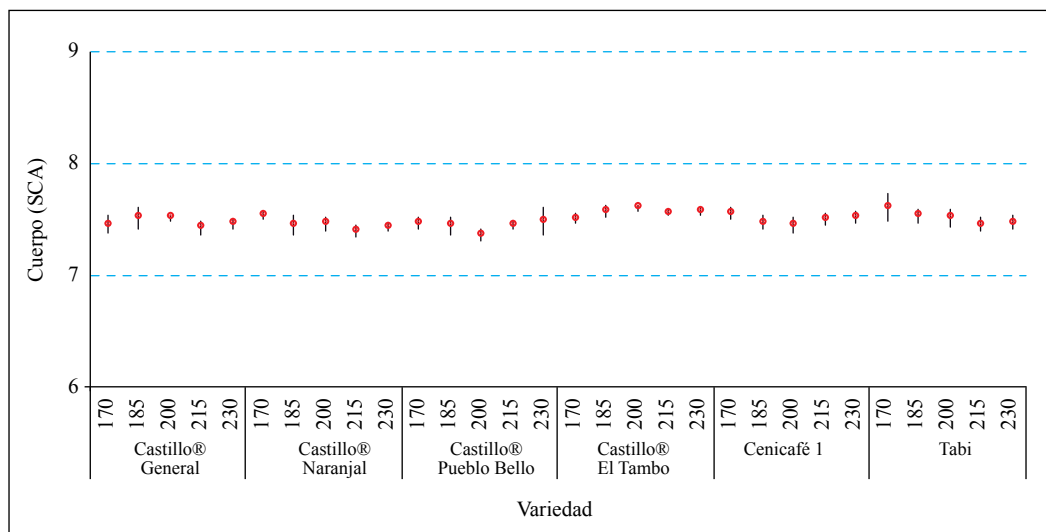


Figura 3. Valores promedio e intervalos de confianza para el atributo cuerpo por variedad y tratamientos (D-30 (170°C), D-15 (185°C), CB (200°C), I-15 (215°C), I-30 (230°C)).

identificar la complejidad de la calidad sensorial del café. La asociación entre el tueste medio (caracterizado por la ausencia de defectos y una alta puntuación de "taza limpia") y el atributo balanceado corresponden a un perfil de aroma plenamente desarrollado, sin dominar el sabor desagradable (Giacalone et al., 2019).

Puntaje total

El perfil sensorial de la bebida de café depende de factores como la variedad, los procesos de cosecha, poscosecha, las condiciones de almacenamiento y la duración del tueste (Sualeh et al., 2014). Este perfil puede ser modulado por las diversas combinaciones de temperatura y tiempo que genera la curva de tueste, como también por el grado final de tostado. El proceso de tueste permite la máxima expresión de la calidad del café, pero también puede ser fuente que evite el desarrollo u oculte los atributos sensoriales. Según lo reportado por Gloess et al. (2014), los cambios del perfil de tostado (temperatura y tiempo) se reflejan

en las características de la bebida de café elaborada a partir de los respectivos granos tostados, de ahí la importancia de conocer su impacto en la calidad sensorial.

El puntaje total SCA se constituye de la sumatoria de diez atributos sensoriales del café, según la escala los cafés con puntajes iguales o superiores a 80 puntos son considerados especiales por la calidad sensorial. El puntaje total SCA en esta investigación no mostró efecto por los cambios en la temperatura inicial de tueste, ni por su interacción con la variedad. Este puntaje presentó efecto por la variedad según la prueba de Tukey al 5%. La variedad Castillo® El Tambo presentó la máxima calificación promedio con un valor de 83,00 (Tabla 4).

Con el fin de verificar las relaciones entre los compuestos químicos y los atributos sensoriales SCA se realizó una matriz de coeficientes de correlación de Pearson mediante un heatmap (Figura 5). Este

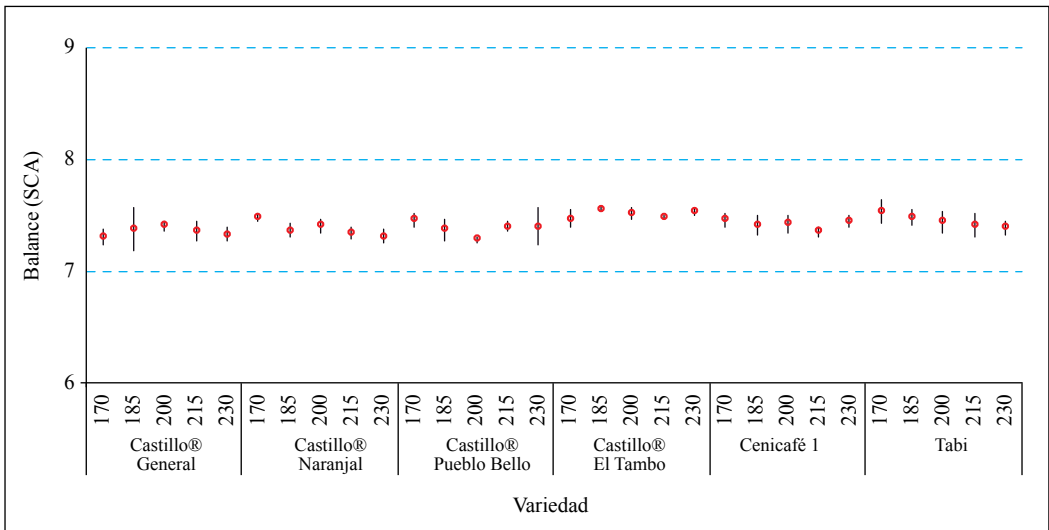


Figura 4. Valores promedio e intervalos de confianza para el atributo balance por variedad y tratamientos (D-30 (170°C), D-15 (185°C), CB (200°C), I-15 (215°C), I-30 (230°C)).

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar del puntaje total SCA para cada variedad.

Variedad	Puntaje total (SCA)		Desvest
Castillo® El Tambo	83,00	A	0,29
Tabi	82,54	BA	0,63
Cenicafé 1	82,34	BC	0,38
Castillo® Pueblo Bello	82,19	BC	0,83
Castillo® Naranjal	82,08	BC	0,56
Castillo® General	81,96	C	0,58

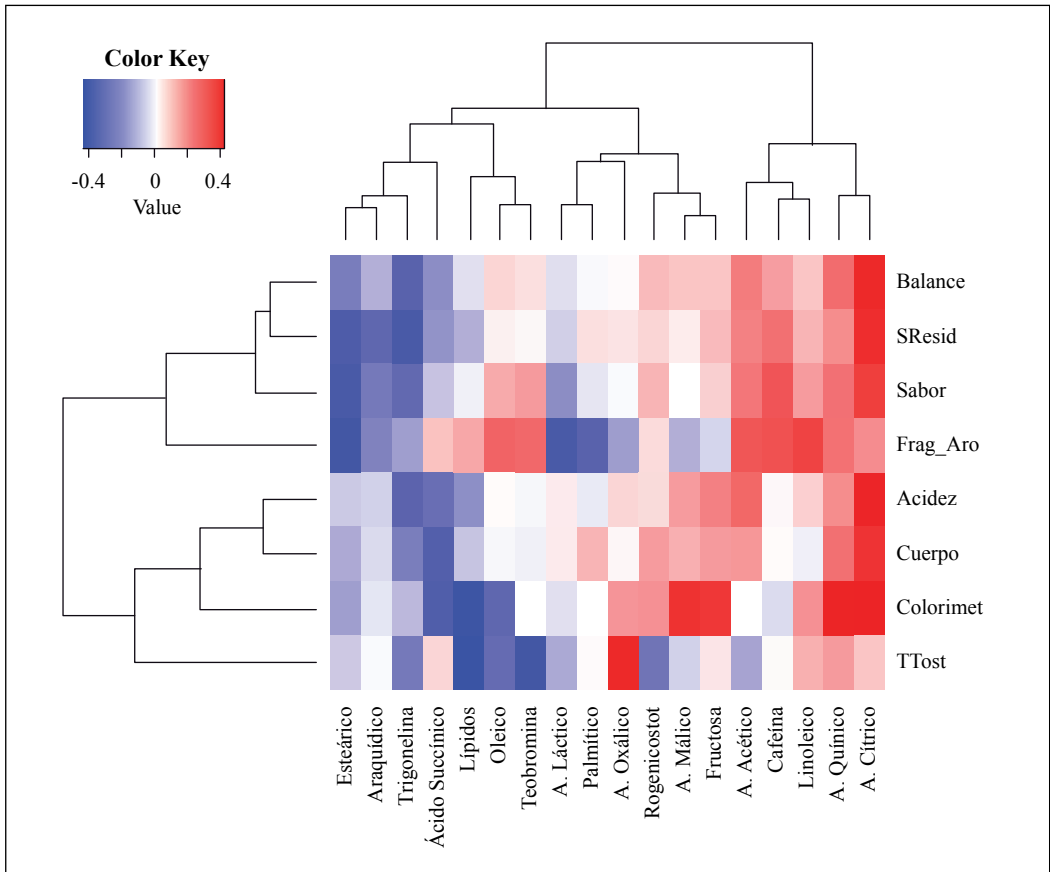


Figura 5. Heatmap de compuestos químicos del café tostado y los atributos sensoriales.

coeficiente es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, el valor se calcula como 1,0 si existe una correlación positiva perfecta y como -1,0 si existe una correlación negativa perfecta. El ácido cítrico es el compuesto que presenta una correlación positiva con la mayoría de los atributos sensoriales. Para el puntaje total, acidez, balance y sabor residual presentó valores de correlación de 0,4147, 0,4062, 0,3935 y 0,3759 respectivamente (Osorio et al., 2021). Lo anterior, sugiere que este compuesto no tiene un efecto individual en un atributo específico, por el contrario, su efecto es integral en la mayoría de las características que conforman la calidad sensorial del café.

Puede concluirse en esta investigación que:

En las seis variedades de café mejoradas que se evaluaron, los tiempos de tueste se encontraron entre 8 y 12 minutos, y el tiempo final de tostado fue definido por el color del grano 55-65 en la escala AGTRON/SCA para todos los tratamientos.

El tiempo de tueste mostró efecto por la interacción temperatura inicial de tueste y variedad, los mayores tiempos de tueste se encontraron en el tratamiento D-30 (170°C) con un promedio de 11,47 minutos, los menores tiempos de tueste estuvieron en el tratamiento I-30 (230°C) con un promedio de 8,39 minutos.

Los atributos sensoriales fragancia/aroma, sabor y puntaje total no mostraron efecto por los cambios en la temperatura inicial de tueste, ni por su interacción con la variedad. Los valores de estos atributos presentaron efecto por la variedad, demostrando que la calidad inicial del café juega un papel clave en su calidad sensorial.

El ácido cítrico tuvo relación directa con la mayoría de los atributos sensoriales, sin embargo, los valores de correlación indican que su efecto no es individual, es decir, la generación y percepción de un atributo sensorial se genera por la interacción acumulativa de varios compuestos químicos existentes en el grano de café.

El tueste debe asegurar mínimo el control de variables como temperatura, tiempo y grado de tueste, siendo este último uno de los principales factores que influyen en las diferencias tanto químicas como sensoriales del café de una misma calidad. El grado de tueste medio permite la máxima manifestación de las diferentes características sensoriales cuando se desarrolla con control del tiempo de tueste (8 a 12 minutos) y de la temperatura inicial (170-230°C); sin embargo, en procesos donde la calidad del café almendra no es consistente, es necesario contar con más variables de control, como la humedad inicial del café, pérdida de peso, índice de aumento de la temperatura o RoR (*rate of rise* por sus siglas en inglés) o densidad del grano, entre otros.



AGRADECIMIENTOS

Al equipo de Biometría Rubén Medina, Esther C. Montoya y Luis Imbachí. A los catadores Claudia Gómez Ramos, David Molina, Jorge Andrés Duque, Fernando Osorio, César Osorio. Al panel de catación de Cenicafé. De la Disciplina de Calidad a Paola Calderón y Wilson Vargas y el personal de apoyo Víctor Castañeda y Jonathan Martínez. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y Jhon Félix Trejos.

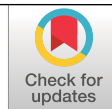
LITERATURA CITADA

- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4a ed.). Pearson Educación.
- Barbosa, M. de S. G., Francisco, J. S., Dos Santos Scholz, M. B., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). Dynamics of sensory perceptions in arabica coffee brews with different roasting degrees. *Journal of Culinary Science and Technology*, 17(5), 453–464. <https://doi.org/10.1080/15428052.2018.1489321>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (Eds.). (2009). Coffee, Tea, Cocoa. En *Food Chemistry* (pp. 938–970). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7_22
- Clarke, R. J., & Macrae, R. (Eds.). (1985). *Coffee (Volume 1: Chemistry)*. Elsevier Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5>
- Dias, R. C. E., & Benassi, M. D. T. (2015). Discrimination between Arabica and Robusta Coffees Using Hydro-soluble Compounds: Is the Efficiency of the Parameters Dependent on the Roast Degree?. *Beverages*, 1(3), 127–139. <https://doi.org/10.3390/beverages1030127>
- Díaz, F. O., Ormaza, A. M., Rojano, B. (2018). Efecto de la tostión del café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el perfil de taza, contenido de compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante. *Información Tecnológica*, 29(4), 31–42. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400031>
- Flament, I., & Bessière-Thomas, Y. (2002). *Coffee flavor chemistry*. Wiley.
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Oliveira, R. C. S., Agresti, P. C. M., & Augusti, R. (2009). A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.012>
- Giacalone, D., Degn, T. K., Yang, N., Liu, C., Fisk, I., & Münchow, M. (2019). Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. *Food Quality and Preference*, 71, 463–474. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.03.009>
- Gloss, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., López, J. A. S., Petrozzi, S., Bongers, S., Kozirowski, T., & Yeretizian, C. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 365–366, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.02.010>
- Heriyanti, H., Panggabean, Y., Pangestu, E. T., Asyhar, R., & Sutrisno, S. (2019). Initial roasting temperature effect on thermal behaviour and characteristic of liberica coffee. *Coffee Science*, 14(4), 501–508. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1626>
- Kitzberger, C. S. G., Scholz, M. B. dos S., Pereira, L. F. P., da Silva, J. B. G. D., & Benassi, M. de T. (2016). Profile of the diterpenes, lipid and protein content of different coffee cultivars of three consecutive harvests. *AIMS Agriculture and Food*, 1(3), 254–264. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.3.254>
- Koshiro, Y., Jackson, M. C., Nagai, C., & Ashihara, H. (2015). Changes in the content of sugars and organic acids during ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *European Chemical Bulletin*, 4(8), 378–383. <https://doi.org/10.17628/ECB.2015.4.378>
- Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C. P., & Echeverri-Giraldo, L. F. (2021). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la composición química del café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72103-e72103. <https://doi.org/10.38141/10778/72103>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols. Protocols & Best Practices*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. (2000). Pore Structure of Coffee Beans Affected by Roasting Conditions. *Journal of Food Science*, 65(3), 452–457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16026.x>
- Sualeh, A., Endris, S., & Mohammed, A. (2014). Processing method, variety and roasting effect on Cup Quality of Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.). *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(2), 70–75.
- Yang, N., Liu, C., Liu, X., Degn, T. K., Münchow, M., & Fisk, I. (2016). Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. *Food Chemistry*, 211, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.124>

EFICIENCIA DE ENMIENDAS UTILIZADAS COMO CORRECTIVOS DE LA ACIDEZ DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN COLOMBIA

Vanessa Catalina Díaz-Poveda *, Siavosh Sadeghian Khalajabadi 

Díaz-Poveda, V., & Sadeghian K., S. (2022). Eficiencia de enmiendas utilizadas como correctivos de la acidez del suelo en el cultivo de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73103. <https://doi.org/10.38141/10778/73103>



En la zona cafetera de Colombia se emplea una variedad amplia de productos para corregir la acidez del suelo, sin que se disponga de suficiente información acerca de su calidad. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las enmiendas de uso común en la caficultura colombiana para corregir la acidez del suelo. Se seleccionaron 30 productos, clasificados como cales agrícolas, dolomíticas y apagadas, rocas fosfóricas, yeso agrícola y productos obtenidos a partir de la mezcla de varios compuestos. Se evaluaron las variables: poder de neutralización (PN), eficiencia granulométrica (EG), contenido de humedad (H), calcio (Ca), magnesio (Mg) y poder relativo de neutralización total (PRNT); adicionalmente, mediante la prueba de incubación se determinó el efecto de los productos en la corrección de la acidez de un suelo y el aporte Ca y Mg. Las cales agrícolas, dolomíticas y apagadas presentaron valores de H entre 0,0% y 0,6%, PN entre 93% y 120%, EG entre 62% y 96% y PRNT entre 62% y 115%. Las rocas fosfóricas mostraron baja capacidad para corregir la acidez (PN entre 3% y 22%, PRNT entre 9% y 16%), al igual que el yeso agrícola (PN de 32%, PRNT de 23%). Se presentó una alta correlación entre el pH del suelo, evaluado en la prueba de incubación y el PRNT de los productos ($R^2=0,92$), resultado que sugiere el uso de este parámetro para establecer la eficiencia de enmiendas empleadas como correctivos de la acidez del suelo.

Palabras clave: Calidad de enmiendas, eficiencia granulométrica, poder de neutralización.

EFFICIENCY OF AMENDMENTS USED TO CORRECT SOIL ACIDITY IN COFFEE CROPS IN COLOMBIA

A wide variety of products are used in the coffee-growing area of Colombia to correct soil acidity, but the information about their quality is insufficient. This research aimed to evaluate the efficiency of commonly used amendments applied on coffee plots in Colombia to correct soil acidity. Thirty products, classified as agricultural, dolomitic and quenched limestones, phosphoric rocks, agricultural gypsum and those obtained from the mixture of various compounds, were selected. The variables evaluated were: neutralization power (PN), particle size efficiency (EG), moisture content (H), calcium (Ca), magnesium (Mg) and total relative neutralization power (PRNT); additionally, the incubation test determined the effect of the products on the correction of soil acidity and the contribution of Ca and Mg. Agricultural, dolomitic and quenched limestones showed H values between 0.0% and 0.6%, PN between 93% and 120%, EG between 62% and 96% and PRNT between 62% and 115%. Phosphoric rocks showed low capacity to correct acidity (PN between 3% and 22%, NRP between 9% and 16%), as well as agricultural gypsum (PN of 32%, NRP of 23%). The soil pH, evaluated in the incubation test, and the PRNT of the products showed high correlation ($R^2=0.92$), a result that suggests the use of this parameter to establish the efficiency of amendments used to correct soil acidity.

Keywords: Amendments quality, granulometric efficiency, neutralization power.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4875-2258>, <https://orcid.org/0000-0003-1266-0885>



La acidificación del suelo es un proceso natural, acelerado por la actividad humana y considerado como uno de los principales problemas de la agricultura en el ámbito mundial. Bajo esta condición se presentan altas concentraciones de iones hidrogeniones (H^+) y de aluminio intercambiable (Al^{3+}) que inhiben la absorción de bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+), disminuyen la actividad microbiana del suelo y reducen la solubilidad del fósforo (P) (Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2007; Havlin et al., 2014; Sánchez, 2012; Upjohn et al., 2005). En Colombia, particularmente en la zona cafetera, cerca del 59% de las muestras de suelo analizadas en los últimos 30 años, presentaron valores de $pH < 5,0$ (Sadeghian, 2016).

La práctica por excelencia para corregir la acidez del suelo es el encalamiento (Bolan & Hedley, 2003; Athanase et al., 2013), que consiste en la aplicación de sales básicas que aumentan el pH, neutralizan el Al^{3+} y aportan simultáneamente nutrientes como Ca y Mg (Fageria & Moreira, 2011; Álvarez & Ribeiro, 1999; Espinosa & Molina, 1999). Los materiales que se emplean son principalmente carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio y/o magnesio y sulfato de calcio (yeso agrícola), los cuales de acuerdo con su naturaleza química presentan una capacidad variable de neutralización (Bernier & Alfaro, 2006).

Para el cultivo de café se han estudiado los efectos de diferentes enmiendas. Sadeghian (2016) demostró que la incorporación de cal dolomita (carbonato de calcio y magnesio, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$) antes de la siembra favorece el crecimiento de las plantas; a su vez, Sadeghian & Díaz-Marín (2020a, 2020b) corroboraron los efectos positivos de la aplicación de cal agrícola en el suelo y en el crecimiento de plantas de café en la etapa de almácigo, donde hubo aumento de materia seca de las plantas, como resultado de las alteraciones químicas

ocurridas en el suelo, entre las que sobresalen cambios en el pH, Ca^{2+} y Mg^{2+} , capacidad de intercambio catiónico (CIC), Al^{3+} , hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}) y nitratos (NO_3^-).

De acuerdo con Athanase et al. (2013), Haby y Leonard (2002), Fageria y Baligar (1997) y Espinosa y Molina (1999), la eficiencia y calidad de los materiales de encalado depende de su composición química y reactividad, medida en función de los factores: equivalente químico (EQ), eficiencia granulométrica (EG) y poder de neutralización (PN). El EQ también conocido como valor de neutralización (VN), permite conocer la pureza del material con relación a los contenidos de Ca y Mg, y se expresa como la capacidad para neutralizar la acidez comparada con el poder de neutralización del carbonato de calcio ($CaCO_3$) químicamente puro, al cual se le asigna un valor de 100%. La EG, basada en la fineza de las partículas, permite definir la velocidad de reacción del material, pues en general, las enmiendas poseen una baja solubilidad en agua, por lo que su reactividad puede ser mejorada significativamente cuando se aumenta su superficie de contacto (Bernier & Alfaro, 2006). Por último, el PN, que establece la capacidad que tiene una enmienda para neutralizar la acidez del suelo, depende a su vez de la capacidad de la reacción de los aniones presentes, expresada también con base al $CaCO_3$ con un valor de 100%. La valoración del PN se realiza por neutralización directa con una solución de ácido clorhídrico, en la que se mide el potencial químico del producto en condiciones ideales de acción (Chaves, 1993; De Filipo & Ribeiro., 1997). Cabe mencionar que tanto el EQ y el PN permiten establecer la capacidad de una enmienda para neutralizar la acidez; sin embargo, el EQ se determina según los contenidos de Ca y Mg, cationes que pueden estar combinados con aniones de reacción neutra, de manera que el EQ puede sobreestimar el PN (Duarte et al., 1993). A partir de los parámetros mencionados, puede calcularse el

poder relativo de neutralización total (PRNT), a través del cual se evalúa la eficiencia de las enmiendas a partir de su pureza química, fineza del material y contenido de humedad. Para el caso del cultivo de café, Malavolta (1993) recomienda el uso de productos que tengan un PRNT mínimo del 75%.

Debido a los problemas de la acidez del suelo en países como Brasil, Chile y Costa Rica, se ha determinado la eficiencia de las enmiendas y su efecto en el suelo y en cultivos específicos. A partir de las diversas investigaciones se ha establecido la importancia del proceso, dado que permite dar una interpretación agronómica más apropiada (Alcarde & Rodella, 1996; Pinochet et al., 2005; Chaves, 1993), además, de que puede elegirse la enmienda más adecuada, de acuerdo con su viabilidad económica (Araújo et al. 2009). Como resultado, se ha concluido que a pesar de que el PN es fundamental en los correctivos de acidez, debido a la baja solubilidad en agua de algunos productos, la granulometría ejerce un papel relevante una vez que su disolución depende del contacto con el suelo (Coelho, 2004). Investigaciones desarrolladas por Bellingieri et al. (1989), Viadé et al. (2011) y Deus et al. (2014), quienes evaluaron la efectividad del tamaño de partícula de las enmiendas, concluyeron que la fracción más fina reacciona más y eleva el pH del suelo en menor tiempo; no obstante, el efecto residual se mantiene durante un período más corto en comparación con las partículas de mayor tamaño.

A pesar de la necesidad de aplicar un producto con la eficiencia y calidad suficiente para corregir los problemas de acidez en café, es limitada la información en lo referente al tema en Colombia. Las enmiendas que se ofrecen en el mercado nacional presentan una amplia diversidad en sus propiedades fisicoquímicas, además, se hace referencia indistintamente a que cualquier producto catalogado como

tal, tiene la capacidad para corregir la acidez del suelo. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de los productos de uso común en la caficultura colombiana para corregir la acidez del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de las enmiendas. Se evaluaron 30 productos, entre los que se encuentran carbonatos de calcio, carbonatos de calcio y magnesio, hidróxidos de calcio, rocas fosfóricas, sulfato de calcio dihidratado (yeso agrícola) y mezclas de productos que contienen además de calcio y magnesio, silicio y azufre, entre otros elementos (Tabla 1). Estos fueron seleccionados de acuerdo con la información suministrada por el Servicio de Extensión de 14 departamentos cafeteros de Colombia, pertenecientes a la Federación Nacional de Cafeteros (FNC). Los criterios utilizados fueron el volumen de venta y uso, así como la composición química de los productos, de los que primaron dolomitas.

Eficiencia de las enmiendas. Se estimaron por triplicado los siguientes parámetros:

Humedad (H). En estufa se ubicaron 5,0 g del material a 105°C por 24 h; tiempo después del cual se pesó la muestra seca y se determinó su contenido de agua (Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997).

Contenidos de calcio y magnesio. Para la determinación de los contenidos de Ca y Mg, se tomaron 0,5 g de enmienda seca y tamizada a 60 mesh, la muestra se dispuso en un crisol de porcelana, al cual se adicionaron 10 mL de HCl al 37%. La mezcla se calentó hasta ebullición y evaporación de la misma a sequedad. Posteriormente, se adicionaron 20 mL de HCl 6 M y 100 mL de agua desionizada caliente. La mezcla obtenida se transvasó a un balón aforado de 250 mL. A partir de esta solución, por espectrometría de absorción

Tabla 1. Enmiendas seleccionadas para evaluar su eficiencia como correctivos de acidez del suelo.

Producto	Composición química	Fórmula química	Número
Cal agrícola	Carbonato de calcio	CaCO ₃	4
Cal dolomita	Carbonato de calcio y magnesio	CaCO ₃ .MgCO ₃	9
Cal apagada	Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂	2
Cal magnesiana	Carbonato de calcio + silicato de magnesio	CaCO ₃ + Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	1
Cal dolomita + roca fosfórica	Carbonato de calcio y magnesio + apatitas	CaCO ₃ .MgCO ₃ + Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	1
Escorias Thomas	Anhídrido fosfórico + óxidos de calcio, magnesio, manganeso, cobalto, molibdeno, cobre y zinc	P ₂ O ₅ +CaO+MgO	1
Roca fosfórica	Apatitas	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	8
Producto integral	Cal agrícola + silicato de magnesio + sulfato de calcio dihidratado + apatitas	CaCO ₃ + Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ + Ca(SO ₄).2H ₂ O + Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	2
Cal dolomita calcinada	Carbonato de calcio y magnesio + óxido de calcio y magnesio	CaCO ₃ .MgCO ₃ + CaMgO ₂	1
Yeso agrícola	Sulfato de calcio dihidratado	Ca(SO ₄).2H ₂ O	1

atómica, se cuantificaron las concentraciones de Ca y Mg (ICONTEC, 2011; Comisión Venezolana de Normas Industriales, 1981).

Poder de neutralización (PN). Para determinar el PN, la mezcla de 1,0 g de enmienda y 25 mL de HCl 1M se calentó por 30 min; posteriormente, se adicionaron 100 mL de agua desionizada, dejando en calentamiento por 5 min. Al cabo de este tiempo, la muestra se enfrió a temperatura ambiente y se tituló con

una solución de NaOH 1M, usando fenolftaleína como indicador (De Filipo & Ribeiro, 1997).

Eficiencia granulométrica (EG). De cada producto se tamizaron 100 g en la siguiente secuencia de mallas: 8, 20, 40 y 60 mesh. La cantidad de material retenido se pesó teniendo en cuenta que los diferentes tamaños de partícula poseen una eficiencia relativa, como se presenta en la Tabla 2 (Espinosa & Molina, 1999).

Tabla 2. Eficiencia relativa de fracciones granulométricas.

Número de malla (mesh)	Tamaño de orificios (mm)	Eficiencia relativa (%)
< 8	> 2,36	0
8–20	2,36–0,85	20
20–40	0,85–0,42	40
40–60	0,85–0,25	60
> 60	< 0,25	100

Poder relativo de neutralización total (PRNT). De acuerdo con los resultados obtenidos, se estimó el PRNT para cada producto según la Ecuación <1>.

$$PRNT = \frac{EG \times PN}{100} \times \frac{(100 - H)}{100} \quad <1>$$

Donde

EG: eficiencia granulométrica (%)

PN: poder de neutralización (%)

H: humedad (%)

Prueba de incubación. Con el fin de corroborar la información obtenida a través de la estimación del PRNT, se incubó una muestra de suelo con las enmiendas evaluadas. El suelo presentó las siguientes características: pH 4,86, acidez intercambiable (A.I.) 0,43 cmol_c kg⁻¹, Al³⁺ 0,33 cmol_c kg⁻¹, K⁺ 0,22 cmol_c kg⁻¹, Ca²⁺ 3,50 cmol_c kg⁻¹, Mg²⁺ 0,64 cmol_c kg⁻¹, CICE 5,12 cmol_c kg⁻¹, CIC 27,97 cmol_c kg⁻¹, materia orgánica (MO) 10,97%, nitrógeno total (N) 0,44%, P 19,18 mg kg⁻¹, arena 53,64%, arcilla 13,66% y limo 32,70%. Se mezclaron 5 g dm⁻³ de cada producto con un volumen de 0,34 dm³ de suelo, procedimiento que se realizó por triplicado; adicionalmente, se contó con un testigo sin aplicación de enmienda. Durante 45 días y a temperatura ambiente, se mantuvo la

humedad del suelo entre el 60% y 70% de su capacidad de campo, determinada previamente según el método de olla de presión, mediante la adición de agua Tipo II (conductividad < 1 μS cm⁻¹) a intervalos regulares. Al finalizar este período, las muestras se secaron a 40°C y se determinaron Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺.

Análisis estadístico. Se calcularon los promedios y los límites de confianza al 95% de los parámetros evaluados para cada producto (H, contenidos de Ca y Mg, PN, EG y PRNT). En cuanto a la incubación del suelo, mediante la prueba de Tukey (*p* < 0,05) se compararon los promedios de pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ de todos los tratamientos; así mismo, se comparó el testigo sin enmienda con respecto a los demás tratamientos (prueba de Dunnett al 5%). Con el fin de determinar la relación entre el PRNT y el pH del suelo incubado, se empleó la regresión lineal. Para el procesamiento estadístico se utilizaron los programas Rbio versión 106 (Bhering, 2017) y SigmaPlot versión 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad. Los contenidos promedio de humedad de las cales estuvieron entre 0,0% y 0,6%, en las rocas fosfóricas entre 0,6% y 5,7%, en los productos integrales entre 2,15%

y 5,3% y en el yeso agrícola el porcentaje fue de 4,0% (Tabla 3). Algunos autores establecen que este parámetro puede reducir la eficiencia del material en función del peso (Mullins et al., 2019), mientras otros establecen que, al menos en la cal agrícola, la humedad no influye en su efectividad (Carey et al., 2006); no obstante, coinciden en que contenidos de humedad entre 4,0% y 5,0% pueden mejorar la uniformidad en el esparcimiento del producto y reducir el movimiento fuera del sitio de partículas muy finas (< 100 mesh).

En Colombia no se encuentra regulado un valor máximo permisible de humedad para las enmiendas inorgánicas; sin embargo, esta información debe estar incluida en la etiqueta del producto (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2017). En el caso de las rocas fosfóricas, consideradas como abonos o fertilizantes, la normativa colombiana establece un contenido máximo de humedad del 5,0% (ICONTEC, 2000).

Contenidos de Ca y Mg. Las concentraciones de CaO variaron entre 5,0% y 63,0% y las de MgO entre 0,1% y 23,0% (Tabla 3). Como consecuencia de su composición química, las cales presentaron los mayores contenidos de Ca y, en el caso de las dolomitas, de Mg. Las rocas fosfóricas, compuestas por fosfatos de Ca, presentaron contenidos comparables de este elemento con algunas cales, entre 5,0% y 36,0%.

Poder de neutralización. El PN de las cales agrícolas fue igual o ligeramente inferior al máximo alcanzable para el carbonato de calcio (100%), desde 96% hasta 100%; entretanto, las dolomitas y apagadas estuvieron entre 93% y 103% y 116% y 120%, respectivamente. Estos valores fueron parcialmente más bajos que los rangos teóricos: 95%–108% y 120%–135%, respectivamente (Mullins et al., 2019). Los productos clasificados como cal magnesiana,

dolomita mezclada con roca fosfórica y escorias Thomas exhibieron en su orden un PN de 86%, 95% y 69%; destacándose que estos materiales contienen en su composición química compuestos con poder alcalinizante, es decir, carbonatos y óxidos de calcio y magnesio. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Deus et al. (2014) y Araújo et al. (2009), quienes reportan un PN entre 91% y 106% para dolomitas y entre 71% y 87% para escorias.

En las rocas fosfóricas, el PN estuvo entre 3,0% y 38,0%, siendo el mayor valor para el termofosfato, resultado que tiene su origen en el tratamiento térmico al que es sometida la roca fosfórica, con el que se alcanza una mayor solubilidad del fósforo presente (Fernández & Noguera, 2003) y mayor capacidad para neutralizar la acidez (Galindo-López et al., 2018). Los productos integrales presentaron porcentajes cercanos a 60%; resultado que puede ser explicado con base en su composición química, en la que el sulfato de calcio dihidratado, el silicato de magnesio y la roca fosfórica, son compuestos con baja capacidad para corregir la acidez y, los porcentajes alcanzados obedecen principalmente al efecto del carbonato de calcio presente en las enmiendas. Este resultado concuerda con el PN obtenido de 32% para el yeso agrícola, el cual resulta ser alto teniendo en cuenta que el anión sulfato no puede generar iones hidroxilo y de esta manera, neutralizar la acidez activa del suelo (Primavesi & Primavesi, 2004), razón por la que el resultado obtenido puede deberse a que el producto, resultado de una roca molida, contenga otro compuesto presente en bajas cantidades como una cal, por ejemplo; lo anterior fue confirmado experimentalmente. Así, se midió el PN de dos muestras de yeso agrícola, una comercial obtenida como producto de la purificación del ácido cítrico y otra, tipo reactivo analítico, obteniéndose un PN de 5,5% y 5,3%, respectivamente. Se resalta

Tabla 3. Valores promedio y límites de confianza al 95% de humedad (H) y contenidos de Ca y Mg medidos en las enmiendas evaluadas.

Producto	H (%)	CaO (%)	MgO (%)
Cal agrícola	0,0	56,6 ± 0,7	3,0 ± 0,6
	0,0	56,2 ± 1,0	2,0 ± 0,1
	0,1 ± 0,3	52,9 ± 5,0	2,1 ± 0,3
	0,4 ± 0,5	55,4 ± 1,2	1,6 ± 0,1
Cal dolomita	0,1 ± 0,3	34,7 ± 4,4	16,3 ± 0,8
	0,4 ± 0	34,9 ± 0,8	14,0 ± 0,7
	0,1 ± 0,3	21,7 ± 9,7	11,7 ± 5,3
	0,1 ± 0,3	36,4 ± 1,6	5,3 ± 0,3
	0,0	34,5 ± 0,4	16,4 ± 0,5
	0,0	59,0 ± 7,0	2,3 ± 0,0
	0,1 ± 0,3	34,9 ± 1,4	9,9 ± 0,6
	0,0	35,7 ± 0,0	15,4 ± 1,7
Cal apagada	0,6	35,5 ± 1,2	15,3 ± 1,1
	0,0	62,8 ± 2,8	4,0 ± 0,4
Cal magnésiana	0,0	62,9 ± 0,7	0,3 ± 0,0
	0,1 ± 0,3	34,7 ± 0,6	17,1 ± 0,7
Cal dolomita + P	0,2 ± 0,5	18,9 ± 0,8	10,8 ± 1,6
Escorias Thomas	0,6 ± 0,5	35,8 ± 1,2	2,8 ± 0,6
Roca fosfórica parcialmente acidulada	5,7 ± 0,56	30,5 ± 13,3	0,6 ± 0,3
Termofosfato (roca fosfórica calcinada)	0,7 ± 0,3	22,2 ± 0,3	10,4 ± 0,3
Roca fosfórica	1,2 ± 0,0	5,2 ± 0,2	5,2 ± 1,2
	1,0 ± 0,9	34,2 ± 1,6	0,2 ± 0,0
	1,0 ± 0,5	36,3 ± 0,8	0,2 ± 0,0
	0,6 ± 0,9	35,6 ± 0,6	0,3 ± 0,3
	1,2 ± 0,5	33,9 ± 1,7	0,2 ± 0,0
	0,8 ± 0,5	25,9 ± 3,5	0,1 ± 0,1
Producto integral	2,1 ± 0,3	20,5 ± 0,4	11,9 ± 1,7
	5,3 ± 0,3	18,9 ± 0,7	17,9 ± 4,7
Dolomita calcinada	0,3 ± 0,6	51,4 ± 0,5	22,6 ± 2,6
Yeso agrícola	4,0 ± 0,5	24,1 ± 0,2	4,4 ± 0,6

que el anión sulfato permite neutralizar el Al^{3+} , al formar pares iónicos como $Al(SO_4)_4^+$, forma química del aluminio que no es tóxico para las plantas (Fageria & Baligar, 2003).

Los resultados obtenidos confirman que los contenidos de Ca y Mg de las enmiendas no son un indicativo de su capacidad para corregir la acidez del suelo, ya que esta es dependiente del anión que acompaña estos elementos, los cuales no necesariamente pueden producir iones hidroxilos, capaces de aumentar el pH. Es así como las dolomitas y las rocas fosfóricas, productos con contenidos de Ca semejantes, presentaron valores de PN tan diferentes.

Internacionalmente se ha establecido que enmiendas con un PN inferior al 70% son de baja calidad (Alcarde, 1983; Chaves, 1993); al respecto, a pesar de que el PN medido en las

cales fue parcialmente bajo en comparación con los valores teóricos, todas demostraron alta capacidad para neutralizar la acidez como consecuencia de los aniones presentes en ellas: carbonato (CO_3^{2-}) e hidroxilo (OH^-) (Primavesi & Primavesi, 2004).

Eficiencia granulométrica. La EG de las enmiendas analizadas varió entre 62% y 96% con excepción de tres productos granulados, una cal agrícola, una dolomita y una roca fosfórica (Figura 2). Entre los productos evaluados se destaca cómo algunos a pesar de tener un alto PN, presentaron una baja EG. Este fue el caso de una cal agrícola, para la que fue medida una eficiencia de 62%, resultado que puede considerarse bajo en comparación con las otras cales evaluadas, y con el valor de 100% indicado por Deus et al. (2014). Por su parte, las dolomitas variaron entre 75% y 80%, valores parcialmente más bajos que

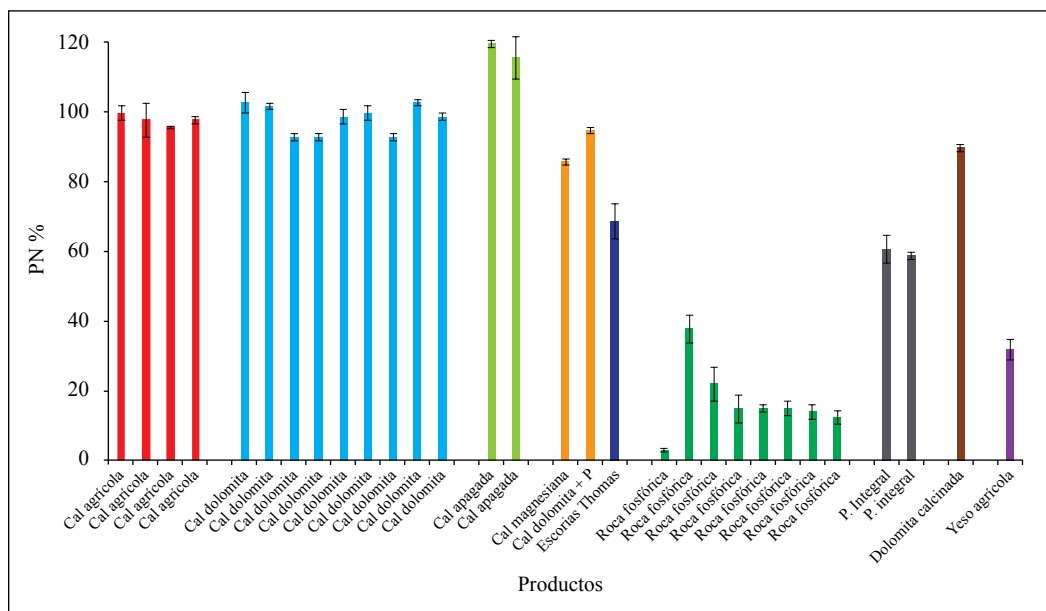


Figura 1. Valores promedio del poder de neutralización (PN) de las 30 enmiendas evaluadas. Las barras corresponden a los límites de confianza al 95%.

los medidos por Araújo et al. (2009), quienes reportaron rangos entre 84% y 99%. En cuanto a las escorias Thomas, el producto analizado alcanzó un 88%, para el que Deus et al. (2014) indican entre 107% y 117%. En general, no hubo tendencia por el tipo de material, de manera que este parámetro resulta ser totalmente dependiente del proceso de molienda llevado a cabo por cada empresa.

En términos específicos de reactividad, parámetro asociado al tamaño de partícula, no deben emplearse productos que contengan cantidades altas de fracciones gruesas, ya que van a tener baja reactividad y, por consiguiente, poco efecto para corregir la acidez del suelo. En relación con lo anterior, Prado et al. (2004) indican que las fracciones con tamaño de partícula mayor a 2,0 mm no tienen eficiencia de reacción (Tabla 2). Por otro lado, productos que en su totalidad estén conformados por fracciones

demasiado finas, las cuales reaccionan en su totalidad en corto tiempo, no tendrán efecto residual (Chaves, 1993; Viadé et al., 2011). En períodos más largos, partículas grandes pueden llegar a reaccionar; sin embargo, son las finas las que influyen inmediatamente en las propiedades del suelo y, el efecto del tamaño de partícula de las enmiendas en la corrección de la acidez, puede diferir según el tipo de suelo (Deus et al., 2014). En este sentido, es recomendable que las enmiendas tengan un tamaño de partícula variable, en las que no haya presencia de fracciones no reactivas. En el caso de Colombia, la normativa indica que “*las enmiendas inorgánicas pulverizadas deben pasar en su totalidad por el tamiz No. 20 (841 μm) y en un 50% mínimo por el tamiz No. 100 (149 μm)*” (ICONTEC, 2006), pese a ello, a diferencia del PN, no se ha establecido un mínimo de EG con el que se establezca eficiencia y calidad en estos materiales.

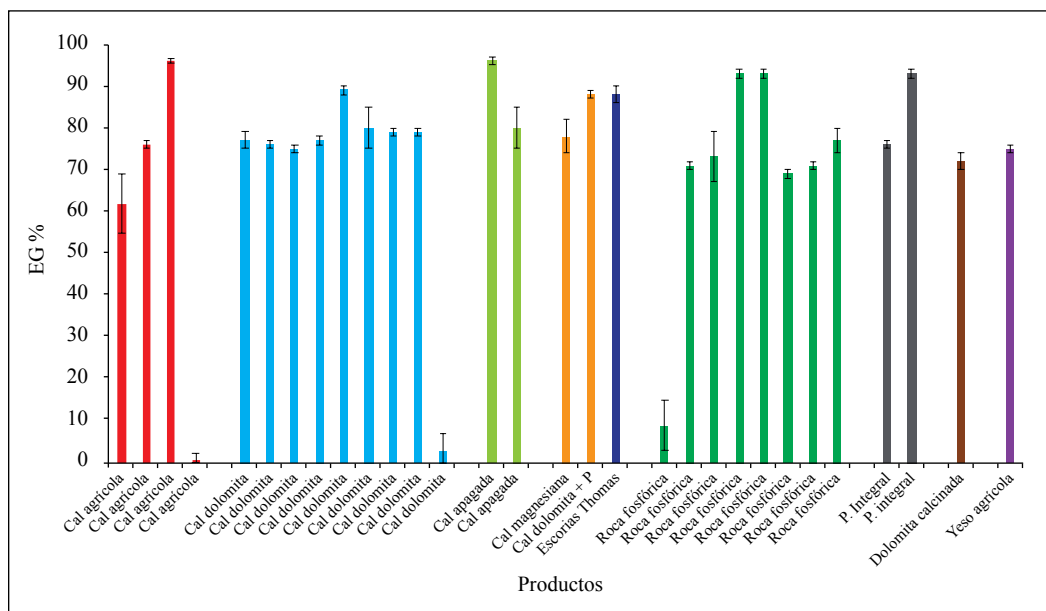


Figura 2. Valores promedio de la eficiencia granulométrica (EG) medida en las 30 enmiendas evaluadas. Las barras corresponden a los límites de confianza al 95%.

Poder relativo de neutralización total. El PRNT de las cales agrícolas varió entre 62% y 93%, con excepción del producto granulado; el de las dolomitas entre 69% y 89%, con excepción del producto granulado, y el de las cales apagadas entre 93% y 115% (Figura 3), porcentajes cercanos a los descritos por Araújo et al. (2009) y Deus et al. (2014), quienes reportan para la cal agrícola un PRNT de 105% y para las dolomitas entre 76% y 105%. En el caso de las rocas fosfóricas, este parámetro no superó el 27% y el mayor valor calculado correspondió al termofosfato, el cual presentó un PN mayor a las demás rocas fosfóricas. Por su parte, los productos integrales variaron entre 46% y 52% y el yeso agrícola alcanzó un 23%. En el ámbito general, las cales fueron los productos con mayor PRNT, destacándose como los más eficientes para corregir la acidez del suelo.

Varios productos, a pesar de tener un alto PN, se vieron afectados negativamente como consecuencia de su EG; se resalta que el PRNT asigna un mismo peso a los dos parámetros (Ecuación <1>). De acuerdo con lo descrito anteriormente, se evidencia cómo muchos de los productos comercializados en la zona cafetera para corregir la acidez del suelo, no poseen la eficiencia suficiente para ser empleados en los procesos de encalamiento; a este respecto, de los 30 productos, solo diez cumplieron con un PRNT mínimo del 75%, recomendado por Malavolta (1993), los cuales fueron en su totalidad productos con una composición química en la que hay presencia de carbonatos e hidróxidos de Ca y/o Mg.

Prueba de incubación. Como se esperaba, según la estimación del PRNT, las cales fueron los productos que permitieron elevar en mayor proporción el pH del suelo, hasta 6,57

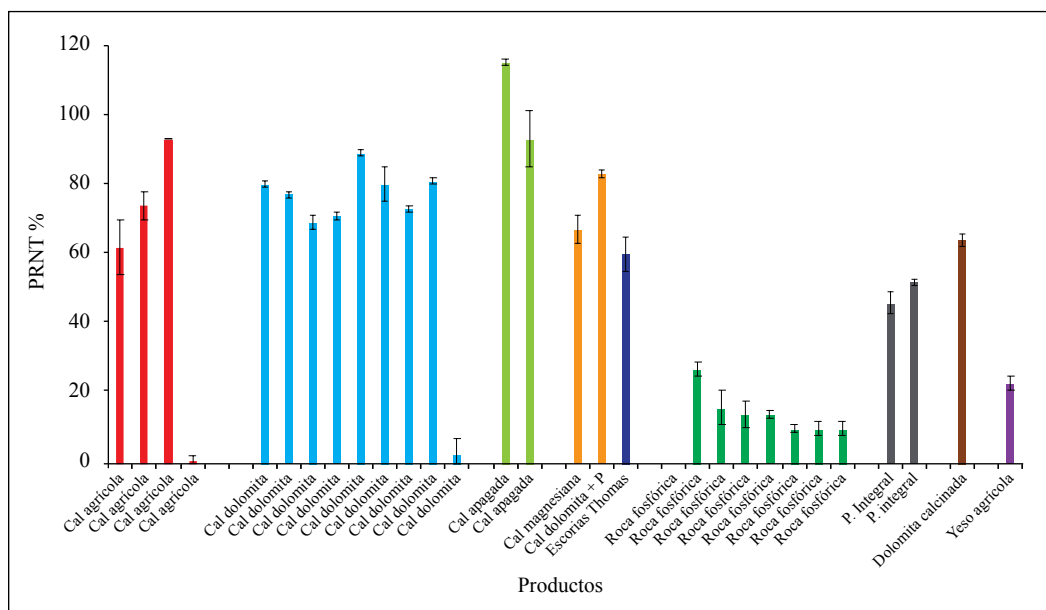


Figura 3. Valores promedio de poder relativo de neutralización total (PRNT) calculado para las 30 enmiendas evaluadas. Las barras corresponden a los límites de confianza al 95%.

unidades partiendo de una muestra con un pH de 4,86 (Tabla 5). Lo anterior indica que todo producto que en su composición contenga un compuesto alcalinizante, ya sea carbonato, óxido o hidróxido, y que presente una granulometría adecuada, como es el caso de las escorias Thomas y los productos compuestos, tendrá la capacidad para aumentar el pH del suelo; sin embargo, el cambio no será igual en proporción a las enmiendas que sólo contengan este tipo de compuestos, como es el caso de las cales. Por su parte, las rocas fosfóricas no contribuyeron al aumento del pH, pudiéndose establecer que, como consecuencia de su composición química, estos productos no reaccionan y poseen baja solubilidad (Fernández & Noguera, 2003), de allí que sean considerados como abonos o fertilizantes por su aporte de fósforo y no acondicionadores de suelos (ICONTEC, 2000).

En cuanto a las dos enmiendas granuladas, se demostró que, a pesar de tratarse de cales con una adecuada pureza química, no permitieron el aumento del pH del suelo debido a su granulometría, pues no reaccionaron en el tiempo establecido para el ensayo (45 días); esto se evidenció al finalizar la prueba de incubación, cuando se observaron los gránulos de los productos en el suelo.

La correlación entre el pH alcanzado con la aplicación de las enmiendas y el PRNT calculado para las mismas se muestra en la Figura 4. El valor alto del coeficiente de determinación de la regresión lineal ($R^2 = 0,92$) y la significancia de los parámetros ($p < 0,0001$), indican que el PRNT permite describir de manera adecuada la calidad y eficiencia de las enmiendas para corregir la acidez del suelo, medido como cambios en el pH del suelo (Figura 3).

Tabla 5. Valores promedio del pH del suelo en respuesta a la aplicación de los productos en la prueba de incubación. Medias acompañadas de diferentes letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5%.

Producto	pH
Cal apagada	6,57 a
Cal apagada	6,37 b
Cal agrícola	6,16 c
Cal dolomita	6,02 d
Cal dolomita	6,00 d
Cal dolomita + P	5,91 d
Dolomita calcinada	5,90 d
Cal agrícola	5,76 e
Cal agrícola	5,76 e
Cal dolomita	5,71 ef
Cal dolomita	5,71 ef
Cal dolomita	5,68 ef
Cal dolomita	5,62 fg
Escorias Thomas	5,61 fg
Cal dolomita	5,59 fg
Cal magnesiana	5,54 g
Cal dolomita	5,50 gh
Producto integral	5,39 hi
Producto integral	5,31 i
Yeso agrícola	5,10 j
Roca fosfórica	5,01 j
Cal dolomita	5,01 j
Roca fosfórica	4,86 k
Roca fosfórica	4,85 k
Roca fosfórica	4,84 k
Roca fosfórica	4,83 k
Roca fosfórica	4,82 k
Roca fosfórica	4,82 k
Cal agrícola	4,80 k
Roca fosfórica	4,78 k
Testigo	4,86 k

Lo anterior corrobora que el PRNT, como parámetro químico, permite medir la capacidad que tiene una enmienda para neutralizar la acidez del suelo, al tener en cuenta tanto la reactividad del producto como su composición química. Un producto, a pesar de tener muy buena fineza, no podrá neutralizar la acidez del suelo si su composición química no es la apropiada y viceversa, pues a pesar de que un producto tenga la composición adecuada si no posee la fineza necesaria (EG) no reaccionará y, por ende, no podrá aumentar el pH del suelo y neutralizar el Al^{3+} .

Con relación a las demás variables que se midieron al finalizar la prueba de incubación (Tabla 6), puede comentarse que, el Al^{3+} disminuyó en conformidad al aumento del pH, hasta llegar a no detectarse analíticamente para pH mayores a 5,31. Por otro lado, las concentraciones de calcio y magnesio aumentaron con base en los contenidos de estos elementos en las enmiendas (Tabla 3). Por lo general, todos los productos, con

excepción de las rocas fosfóricas aportaron calcio al suelo, de modo que se alcanzaron concentraciones de hasta $21,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estos resultados confirman lo descrito anteriormente sobre las rocas fosfóricas, las cuales no logran reaccionar ni solubilizarse, de manera que no aportan Ca al suelo a pesar de que presentaron contenidos semejantes al de las dolomitas.

Los aportes de magnesio por su parte, fueron principalmente provenientes de las dolomitas, para cuyo caso se registraron valores hasta $6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estos resultados demuestran las bondades de la aplicación de carbonatos e hidróxidos de Ca y/o Mg, productos que además de corregir la acidez del suelo, son fuentes de ambos elementos. Cabe comentar que es probable que no todo el calcio y el magnesio cuantificados sean intercambiables, esto como consecuencia de las limitaciones de la metodología analítica empleada, en las que se puede estar sobreestimando la fracción intercambiable del suelo (Sadeghian & Díaz-Marín, 2020b; Soratto & Crusciol, 2008).

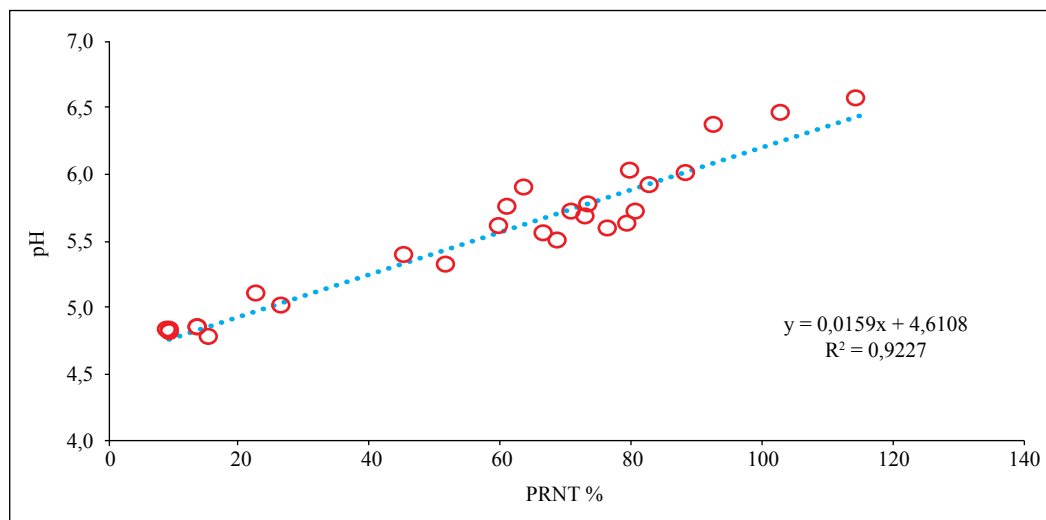


Figura 4. Relación entre el pH del suelo analizado en la prueba de incubación y el PRNT. La gráfica incluye 27 datos correspondientes a productos no granulados, a los que aplica la determinación de la EG y el cálculo del PRNT.

Tabla 6. Valores promedio de acidez, aluminio y bases intercambiables (K^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+}).

Producto	A.I.			Al^{3+}			K^+			Ca^{2+}			Mg^{2+}		
Testigo	0,43	abc		0,33	ab		0,22	bcdef		3,50	l		0,64	lm	
Cal agrícola	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,22	defg		11,20	ef	*	0,96	hij	*
	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,22	cdefg		11,40	ef	*	0,92	ij	*
	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,24	ab	*	13,75	d	*	1,16	gh	*
	0,27	e	*	0,17	d	*	0,23	bcde		4,54	kl		0,65	klm	
Cal dolomita	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,22	defg		8,67	hi	*	2,81	cd	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,22	cdefg		10,12	fg	*	2,64	d	*
	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,24	abc	*	9,03	ghi	*	1,99	e	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,21	defg		11,34	ef	*	1,19	gh	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,20	fg	*	10,00	fgh	*	4,32	b	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,20	fg	*	15,38	c	*	1,13	ghi	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,20	fg	*	10,47	efg	*	2,03	e	*
	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,20	efg	*	9,40	ghi	*	3,03	c	*
	0,30	e	*	0,18	d	*	0,22	defg		4,35	kl		0,89	ijk	*
Cal apagada	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,20	fg	*	20,96	a	*	1,52	f	*
	0,06	i	*	0,00	f	*	0,20	g	*	19,08	b	*	0,66	klm	

Continúa...

... Continuación.

Producto	A.I.			Al³⁺			K⁺			Ca²⁺			Mg²⁺		
Cal magnesiana	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,20	efg	*	9,39	ghi	*	1,62	f	*
Cal dolomita + P	0,07	hi	*	0,00	f	*	0,21	defg		11,40	ef	*	2,75	d	*
Escorias Thomas	0,08	ghi	*	0,00	f	*	0,21	defg		11,82	e	*	0,65	klm	
Roca fosfórica	0,36	d	*	0,31	bc		0,21	defg		6,27	j	*	0,84	jkl	*
Termofosfato	0,30	e	*	0,16	d	*	0,21	defg		5,55	jk	*	0,84	jkl	*
	0,45	a		0,38	a	*	0,21	defg		3,40	l		0,57	m	
	0,41	bc		0,36	ab		0,21	defg		3,67	l		0,60	m	
Roca fosfórica	0,40	cd	*	0,35	ab		0,22	bcdef		3,83	l		0,62	lm	
	0,44	ab		0,35	ab		0,21	defg		3,42	l		0,57	m	
	0,37	d	*	0,27	c	*	0,21	defg		3,91	l		0,58	m	
	0,40	cd	*	0,28	c	*	0,22	cdefg		3,88	l		0,59	m	
Producto integral	0,11	gh	*	0,00	f	*	0,22	defg		10,13	fg	*	0,92	ij	*
	0,11	g	*	0,00	f	*	0,21	defg		8,24	i	*	1,54	f	*
Dolomita calcinada	0,09	ghi	*	0,00	f	*	0,22	defg		10,00	fgh	*	5,80	a	*
Yeso agrícola	0,20	f	*	0,07	e	*	0,23	abcd		13,42	d	*	1,21	g	*

Letras distintas indican diferencias según la prueba de Tukey.

Los asteriscos (*) indican significancia de acuerdo con la prueba de Dunnett con respecto al testigo ($p < 0,05$).

Los resultados de esta investigación permiten concluir que:

- Las enmiendas que se comercializan en la zona cafetera de Colombia para corregir la acidez del suelo, aún las que pertenecen a una misma clase, presentaron diferencias considerables en su calidad.
- Pese a que las cales dolomíticas, agrícolas y apagadas poseen un mayor poder de neutralización (PN), su calidad se ve afectada por la granulometría.
- Los productos clasificados como enmiendas integrales exhibieron un PRNT menor que las cales, y las rocas fosfóricas y el yeso agrícola presentaron los valores más bajos.
- Las cales, además de aumentar el pH del suelo y neutralizar el aluminio intercambiable, aportaron calcio y magnesio, según su composición.
- El PRNT se correlacionó significativamente con el pH del suelo, evaluado en la prueba de incubación, lo que sugiere su uso para evaluar la eficiencia de las enmiendas que se emplean para corregir la acidez activa del suelo.
- Teniendo en cuenta los bajos contenidos de magnesio en los suelos de la zona cafetera de Colombia, las dolomitas pueden considerarse una fuente importante para corregir la acidez del suelo.

LITERATURA CITADA

- Alcarde, J. C. (1983, agosto 30). Características de qualidade dos corretivos de acidez do solo. En Sociedade Brasileira da Ciência do Solo (Organizador), *Simpósio sobre "Acidez e Calagem" Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo* (15ª ed., pp. 11–22). Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, Campinas, São Paulo, Brasil.
- Alcarde, J. C., & Rodella, A. A. (1996). Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. *Scientia Agricola*, 53(2–3), 211–216. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161996000200003>
- Álvarez, V. H., & Ribeiro, A. C. (1999). Calagem. En A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães & V. H. Álvarez (Eds.), *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais–5ª Aproximação* (pp. 43–56). Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
- Araújo, S., Demattê, J., & Garbuio, F. (2009). Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1755–1764. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600024>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (1997). *UNE-EN12048 Fertilizantes sólidos y enmiendas calizas. Determinación del contenido de humedad. Método gravimétrico por desecación a (105±2) °C. (ISO 8190:1992 modificada)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0010705>
- Athanase, N., Vicky, R., Jayne, M. N., & Sylvestre, H. (2013). Soil acidification and lime quality: sources of soil acidity, its effects on plant nutrients, efficiency of lime and liming requirements. *Agricultural Advances*, 2(9), 259–269. <http://ir-library.ku.ac.ke/handle/123456789/18732>
- Bellingieri, P., Alcarde, J. C., & Souza, E. (1989). Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 46(2), 303–317. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761989000200003>
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado. *Boletín INIA*, 151, 1-46. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7075>
- Bhering, L. (2017). Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2), 187–190. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>
- Bolan, N. S., & Hedley, M. J. (2003). Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. En Z. Rengel (Ed.), *Handbook of soil acidity* (pp. 29–56). CRC Press.

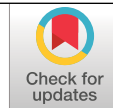
- Carey, P., Ketterings, Q., & Hunter, M. (2006). Liming materials, *Agronomy Fact Sheet Series*, 7, 1–2. <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet7.pdf>
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avedaño, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246–257. <https://doi.org/10.17584/rcch.2007v1i2.8701>
- Chaves, M. A. (1993). *Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo*. DIECA. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/FWRvRZBUQIDHbUPBgumMDnGJIQUhHaTo>
- Coelho, A. (2004). Eficiência de calcários de diferentes granulometrias na correção da acidez do solo. *Comunicado Técnico MAPA*, 100, 1–4. <http://docs.agencia.cnptia.embrapa.br/milho/Comunicado100.pdf>
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1981). *COVENIN 1816-81 Método de determinación de Zinc, Cobre, Hierro, Manganeseo, Calcio y Magnesio por absorción atómica*.
- De Filippo, B., & Ribeiro, A. (1997). *Boletim de Extensão 29: Análise química do solo (metodologia 2ª edição)*. Universidade Federal de Viçosa.
- Deus, A. C., Büll, L., Corrêa J., & Boas, R. (2014). Determination of reactivity rates of silicate particle-size fractions. *Revista Ceres*, 61(2), 265–272. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200015>
- Duarte, A. P., Bognola, I. A., Alvarez, V. H., & Dias, L. E. (1993). Avaliação de métodos de determinação do poder de neutralização e teores de cálcio e magnésio de calcários. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 17(2), 305–310.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (1997). Integrated plant nutrient management for sustainable crop production. An overview. *International Journal of Tropical Agriculture*, 15, 1–18.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2003). Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. En Z. Rengel (Ed.), *Handbook of soil acidity* (pp. 359–386). CRC Press.
- Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 110, pp. 251–331). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- Fernández, S., & Noguera, R. (2003). Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales. *Agronomía Tropical*, 53(1), 49–58.
- Galindo-López, F., Pinzón-Sandoval, E. H., Quintana-Blanco, W. A., Serrano, P. A., & Galán, M. (2018). Evaluación de un termofosfato en el crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. ‘Albiñón’. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 61–69. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.663>
- Haby, V. A., & Leonard, A. T. (2002). Limestone Quality and Effectiveness for Neutralizing Soil Acidity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(15–18), 2935–2948. <https://doi.org/10.1081/CSS-120014492>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers : an introduction to nutrient management*. (8a ed.). Pearson.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *NTC 1361–Abonos o fertilizantes. Roca fosfórica para aplicación directa al suelo*. <https://tienda.icontec.org/gp-abonos-o-fertilizantes-roca-fosforica-para-aplicacion-directa-al-suelo-ntc1361-2000.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2006). *NTC 5424–Productos químicos básicos para la industria agrícola. Enmiendas inorgánicas*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-quimicos-basicos-para-la-industria-agricola-enmiendas-inorganicas-ntc5424-2006.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2011). *NTC 5167 Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-para-la-industria-agricola-productos-organicos-usados-como-abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo-ntc5167-2011.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). *NTC 40–Abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. <https://tienda.icontec.org/gp-abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo-etiquetado-ntc40-2017.html>

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). *NTC 1927. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones y clasificación*. <https://tienda.icontec.org/gp-fertilizantes-y-acondicionadores-de-suelos-definiciones-y-clasificacion-ntc1927-2019.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *NTC 1361—Abonos o fertilizantes. Roca fosfórica para aplicación directa al suelo*. <https://tienda.icontec.org/gp-abonos-o-fertilizantes-roca-fosforica-para-aplicacion-directa-al-suelo-ntc1361-2000.html>
- Malavolta, E. (1993). *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: Colheitas econômicas máximas*. Editora Agronômica Ceres.
- Mullins, G. L., Alley, M. M., Phillips, S. B., & Maguire, R. (2019). Sources of lime for acid soils in Virginia. *Virginia Cooperative Extension. Publications 452-510*, 1–11. <https://www.pubs.ext.vt.edu/452/452-510/452-510.html>
- Upjohn, B., Fenton, G., & Conyers, M. (2005). *Soil acidity and liming* (4th ed.). NSW Department of Primary Industries.
- Pinochet, D., Ramírez, F., & Suárez, D. (2005). Evaluación de la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. *Agro Sur*, 33(1), 29–35. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2005.v33n1-04>
- Prado, R. M., Natale, W., Fernandes, F. M., & Corrêa, M. C. (2004). Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(1), 197–205. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100019>
- Primavesi, A., & Primavesi, O. (2004). *Documentos 37. Características de corretivos agrícolas*. Embrapa. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/42323/caracteristicas-de-corretivos-agricolas>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 466, 1–12. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/704>
- Sadeghian, S., & Díaz-Marín, C. (2020a). Corrección de la acidez del suelo: Efectos en el crecimiento inicial del café. *Revista Cenicafé*, 71(1), 21–31. <https://doi.org/10.38141/10778/1117>
- Sadeghian, S., & Díaz-Marín, C. (2020b). Corrección de la acidez del suelo: Alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*, 71(1), 7-20. <https://doi.org/10.38141/10778/1116>
- Sánchez, J. D. (2012). Acidez de los suelos y su manejo. *Boletín Técnico Cenibanano*, 3, 1–10.
- Soratto, R., & Crusciol, C. A. (2008). Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um Latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 663-673. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200021>
- Viadé, A., Fernández-Marcos, M., Hernández-Nistal, J., & Álvarez, E. (2011). Effect of particle size of limestone on Ca, Mg and K contents in soil and in sward plants. *Scientia Agrícola*, 68(2), 200–208. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000200010>

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA FUENTE CARBONATADA EN PLANTAS DE CAFÉ EN ALMÁCIGO

Natalia Catalina Flechas Bejarano *, José Ricardo Acuña Zornosa 

Flechas-Bejarano, N., & Acuña-Zornosa, J. R. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación de una fuente carbonatada en plantas de café en almácigo. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73104. <https://doi.org/10.38141/10778/73104>



La aplicación controlada de CO₂ y fertilizantes a través de partículas de liberación lenta, ha sido una estrategia innovadora y promisoría de fertilización para los cultivos, pues permite la liberación controlada de CO₂ en el mesófilo de las hojas vía estomas o epidermis. Se evaluó el efecto de la aplicación de un producto enriquecido con CO₂ en tres concentraciones diferenciales con base en la dosis óptima (TTO1-50%, TTO2-100% y TTO3-200%) en el contenido de biomasa seca, intercambio gaseoso, la Eficiencia real del Fotosistema II y la nutrición mineral en las plantas de café. Se asperjaron las plantas con una frecuencia de 15 días desde la emergencia del primer par de hojas verdaderas (30 DDS- BBHC12) hasta los seis meses (180 DDS-BBCH19) en almácigo estándar. Se cuantificó la biomasa total de 15 plantas por cada tratamiento y el control a los 180 DDS. No hubo evidencia estadística de diferencias significativas en el contenido de biomasa total ($gl=3$, 56; $F= 0,669$; $p=0,575$, $\alpha=0,05$). El intercambio gaseoso y la PSII fueron influenciados principalmente por la fenología, más que por la aplicación de los tratamientos (conductancia estomática- gs : $p=2,85 \times 10^{-5}$, tasa de asimilación neta- A : $p=9,01 \times 10^{-16}$, transpiración- E : $p=8,63 \times 10^{-4}$ y PSII: $p=1,93 \times 10^{-19}$). El contenido de macro y micronutrientes foliares del café fueron afectados tras la aplicación del CO₂ carbonatado. La aplicación del producto carbonatado no aumentó el contenido de biomasa seca total de las plantas de café durante su establecimiento en almácigo estándar.

Palabras clave: Biomasa, fenología, intercambio gaseoso, Fotosistema II, nutrición mineral.

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE APPLICATION OF A CARBONATED SOURCE ON COFFEE NURSERIES

The controlled application of CO₂ and fertilizers through slow-release particles has been an innovative and promising fertilization strategy for crops as it allows the controlled release of CO₂ in the leaf mesophyll via stomata or epidermis. The effect of the application of a CO₂-enriched product in three differential concentrations based on the optimal dose (TTO1-50%, TTO2-100% and TTO3-200%) on dry biomass content, gas exchange, actual Photosystem II Efficiency and mineral nutrition was evaluated in coffee plants. The plants were sprayed with a frequency of 15 days from the emergence of the first pair of true leaves (30 DDS- BBHC12) to six months (180 DDS-BBCH19) in a standard nursery. The total biomass of 15 plants was quantified for each treatment and control at 180 DDS. There was no statistical evidence of significant differences in total biomass content ($gl=3$, 56; $F= 0.669$; $p=0.575$, $\alpha=0.05$). Gas exchange and PSII were mainly influenced by phenology, rather than by the application of treatments (stomatal conductance- gs : $p=2.85 \times 10^{-5}$, net assimilation rate- A : $p=9.01 \times 10^{-16}$, transpiration- E : $p=8.63 \times 10^{-4}$ and PSII: $p=1.93 \times 10^{-19}$). The macro and micronutrient foliar content of coffee was affected after the application of carbonated CO₂. The application of the carbonated product did not increase the total dry biomass content of coffee plants during their establishment in standard nursery.

Keywords: Biomass, phenology, gas exchange, Photosystem II, mineral nutrition.

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



El efecto del CO₂ a elevadas concentraciones (e[CO₂]) se ha estudiado ampliamente en plantas de *Coffea arabica* L., a través de experimentos de atmósfera enriquecida en el campo con la tecnología FACE, la cual consiste en la emisión gaseosa de CO₂ de concentración conocida y controlada dentro de un área seleccionada, donde hay una parcela porción de un cultivo agrícola, un arreglo forestal o un bosque (Ainsworth & Long, 2021; Norby & Zak, 2011).

El incremento del CO₂ en la atmósfera ha sido benéfico para las plantas de café, principalmente en condiciones de estrés abiótico en floración y producción, respectivamente (Verhage et al., 2017), pues se ha encontrado que, bajo esta condición, *C. arabica* es más tolerante a temperaturas elevadas (37/30°C y 42/34°C) sin evidencia de aclimatación fotosintética (DaMatta et al., 2018; Martins et al., 2016; Rodrigues, 2017). También se han reportado cambios en la partición de la materia seca en eventos de estrés cruzado como las elevadas temperaturas con el déficit hídrico, pues se reportó que a un e[CO₂] se mejora la asimilación de carbono, disminuye la presión oxidativa y se promueve el crecimiento y la profundidad de la raíz (Ávila, Cardoso, et al., 2020; Ávila, de Almeida, et al., 2020). Otros beneficios encontrados en *C. arabica* son el mantenimiento y aumento de las tasas fotosintéticas, incremento en el uso eficiente de la luz y mayor producción de café cereza (DaMatta et al., 2018; Rakocevic et al., 2018).

La aplicación de CO₂ ha sido una estrategia propuesta para mejorar el crecimiento y la producción agrícola por amplificación del rendimiento fisiológico (Ahmed & Ahmad, 2019). Esto ha impulsado en el mercado, la innovación y la generación de fertilizantes de liberación lenta que permiten al CO₂ ingresar directamente al mesófilo de las hojas, aprovechando las condiciones fisicoquímicas

de la cavidad subestomática, para su liberación prolongada y controlada sin necesidad de emitir un volumen considerado de CO₂ a la atmósfera (Wang et al., 2019). La aplicación como fertilizante ha sido efectiva para incrementar la tasa de asimilación neta, el contenido de clorofilas totales y el aumento en la tasa de crecimiento relativo en plantas de tabaco y tomate (Wei et al., 2018; Ya et al., 2018).

En *C. arabica* se desconoce el efecto en el crecimiento, atributos de la fotosíntesis y de intercambio gaseoso tras la aplicación del CO₂ en forma particulada, pues hasta la fecha se han realizado evaluaciones de naturaleza descriptiva de la apariencia en el verdor de las plantas juveniles, contenido de materia seca y altura, en combinación con otros productos de aplicación edáfica como la zeolita (Leyton Araújo & Manrique Castro, 2019).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de una fuente particulada de CO₂ en plantas de café establecidas en almácigo convencional. Se obtuvo información del contenido de materia seca, algunas variables de intercambio gaseoso y de contenido nutricional en hojas a los 180 días después de siembra (DDS), que corresponde al estado fenológico BBCH19 (Arcila-Pulgarín et al., 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se sembró 1,0 kg de semilla de *C. arabica* variedad Cenicafé 1 en germinador de arena y se cosecharon 2.500 plántulas (chapolas) seleccionadas, las cuales fueron sembradas en bolsas con capacidad aproximada de 2,0 kg (17 x 23 cm) de suelo con relación 9:1 de materia orgánica (Sadeghian & Ospina P., 2021) y 10 mL de micorrizas, de acuerdo con lo establecido por Cenicafé (Gaitán et al., 2013). Las plántulas de café se instalaron en almácigo con un sombrío del

50%, conforme con lo descrito por Farfán et al. (2015). El almácigo se ubicó en la sede Cenicafé- La Granja con coordenadas 4°59'34"N- 75°35' 50"W, a una altitud de 1.219 m, temperatura promedio de 22°C, humedad relativa de 75,08% y precipitación acumulada hasta junio del 2021, de 1.453 mm.

Tratamientos. Se realizó el ajuste de la dosis de la fuente de CO₂ (56% de CaCO₃ y 43% de MgCO₃), de acuerdo con lo sugerido por diversas casas comerciales (10 kg/100 L de agua, en plantas de café con una densidad de siembra de 7.000 plantas/ha). Se determinó un total de tres tratamientos más el control para la evaluación de la eficacia del producto. Las dosis calculadas para cada uno de los tratamientos fueron de 0,005 g mL⁻¹, 0,010 g mL⁻¹ y 0,020 g mL⁻¹ por planta para los tratamientos TTO1, TTO2 y TTO3, respectivamente; se tomaron como control aquellas plantas a las que no se les aplicó el producto. La aplicación se realizó a partir de la emergencia del primer par de hojas verdaderas, desde los 30 días después de siembra (DDS-BBCH12) hasta los 180 DDS- BBCH19, con una frecuencia de 15 días por el envés de las hojas, dado que los estomas de las plantas de café son hipostomáticos.

Unidad experimental (UE). Estuvo compuesta por un total de 20 plantas de café. De acuerdo con la varianza de 0,36 obtenida en estudios preliminares de la biomasa seca en almácigos, asociada a un promedio de 5,54 g de peso seco, diferencia mínima aceptable de 0,80 g, nivel de significancia del 5% y una confiabilidad mayor del 95%, se determinó un total de 15 UE por cada tratamiento.

Variable respuesta. Se cosecharon 15 plantas de café por cada tratamiento a los 180 DDS, se colocaron en estufa durante un período de siete días a temperatura de 65°C, se obtuvo el contenido de biomasa seca total y por órgano,

en una balanza analítica ADVENTURER OHAUS (±0,001 g).

Intercambio gaseoso. Con el analizador de gases infrarrojo CIRAS-3 PPSYSTEMS (Amesbury- MA), se realizaron mediciones bajo condiciones de cámara controladas (radiación fotosintéticamente activa saturante (RAF) de 1.000 μmol fotón m⁻²s⁻¹, temperatura de 25°C, humedad relativa de 50% y déficit de presión de vapor (DPV) de 1,0 kPa, en dos hojas de cinco plantas por tratamiento, desde las 06:00 hasta las 12:00, a los 30 DDS y 180 DDS, respectivamente. Las variables obtenidas fueron: tasa de asimilación neta (*A*) μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, conductancia estomática (*g_s*) mmol H₂O m⁻²s⁻¹ y transpiración (*E*) mmol H₂O m⁻².

Fluorescencia de la clorofila. Simultáneamente con la medición de las variables de intercambio gaseoso y con el fluorómetro modulado PAM CMF-3 acoplado al CIRAS-3 PPSYSTEMS (Amesbury- MA), se realizaron mediciones de la eficiencia real del fotosistema II (ΦPSII) con un pulso de 9.000 μmol fotón m⁻²s⁻¹ de luz actínica. El ΦPSII fue calculado con base a lo estimado por Baker (2008) (Ecuación <1>).

$$\Phi PSII = \frac{(F'_m - F_s)}{F'_m} \quad <1>$$

Donde: F_m' es la fluorescencia máxima bajo condiciones lumínicas y la F_s es la fluorescencia en estado estable bajo iluminación de la hoja (1.000 μmol fotón m⁻²s⁻¹).

Minerales foliares. Se efectuaron análisis químicos foliares de tres plantas de 180 DDS por tratamiento, según la norma NTC 5752-2010 para el análisis de tejido vegetal, digestión y mineralización de muestras, teniendo en cuenta las recomendaciones técnicas para café (Sadeghian, 2020). Los análisis se realizaron

con la totalidad de las láminas foliares de las plantas.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA), con el objetivo de evaluar la diferencia de la media de la biomasa seca total de las plantas sometidas a los diferentes tratamientos, en contraste con el control a los 180 DDS, con una significancia del 5%. Se realizó una prueba *t* al 5% para evaluar las diferencias en estos parámetros con base a la fenología, y su magnitud con el criterio *d* de Cohen. Los paquetes utilizados fueron Tidyverse (Wickham et al., 2019), rstatix (Kassambara, 2021) y ggpubr (Kassambara, 2020), con el IDE RStudio® (RStudio Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de biomasa seca total

En la Figura 1 se observa el diagrama de cajas y bigotes del contenido total de biomasa seca por UE. No hubo evidencia estadística de diferencias significativas en el contenido de biomasa seca entre los tratamientos de aplicación en contraste con el control ($gI=3,56$; $F=0,669$; $p=0,575$).

El contenido de materia seca total de las plantas de café no aumentó significativamente tras la aplicación del CO₂ particulado, lo cual ha sido observado en estudios de crecimiento temprano de *C. arabica* bajo concentraciones atmosféricas de 550 y 600 ppm de CO₂; no obstante, se ha descrito un aumento en la actividad del metabolismo secundario, debido a que en el mesófilo de las hojas se amplificó la síntesis de cafeína, arginina, ácidos orgánicos y almidón, lo cual se ha relacionado con el sostenimiento de la actividad fotosintética y la disminución del estrés en la planta por variaciones abióticas; esta respuesta ayuda a soportar estados fenológicos tardíos como la floración y la fructificación en el campo, además de favorecer el crecimiento de hojas y raíces cuando las plantas están bajo estrés hídrico y/o elevadas temperaturas (Catarino et al., 2021; Rakocevic et al., 2020; Sanches et al., 2020).

La baja sensibilidad de *C. arabica* a elevadas concentraciones de CO₂ se ha relacionado con su naturaleza alotetraploide ($2n=4x=44$), pues esta multiplicación del genoma implica en términos evolutivos, la tolerancia genética hacia las variaciones ambientales (Marques et al., 2021; Van de Peer et al., 2021), por

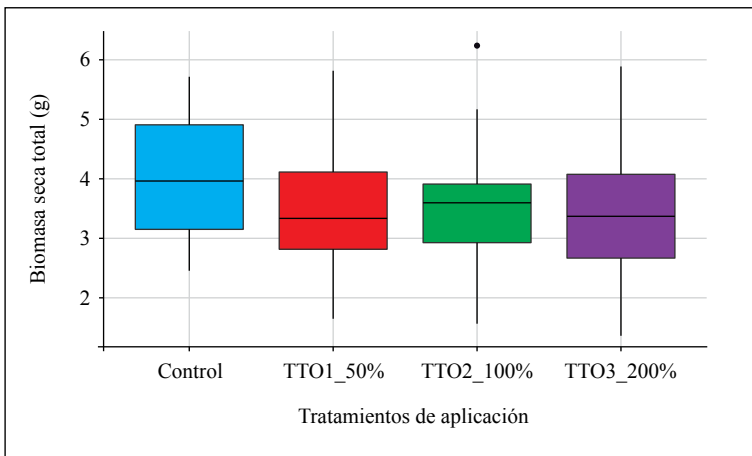


Figura 1. Diagrama de cajas y bigotes del contenido de biomasa seca total en gramos por UE de cada uno de los tratamientos de aplicación del producto carbonatado (CaCO₃ + MgCO₃), en contraste con el CONTROL a los 180 DDS- BBCH19.

lo tanto, *C. arabica* en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo temprano, a pesar de las elevadas concentraciones de CO₂ atmosférico, no evidencia cambios estructurales significativos. Sin embargo, a partir de los 203 DDS se ha observado que *C. arabica* incrementa la biomasa (g/planta), número de ramas y contenido de biomasa seca de las hojas (g) en concentraciones de CO₂ superiores a 416 ppm (Vega et al., 2020). Esto explica por qué la evaluación a los 180 DDS del contenido de materia seca, no es tiempo suficiente para cuantificar el efecto del CO₂ en plantas de café.

Intercambio gaseoso y eficiencia real del fotosistema II

A los 60 DDS en todos los tratamientos y el control, se observaron valores más elevados para los parámetros de intercambio gaseoso, en contraste con las plantas evaluadas a los 180 DDS, cuyos valores de *A*, *g_s* y *E* fueron inferiores, como se observa en la Tabla 1. Esta disminución en los parámetros de intercambio gaseoso, pueden ser explicados a partir de la fenología críptica, que describe aquellos procesos de crecimiento que son aparentemente “invisibles” por su difícil cuantificación con tendencia cíclica, como la tasa de recambio de la raíz (Albert et al., 2019). En otras especies, se ha encontrado una asociación directa del CO₂ atmosférico con el aumento del volumen de la raíz, que conduce a un incremento en la tasa de transpiración del dosel y en alteraciones en la adquisición de nutrientes de la solución del suelo (Thompson et al., 2017), que modifican el desarrollo y la respuesta hormonal de los estomas y, por ende, la respuesta de la planta ante el ambiente (Qi & Torii, 2018).

En café hubo un incremento independiente de la dosis y del tiempo (DDS) en el ΦPSII en contraste con el control, por lo que el CO₂ particulado tuvo un efecto benéfico

en la actividad estimada del fotosistema II (60 DDS: $p=3,48 \times 10^{-19}$; 180 DDS: $p=0,018$), pues hay evidencia de que el aumento de CO₂ favorece la maquinaria fotosintética por estimular la síntesis de la proteína D1, que mejora el rendimiento cuántico del fotosistema II de cultivos como tabaco y arroz (Chen et al., 2020). Otra respuesta asociada es la sobreexpresión de la subunidad S del fotosistema II, que conlleva a la modificación de la señal molecular del cloroplasto que afecta la apertura estomática hacia la luz, ejerciendo un mayor control en la pérdida de agua y en el aumento de la tasa de asimilación neta (Glowacka et al., 2018). Dado que la aplicación de la fuente carbonatada de CO₂ mejoró la eficiencia real del fotosistema II del café (Tabla 1), es posible que bajo condiciones de estrés térmico y por déficit hídrico, la aplicación del producto pueda conservar la función de la maquinaria fotosintética manteniendo el crecimiento y desarrollo (Pérez et al., 2021).

Contenido mineral foliar

Con base en el análisis foliar realizado, se reportaron valores diferenciales de los macronutrientes y micronutrientes de las plantas de café sometidas a los tres tratamientos de aplicación de CO₂ en comparación con el control, como se observa en la Tabla 2.

En términos descriptivos, el porcentaje de macronutrientes fue mayor en las plantas del TTO2 y TTO3 en contraste con el control. En tanto que algunos micronutrientes como el Fe, Mn y B fueron inferiores en todos los tratamientos en contraste con el control, mientras que el Cu y Zn fueron superiores en concentración en los tratamientos TTO2 y TTO3. Los nutrientes Ca, Cu y Mn fueron inferiores en los tratamientos y el control en contraste con los valores de referencia de café en almacigo.

Tabla 1. Media, error estándar e intervalo de confianza al 95% de la conductancia estomática (g_s $mmol\ H_2O\ m^{-2}s^{-1}$), tasa de asimilación neta (A $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$), transpiración (E $mmol\ H_2O\ m^{-2}s^{-1}$) y de la eficiencia real del Fotosistema II ($PSII$) de cinco plantas por tratamiento de aplicación (TTO1_50%, TTO2_100%, TTO3_200%) y el control a los 60 DDS (BBCH12) y a los 180 DDS (BBCH19), respectivamente. El efecto de la fenología se describe a partir del criterio d de Cohen al 95%, siendo el color verde la representación de un efecto pequeño y el color amarillo de una respuesta moderada de los parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila evaluados.

Tiempo de evaluación	Tratamientos	Conductancia estomática (gs)			Tasa de asimilación neta (A)			Tasa de transpiración (E)			Eficiencia real del fotosistema II (PSII)		
		Media	E.E (+/-)	I.C	Media	E.E (+/-)	I.C	Media	E.E (+/-)	I.C	Media	E.E (+/-)	I.C
60 DDS-BBCH12	TTO1 50%	123,89	7,65	[116,90-130,88]	10,9	0,22	[10,51-11,26]	2,82	0,092	[2,66-2,98]	0,184	0,003	[0,180-0,189]
	TTO2 100%	88,29	4,16	[75,26-101,32]	9,59	0,29	[9,09-10,09]	2,01	0,17	[1,73-2,29]	0,151	0,005	[0,142-0,160]
	TTO3 200%	80,33	7,75	[72,24-88,42]	7,73	0,37	[7,12-8,35]	1,77	0,085	[1,63-1,91]	0,132	0,004	[0,126-0,138]
	CONTROL	167,67	4,81	[154,82-180,51]	9,85	0,42	[9,13-10,56]	3,17	0,11	[2,98-3,35]	0,148	0,005	[0,141-0,156]
180 DDS-BBCH19	TTO1 50%	140,09	16,41	[112,51-167,67]	4,75	0,45	[3,99-5,51]	1,88	0,19	[1,56-2,21]	0,094	0,005	[0,087-0,102]
	TTO2 100%	167,27	14,03	[143,68-190,85]	6,55	0,43	[5,82-7,27]	2,08	0,13	[1,85-2,30]	0,109	0,005	[0,100-0,118]
	TTO3 200%	197,20	16,60	[169,30-225,10]	7,43	0,47	[6,63-8,22]	2,41	0,13	[2,16-2,66]	0,122	0,008	[0,108-0,135]
	CONTROL	137,38	17,27	[104,99-169,76]	5,75	0,63	[4,68-6,80]	1,61	0,19	[1,28-1,93]	0,112	0,007	[0,099-0,123]

Tabla 2. Contenido de macro y micronutrientes foliares de *C. arabica* a los 180 DDS. Se presentan las concentraciones en porcentaje (%) de nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), fósforo (P) y azufre (S), y en mg kg⁻¹ de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B). El asterisco (*) representa los rangos críticos de referencia para café en etapa de producción de acuerdo con Sadeghian (2020). Las flechas verdes indican concentraciones mayores del límite superior, las flechas amarillas indican valores normales y las flechas rojas señalan concentraciones inferiores de los rangos críticos estimados para café en almácigo.

Tratamientos	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (mg Kg-1)				
	N	Ca	Mg	K	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
TTO1 (50%)	↑ 3,26	↓ 0,25	→ 0,25	→ 1,72	→ 0,17	↓ 0,12	→ 83,52	↓ 55,1	↓ 6,4	→ 6,3	↓ 25,69
TTO2 (100%)	↑ 3,99	↓ 0,3	→ 0,3	↑ 3,31	↑ 0,22	→ 0,15	→ 81,96	↓ 69,17	↓ 7,31	→ 7,13	↓ 27,07
TTO3 (200%)	↑ 3,89	↓ 0,36	→ 0,36	↑ 3,35	↑ 0,22	→ 0,15	→ 87,66	↓ 61,71	↓ 7,43	→ 7,23	↓ 28,17
CONTROL	↑ 3,43	↓ 0,26	→ 0,26	↑ 2,28	↑ 0,2	↓ 0,13	↑ 130,12	↓ 91,42	↓ 6,58	→ 6,05	→ 34,36
*	[2.36-2.78]	[0.75-1.29]	[0.18-0.45]	[1.58-2.15]	[0.14-0.20]	[0.15-0.19]	[54-121]	[106-278]	[8-17]	[6-12]	[29-55]

En el caso de los macronutrientes, en especial para el nitrógeno (N) bajo elevadas concentraciones de CO₂ en especies C3 (Rizopoulou & Nunes, 1981), previamente se había reportado que el incremento de CO₂ en el mesófilo, disminuye la asimilación de NO₃ por inhibición de la síntesis de malato en el cloroplasto, lo cual afecta la biosíntesis proteica. Sin embargo, se ha encontrado evidencia de que las concentraciones elevadas de CO₂ en la atmósfera promueven la retención de NO₃ en las raíces, además de aumentar la concentración de aminoácidos esenciales para la síntesis de proteínas en las hojas (Sardans et al., 2017). El balance nutricional y mineral del carbono y nitrógeno es resultante de la interacción planta-suelo independientemente de la fenología, y es proporcional a la concentración de CO₂ recibida por la planta, en especial cuando el suelo es fértil o está bajo régimen de fertilización (Terrer et al., 2019).

Algunos nutrientes foliares como el Mg, Fe y Zn son más susceptibles a disminuir su concentración por el efecto de dilución, que por algún efecto metabólico en específico (Dong et al., 2018). Sin embargo, en las plantas juveniles de café se encontró que el Mg incrementó su concentración en conjunto con el S y Zn, señalando una mayor eficiencia en su absorción y mejora en la actividad fotosintética por disponibilidad de cofactores metabólicos, coenzimas y aminoácidos esenciales como la cisteína (Hawkesford et al., 2012).

Aún se desconoce la respuesta sistémica del café frente a la aplicación particulada de

acondicionadores que liberan CO₂ de forma controlada en el mesófilo. Sin embargo, se ha encontrado evidencia de que estas partículas liberadas dentro de la cavidad subestomática tienen una elevada movilidad desde las hojas hacia la raíz y viceversa, a través del xilema y del floema, siendo este tipo de aplicación promisorio para un mayor uso eficiente de nutrientes, frente a la elevada demanda en la producción y/o en condiciones limitantes por factores abióticos, donde la fertilización edáfica puede llegar a ser limitante y/o poco eficaz (Chhipa, 2017; Su et al., 2019; Usman et al., 2020; Zulfiqar et al., 2019).

En este estudio puede concluirse que la aplicación del producto carbonatado no incrementó el contenido de materia seca de las plantas juveniles de café de 180 DDS, sin embargo, se encontró que tiene efectos benéficos en la respuesta del Fotosistema II, lo cual es un rasgo promisorio frente a la respuesta fotosintética de las plantas de café.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Los autores agradecen a todos los integrantes de la Disciplina de Fisiología Vegetal, en especial al auxiliar Mario Franco Arcila por su contribución, colaboración y cooperación en el manejo del almacigo y en la aplicación de los tratamientos. Esta investigación se realizó bajo el código de Cenicafé FIS102008.

LITERATURA CITADA

Ahmed, M., & Ahmad, S. (2019). Carbon Dioxide Enrichment and Crop Productivity. En M. Hasanuzzaman (Ed.), *Agronomic Crops* (pp. 31–46). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_3

Ainsworth, E. A., & Long, S. P. (2021). 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? *Global Change Biology*, 27(1), 27–49. <https://doi.org/10.1111/gcb.15375>

- Albert, L. P., Restrepo-Coupe, N., Smith, M. N., Wu, J., Chavana-Bryant, C., Prohaska, N., Taylor, T. C., Martins, G. A., Ciais, P., Mao, J., Arain, M. A., Li, W., Shi, X., Ricciuto, D. M., Huxman, T. E., McMahon, S. M., & Saleska, S. R. (2019). Cryptic phenology in plants: Case studies, implications, and recommendations. *Global Change Biology*, 25(11), 3591-3608. <https://doi.org/10.1111/gcb.14759>
- Arcila-Pulgarin, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., & Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). *Annals of Applied Biology*, 141(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Avila, R. T., Cardoso, A. A., de Almeida, W. L., Costa, L. C., Machado, K. L. G., Barbosa, M. L., de Souza, R. P. B., Oliveira, L. A., Batista, D. S., Martins, S. C. V., Ramalho, J. D. C., & DaMatta, F. M. (2020). Coffee plants respond to drought and elevated [CO₂] through changes in stomatal function, plant hydraulic conductance, and aquaporin expression. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104148. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104148>
- Avila, R. T., de Almeida, W. L., Costa, L. C., Machado, K. L. G., Barbosa, M. L., de Souza, R. P. B., Martino, P. B., Juárez, M. A. T., Marçal, D. M. S., Martins, S. C. V., Ramalho, J. D. C., & DaMatta, F. M. (2020). Elevated air [CO₂] improves photosynthetic performance and alters biomass accumulation and partitioning in drought-stressed coffee plants. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104137>
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 89–113. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Catarino, I. C., Monteiro, G. B., Ferreira, M. J., Torres, L., Domingues, D. S., Centeno, D. C., Lobo, A. K. M., & Silva, E. A. (2021). Elevated [CO₂] Mitigates Drought Effects and Increases Leaf 5-O-Caffeoylquinic Acid and Caffeine Concentrations During the Early Growth of *Coffea Arabica* Plants. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.676207>
- Chen, J.-H., Chen, S.-T., He, N.-Y., Wang, Q.-L., Zhao, Y., Gao, W., & Guo, F.-Q. (2020). Nuclear-encoded synthesis of the D1 subunit of photosystem II increases photosynthetic efficiency and crop yield. *Nature Plants*, 6(5), 570–580. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0629-z>
- Chhipa, H. (2017). Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), 15–22. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4>
- DaMatta, F. M., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Martins, S. C. V., & Ramalho, J. C. (2018). Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5264–5274. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04537>
- Dong, J., Gruda, N., Lam, S. K., Li, X., & Duan, Z. (2018). Effects of Elevated CO₂ on Nutritional Quality of Vegetables: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 9, 924. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00924>
- Farfán, F., Serna, C. A., & Sánchez, P. M. (2015). Almacigos para caicultura orgánica: alternativas y costos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 452, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/556>
- Gaitán B., A. L., Villegas G., C., Rivillas O., C. A., Hincapié G., E., & Arcila P., J. (2013). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo [Technical Report]. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/350>
- Gaitán, A., Villegas, C., Rivillas, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>
- Głowacka, K., Kromdijk, J., Kucera, K., Xie, J., Cavanagh, A. P., Leonelli, L., Leakey, A. D. B., Ort, D. R., Niyogi, K. K., & Long, S. P. (2018). Photosystem II Subunit S overexpression increases the efficiency of water use in a field-grown crop. *Nature Communications*, 9(1), 868. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03231-x>
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Möller, I. S., & White, P. (2012). Chapter 6—Functions of Macronutrients. En P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* (pp. 135–189). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
- Kassambara, A. (2020). ggpubr: «ggplot2» Based Publication Ready Plots (0.4.0) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>
- Kassambara, A. (2021). rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests (0.7.0) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>

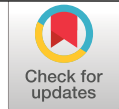
- Leyton Aratújo, D. A., & Manrique Castro, D. C. (2019). *Evaluación del efecto de acondicionadores foliar y edáfico en almácigos de café en la finca La Sultana vereda Urubamba—Municipio de Timbío—Cauca* [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1635>
- Marques, I., Fernandes, I., Paulo, O. S., Lidon, F. C., DaMatta, F. M., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. I. (2021). A Transcriptomic Approach to Understanding the Combined Impacts of Supra-Optimal Temperatures and CO₂ Revealed Different Responses in the Polyploid *Coffea arabica* and Its Diploid Progenitor *C. canephora*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3125. <https://doi.org/10.3390/ijms22063125>
- Martins, M. Q., Rodrigues, W. P., Fortunato, A. S., Leitão, A. E., Rodrigues, A. P., Pais, I. P., Martins, L. D., Silva, M. J., Reboredo, F. H., Partelli, F. L., Campostri, E., Tomaz, M. A., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A. I., Lidon, F. J. C., DaMatta, F. M., & Ramalho, J. C. (2016). Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO₂] Conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00947>
- Norby, R. J., & Zak, D. R. (2011). Ecological Lessons from Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) Experiments. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42(1), 181–203. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144647>
- Perez, T. M., Socha, A., Tserej, O., & Feeley, K. J. (2021). Photosystem II heat tolerances characterize thermal generalists and the upper limit of carbon assimilation. *Plant, Cell & Environment*, 44(7), 2321–2330. <https://doi.org/10.1111/pce.13990>
- Qi, X., & Torii, K. U. (2018). Hormonal and environmental signals guiding stomatal development. *BMC Biology*, 16(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s12915-018-0488-5>
- Rakocevic, M., Braga, K. S. M., Batista, E. R., Maia, A. H. N., Scholz, M. B. S., & Filizola, H. F. (2020). The vegetative growth assists to reproductive responses of Arabica coffee trees in a long-term FACE experiment. *Plant Growth Regulation*, 91(2), 305–316. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00607-2>
- Rakocevic, M., Ribeiro, R. V., Ribeiro Marchiori, P. E., Filizola, H. F., & Batista, E. R. (2018). Structural and functional changes in coffee trees after 4 years under free air CO₂ enrichment. *Annals of Botany*, 121(5), 1065–1078. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy011>
- Rizopoulou, S., & Nunes, M. A. (1981). Some Adaptive Photosynthetic Characteristics of a Sun Plant (*Cerantonia Siliqua*) and a Shade Plant (*Coffea Arabica*). En N. S. Margaris & H. A. Mooney (Eds.), *Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects* (Vol. 4, pp. 85–89). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-8683-1_13
- Rodrigues, W. P. (2017). *Effect of high temperatures and CO₂ concentration on physiological, biochemical and growth traits in Coffea sp.: Aspects related to the single leaf and whole canopy* [Tesis de Doctorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense]. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12225>
- RStudio Team. (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Sadeghian, S. (2020). Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 515, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0515>
- Sadeghian, S., & Ospina, C. (2021). Manejo nutricional de café durante la etapa de almácigo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 532, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0532>
- Sanches, R. F. E., da Cruz Centeno, D., Braga, M. R., & da Silva, E. A. (2020). Impact of high atmospheric CO₂ concentrations on the seasonality of water-related processes, gas exchange, and carbohydrate metabolism in coffee trees under field conditions. *Climatic Change*, 162(3), 1231–1248. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02741-2>
- Sardans, J., Grau, O., Chen, H. Y. H., Janssens, I. A., Ciais, P., Piao, S., & Peñuelas, J. (2017). Changes in nutrient concentrations of leaves and roots in response to global change factors. *Global Change Biology*, 23(9), 3849–3856. <https://doi.org/10.1111/gcb.13721>
- Su, Y., Ashworth, V., Kim, C., Adeleye, A. S., Rolshausen, P., Roper, C., White, J., & Jassby, D. (2019). Delivery, uptake, fate, and transport of engineered nanoparticles in plants: A critical review and data analysis. *Environmental Science: Nano*, 6(8), 2311–2331. <https://doi.org/10.1039/C9EN00461K>
- Thompson, M., Gamage, D., Hirotsu, N., Martin, A., & Seneweera, S. (2017). Effects of Elevated Carbon Dioxide on Photosynthesis and Carbon Partitioning: A Perspective on Root Sugar Sensing and Hormonal Crosstalk. *Frontiers in Physiology*, 8, 578. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00578>

- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Rehman, H. ur, Ashraf, I., & Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of The Total Environment*, 721, 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>
- Van de Peer, Y., Ashman, T.-L., Soltis, P. S., & Soltis, D. E. (2021). Polyploidy: An evolutionary and ecological force in stressful times. *The Plant Cell*, 33(1), 11–26. <https://doi.org/10.1093/plcell/koaa015>
- Vega, F. E., Ziska, L. H., Simpkins, A., Infante, F., Davis, A. P., Rivera, J. A., Barnaby, J. Y., & Wolf, J. (2020). Early growth phase and caffeine content response to recent and projected increases in atmospheric carbon dioxide in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*). *Scientific Reports*, 10(1), 5875. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62818-x>
- Verhage, F. Y. F., Anten, N. P. R., & Sentelhas, P. C. (2017). Carbon dioxide fertilization offsets negative impacts of climate change on Arabica coffee yield in Brazil. *Climatic Change*, 144(4), 671–685. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2068-z>
- Wang, Y., Zhang, Y.-J., Han, J.-M., Li, C.-H., Wang, R.-J., Zhang, Y.-L., & Jia, X. (2019). Improve Plant Photosynthesis by a New Slow-Release Carbon Dioxide Gas Fertilizer. *ACS Omega*, 4(6), 10354–10361. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03086>
- Wei, Z., Du, T., Li, X., Fang, L., & Liu, F. (2018). Interactive Effects of Elevated CO₂ and N Fertilization on Yield and Quality of Tomato Grown Under Reduced Irrigation Regimes. *Frontiers in Plant Science*, 9, 328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00328>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemond, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Ya, Z., YongPing, Z., ShiWei, Z., Pan, Y., & Meng, Z. (2018). Effects of combined application of slow-release fertilizer and foliage fertilizer on growth, development and photosynthetic characteristics of tobacco plants. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 30(6), 67–70.
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270>

PRODUCCIÓN DE CAFÉ CON FERMENTACIONES INCOMPLETAS Y FERMENTACIONES PROLONGADAS UTILIZANDO EL FERMAESTRO®

Juan Rodrigo Sanz Uribe *, Javier Velásquez Henao *

Sanz-Uribe, J. R., & Velásquez-Henao, J. (2022). Producción de café con fermentaciones incompletas y fermentaciones prolongadas utilizando el Fermaestro®. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73105. <https://doi.org/10.38141/10778/73105>



Este trabajo tuvo como finalidad utilizar el implemento Fermaestro® para establecer métodos con fermentaciones incompletas, con remoción parcial del mucilago, con el fin de obtener cafés conocidos como enmielados (Honey), y métodos con fermentaciones prolongadas, asociados a los cafés conocidos como vinosos. Se planteó un diseño de bloques completos al azar, de una sola vía y nueve tratamientos: sin remoción de mucilago, con degradación del 25%, 50% y 75%, café lavado en el momento marcado por el Fermaestro® (Testigo), con tiempos adicionales de 2, 4, 6 y 8 horas en el tanque de fermentación. Las pruebas fueron repetidas en nueve ocasiones y a temperatura ambiente controlada, 19±0,5°C. El café se secó al sol, en capa delgada, entre 3 y 6 días, desde 53%b.h. hasta llegar al 10%-12%b.h. No hubo diferencia estadística entre las calificaciones de las tazas de los tratamientos. Se encontró que hay probabilidades entre 22% y 77% de obtener tazas con defectos sensoriales y entre 67% y 78% de no superar la calificación total SCA del café procesado con el método Fermaestro®, cuando se pretende obtener cafés honey. De los cafés con fermentaciones prolongadas se obtuvo una probabilidad entre 0% y 11% de obtener tazas con defecto, mientras que la probabilidad de no superar las calificaciones obtenidas por el testigo estuvieron entre 44% y 56%. El café procesado de la manera recomendada en el método Fermaestro® no mostró defectos y obtuvo un promedio de 81,6 puntos en la escala SCA, que lo catalogan como café de muy buena calidad.

Palabras clave: Método Fermaestro®, fermentación incompleta, fermentación prolongada, café honey, café vinoso.

PRODUCTION OF COFFEE WITH INCOMPLETE FERMENTATIONS AND FERMENTATIONS USING THE FERMAESTRO® IMPLEMENT

This work aimed to use the Fermaestro® tool to establish methods with incomplete fermentation with partial removal of mucilage in order to obtain honey coffee and prolonged-fermentation methods associated with winery coffee. A one way completely randomized block design with nine treatments was followed: without mucilage removal, with degradation of 25%, 50% and 75%, coffee washed at the time marked by the Fermaestro® (Control), with additional times of 2, 4, 6 and 8 hours in the fermentation tank. The tests were repeated nine times at controlled room temperature of 19±0.5°C. The coffee was dried in thin beds, between 3 and 6 days, to reduce moisture from 53% w.b. to 10%-12% w.b. There was no statistical difference among the cup scores of the nine treatments. The findings show a probability between 22% and 77% of cups with sensory defects and between 67% and 78% of not exceeding the total SCA rating of coffee processed with the Fermaestro® method when honey coffees are intended to be obtained. The prolonged-fermentation coffees showed a probability between 0% and 11% of cups with defects, and a probability between 44% and 56% of not exceeding the scores obtained by the control. The coffee processed in the manner recommended by the Fermaestro® method showed no defects and obtained an average of 81.6 points on the SCA scale, which classify it as a very good quality coffee.

Keywords: Fermaestro® method, incomplete fermentation, prolonged fermentation, honey coffee, winery coffee.

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



El mercado actual ha mostrado preferencia por cafés en cuyo procesamiento se utiliza la fermentación espontánea para la degradación del mucílago, antes del lavado. La fermentación es un proceso bioquímico complejo, que depende de muchas variables, por lo cual, es la etapa del proceso de beneficio húmedo del café a la que más defectos se le atribuyen. En la etapa de fermentación natural, el café recién despulpado se deposita en tanques, con el fin de que los microorganismos propios del mucílago degraden las moléculas grandes, como los azúcares, para convertirlos en moléculas más pequeñas (ácidos), que son fácilmente removibles con agua (Peñuela et al., 2010).

Como respuesta a la frecuente aparición de defectos relacionados con la fermentación de café, Peñuela et al. (2010) realizaron un trabajo de investigación en el que evaluaron los sistemas tradicionales más usados en las fincas para determinar el punto de lavado¹, que son: el tiempo de proceso, la estimulación de los sentidos (tacto, oído, visión y olfato) y la adhesión, representada por la estabilidad de un agujero practicado en la masa de café que está en el tanque de fermentación. Los resultados mostraron que hay grandes errores en esos métodos y explicaron la razón por la cual es frecuente encontrar el defecto fermento en el café comercializado.

En la misma investigación, Peñuela et al. (2010) evaluaron diferentes variables que cambian durante la fermentación para hacer monitoreo del estado de la degradación del mucílago y determinar con exactitud el punto de lavado. Se evaluó la temperatura, el pH y la resistencia al punzonamiento (como medida de la viscosidad del pseudofluido). Los resultados mostraron que estas variables no

son confiables para determinar con exactitud la finalización del proceso de degradación del mucílago.

En el mercado de los cafés especiales es común encontrar algunos que se han establecido por los procesos que llevan y los resultados que se perciben en la bebida. Unos de los más comunes son los cafés honey, los cuales se caracterizan porque son llevados al secado con la totalidad o con parte del mucílago adherido, lo cual, según los seguidores de este tipo de café, da un sabor dulce que recuerda a la miel, además de otras características. Los cafés honey están siempre asociados al secado solar, por eso el tiempo que dure el secado y la cantidad de mucílago, le dan tonalidades finales a su apariencia física. Hay cafés honey amarillo, rojo y negro (Sanz-Urbe et al., 2017). El café honey amarillo se logra dejando una pequeña cantidad de mucílago combinado con secado solar de 8 a 10 días. El café honey rojo se logra dejando entre el 50% y el 75% del mucílago combinado con un secado solar de 12 a 15 días. El café honey negro se logra dejando el café con la totalidad del mucílago combinado con un secado solar de hasta 30 días. Cada uno de ellos presenta características diferentes en la bebida.

Hay abundantes reportes del efecto de realizar el secado de café con la totalidad o parte del mucílago. Cabrera-Artunduaga y Burbano-Jurado (2018) hicieron una observación, sin repeticiones, de la calidad final del café siguiendo el proceso tradicional lavado y dos procesos para obtener café honey y café natural. Ellos obtuvieron una ventaja ligeramente superior y no conclusiva del café honey sobre el café lavado. Por otro lado, Acosta-Arbeláez (2020) realizó una

¹ Punto de lavado: es el momento en el cual la degradación del mucílago es mayor o igual al 95%, lo cual significa que puede ser removido fácilmente con agua limpia.

investigación más refinada en la que determinó que no había diferencias en las calificaciones en la escala SCA para cafés que siguieron el proceso honey y naturales con respecto al método tradicional, las cuales se movieron en un rango que se considera de café especial, mientras que sí hubo diferencias en los perfiles de las tazas y en la química de las muestras. Sin embargo, el trabajo de Ayala-Ceballos (2020) encontró diferencias significativas en la calificación siguiendo el protocolo SCA, a favor del procesamiento tipo honey, a diferentes altitudes en el departamento de Nariño, comparado con el sistema tradicional.

Por otro lado, en muchos nichos del mercado internacional se afirma que, cuando se deja el café más tiempo en el tanque de fermentación, después de haber alcanzado el punto de lavado, se mejora la calidad en la bebida del café producido. Puerta y Echeverry (2015) mostraron que, a diferentes temperaturas ambientales y tiempos prolongados en el tanque de fermentación, se logró mejorar la calificación de las tazas y obtener sabores especiales. Sin embargo, esta investigación fue realizada en función del tiempo total del proceso, lo que hace que este método no se pueda estandarizar por tener baja repetibilidad. Así mismo, Ladino-Garzón et al. (2016) determinaron la calidad en taza de cafés de las variedades Caturra, Castillo® y una línea F6 de *Coffea arabica* L. procedentes del Sur del Huila, que tuvieron un proceso de fermentación natural en tanques cerrados, en tiempos hasta de 30 horas. Los autores encontraron que todas las muestras presentaron calificaciones entre 80 y 85 puntos en la escala SCA que los cataloga como cafés especiales, con excepción de la variedad Caturra que obtuvo valores inferiores cuando el tiempo de fermentación fue superior a 24 horas.

En el trabajo de investigación de Peñuela et al. (2010) se observó también que había una reducción constante del volumen desde

cuando el café estaba recién despulpado hasta cuando el café tenía su mucílago degradado. Esta reducción varió en un rango entre 11,9% y 13,1%, lo cual permitió diseñar un implemento en el que se podía apreciar con exactitud esta reducción (Peñuela et al., 2012). El implemento llamado Fermaestro®, consiste en un cono truncado de 0,5 L de volumen, con sus paredes y base perforadas, el cual se llena con café recién despulpado y se introduce dentro de la masa de café que está siguiendo un proceso de fermentación natural, con el fin de que siga el mismo proceso del café que está en el tanque (Peñuela et al., 2013). Una vez se tiene degradación, el mucílago hidrolizado empieza a fluir y a salir por las perforaciones del recipiente, trayendo como consecuencia una reducción del volumen del café contenido expresada como un espacio vacío. Se le hace un seguimiento a la reducción de volumen hasta que alcance la marca que está a 85 mm de la base más aguda, que significa que el mucílago se encuentra degradado en más de 95%, es decir, que alcanzó el momento de realizar el lavado.

El método Fermaestro® ha demostrado ser una herramienta efectiva para ayudar a los cafeteros a determinar acertadamente el punto de lavado cuando se hace fermentación natural, de una manera sencilla, económica y confiable. El método fue inicialmente evaluado en 70 fincas, con ubicaciones en diferentes condiciones agroclimáticas, de cinco departamentos cafeteros de Colombia (Peñuela et al., 2013), y ha seguido un proceso de adopción posterior en el que, utilizado de la manera recomendada, se determina con exactitud el momento para realizar el lavado del café.

Este trabajo de investigación tuvo como propósito utilizar el método Fermaestro® para establecer procesos en los que se produzcan cafés con sabores especiales a través de las

fermentaciones parciales y fermentaciones prolongadas del mucílago de café, con el fin de darle herramientas a los caficultores para que puedan acceder a nuevos mercados en los que pueden obtener mejores precios por su producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación se realizó en el laboratorio de la Disciplina de Poscosecha, ubicado en Cenicafé - La Granja, en la zona central cafetera de Colombia, a 1.310 m de altitud.

Para lograr el objetivo, esta investigación siguió un diseño de bloques completos al azar en una sola vía, en el que el factor de bloqueo fueron las condiciones de la masa de café, siguiendo nueve tratamientos con la aplicación del método Fermaestro[®], cuatro de ellos con fermentaciones parciales (café recién despulpado con degradación del 0%, y degradaciones del 25%, 50%, 75%),

otros cuatro con fermentaciones prolongadas por 2 h, 4 h, 6 h y 8 h, y un testigo que consistió en el uso del método Fermaestro[®] de la manera recomendada.

Con el fin de obtener los diferentes porcentajes de remoción de mucílago, y conociendo que el volumen en la parte superior del cono hasta la marca de 85 mm es de 60.000 mm³, se calcularon los equivalentes de volumen en el recipiente con base en la Figura 1 y la Ecuación <1>:

$$\frac{\Delta V}{60.000 \text{ mm}^3} = \frac{\pi \Delta h [(d + \Delta d)^2 + (d + \Delta d) d + d^2]}{12} \quad <1>$$

Donde: ΔV es el diferencial de volumen, Δh es el diferencial de altura (varía entre 0 y 85 mm), d es el diámetro superior (14 mm) y Δd es aumento del diámetro cuando Δh aumenta (aumenta a razón de $\Delta d = \Delta h \tan 10^\circ$), con todas las dimensiones en milímetros.

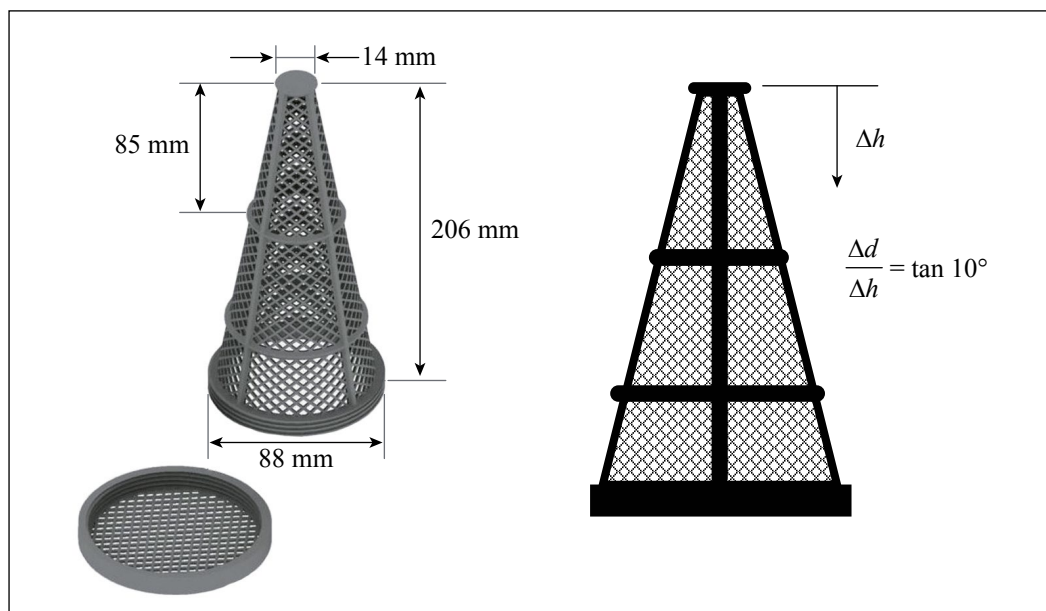


Figura 1. Dimensiones y esquema del Fermaestro[®] para calcular el diferencial de volumen.

Así, una remoción del 25% del mucílago corresponde a $\Delta h = 41$ mm, para la remoción del 50% de 61 mm, para el 75% hasta 74 mm y para el 100% hasta 85 mm, el cual es el método estándar (testigo).

Con el fin de obtener las fermentaciones prolongadas, una vez alcanza el punto que indica la degradación de 95% o más del mucílago, es decir, cuando la altura del espacio alcanza 85 mm, se inicia el conteo del tiempo de prolongación de la fermentación. Se trabajó con tiempos de sobre exposición de 2,0 h, 4,0 h, 6,0 h y 8,0 h.

Las pruebas consistieron en despulpar una masa de 1.000 kg de frutos de café, aproximadamente, de variedad Cenicafe 1, clasificada en el separador hidráulico de tolva y tonillo sinfin (Oliveros et al., 2007; Oliveros et al., 2009a). El café despulpado resultante se pasó por una zaranda cilíndrica de lámina troquelada con aberturas de 8,5 mm de ancho. El café que pasó por la zaranda se dividió en nueve partes iguales, de las cuales una se envió directamente al secador solar de túnel (Tratamiento 1 – sin remoción de mucílago) y las otras ocho partes se depositaron en ocho tanques de plástico de 100 L cada uno.

Los tanques plásticos con el café fueron ubicados en un cuarto con control de temperatura a 19°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), como se puede apreciar en la Figura 2, y al café de cada tanque se le realizó el seguimiento con el implemento Fermaestro[®] de la siguiente manera:

- El café del tanque 1 se llevó al secador solar cuando el espacio vacío del implemento Fermaestro[®] llegó a 41 mm, lo que es equivalente a remover el 25% del mucílago adherido a los granos, se extrajo una muestra y se pasó al secador solar (Tratamiento 2).
- El café del tanque 2 se llevó al secador cuando el espacio vacío alcanzó 61 mm,

lo que es equivalente a remover el 50% del mucílago adherido a los granos, se extrajo una muestra y se pasó al secador solar (Tratamiento 3).

- El café del tanque 3 se llevó al secador cuando el espacio vacío alcanzó una altura de 74 mm, lo cual es equivalente a remover el 75% del mucílago, se extrajo una muestra y se pasó al secador solar (Tratamiento 4).
- El café del tanque 4 fue el tratamiento testigo de la prueba y se lavó cuando el espacio vacío alcanzó la altura de 85 mm, lo cual equivale a alcanzar el punto de lavado, posteriormente se extrajo una muestra y se llevó al secador solar (Tratamiento 5).
- El café del tanque 5 se puso en espera para lavado por 2 horas después de que el dispositivo indicó la degradación total del mucílago, se lavó, se extrajo la muestra y se puso en el secador solar (Tratamiento 6).
- El café del tanque 6 es igual que el tratamiento 6 pero con lavado a las 4 horas después de que el dispositivo indicó la degradación total del mucílago, se extrajo la muestra y se puso en el secador solar (Tratamiento 7).
- El café en el tanque 7 se lavó después de 6 horas, se extrajo la muestra y se llevó al secador solar (Tratamiento 8).
- El café del tanque 8 se lavó a las 8 horas, se extrajo la muestra y se llevó al secador (Tratamiento 9).

Las muestras extraídas de cada uno de los tratamientos fueron de 10 kg aproximadamente. En los Tratamientos 2 al 9 el lavado del café se realizó siguiendo la técnica de los cuatro enjuagues, de acuerdo a las recomendaciones de Zambrano (1993), y usando una paleta plástica con agujeros (Sanz et al., 2007) para la agitación.

El café lavado se secó en capa delgada en un secador solar de túnel (Oliveros et al., 2006), como se presenta en la Figura 3, hasta que alcanzó una humedad entre el 10% y el 12% base húmeda, lo que tomó entre 3 y 6 días, siendo más largo para los cafés que tenían mayor capa de mucilago. Se usó el método Gravimet (Oliveros et al., 2009b) para hacer el seguimiento de la

humedad durante el secado solar. Se tomaron muestras de 2,0 kg del café pergamino seco para realizar las pruebas de calidad en taza, en el Laboratorio de Calidad de Cenicafé con un panel de catación conformado por cinco catadores certificados Q-Graders, siguiendo estrictamente el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA, 2003). Cada tratamiento se repitió en nueve ocasiones.



Figura 2. Canecas conteniendo el café en proceso de fermentación, en un cuarto climatizado a 19°C, cada una con un implemento del método Fermaestro®.



Figura 3. Muestras de los nueve tratamientos de fermentación con la aplicación del método Fermaestro® dentro del secador solar de túnel expuestos en capa delgada.

La variable de respuesta fue el puntaje total SCA y las variables complementarias fueron las calificaciones de los atributos acidez y sabor por estar asociadas a los descriptores de los cafés vinoso y honey, respectivamente. Para cada tratamiento se realizó el análisis de varianza de la variable de respuesta y de las variables complementarias, con un intervalo de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3 se muestra el aspecto del café obtenido en una prueba completa de los nueve tratamientos. En orden de izquierda a derecha empieza el café con 100% de mucílago (T1), después con 75% de mucílago (T2), luego con 50% de mucílago (T3) y termina al fondo con 25% de mucílago (T4). Después sigue en el fondo a la derecha el testigo con el empleo del Fermaestro® (T5), después el café procesado con una fermentación prolongada de 2 horas (T6), luego con una fermentación prolongada de 4 horas (T7), posteriormente con 6 horas (T8) y termina al frente a la derecha con el café que tuvo una fermentación de 8 horas (T9).

En el lado izquierdo de la Figura 3, se evidencia fácilmente cuáles muestras tienen mayor cantidad de mucílago remanente de acuerdo a la tonalidad de la superficie del café. No obstante, no se obtuvieron los colores mencionados por Sanz-Urbe et al. (2017), donde describen la aparición de colores amarillo, rojo y negro, con excepción del color rojizo temporal que se observó en la muestra secada con 100% de mucílago, el cual aparece al tercer o cuarto día de secado y se va tornando cada vez más oscuro hasta alcanzar un color marrón cuando llega a la humedad entre el 10% y el 12% b.h.

Para realizar el análisis, inicialmente se procedió a conocer el efecto de cada uno de los tratamientos sobre las tazas limpias, es decir, aquellas en las cuales no había defectos. En la Figura 4 el análisis de varianza del puntaje total en la escala SCA mostró que no hay diferencia estadística entre los tratamientos con fermentaciones parciales (del T1 al T4), ni de los tratamientos con fermentaciones prolongadas (del T6 al T9), con respecto al tratamiento testigo (T5), en otras palabras, cuando se comparan las muestras sin defectos,

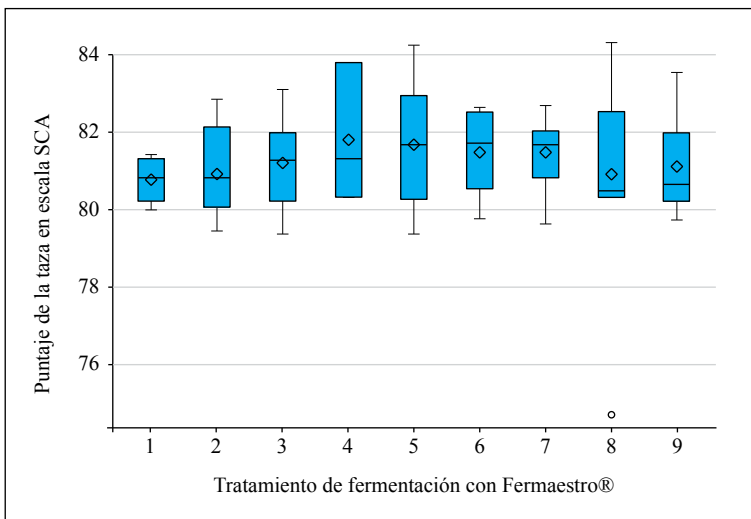


Figura 4. Anava e intervalo de confianza del 95% del puntaje en la escala SCA de muestras de café de los nueve tratamientos de fermentación con la aplicación del método Fermaestro®.

se obtiene la misma calificación por cualquiera de los métodos estudiados.

En la Tabla 1, los tratamientos con fermentaciones parciales se marcan en fondo amarillo, el testigo con color verde y los tratamientos con fermentaciones prolongadas con color rojizo. La primera columna indica el número asignado al tratamiento, la segunda columna contiene la proporción de tazas que fueron calificadas sin defectos (TSD), la tercera columna contiene el porcentaje de tazas que obtuvieron una calificación superior al testigo (TMT), la cuarta columna es doble y corresponde a la calificación del atributo acidez entre 0 y 10, con su desviación estándar, la quinta columna también es doble y corresponde a la calificación del atributo sabor entre 0 y 10, con su desviación estándar, y la sexta columna también es doble y contiene el tiempo en horas que tomó el proceso de fermentación y su desviación estándar.

El indicador de tazas sin defectos (TSD) para el café que fue procesado con el uso recomendado del método Fermaestro®, que sirvió de testigo para ese proyecto, presentó un 100%, lo que indica la robustez del método para asegurar la calidad del café. El TSD para los cafés que fueron procesados con fermentaciones parciales varió entre 33% y 78%, lo cual significa que hay un riesgo alto de obtener defectos al realizar un proceso para obtener café honey de alta calidad. Los cafés procesados con fermentaciones prolongadas tuvieron un TSD que varió desde 89% hasta un 100%, lo cual indica que la producción de cafés considerados vinosos tiene un riesgo bajo de obtener tazas con defectos, cuando se utilizan tiempos de prolongación de la fermentación de hasta 8 horas.

El indicador que entrega la proporción de tazas que superan la calificación obtenida por el testigo (TMT), varió entre 22% y 33%

Tabla 1. Indicadores y atributos de interés para los tratamientos con proceso de fermentación. TSD = Tazas Sin Defectos; TMT = Tazas Mayor a Testigo; los tratamientos con fermentaciones parciales se marcan en fondo amarillo, el testigo con color verde y los tratamientos con fermentaciones prolongadas con color rojizo.

Trat.	TSD (%)	TMT (%)	Acidez		Sabor		<i>t</i>	
			(puntos)	DE	(puntos)	DE	(h)	DE
1	50	25	7,3	0,14	7,3	0,05	0	0
2	78	22	7,2	0,19	7,2	0,22	8,4	1,40
3	67	33	7,4	0,27	7,3	0,17	10,5	2,66
4	33	22	7,5	0,25	7,4	0,21	16,0	4,36
5	100	-	7,4	0,27	7,4	0,27	19,9	4,23
6	89	56	7,3	0,18	7,3	0,22	21,9	4,60
7	100	44	7,4	0,18	7,3	0,18	24,1	4,17
8	100	56	7,3	0,47	7,3	0,29	26,1	4,17
9	89	44	7,3	0,18	7,3	0,23	28,0	4,66

para los cafés que fueron procesados con fermentaciones parciales, lo que indica que adicionalmente a que es riesgoso producir café honey, hay una probabilidad muy baja de que el café producido supere al café que se procesa con el método testigo con Fermaestro®. Así mismo, el TMT para los cafés que fueron procesados con fermentaciones prolongadas varió entre 44% y 56% lo que muestra que, aunque se tiene un riesgo bajo de producir café con defectos, existe una probabilidad media de superar la calificación obtenida por el método testigo.

Los atributos acidez y sabor evaluados para determinar algunas diferencias que describen los cafés como honey o como vinoso, no mostraron diferencia estadística entre los que fueron procesados con fermentaciones parciales, los que fueron procesados con fermentaciones prolongadas y el testigo, evidenciado por los promedios similares y las bajas desviaciones estándar. El café procesado de la manera recomendada en el método Fermaestro®, el cual sirvió de testigo para esta investigación, no mostró defectos en las tazas y obtuvo un promedio de 81,6 puntos en la escala SCA, que lo catalogan como café de calidad “muy buena”, según dicho estándar.

El tiempo del proceso de degradación del mucílago por fermentación natural es una variable secundaria, sin embargo, se considera importante reportar que hay una gran variabilidad en el tiempo que se requiere para alcanzar el punto de lavado, cuando se utiliza el método Fermaestro® de la manera recomendada, ya que se obtuvo un tiempo promedio de 19,9 horas, con una desviación estándar de 4,23 horas. De hecho, el rango fue entre 12 y 24 horas. Esto ratifica que el tiempo no es una variable a utilizar cuando se quiere tener un método estandarizado para conducir el proceso de degradación de mucílago a través de la fermentación natural, y afianza la

fortaleza del método Fermaestro® para realizar el monitoreo en esta etapa crítica.

Con este trabajo, en el que se pretendía obtener un método estándar para producir cafés honeys a través de fermentaciones incompletas monitoreadas con el implemento Fermaestro®, o cafés vinosos a través de fermentaciones prolongadas, también monitoreadas con el implemento Fermaestro®, se demostró nuevamente que ese método es una gran herramienta para que los caficultores produzcan consistentemente café de buena calidad, debido a que el café procesado de la manera recomendada en el método Fermaestro®, no mostró defectos y obtuvo un promedio de 81,6 puntos en la escala SCA que lo catalogan como café de calidad “muy buena”.

Cuando se trabaja con fermentaciones parciales para dejar parte del mucílago antes de pasar a la etapa de secado solar, se tiene una alta probabilidad de generar tazas con defecto y una probabilidad muy baja de superar al café que ha seguido el método Fermaestro® de la manera recomendada. Por otro lado, no hay diferencia estadística de las tazas obtenidas con fermentaciones parciales y el testigo, y no se encontraron diferencias en los atributos sabor y acidez que pudieran describir el producto final como café honey.

Estos resultados contradicen algunos de los reportes en la literatura, como Cabrera-Artunduaga y Burbano-Jurado (2018) y por Ayala-Ceballos (2020), quienes encontraron diferencias a favor del proceso honey con respecto al sistema tradicional, los cuales pueden ser explicados porque no se usó un sistema estándar objetivo, como el método Fermaestro®.

Cuando se trabaja con fermentaciones prolongadas para dejar el café en contacto por mayor tiempo con los productos de la

degradación del mucílago, con el fin de darle algunas características que puedan mejorar la calidad en taza o algunos atributos, se tiene una probabilidad baja de producir tazas con defectos, sin embargo, existe una probabilidad media de superar la calidad del café procesado con el método Fermaestro®. Adicionalmente, no hay diferencia estadística entre la calidad en taza del café con fermentaciones prolongadas con respecto al café que se lavó y pasó a secado en el momento en que se alcanzó el punto de lavado. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas entre los atributos acidez y sabor que pudieran describir el café como vinoso. Este resultado está acorde al resultado obtenido por Ladino-Garzón et al. (2016) quienes no encontraron diferencias en las calidades del café con diferentes tiempos de fermentación prolongada.

Dado que los tiempos de secado estuvieron por debajo de los tiempos de secado mencionados para producir cafés honeys de diferentes colores y texturas, en ninguna prueba se observaron estos colores en el café, con excepción de un color rojizo transitorio que sufrió el tratamiento con 100% de mucílago. Los cafés con mayor contenido de mucílago presentaron un color marrón y una textura pegajosa.

El tiempo que tomó la degradación del mucílago cuando se usa el método Fermaestro® fue muy variable, representado por una gran desviación estándar y un rango que varió entre 12 y 24 horas en las mismas condiciones. Este resultado refuerza aún más el argumento de que el tiempo no es una variable a tener en cuenta para monitorear el proceso de degradación de mucílago por fermentación natural.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan gratitud con los investigadores Rubén Medina de la Disciplina de Biometría y Aída Peñuela de la Disciplina de Poscosecha, por las asesorías. Así mismo agradecen a las investigadoras Valentina Osorio y Jenny Pabón de la Disciplina de Calidad por la asesoría y colaboración a través del Panel de Catación. Se reconocen las participaciones de Carlos Gonzalo Mejía, líder de la Disciplina de Experimentación, y de los coordinadores de las estaciones experimentales, Jhon Trejos y Mélsar Santamaría, de Naranjal, y a Diego Montoya y Daniel Franco, de La Catalina. Se agradece a los compañeros de la Disciplina de Poscosecha y al señor Farid López de la Disciplina de Experimentación. También se agradece la valiosa colaboración de los empleados de Acciones y Servicios.

LITERATURA CITADA

Acosta-Arbeláez, J. M. (2020). *Composición química asociada al perfil de taza de un café especial variedad Castillo® proveniente de Barbosa, Antioquia y beneficiado bajo diferentes procesos de fermentación* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repository.unal.edu.co/handle/unal/79377>




Ayala-Ceballos, D. C. (2020). *Evaluación de las propiedades sensoriales del Café variedad Castillo, caturra y Colombia (Coffea arabica L.) durante el proceso de secado Honey, a diferentes alturas sobre el nivel del mar*

en fincas cafeteras de la zona norte del departamento de Nariño [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36886>

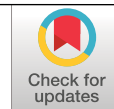
Cabrera-Artunduaga, W. I., & Burbano Jurado, M. (2018). *Conocer el perfil de taza generado mediante la implementación de los métodos de cafés naturales, honey y cafés lavados con la variedad castillo general en los asociados a la Cooperativa Departamental de Caficultores del Huila – Cadefihuila del municipio*

- de Acevedo – Huila. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25347>
- Ladino-Garzón, W.; Cortés-Macías, E.T; Gutiérrez-Guzmán, N.; Amorocho-Cruz, C. M. (2016). Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semi-seca. *Agronomía Colombiana* 34(1Supl.), S281-S283. <https://10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57773>
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Montoya, E. C. & Moreno, E. L. (2009). Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. *Revista Cenicafé*, 60(3), 229–238. <http://hdl.handle.net/10778/226>
- Oliveros, C. E., Peñuela, A. E., & Jurado, J. M. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método Gravimet. *Avances Técnicos Cenicafé*, 387, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/226>
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Mejía, C. A. (2007). Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfin. *Avances Técnicos Cenicafé*, 360, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4252>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Peñuela, A. E. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. *Avances Técnicos Cenicafé*, 353, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Peñuela, A. E., Pabón, J. P., & Sanz, J. R. (2013). Método Fermaestro: para determinar la finalización de la fermentación del mucilago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/479>
- Peñuela, A. E., Sanz, J.R., & Pabón, J. P. (2012). Método para identificar el momento final de la fermentación de mucilago de café. *Revista Cenicafé*, 63(1), 120–131. <http://hdl.handle.net/10778/517>
- Peñuela, A. E., Oliveros, C. E., & Sanz, J.R. (2010). Remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. *Revista Cenicafé*, 61(2), 159–173. <http://hdl.handle.net/10778/494>
- Puerta, G. I., & Echeverry, J. G. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Avances Técnicos Cenicafé*, 454, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/558>
- Sanz-Uribe, J. R., Yusianto, Menon, S. N., Peñuela, A., Oliveros, C., Husson, J., Brando, C., & Rodriguez, A. (2017). Postharvest Processing—Revealing the Green Bean. En *The Craft and Science of Coffee* (pp. 51–79). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00003-7>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., López, U., Mejía, C. A., & Ramírez, C. A. (2007). Paleta plástica para lavar café con menor esfuerzo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 361, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/368>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols. Protocols & Best Practices*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Zambrano, D.A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. *Avances Técnicos Cenicafé*, 197, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/368>

VALIDACIÓN DEL MANEJO DE *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky, 1957) HEMIPTERA: RHIZOECIDAE EN FREDONIA, ANTIOQUIA

Zulma Nancy Gil Palacio *, Aníbal Arcila Moreno *, Juan Sebastián Márquez **, Carlos Mario Ospina Penagos ***,
Silvia Elena Mejía ****, Pablo Benavides Machado *

Gil-Palacio, Z., Arcila-Moreno, A., Márquez, J. S., Ospina-Penagos, C., Mejía, S. E., & Benavides Machado, P. (2022). Validación del manejo de *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky, 1957) Hemiptera: Rhizoecidae en Fredonia, Antioquia. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73106. <https://doi.org/10.38141/10778/73106>



La cochinilla *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky, 1957) (Hemiptera: Rhizoecidae) está presente en los cafetales de Colombia desde hace más de noventa años, cuando se reportó en el municipio de Amagá en Antioquia en 1928. Este insecto se considera plaga de importancia económica del cultivo de café; el control ha sido difícil e ineficaz, a tal punto que en las localidades donde la cochinilla es endémica, los productores han sustituido el café por otros cultivos como pastos y caña de azúcar. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue validar el manejo de *N. caldasiae* a través de Investigación Participativa con Agricultores (IPA). En esta implementación se procedió a renovar un cafetal severamente infestado por este insecto, usando plantas indicadoras y muestreos destructivos para determinar el momento oportuno para aplicar insecticidas de manera localizada durante el establecimiento del cafetal. Adicionalmente, se validó el manejo en una plantación establecida de seis meses. Los resultados permitieron demostrar que las plantas indicadoras sirven para conocer el momento inicial de ataque del insecto a las raíces de café y que la aplicación localizada en *drench* de insecticidas eficaces, máximo en tres momentos, fue suficiente para reducir las poblaciones de *N. caldasiae* y establecer un cafetal con buen desarrollo fisiológico y productivo. En el cafetal de seis meses se requirió tan solo una aplicación para controlar esta plaga. Se concluye que es posible controlar *N. caldasiae* en las condiciones de la caficultura colombiana.

Palabras clave: *Coffea arabica*, Cocomorpha, cochinillas, control químico, hormiga de Amagá, plantas indicadoras, Rubiaceae.

VALIDATION OF THE MANAGEMENT OF *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky, 1957) (HEMIPTERA: RHIZOECIDAE) IN FREDONIA, ANTIOQUIA

The *Neochavesia caldasiae* mealybug (Balachowsky, 1957) (Hemiptera: Rhizoecidae) has been present in the Colombian coffee crops for more than ninety years; it was reported in the municipality of Amagá in Antioquia in 1928. This insect is considered a pest of economic importance for coffee growing; its control has been difficult and ineffective to the point that, in the localities where the mealybug is endemic, producers have replaced coffee with other crops such as pastures and sugar cane. Therefore, the objective of this study was to validate the management of *N. caldasiae* through Participatory Research with Farmers (IPA). In this implementation, a coffee crop severely infested by this insect was renewed using indicator plants and destructive sampling to determine the suitable moment to spray insecticides in a localized manner during the establishment of the coffee crop. Additionally, the management strategy was validated in an established six month old crop. The results showed that the indicator plants specify the initial attack moment of the insect to the coffee roots and that the localized drench application of effective insecticides, maximum in three moments, was sufficient to reduce the populations of *N. caldasiae* and establish a coffee crop with good physiological and productive development. In the 6 month old coffee crop, only one application was required to control this pest. In conclusion, it is possible to control *N. caldasiae* under the Colombian coffee growing conditions.

Keywords: *Coffea arabica*, Cocomorpha, chemical control, Amagá ant, indicator plants, Rubiaceae.

* Investigador Científico II, Asistente de Investigación e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-7013-1231>, <https://orcid.org/0000-0002-4276-0521>, <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

** Coordinador Parcelas de Investigación Participativa, Comité de Cafeteros de Antioquia.

*** Coordinador Estación Experimental El Rosario, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

**** Servicio de Extensión Comité de Cafeteros de Antioquia-Seccional Fredonia.



En Colombia, en el cultivo del café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), se presentan tres especies del género *Neochavesia* Balachowsky: *N. caldasiae* (Balachowsky, 1957), *N. eversti* (Beardsley, 1970) y *N. trinidadensis* (Beardsley, 1970) (Hemiptera: Cocomorpha: Rhizoecidae); sin embargo, la más común y la que reviste mayor importancia es *N. caldasiae* (Caballero et al., 2019).

La especie *N. caldasiae* es descrita como una plaga que afecta la producción del cultivo del café en algunas regiones de Colombia, especialmente en el Suroeste de Antioquia donde es endémica; también está presente en los departamentos de Caldas, Cundinamarca, Quindío, Santander, Risaralda y Valle del Cauca (Villegas & Benavides, 2011). Además de Colombia, está registrada en Bahía en Brasil y en Trinidad y Tobago (García et al., 2016). Es una especie polífaga, infesta las raíces de *Bidens pilosa* L. (Asteraceae), *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae), *Inga edulis* (Vell) Mart, *Inga spuria* Humb. & Bonpl. ex Willd. y *Senna reticulata* (Willd.) H.S.Irwin and Barneby (Fabaceae), *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn, *Saccharum officinarum* L., *Zea mays* L. e *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf (Poaceae), *Mentha spicata* L. (Lamiaceae), *Sida rhombifolia* L. (Malvaceae) y *Spananthe paniculata* Jacq. (Apiaceae) (Roba, 1936); sin embargo, los principales cultivos afectados son el café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) y banano *Musa paradisiaca* L. (Musaceae) (Roba, 1936).

Neochavesia caldasiae es un insecto de tamaño pequeño, no superior a 5,0 mm, de color crema, presenta cuerpo escorpioniforme (Williams, 1998, 2004), esta característica le permite mover vigorosamente el abdomen, con el fin de llamar la atención por parte de las hormigas (Delabie y Fernández, 2003). Se

asocia simbióticamente con *Acropyga exsanguis* (Wheeler, 1909) y *Acropyga fuhrmanni* (Forel, 1914) (Hymenoptera: Formicidae: Formicinae), las cuales se distribuyen en todas las regiones cafeteras del país. En ese complejo, la cochinilla excreta sustancias azucaradas que sirven de alimento para las hormigas simbiontes (Way, 1963; Gullan et al., 1993); en contraprestación, estas cuidan y transportan a las cochinillas (Serna et al., 2019). Cuando las reinas de las hormigas salen al vuelo nupcial, transportan en sus mandíbulas a una hembra fértil de *N. caldasiae*, con el fin de establecer su colonia en compañía de esta cochinilla (Charles et al., 2008).

En las plantas de café, tanto *N. caldasiae* como las hormigas se ubican en las raíces secundarias, raicillas y pelos absorbentes (Villegas et al., 2009). De acuerdo con Arango (1956), los individuos de *N. caldasiae* extraen la savia de los árboles, ocasionan necrosis, debilitamiento y dañan el sistema de raíces hasta causarle la muerte. Así mismo indica, que los casos más severos de los ataques de *N. caldasiae* se presentan en las renovaciones por siembra y en las resiembras, especialmente en regiones endémicas, donde existe una infestación previa de la plaga; en estas condiciones, las plantas que todavía no tienen un sistema radicular desarrollado sufren ataque por parte del insecto; los ataques iniciales se presentan en focos y cuando son severos, se generaliza en todo el cafetal (Arango, 1956). Las hormigas, por su parte, producen galerías alrededor de las pequeñas raíces, transportan las cochinillas entre las mandíbulas y favorecen así su propagación (Serna et al., 2019). El transporte se da de una raicilla a otra y de un árbol a otro; también regulan las poblaciones de las cochinillas las cuales dependen de la proporción de las raíces de las plantas hospedantes (Serna et al., 2019). Las hormigas obreras alimentan

a las larvas de su colonia por medio de un líquido que regurgitan, pero los adultos se alimentan exclusivamente de las excreciones azucaradas de *N. caldasiae* que, a pesar de su pequeño tamaño, es abundante (Williams, 2004).

Dentro de las estrategias de la Federación Nacional de Cafeteros para transferir a los caficultores el conocimiento generado en Cenicafé, la Investigación Participativa con Agricultores (IPA) se ha consolidado como una herramienta que permite interactuar a caficultores, extensionistas e investigadores con el fin de validar, adaptar y transferir tecnologías o generar conocimientos, de acuerdo con las condiciones socioeconómicas y culturales de los productores y agroecológicas de su entorno. La Investigación Participativa IPA presenta unas ventajas relevantes como la de aprovechar la potencialidad de conocimientos y experiencias de productores, extensionistas e investigadores. De igual manera, las evaluaciones de los caficultores proporcionan a los investigadores la comprensión directa de las prioridades de los productores (Federación Nacional de Cafeteros [FNC], 2022). En la estrategia de validación de resultados de investigación a través de parcelas (IPA), se consideran tres etapas: a) Diagnóstico, b) manejo de ensayos, y c) evaluación de resultados (Woolley & Pachico, 1989). Por lo tanto, en la presente investigación el diagnóstico hace parte de los resultados.

Dado lo anterior y considerando que el control de esta cochinilla es difícil y las prácticas utilizadas han sido ineficaces, el objetivo del presente trabajo fue validar el manejo de *N. caldasiae* a través de Investigación Participativa con Agricultores (IPA), con base en las recomendaciones de muestreo y control establecidas por Cenicafé (Gil et al., 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La validación del manejo de la cochinilla *N. caldasiae*, se realizó en la finca La Esperanza, vereda La Garrucha, municipio de Fredonia, ubicada a 5°53'N, 75° 41'W, a una altitud de 1.963 m, y en la finca El Alto, vereda Remolinos, municipio de Ciudad Bolívar, ubicada a 5° 84'76''N, 76° 01'13''W, a una altitud de 1.400 m, ambas en el departamento de Antioquia. Estas fincas se seleccionaron por presentar lotes altamente afectados por la plaga, donde el manejo se ha dificultado y los caficultores han resembrado casi todo el lote por tres ocasiones.

Metodología

Se validaron dos estrategias: 1. Manejo en lotes con afectación severa por *Neochavesia caldasiae* y malformaciones de raíces–resiembra escalonada, y 2. Manejo de *Neochavesia caldasiae* en el primer año de establecimiento del cultivo.

Manejo en lotes con afectación severa por *Neochavesia caldasiae* y malformaciones de raíces–resiembra escalonada. Para validar el manejo en lotes con afectación severa y malformaciones de raíces–resiembra escalonada, en la vereda la Garrucha donde *N. caldasiae* es endémica, se seleccionó una finca con lotes que presentaron alta infestación por la plaga y muerte de plantas. Posteriormente, se escogió el lote con mayor afectación y se realizó un censo para determinar por cada surco el número de sitios perdidos, plantas muertas, improductivas y productivas, y delimitación de los focos. Seguidamente, se seleccionaron treinta de las plantas que presentaron clorosis, marchitamiento de hojas, ramas y ramillas, y árboles muertos, de los cuales se desenterraron

y se recolectaron manualmente las cochinillas del género *Neochavesia*, las muestras se depositaron y rotularon en viales de vidrio conteniendo etanol al 76%; se trasladaron al laboratorio de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé para verificar la especie. Con los datos se estimó la afectación del lote por *N. caldasiae* y se realizó un diagrama de la condición del lote, con el fin de determinar si cumplía con las condiciones para la validación de esta estrategia de manejo.

La estrategia de resiembra escalonada consiste en:

- a. Eliminar las plantas improductivas y cloróticas.
- b. Realizar una aplicación dirigida a la raíz de los árboles productivos con los insecticidas recomendados por Cenicafé (Gil et al. 2015) y recolectar la producción durante tres ciclos productivos (18 meses).
- c. Establecer un nuevo lote en las calles actuales.
- d. En la siembra nueva, plantar de 360 a 400 plantas indicadoras, en los sitios que componían el anterior cafetal.
- e. Al mes de haber establecido el lote, realizar un diagnóstico en 30 plantas indicadoras para determinar la presencia de *N. caldasiae* y realizar el control de ser necesario con los productos recomendados por Cenicafé (Gil et al. 2015).
- f. Al cabo de un mes y durante 18 meses, se repite el mismo procedimiento, si se encuentran plantas con *N. caldasiae* se realiza una aplicación rotando el producto.
- g. Cuando termina la recolección de café, se eliminan paulatinamente los árboles improductivos.

Manejo de *Neochavesia caldasiae* en el primer año de establecimiento del cultivo. En la finca El Alto se escogió un lote de seis meses y que presentaba retraso en el desarrollo; en este, se realizó un censo para determinar por cada surco, el número de plantas cloróticas, resiembras y plantas sanas. Posteriormente, se seleccionaron 60 plantas cloróticas y, mediante muestreo lateral, se recolectaron manualmente los individuos del género *Neochavesia*, las muestras se depositaron y rotularon en viales de vidrio conteniendo etanol al 76%; se trasladaron al laboratorio de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé para verificar la especie. Con los datos se estimó la distribución en el lote y el porcentaje de infestación, esto con el fin de determinar si el lote cumplía las condiciones para la validación de esta estrategia de manejo.

Los individuos del género *Neochavesia* recolectados en ambos lotes, se montaron en láminas utilizando la metodología descrita por Sirisena et al. (2013) y se identificaron siguiendo las claves taxonómicas de Williams & Granara de Willink (1992), Granara de Willink (2009), y Caballero (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Manejo en lotes con afectación severa por *Neochavesia caldasiae* y malformaciones de raíces—Resiembra escalonada

Para la validación de esta estrategia, el lote seleccionado tenía tres años de edad, con una densidad de siembra de 2.448 plantas de café en un área de 5.442 m², variedad Castillo[®], de las cuales 1.165 eran sitios perdidos, 472 muertas, 118 improductivas y solo 693 estaban productivas (28,3%) (Figura 1a). Al desenterrar las plantas las raíces estaban destruidas y con altas poblaciones de *N. caldasiae* y hormigas (Figura 1b).

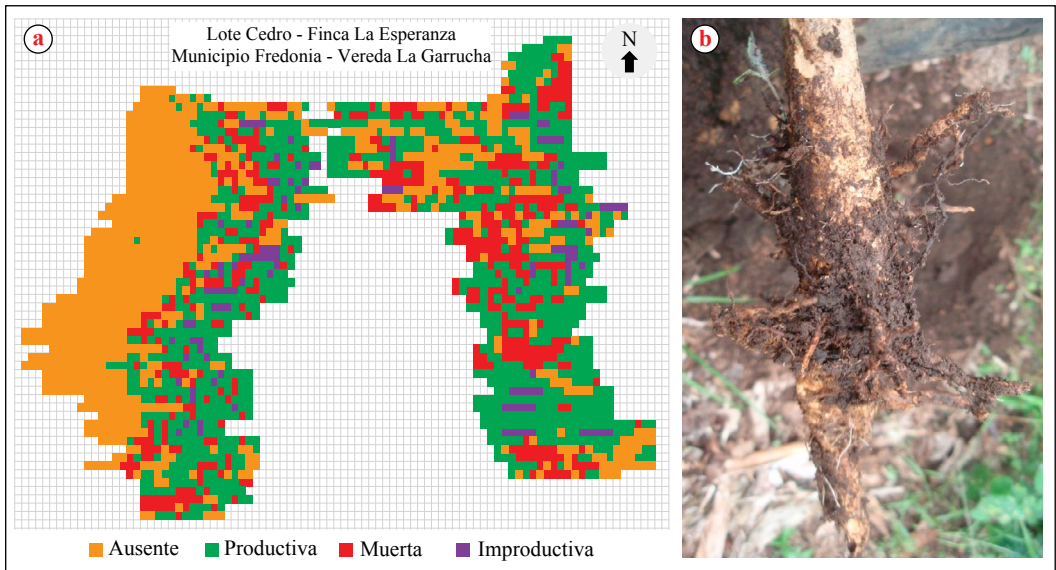


Figura 1. a) Diagrama del estado inicial del lote donde se realizó el manejo de *N. caldasiae* en lotes con afectación severa y malformaciones de raíces-resiembra escalonada. En naranja plantas ausentes, en rojo plantas muertas, en morado plantas improductivas y en verde plantas productivas. b) Raíz de planta de café afectada por el complejo *N. caldasiae*- hormigas.

En este lote el 76,6% de las plantas evaluadas presentaron *N. caldasiae* y dado que solo el 28,3% de los árboles que componían el lote estaban productivos, se procedió con una resiembra escalonada. Esta práctica se propone para circunstancias donde la pérdida de plantas por efecto de cochinillas supera el 30%.

La validación se realizó de la siguiente manera: El germinador y el almácigo se realizaron en la Estación Experimental El Rosario de Cenicafé, en el municipio de Venecia, departamento de Antioquia, con semilla de la variedad Cenicafé 1. Para el almácigo se utilizó la bolsa de 17 cm x 23 cm. Al mes y medio de haber sembrado las chapolas (plántulas de café), por cada cama se seleccionaron 30 plantas al azar y a cada una se le quitó la bolsa e inspeccionó el sistema de raíces y el suelo, para determinar la presencia

de *N. caldasiae*, otras especies de cochinillas y estado fitosanitario del almácigo, este mismo procedimiento se realizó antes de la siembra en el lote; en ninguna de las evaluaciones se encontraron cochinillas y las plantas evaluadas presentaron buen desarrollo de raíces.

Primeramente, en el lote seleccionado se eliminaron las plantas improductivas, cloróticas y muertas. En el 28,3% que estaban productivas se realizó control de *N. caldasiae* con clorpirifos al 75% WG, en una dosis de 0,3 g/planta, con una descarga de la mezcla de 400 cm³/planta con suelo a capacidad de campo y durante 18 meses se recolectó la producción de estos árboles. Posteriormente, se realizó el trazado y ahoyado del lote, se tomaron las muestras para el análisis de suelo y, de acuerdo con los resultados, en el momento de la siembra se incorporó materia orgánica descompuesta y cal agrícola. Seguidamente, se

estableció el lote, que comprendió un área de 6.142 m² donde se sembraron 4.281 plantas, a una distancia de 1,00 m x 1,40 m, y en las calles se sembraron 360 plantas indicadoras (Figura 2).

Una vez sembradas las plantas que conformaron la parcela de validación, mensualmente y durante los primeros 18 meses del establecimiento, se tomaron sistemáticamente 30 plantas indicadoras, con el fin de evaluar la presencia de *N. caldasiae* (Figura 3) y realizar el control en los focos donde se detectó la plaga. En el proceso de validación se realizaron tres aplicaciones de productos de síntesis química (Tabla 1).

Para asegurar la eficacia de los productos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones de tecnología de aplicación:

- Aplicación en *drench* con una aspersora de espalda modificada.
- Cubrimiento de todo el sistema radical.
- Chorro a presión para mayor penetración.
- Descarga exacta del volumen y dosis del producto.
- Mover el árbol para que quede un espacio entre el suelo y el cuello de la raíz.
- Todas las aplicaciones se realizaron con el suelo a capacidad de campo.

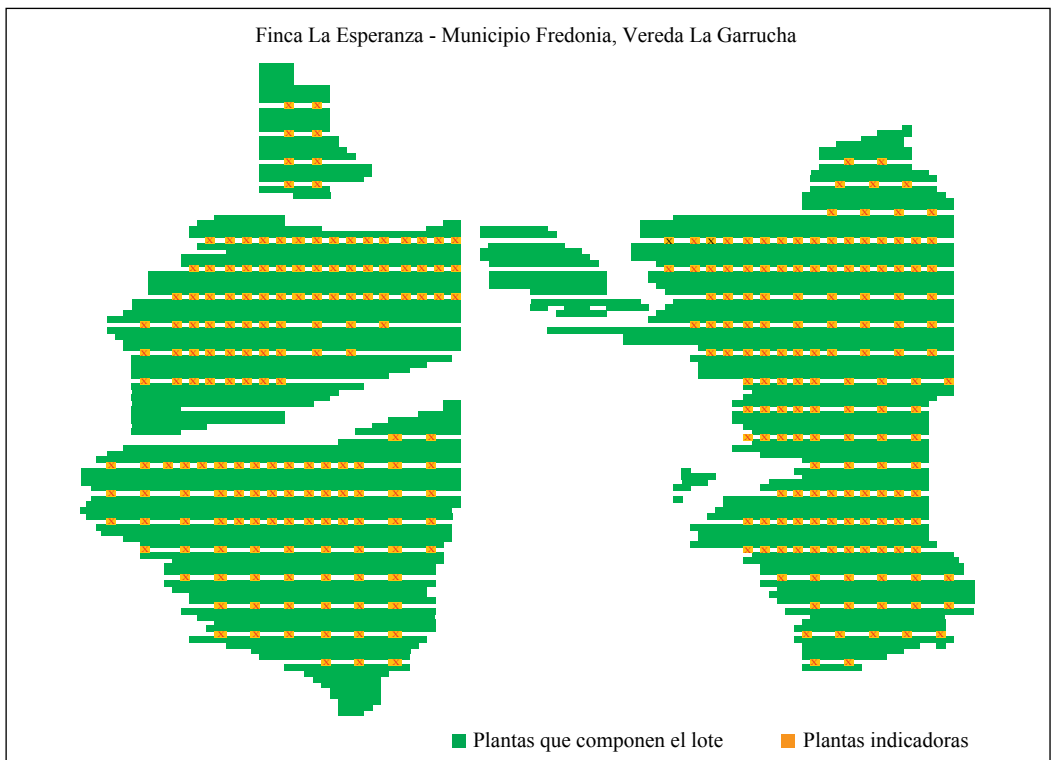


Figura 2. Diagrama del lote establecido para validar el manejo de *N. caldasiae* en lotes con afectación severa y malformaciones de raíces—resiembrada escalonada. En verde se indican las plantas que componen el lote y en naranja las plantas indicadoras sembradas en las calles.

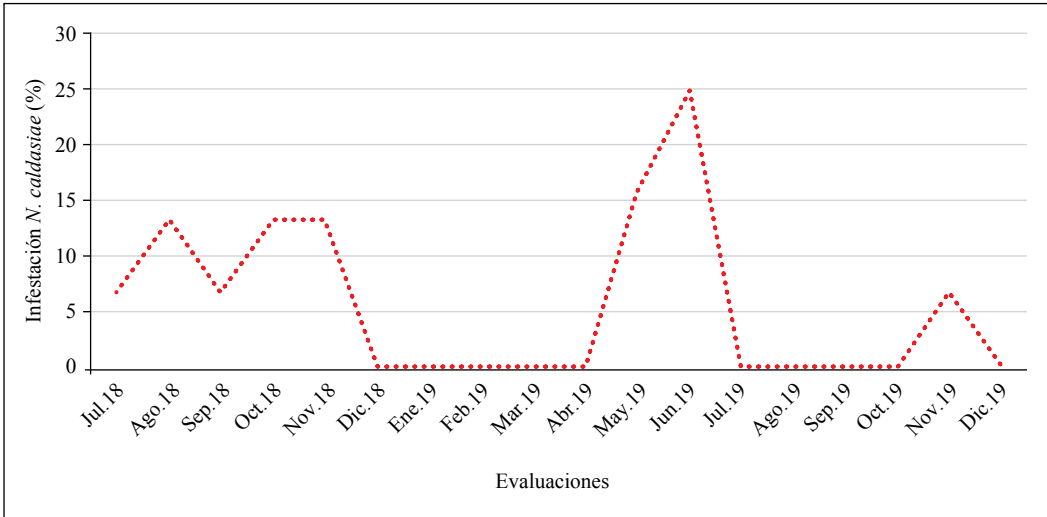


Figura 3. Porcentaje de infestación de *N. caldasiae* a través de las evaluaciones en las plantas indicadoras.

Tabla 1. Productos y dosis aplicadas para el control de *N. caldasiae* en la parcela de validación del manejo de *N. caldasiae* en lotes con afectación severa y malformaciones de raíces–resiembra escalonada.

Infestación (%)	Ingrediente activo	Dosis	Volumen	Fecha aplicación
13,3	Clorpirifos 75% WG	0,3 g/planta	100 cm ³	Nov. 2018
25,0	Tiametoxam +Ciproconazol WG	0,03 g/planta	100 cm ³	Jun. 2019
6,6	Tiametoxam +Ciproconazol WG	0,03 g/planta	100 cm ³	Nov. 2019

Con tres aplicaciones focalizadas (Tabla 1) fue suficiente para reducir las poblaciones de *N. caldasiae*, mantener un cafetal productivo y con buen desarrollo fisiológico (Figuras 3 y 4b). De acuerdo con González (1951), en cafetales del departamento de Antioquia el control de *N. caldasiae* se realizaba con productos como clordano al 74% emulsionable, cianuro de potasio mezclado con DDT, diflubenzurón al 3% líquido, creolina mezclado con DDT mojable; las aplicaciones se realizaban quincenalmente, durante 45 días, y los volúmenes de descarga eran entre 3,0 y 5,0 L/planta. De los anteriores

productos, la gran mayoría están prohibidos por el alto grado de toxicidad y contaminación, además ya no están disponibles en el mercado, excepto el diflubenzurón; sin embargo, es un inhibidor de síntesis de quitina y actúa solo sobre estados inmaduros, por lo tanto, no se recomienda porque solo controla una parte de la población blanco. Mientras que Cárdenas & Posada (2001) recomendaron controlar la plaga con implementación de prácticas culturales como drenaje de los suelos mediante la construcción de zanjas e incorporación de materia orgánica bien descompuesta en suelos arcillosos.



Figura 4. a) Estado inicial del lote antes de la estrategia de validación, b) Estado del lote posterior a la siembra escalonada y control de *N. caldasiae*.

Manejo de *Neochavesia caldasiae* en el primer año de establecimiento del cultivo.

Para esta estrategia de validación, se seleccionó un lote de seis meses de edad, compuesto por 6.513 árboles en un área de 11.246 m², variedad Castillo®, de las cuales 1.380 eran plantas cloróticas, 356 eran resiembras y 4.777 estaban sanas (Figura 5).

De las plantas evaluadas 53,3% presentaron *N. caldasiae*, distribuida en focos. Dado que el lote presentó 73,3% de árboles sanos y con buen manejo agronómico, se procedió a implementar la estrategia de validación del manejo de *N. caldasiae* en el primer año de establecimiento. El propósito con esta práctica es recuperar las plantas infestadas en una plantación durante la etapa de establecimiento y se recomienda cuando hay una alta infestación por *N. caldasiae* u otras especies de cochinillas; sin embargo, los árboles que conforman el lote en su mayoría presentan buen desarrollo fisiológico, buen desarrollo de raíces, se observan aparentemente sanos y todavía no hay pérdidas por causa de las cochinillas.

La estrategia consistió en sembrar en las calles 360 plantas indicadoras y cada mes se seleccionaron aleatoriamente 30, para desenterrarlas, evaluar la presencia de la plaga y realizar el control.

Durante la validación se realizaron 14 evaluaciones, con una infestación del 53,3%, se realizó una aplicación con clorpirifos 75% WG, en diciembre del 2017, en una dosis de 0,3 g/planta, con un volumen de descarga de 100 cm³/planta; después de esta aplicación el porcentaje de infestación de *N. caldasiae* disminuyó a 3,3% y en las evaluaciones siguientes no se volvió a presentar (Figura 6).

A partir de los resultados de la validación del manejo de *N. caldasiae*, se puede indicar que la estrategia fue eficaz y la plaga se controló con pocas aplicaciones; no obstante, si no se maneja a tiempo puede ocurrir lo indicado por González (1951), quien expresó que los daños por el complejo *Neochavesia*-hormiga en Antioquia fueron desastrosos y plantaciones enteras fueron destruidas por varias ocasiones y algunas desaparecieron.

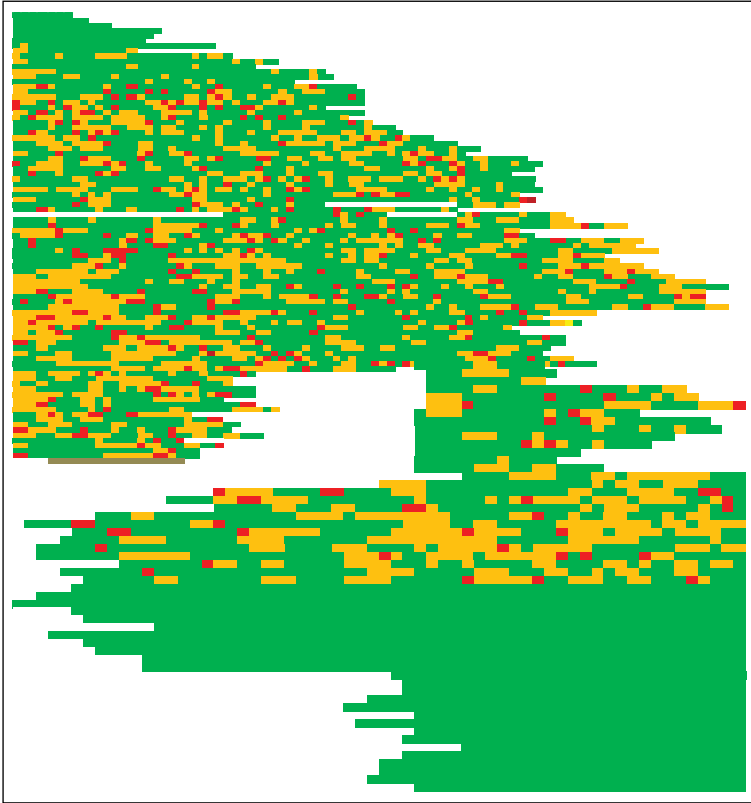


Figura 5. Diagrama del estado inicial del lote donde se validó la estrategia manejo de *N. caldasiae* en el primer año de establecimiento. En naranja plantas cloróticas, en rojo resiembras y en verde plantas sanas.

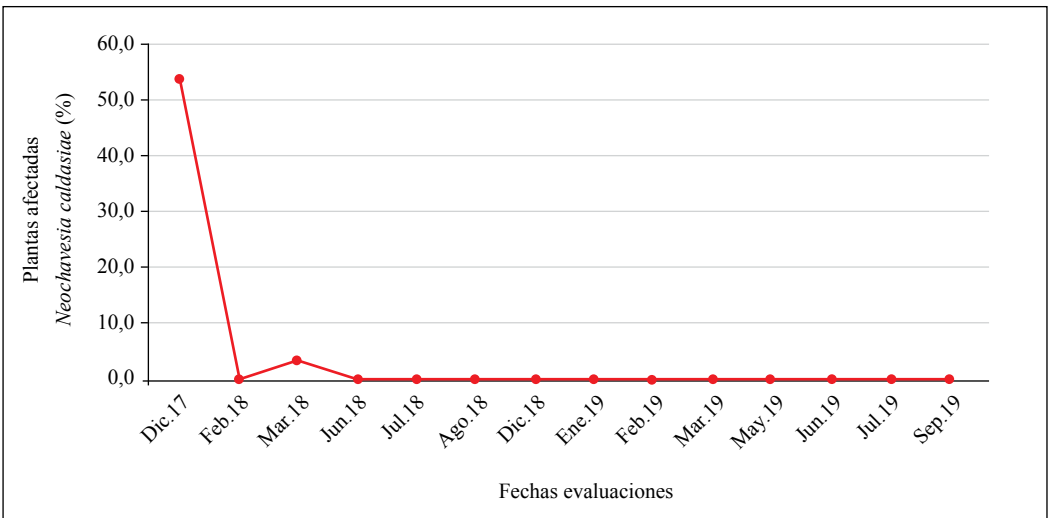


Figura 6. Evaluaciones mensuales en las plantas indicadoras y porcentaje de infestación por *N. caldasiae*.

Sin embargo, Villegas et al. (2008) indicaron que no se conocen los efectos en las plantas en relación con el número de individuos de *N. caldasiae* o el tamaño de las poblaciones, pero se observa que el daño es más severo en plantas pequeñas, recién transplantadas, y en almácigos, en los cuales se encuentra un gran número de individuos asociados a colonias de *Acropyga* con múltiples reinas y cientos o miles de obreras; estos mismos autores recomiendan que el control se debe centrar en evitar su diseminación por las hormigas, controlándolas, y no permitir su transporte a los cafetales mediante almácigos infestados y se debe procurar que en las resiembras los sitios en donde se hace el hoyado estén libres de las cochinillas.

En las etapas de diagnóstico, establecimiento de las estrategias de manejo y evaluaciones mensuales, se contó con la participación de los propietarios de las parcelas, extensionistas de las regiones donde se desarrolló la validación, el coordinador de las parcelas IPA- Antioquia y los investigadores de Cenicafé. Al finalizar la validación se realizó un día de campo dirigido al Servicio de Extensión del departamento de Antioquia y a un grupo de caficultores que tienen sus fincas afectadas por *N. caldasiae*.

Con base en los resultados de la presente validación se concluye que *N. caldasiae* es posible de controlar en condiciones de la caficultura colombiana, siempre y cuando se sigan las siguientes recomendaciones:

1. Identificar oportunamente la presencia de *N. caldasiae* en la finca.
2. Realizar los almácigos con suelo libre de *N. caldasiae* y otras especies de cochinillas.
3. Revisar los almácigos antes de la siembra para detectar la presencia de *N. caldasiae* y controlar oportunamente. Esta práctica

es más viable y económica que aplicar insecticidas después de establecido el lote.

4. Al realizar una renovación por siembra establecer plantas indicadoras en las calles, para evaluar la presencia de la plaga y la eficacia del control.
5. Realizar seguimiento mensual para detectar oportunamente la presencia de la plaga, el incremento de las poblaciones y así realizar control oportuno.
6. Detectar los focos y solamente controlar en estos.
7. Utilizar los productos recomendados por Cenicafé (Gil et al., 2015) para el control de cochinillas en el campo, en las dosis y volúmenes recomendados (Tabla 1).
8. Realizar las aplicaciones con el suelo a capacidad de campo, es decir, cuando esté húmedo, siguiendo la tecnología apropiada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los funcionarios del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de (FNC) de las seccionales Fredonia y Ciudad Bolívar Antioquia, por la búsqueda y selección de las fincas, a los caficultores Jhon Jairo Paniagua y Carlos Mario Acevedo, por prestar los predios para realizar el trabajo y acompañar cada etapa de la validación y a los revisores anónimos por sus comentarios y aportes que ayudaron a mejorar el escrito.

Origen y fuente de financiación

Esta investigación fue financiada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros- Gerencia Técnica en el programa Investigación Participativa con Agricultores- IPA proyecto ENT107007.

LITERATURA CITADA

- Arango, T.F. (1956). *Rhizomyrma fuhrmani* Forel. Hormiga de Amagá u hormiga hedionda. Monografía. Facultad Nacional de Agronomía, 38 p.
- Caballero, A. (2018). *Insectos escama (Hemiptera: Cocomorpha) de la rizosfera de cafetales jóvenes de la zona central colombiana* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63511>
- Caballero, A., Ramos-Portilla, A. A., Suárez-González, D., Serna, F., Gil, Z. N., & Benavides, P. (2019). Los insectos escama (Hemiptera: Cocomorpha) de raíces de café (*Coffea arabica* L.) en Colombia, con registros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en asociación. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 69–92. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1250
- Cárdenas, R., & Posada, F.J. (2001). *Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales*. Cenicafé.
- Charles, J. H., Serrão, J. E., Ferreira, C. S., & Matile-Ferrero, D. (2008). Comportements de communication de la cochenille néotropical *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky 1957) (Pseudococcidae: Rhizoecinae) avec sa fourmi symbiote *Acropyga fuhrmani* (Forel 1914) (Formicidae: Formicinae). *Annales de la Société entomologique de France*, 44(4), 471–475. <https://doi.org/10.1080/00379271.2008.10697582>
- Delabie, J. H. C., & Fernández, F. (2003). Relaciones entre hormigas y «Homópteros» (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha). En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región neotropical* (pp. 181–197). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2022). *Parcelas IPA*. <https://federaciondefeteros.org/wp/programas/parcelas-ipa>
- García Morales, M., Denno, B. D., Miller, D. R., Miller, G. L., Ben-Dov, Y., & Hardy, N. B. (2016). ScaleNet: A literature-based model of scale insect biology and systematics. *Database*, 2016, bav118. <https://doi.org/10.1093/database/bav118>
- Granara de Willink, M. C. (2009). *Dysmicoccus* de la Región Neotropical (Hemiptera: Pseudococcidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 68(1–2), 11–95. <http://hdl.handle.net/11336/79383>
- Gil, Z. N., Benavides, P., & Villegas, C. (2015). Manejo integrado de las cochinillas de las raíces del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 459, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/637>
- González, R. (1951). Algunas consideraciones sobre el complejo simbiótico cóccido – hormiga del sistema radicular del cafeto. *Revista Cafetera de Colombia*, 10(121), 3680–3690. <http://hdl.handle.net/10778/981>
- Gullan, P. J., Buckley, R. C., & Ward, P. S. (1993). Ant-tended scale insects (Hemiptera: Coccidae: *Myzolecanium*) within lowland rain forest trees in Papua New Guinea. *Journal of Tropical Ecology*, 9(1), 81–91. <https://doi.org/10.1017/S0266467400006994>
- Roba, R. P. (1936). La Hormiga de Amagá. *Revista Cafetera de Colombia*, 6(60–87), 2023–2034.
- Serna, F. J., Mera-Rodríguez, L. D., Ramírez-Ossa, K., & Gaigl, A. (2019). Hormigas de mayor impacto en la agricultura colombiana. En F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (pp. 1115–1148). Universidad Nacional de Colombia.
- Sirisena, U. G. A. I., Watson, G. W., Hemachandra, K. S., & Wijayagunasekara, H. N. P. (2013). A modified technique for the preparation of specimens of Sternorrhyncha for taxonomic studies. *Tropical Agricultural Research*, 24(2), 139–149. <https://www.cabi.org/isc/abstract/20133156481>
- Way, M. J. (1963). Mutualism Between Ants and Honeydew-Producing Homoptera. *Annual Review of Entomology*, 8(1), 307–344. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.08.010163.001515>
- Williams, D. J., & Granara de Willink, M. C. (1992). *Mealybugs of Central and South America*. CAB International.
- Williams, D.J. (1998). Mealybugs of the genera *Eumyrmococcus* silvestri and *Xenococcus* silvestri associated with the ant genus *Acropyga* Roger and a review of the subfamily Rhizoecinae (Hemiptera, Coccoidea, Pseudococcidae). *Bulletin of the Natural History Museum*, 67(1), 1–64.
- Williams, D. J. (2004). A synopsis of the subterranean mealybug genus *Neochavesia* Williams and Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae: Rhizoecinae).

Journal of Natural History, 38(22), 2883–2899. <https://doi.org/10.1080/00222930310001657856>

- Villegas, C., Zabala-Echavarría, G., Ramos, A. A., & Benavides Machado, P. (2009). Identificación y hábitos de cochinillas harinosas asociadas a raíces del café en Quindío. *Revista Cenicafé*, 60(4), 362–373. <http://hdl.handle.net/10778/153>
- Villegas, C., & Benavides, P. (2011). Identificación de cochinillas harinosas en las raíces de café en departamentos cafeteros de Colombia. *Revista Cenicafé*, 62(1), 48–55. <http://hdl.handle.net/10778/512>

Villegas, C., Bustillo, A. E., Zabala Echavarría, G., Benavides Machado, P., & Ramos Portilla, A. A. (2008). Cochinillas harinosas en cafetales colombianos. En A. E. Bustillo (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 342–354). Cenicafé.

Woolley, J., & Pachico, D. (1987). Un marco metodológico para la investigación en campos de agricultores. En Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ed.), *La investigación de frijol en campos de agricultores de América Latina: Memorias de un taller* (pp. 5–27). CIAT. <https://hdl.handle.net/10568/80354>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Centro Nacional de Investigaciones de Café
“Pedro Uribe Mejía”

DIRECCIÓN

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo, Ph.D.
Diana Marcela Buitrago R., Lic. Biología y Química,
Administradora de Empresas, Esp.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y
Desarrollo de Sistemas de Información
Jorge Alejandro Builes P. Tecnólogo en Sistemas
Luis Gonzaga Henao R.
Orlando Salazar G.
Jeison Alexander Hoyos G. Aprendiz

Biometría

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

Calidad

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

Economía Agrícola

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

Entomología

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

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

Fisiología Vegetal

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

Fitopatología

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

Fitotecnia

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

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Julio Quiroga C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Carlos Augusto Ramírez C., Administrador de Empresas Agropecuarias
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Juan Pablo Montoya T., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias
Steven Giraldo R., Tecnología en Gestión Administrativa
Omar Villarreal
Gina Gabriela Campos M., Pasante

Poscosecha

Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, M.Sc., Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc., Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto, M.Sc.
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química, M.Sc.
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola, M.Sc.
Sandra Paola Moreno R., Ing. Biológica, M.Sc.*
Ingrid Paola Hower G., Ing. Alimentos, Esp*
Jhoan Felipe García D., Ing. Alimentos*
Anyela Vanessa Velásquez E., Microbiólogo*
Juan Manuel Rendón R., Tecnólogo en Química*
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda
Juan Carlos Ortiz F.
Carol Vanessa Osorio G., Pasante
Yenifer Paola Urrea A., Aprendiz

Suelos

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

EXPERIMENTACIÓN

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

Estación Experimental Naranja

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Angie Manuela Serna B., Aprendiz

Estación Experimental El Tambo

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

Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal, M.Sc.

Estación Experimental La Catalina

Héctor Flabio Álvarez A., Ing. Agrónomo

Estación Experimental La Trinidad

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental Paraguaito

Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio

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

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, Esp., M.Sc.
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Kathryn Hernández A., Pasante
Esteban Zuluaga D., Pasante

Tecnología de la Información y Comunicaciones

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

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

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

Gestión Contable

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.
Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

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

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

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

Oscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial

Uriel López P.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Jorge Eduardo Sepúlveda V.
Jorge Antonio Arias A.
Carlos Andrés Hernández G.
Fabián Sánchez L.
Mario López L.
Anyi Yulieth Leguizamón C., Aprendiz

Gestión de Tesorería

Jesús Danilo González O., Contador, Esp.

Gestión del Talento Humano

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

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Federico Giraldo D., Administrador de empresas, Esp. en Finanzas
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas

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

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame.
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas.
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*.
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva.
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural.
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>: A = R x K x S x L x C x P <1>.
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura.
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas.

TABLAS Y FIGURAS

- Elabore las tablas en el formato de tabla de Word o de Excel.
- No las incluya en el documento como fotos o imágenes.
- Las cifras decimales sepárelas con una coma, no con punto.
- Las tablas deben titularse en la parte superior y al enunciarla en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Tabla 10.
- Las tablas deben crearse en blanco y negro.
- Como norma general, las figuras deben titularse en la parte inferior, y cuando enuncie la figura en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Figura 10.
- Las fotografías se deben tomar con el mayor tamaño (número de píxeles) y la mejor calidad (Fine) posibles, ya que esto asegura mejores impresiones de informes, pósteres o publicaciones.
- Las fotografías deben nombrarse con el autor y su descripción.
- Las tablas y figuras deben presentarse en archivos independientes y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n, Figura 1... Figura n, etc.).
- Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra Word.
- Las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de Excel.
- Otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG, preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi).

ECUACIONES

- Use una sola letra para denotar una variable y emplee subíndices para particularizar.
- Para las variables utilice letra itálica.
- El producto no se denota con *. Use solamente espacios.
- Las matrices y vectores se denotan con letra en negrilla e itálica.

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.

- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ y no m^3s^{-1} , que podría indicar milisegundos).
- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - El rendimiento en peso seco fue de $5\text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, y no $5\text{ g de peso seco}\cdot\text{día}^{-1}$
 - Se aplicaron $25\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ del ingrediente activo, y no $25\text{ g i.a.}/\text{ha}$
 - Cada planta recibió $20\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de agua, y no $20\text{ g H}_2\text{O}/\text{ha}$ por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: $10\text{ °C}/\text{h}$ ó $10\text{ L}/\text{materia}$).
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama.
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre $14\text{ y }20\text{ °C}$ o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%.
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones.

BIBLIOGRAFÍA

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título - Máximo 16 palabras

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

Resumen - Máximo 250 palabras

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

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

Abstract - Máximo 250 palabras

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

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

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

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

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

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

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

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

Agradecimientos - Máximo 70 palabras

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

Literatura citada

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

PRODUCCIÓN EDITORIAL

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

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve, Diseñadora Visual

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión: 300 ejemplares

Para canjes con esta publicación dirigirse a:
Centro de Documentación
Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé
Manizales - Caldas - Colombia
Biblioteca.Cenicafe@cafedecolombia.com



Cenicafé

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org

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