

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 76 Número 2

Julio - Diciembre 2025



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Germán Ávila Plazas

Ministra de Agricultura y Desarrollo Rural
Martha Viviana Carvajalino Villegas

Ministra de Comercio, Industria y Turismo (designada)
Diana Marcela Morales Rojas

Directora del Departamento Nacional de Planeación
Natalia Irene Molina Posso

Asesor del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Rogelio Andrés Rodríguez Castillo

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Daniilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General
Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones
Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales
Reynaldo Díaz Medina

Gerente Comercial
Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico
Álvaro León Gaitán Bustamante

Director Investigación Científica y Tecnológica
Santiago Jaramillo Cardona

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.cenicafe76-2>

Editada en diciembre de 2025

Tel: 606 + 8500707

E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com

www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 76

JULIO - DICIEMBRE 2025

No. 2

CONTENIDO

AN APPROACH FOR PREDICTING PHOSPHORUS REQUIREMENT FOR COFFEE IN SOILS OF THE COLOMBIAN COFFEE ZONE. Hernán González Osorio; Carmenza Esther Góngora Botero; Rubén Darío Medina Rivera; Wálter Osorio V. 7

UN ENFOQUE PARA PREDECIR EL REQUERIMIENTO DE FÓSFORO PARA EL CAFÉ EN LOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA 7

CALIDAD DEL CAFÉ DEL CESAR Y EFICIENCIA DE LAS RECOMENDACIONES TÉCNICAS DERIVADAS DEL DIAGNÓSTICO. Luz Fanny Echeverri Giraldo; Luis Carlos Imbachí Quinchúa; Jenny Paola Pabón Usaquén; Valentina Osorio Pérez 23

COFFEE QUALITY IN CESAR: TECHNICAL RECOMMENDATION EFFICACY ASSESSMENT.... 23

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EL PROCESO DE BENEFICIO DE CAFÉ. Diego Fernando Arango Cardona; Beatriz Eugenia Mira Rada; Hugo Mauricio Salazar Echeverry 47

ECONOMIC LOSSES ESTIMATION IN THE COFFEE WET-MILLING PROCESS 47

EVALUACIÓN DE CEBOS QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y FORMICIDAS TERMONEBULIZABLES, PARA CONTROL DE *Atta cephalotes* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE). Luis Miguel Constantino Chuaire; Carmenza Esther Góngora Botero; Pablo Benavides Machado; Héctor Flavio Álvarez Agudelo; John Félix Trejos Pinzón; Daniel Antonio Franco Chaurra; Beatriz Eugenia Mira Rada 64

EVALUATION OF CHEMICAL, BIOLOGICAL, AND THERMONEEBULIZABLE FORMICIDES BAITS FOR CONTROL OF *Atta cephalotes* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) 64

COMITÉ EDITORIAL

Marco Aurelio Cristancho A. Ph.D. Microbiólogo. Fitopatología, Cenicafe
Carmenza Esther Góngora B. Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafe
Aída Esther Peñuela M. Ph.D. Ing. Alimentos. Poscosecha, Cenicafe
Diana María Molina V. Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafe
Luis Fernando Salazar G. Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafe

Secretaría Técnica

Sandra Milena Marín López, Ing. Agrónomo, Esp., M.Sc.

Editor Web

Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp., M.Sc.

Miembros Externos

Rolando Tito Bacca, Universidad del Tolima
Lucio Navarro, Universidad de Texas
Javier Mantilla, Universidad Católica de Manizales
Susana Velásquez, Universidad de UTAH
Ana María Castro Triana, Universidad de la Salle
Julián Valencia, Universidad de Caldas
Fábio DaMatta, Universidade Federal de Viçosa
Claudia Marcela Zapata, Smurfit Kappa
Magally Romero, Universidad Nacional
María Dolores del Castillo, CSIC
Ricardo Acosta, Universidad Tecnológica de Colombia
Santos Barrera, World Coffee Research
Carla Rodrigues, Grupo Nabeiro

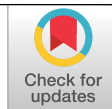
REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 76 NO 1 Y NO 2

Santiago Jaramillo C. Ph.D. Cenicafe FNC
Marco A. Cristancho A., Ph.D. Cenicafe FNC
Luis Fernando Salazar G., Ph.D. Cenicafe FNC
Juan Carlos García L., Ph.D. Cenicafe FNC
Julio Quiroga Cardona. Candidato Ph.D. Cenicafe FNC
Jhon Félix Trejos P., M.Sc. Cenicafe FNC
Álvaro Guerrero A., M.Sc. Cenicafe FNC
Carlos Roberto Ariza O., Esp. Cenicafe FNC
Melsar D. Santamaría. Ing. De Alimentos. Cenicafe FNC
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Candidato Ph.D. Comité del Tolima FNC
Rodrigo Alarcón, Ing. Químico, Almacafe FNC
Julián Mauricio Chacón C., Ing. Agrícola, Esp Comité del Quindío FNC
Edgar Hincapié. Ph.D. Cenicaña
Claudia Marcela Zapata. Ph.D. Smurfit Kappa
Cristina Inés Álvarez Barreto, Ph.D. Universidad de Caldas
María del Pilar Moncada Ph.D.
Mónica Quintero, PhD en Ciencias de los Alimentos y Farmacia
Claudia Álvarez, Ingeniero Agrónomo MSc.
Hernando Duque, Ing. Agrónomo MSc.
Carlos Mario Ospina, Ing. Forestal MSc.
Humberto Araque S., MSc Gobernación de Caldas
Gerson Darío Ramírez, Ingeniero Agrónomo, Cenicaña

AN APPROACH FOR PREDICTING PHOSPHORUS REQUIREMENT FOR COFFEE IN SOILS OF THE COLOMBIAN COFFEE ZONE

Hernán González Osorio *, Carmenza Esther Góngora Botero **, Rubén Darío Medina Rivera *, Nelson Walter Osorio V. ***

González-Osorio, H., Góngora, C. E., Medina-Rivera, R., & Osorio, W. (2025). An approach for predicting phosphorus requirement for coffee in soils of the Colombian coffee zone. *Revista Cenicafé*, 76(2), e76201. <https://doi.org/10.38141/10778/76201>



Coffee crop demands phosphorus (P) during the nursery stage and vegetative growth. These requirements are commonly satisfied by applying a high dose of soluble phosphatic fertilizers, which increases production costs and causes environmental concerns. The Colombian coffee zone has a great diversity of soils with variable mineral composition and organic matter (OM) content. These conditions exhibit a long-term stability, concomitantly govern soil P availability and, hence, a standard recommendation for P fertilization may cause nutritional imbalance in the soil solution. To accurately estimate soil P-availability in Colombian coffee soils, a P-fixation (PF)-based approach using sorption isotherms technique was evaluated in five Andisols and four Inceptisols. Changes in the soil solution P concentration were monitored over time. Results showed that PF value was overestimated ($> 68\%$) during 36 h of equilibration; after this period, the system stabilized, providing reliable PF values. The relation between PF and applied P was assessed at a concentration of 0.2 mg L^{-1} ($P_{0.2}$), level considered adequate in the soil solution to support maximal crop yields in different cultivated plants, was achieved by applications between 104 and 773 mg kg^{-1} of P in Andisols, and between 0 and 349 mg kg^{-1} of P in Inceptisols. OM content (OM: 7.7%), presence of non-crystalline materials, texture, and mineralogy explained the PF across soils. These findings suggest that a PF-based approach could serve as a valuable tool for developing site-specific P fertilization strategies and useful for establishing future P coffee fertilization in Colombia.

Keywords: soil-organic matter, equilibration time, non-crystalline materials, $P_{0.2}$ value, texture.

UN ENFOQUE PARA PREDECIR EL REQUERIMIENTO DE FÓSFORO PARA EL CAFÉ EN LOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA

El café demanda fósforo (P) durante la fase de vivero y crecimiento vegetativo. Dichos requerimientos comúnmente se satisfacen con fertilizantes fosfóricos solubles, incrementando los costos de producción y causando problemas medioambientales. La zona cafetera colombiana es diversa en suelos, con variabilidad en su composición mineralógica y contenidos de materia orgánica (MO). Estas condiciones son estables en el tiempo y conjuntamente gobiernan la disponibilidad de P. Por consiguiente, una recomendación estándar de fertilización fosfórica puede causar desbalances nutricionales en la solución de suelo. Para estimar con precisión la disponibilidad de P en los suelos de la zona cafetera colombiana, se evaluó la fijación de P (PF) mediante la técnica de isoterma de adsorción en cinco Andisoles y cuatro Inceptisoles. Cambios del P en la solución del suelo fueron monitoreados en el tiempo. PF estuvo sobreestimada ($> 68\%$) durante 36 h de equilibrio; luego, el sistema se estabilizó generando valores confiables. La relación entre PF y el P aplicado para alcanzar $P_{0.2}$ en solución, el cual corresponde a la concentración de P para el máximo rendimiento en diferentes cultivos, se alcanzó suministrando $104\text{--}773 \text{ mg kg}^{-1}$ de P en Andisoles y $0\text{--}349 \text{ mg kg}^{-1}$ de P en Inceptisoles. La MO (MO: 7.7%), los materiales no cristalinos, la textura y la mineralogía explicaron la PF. Los resultados sugieren que un enfoque basado en PF representa una herramienta para la fertilización fosfórica específica según el tipo de suelo y es útil para desarrollar futuros programas de fertilización con P para el café en Colombia.

Palabras clave: Materia orgánica del suelo, tiempo de equilibrio, materiales no cristalinos, nivel $P_{0.2}$, textura.

* Investigador Científico II. Disciplina de Suelos y Disciplina de Biometría, Cenicafé, respectivamente. <https://orcid.org/0000-0001-5716-2172>, <https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>

** Investigador Científico III. Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3633-1077>

*** Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-0654-1399>



Phosphorus (P) is a key nutrient for crops production (Helin & Weikard, 2019; Zhu et al., 2018). In coffee, it is required mainly during the nursery and vegetative growth stages (Ávila et al. 2007; Sadeghian & González, 2012), even though during reproductive growth stage coffee plants have low P requirement in comparison with other nutrients (González-Orsorio et al. 2023). Phosphoric fertilizers prices will remain volatile (INN, 2022) in a market where supply and demand are tight (Alewell et al. 2020). Under these conditions, strategies for an effective use of P are necessary. In many cases P fertilization in coffee crops is based on general criteria, often without considering the available P levels in the soil (Minten et al., 2017). Currently, a general recommendation for P fertilization for coffee seedlings in nursery stage is being used of 2 to 4 g diammonium phosphate per kg of soil. However, there is a high uncertainty about the real benefits derived from this practice (Díaz et al., 2008). It is hypothesized that in some soils this P fertilization may be unnecessary and in other cases it may be insufficient to satisfy P coffee requirements (González-Orsorio et al. 2025).

Different approaches have been developed to understand P dynamics in the soil-plant system (Bindraban et al. 2020; Yan et al., 2017; Bhattacharyya et al., 2015; Gauthman & Prabhakar, 2012). Taking into account that the phosphate ions (H_2PO_4^-) reach the plant root surface by diffusion, the P availability quantification should consider the presence of phosphate in both solid and liquid phases (Dijkstra et al., 2016).

Under the variable soil conditions of Colombia, Bray II is a traditional soil test widely used, to estimate P available, however, the time of extraction through this methodology is limited, thereby a reaction above 40 s, could dissolve and desorb P forms not available,

like P strongly adsorbed (in Andisols) or P-precipitation with Fe, Ca or Al; generating overestimation of P available (Orsorio, 2014). Under these considerations, is necessary a better bioavailability indicator to predict the need of P application (Hue & Fox, 2010). The isotherms of P sorption have been largely used to determine soil capacity to adsorb P ions and/or to evaluate soil PF on its colloids (Fox & Kamprath, 1970). In this method, after soluble phosphate is applied, a fraction is adsorbed and another part remains in solution, due to both fractions reach a physical-chemical equilibrium after a few days, when the soluble P fraction is measured inherently, the adsorbed P can be quantified as well (Tokura et al. 2020).

Correlation and calibration are essential parts of an effective soil testing methodology (Soratto & Sandaña, 2020; Braun et al., 2019; Wang et al., 2019). The isotherm equilibrium approach can be used to correlate the level of P added to the soil solution with P concentration. In addition, the calibration requires an evaluation in plants in both greenhouse and field conditions to determine plant P uptake. Several studies have been conducted using this technique in different plant species. For instance, maximal yields of sugarcane (*ca.* 90%) are achieved when soluble P concentration is 0.1 mg L⁻¹, 0.05 mg L⁻¹ in yucca, 0.3 mg L⁻¹ in lettuce and 0.17 mg L⁻¹ in potato, among others (Hue & Fox, 2010). Also, it has been widely reported that the highest mycorrhizal effectiveness of diverse plant species (coffee, avocado, papaya, leucaena, passion fruit, etc.) is reached when soluble P fraction (measured with soil P sorption isotherm) is around 0.02 and 0.2 mg L⁻¹ (González-Orsorio et al. 2022, Orsorio & Habte, 2015, Habte & Bittenbender, 1999).

The Colombian coffee growing zone has great diversity of soils as a result of the interactions of different soil genesis factors, with different soil organic matter (SOM) types

and contents, mineral composition, chemical reaction, etc. (González et al. 2009). These soil conditions concomitantly govern soil P availability (Fink et al. 2016). Therefore, a method to determine crop P requirement that take into consideration these soil factors, particularly PF and soil P adsorption capacity, becomes relevant since it can contribute to improving effectiveness in P management, reducing production costs and preventing environmental problems derived from excessive P fertilization.

Based on the last considerations this study was aimed to evaluate PF through the P-sorption isotherms technique, as an approach to predict the P availability in Colombian coffee soils.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out at the soil laboratory of the National Coffee Research Center (Cenicafé) in Chinchiná, Colombia (Plan Alto headquarters) (5°15'34"N, 75°15'34"W, altitude 1430 m).

Equilibration time

A preliminary test to check equilibration time for the solution of P concentration was conducted in a *Pachic fulvudands* soil. For this purpose, an aliquot of 3 g of soil (dry basis) of the Chinchiná soil (*Pachic fulvudand*) was transferred to a centrifuge plastic tube of 50 mL, that contained 30 mL of 0.01 M of CaCl_2 and KH_2PO_4 equivalent to 1000 mg of P per kg of soil. Three drops of toluene were added to each tube to inhibit microbial activity. The tubes were shaken for 30 min twice daily (each 12 h), and this cycle was repeated over 7 days. After the 16th, 36th, 60th, 84th, 108th 132th and 156th hour, the soil solution P concentration was measured by the phosphomolybdate blue method developed by Murphy & Riley (1962). Briefly, a solution

composed of 0.35 g of ammonium potassium tartrate, 168 mL of concentrated sulfuric acid, and 14.43 g of ammonium molybdate was prepared. All these components were diluted in 3.0 L of deionized water. Then, 10 mL of filtered soil solution was added to 2.5 mL of the B-solution (0.428 g of ascorbic L-acid diluted in 100 mL of A-solution). A spectrophotometer was calibrated using standard P solutions of 0.0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 mg L⁻¹, by adding 2.5 mL of B-solution. After 20 minutes, when the blue color was formed, the absorbance at 890 nm of wavelength was measured.

Soils

Five Andisols and four Inceptisols were selected, which represent the most abundant soil types in the coffee growing regions of Colombia (Table 1). To obtain the soil samples, coffee plantations established for more than 10 years were chosen in different locations. Ten sub-samples of soil were taken randomly in the top 20 cm of the A horizon (peak absorbing root density zone for the coffee) totaling about 2.0 kg soil per location. The soil samples were carried to the Cenicafé soil laboratory, air-dried, and sieved between 0.5 and 2.0 mm apertures-sieves. Approximately 50 g were used for PF analysis, and another fraction was used to evaluate physical and chemical characteristics (Table 2).

Phosphate sorption isotherms

P-sorption isotherms

According to the method developed by Fox & Kamprath (1970), 3 g (dry basis) of soil were transferred by triplicating into 50 mL plastic centrifuge tubes, which contained increasing amounts of P (0, 60, 125, 250, 500, 1000, and 2000 mg kg⁻¹) using KH_2PO_4 diluted in 30 mL de 0.01 M CaCl_2 . The tubes were shaken in a reciprocal shaker during 30 min, twice daily (each 12 h) for 7 days. Next, the tubes

Table 1. Selected soils used in this study from different areas traditionally cultivated with coffee plantations for over 10 years.

Soil	Parental material	Order	Taxonomy	Location (Town, Municipality, Department)
Chinchiná	Volcanic ashes	Andisol	Fulvudand	La Quiebra, Chinchiná, Caldas
Timbío	Volcanic ashes	Andisol	Melanudand	San Joaquín, Timbío, Cauca
Líbano	Volcanic ashes	Andisol	Melanudand	La Trinidad, Libano, Tolima
Doña Juana	Volcanic ashes	Andisol	Hapludand	Bellavista, La Unión, Nariño
Quindío	Volcanic ashes	Andisol	Udivitrand	Río Verde, Buenavista, Quindío
Doscientos	Igneous rock	Inceptisol	Eutropept	Jamundí, Valle del Cauca
San Simón	Igneous rock	Inceptisol	Dystrudept	El Colegio, Ibagué, Tolima
Ropero	Sedimentary rock	Inceptisol	Dystropept	La Honda, El Socorro, Santander
Llano de Palmas	Sedimentary rock	Inceptisol	Dystropept	Árbol solo, El Socorro, Santander

Table 2. Selected properties of the soils studied (depth: 0-20 cm).

Soil property	Chinchiná	Timbío	Líbano	Doña Juana	Quindío	Doscientos	San Simón	Ropero	Llano Palmas
pH (water)	4.6	5.2	5.2	5.2	5.2	5.0	5.2	4.9	4.5
pH (0,1 M KCl)	4.0	4.4	3.0	4.9	4.5	4.4	3.6	3.4	3.5
Δ pH	-0.6	-0,8	-2.2	-0.3	-0.7	-0.7	-1.7	-1.5	-1.0
Organic matter-OM (%)	12.3	17.6	13.4	7.7	6.2	14.4	5.0	6.3	5.7
Bray-P (mg kg ⁻¹)	2.4	3.7	3.0	34	5,0	13	8.9	4.2	7.0
Exchangeable acidity (cmol _c kg ⁻¹)	1.9	0.5	0.7	0.4	0.4	0.4	0.2	2.0	1.5
Effective CEC (cmol _c kg ⁻¹)	2.3	7.6	2.6	5.0	3.7	4.1	12.9	7.1	4.8
Exchangeable Al (cmol _c kg ⁻¹)	0.8	0.5	0.6	0.2	0.6	0.4	0.2	1.7	1.4
Clay (%)	20	22	11	16	14	26	28	45	39
Sand (%)	54	46	46	67	67	62	50	28	40
Silt (%)	26	32	43	17	19	12	23	27	21

Methods: pH in water (1:1, W:V) and pH in 1 M KCl, potentiometer; Organic matter (OM) content: Walkey and Black; P: Bray II; Effective CEC: Sum of exchangeable cations (Ca+Mg+K+Na+Al); exchangeable acidity: 1 M KCl; clay, silt, and sand contents: Bouyoucos method; ΔpH= pH in KCl- pH in water.

were centrifuged at 6.000 rpm for 10 min to obtain a clean supernatant with P in solution.

Soil solution P concentration

After 6.5 d of equilibration (156 h), the supernatant was filtered through a Whatman filter paper No. 42. Ten mL of the filtrate were used to determine the soil solution P concentration (Murphy & Riley, 1962) as explained above.

Statistical analysis

Data were analyzed based on mean and the standard error. Time equilibration of P in soil solution was evaluated through Duncan test (5%). For all soils evaluated, a regression model to describe the relationship between P applied and P in solution was fitted to estimate the required amounts to achieve a soil solution P concentration of 0.2 mg L^{-1} ($P_{0.2}$ value). All the analyses and statistical tests described in this study were performed using the statistical package SAS version 9.4 © (2016 by SAS Institute Inc. Cary NC, USA). Furthermore,

a classification tree was developed using the variables OM effective CEC, ΔpH , Al, clay, and sand, following the criteria established by Frank et al. (2016). The purpose of this classification tree was to distinguish between soils with low PF capability ($\leq 500 \text{ mg kg}^{-1}$) and soils with high PF capability ($>500 \text{ mg kg}^{-1}$).

RESULTS

Equilibration time

Changes in the soil solution P concentration over time were observed (Figure 1). At 16 h after the addition of P as KH_2PO_4 , the P level was 0.82 mg L^{-1} . This value had a standard error equivalent to 0.085 mg L^{-1} , which indicated high variability in the equilibration time. After that, the P concentration and its variability were decreasing over time and values of P in the soil solution were between 0.22 and 0.18 mg L^{-1} at 84 and 156 h, respectively, which indicates the most reliable levels of PF and/or soil solution P, given the small standard error (0.005 mg L^{-1} in average).

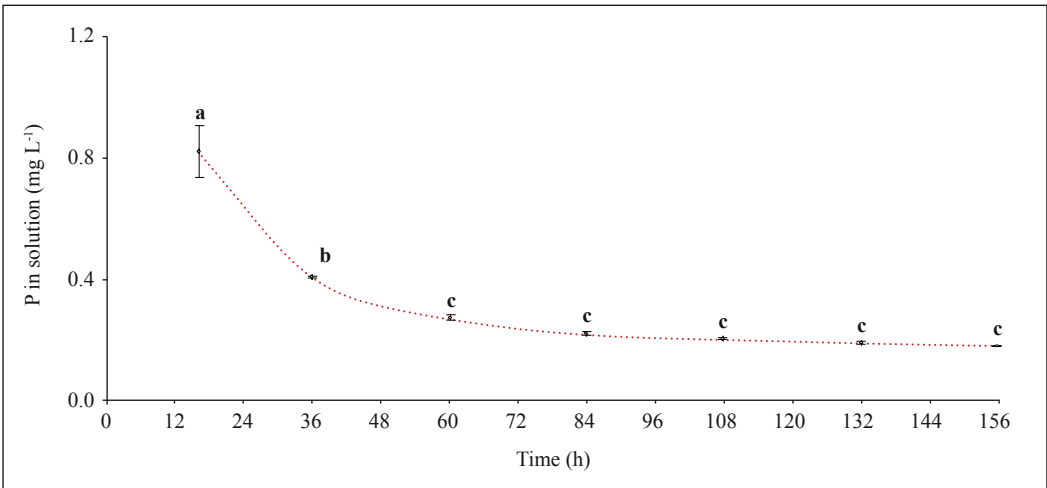


Figure 1. Soil solution P concentration as a function of time of a P adsorption isotherm conducted in the Chinchiná soil. Each value represents the mean of three data; bars indicate standard error. Means with different lowercase letters are significantly different ($P < 0.05$) according to the multiple range test of Duncan.

The obtained data could be represented by statistical model described as following:

$$Ps_{(mgL^{-1})} = \frac{1}{(0.4754 + 0.0479 \ t)}$$

Where,

Ps: Soil solution P concentration
t: equilibration time (h).
With $r^2= 0.99$; Mean square error= 0.0017;
 $P < 0.001$.

P-Sorption isotherms

To understand the relationship between PF and $P_{0.2}$, the fitted value of $P_{0.2}$ (y-axis) against P application rate (x-axis) was determined, as shown in figures 2 and 3, for Andisols and Inceptisols, respectively. The magnitude of PF was different among several soils (Table 3). Among Andisols group, the Chinchiná soils had the highest PF, and its $P_{0.2}$ value was achieved with P applications of 773 $mg\ kg^{-1}$. Soils from Timbio, Líbano, Quindío and Doña Juana needed P applications of 615, 531, 356 and 104 $mg\ kg^{-1}$, respectively. Concerning Inceptisols, the $P_{0.2}$ level in the soil solution was achieved with 349 $mg\ kg^{-1}$ in the Doscientos soil, with 257 $mg\ kg^{-1}$ on average in the Ropero and Llano Palmas soils. No P addition was needed in San Simón to reach a $P_{0.2}$ value.

The statistical model fitted for each soil, corresponded to an exponential expression: $y= \alpha \ (\beta)^x$, where:

y: P-solution; α and β : Function parameters,
x: Amounts of P applied.

Calculations of PF in all the soils studied can be obtained from function parameters given in table 4.

Table 3. Soil classification according to P application requirement to achieve $P_{0.2}$ and relative PF to reach $P_{0.2}$ levels in the different soils relative to Chinchiná soil (100%).

Soil	$P_{0.2}$ ($mg\ kg^{-1}$)*	Relative value (%)
Chinchiná	773.2	100
Líbano	531.2	80
Timbío	615.0	69
Quindío	356.4	46
Doña Juana	104.1	45
Doscientos	349.8	35
Ropero	270.9	31
Llano Palmas	242.5	13
San Simón	0.0	0

*P application rate ($mg\ kg^{-1}$ soil) required to obtain a concentration equivalent to 0.2 $mg\ L^{-1}$.

Classification tree

The analysis with the variables, OM, effective CEC, ΔpH , Al, clay and sand content, showed that, from the OM level it is possible to classify the PF soils. According to the findings, there is a 66.67% probability that a soil with an OM content of at least 7.7% can be classified as having a low PF level (Figure 4).

DISCUSSION

Equilibration time

The initial readings of soil solution P were quite variable (12 h), but this variability is reduced over time, remained constant (equilibrated) after 60 hours, once adsorption and desorption

Table 4. Regression parameters for soils studied $f(x) = \alpha (\beta)^x$.

Soil	Parameter	Estimate	SE	CL		Pr > F	R ²
Chinchiná	Alpha	0.062	0.00657	0.048	0.076	<0.0001	0.97
	Beta	1.039	0.00142	1.036	1.042		
Libano	Alpha	0.048	0.00779	0.032	0.065	<0.0001	0.99
	Beta	1.142	0.01020	1.121	1.164		
Timbío	Alpha	0.019	0.00517	0.008	0.030	<0.0001	0.98
	Beta	1.154	0.01840	1.114	1.194		
Quindío	Alpha	0.028	0.00450	0.018	0.037	<0.0001	0.96
	Beta	1.092	0.00623	1.079	1.105		
Doña Juana	Alpha	0.004	0.00096	0.002	0.006	<0.0001	0.99
	Beta	1.176	0.00914	1.156	1.196		
Doscientos	Alpha	0.122	0.01940	0.081	0.163	<0.0001	0.94
	Beta	1.046	0.00262	1.041	1.052		
Roperó	Alpha	0.031	0.01290	0.003	0.059	<0.0001	0.97
	Beta	1.075	0.01470	1.043	1.106		
Llano Palmas	Alpha	0.020	0.00360	0.012	0.027	<0.0001	0.99
	Beta	1.096	0.00611	1.083	1.109		
San Simón	Alpha	0.126	0.01730	0.089	0.163	<0.0001	0.98
	Beta	1.157	0.00678	1.143	1.172		

SE: Standard error. CL: Confidence Limits (95%).

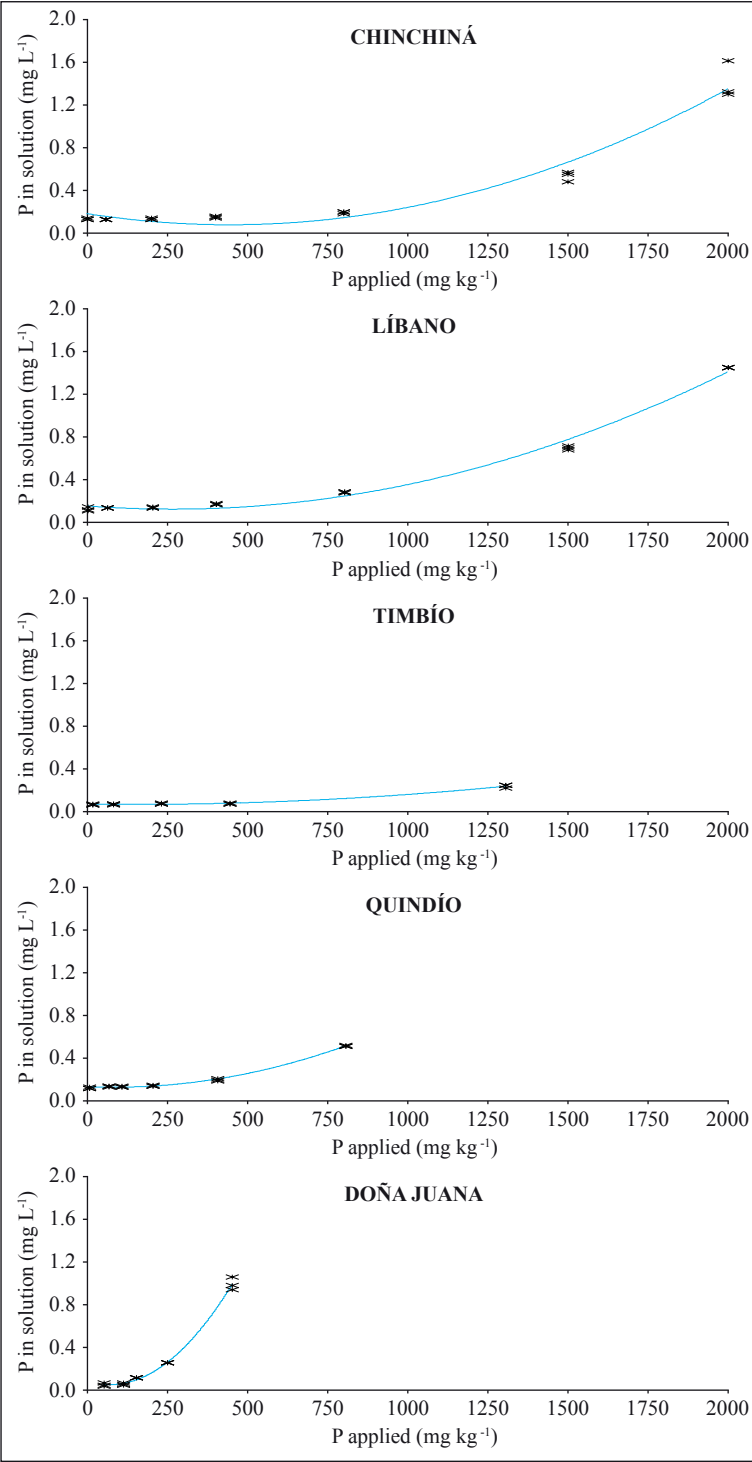


Figure 2. Relationship between the amounts of P applied and the soil solution P concentration in the Andisols.

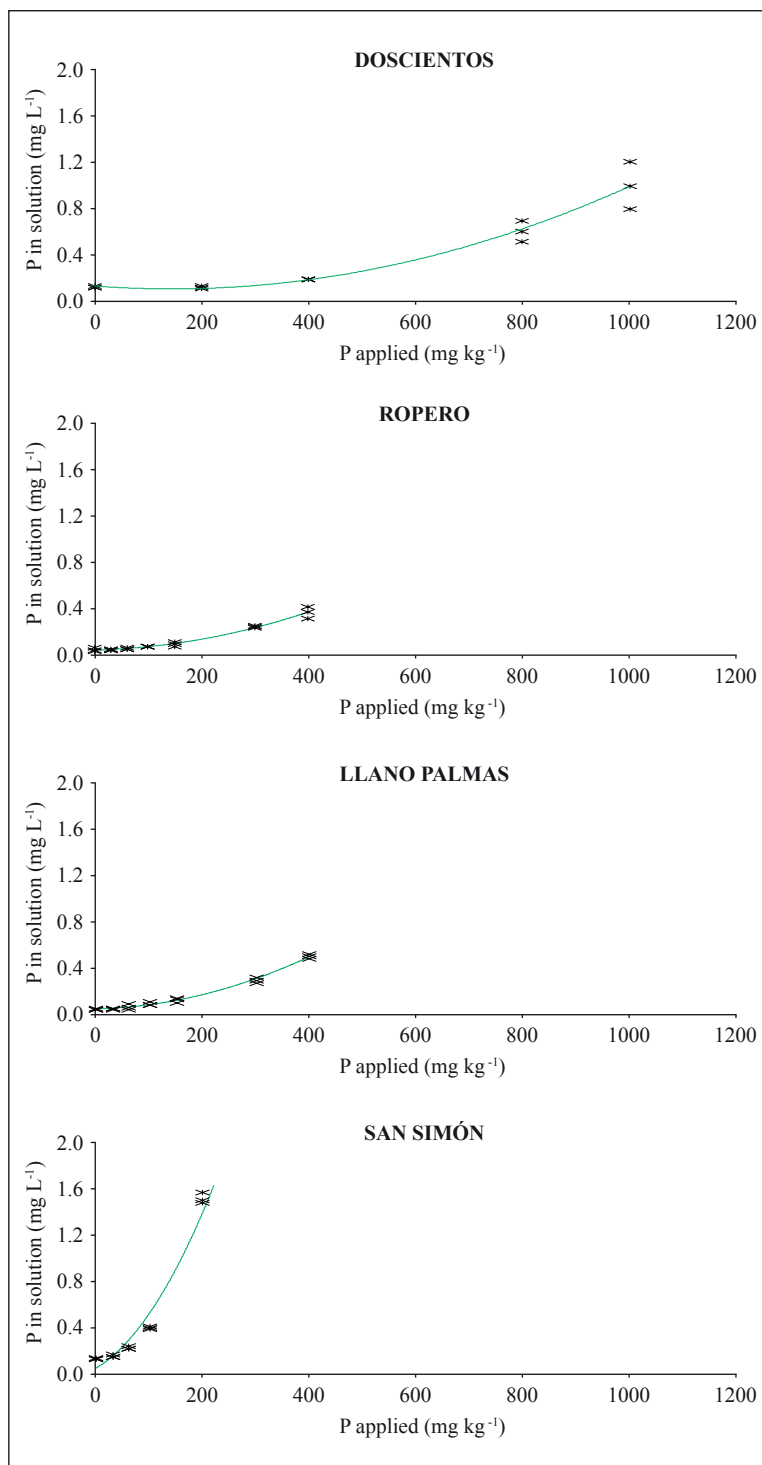


Figure 3. Relationship between the amounts of P applied and the soil solution P concentration in the Inceptisols.

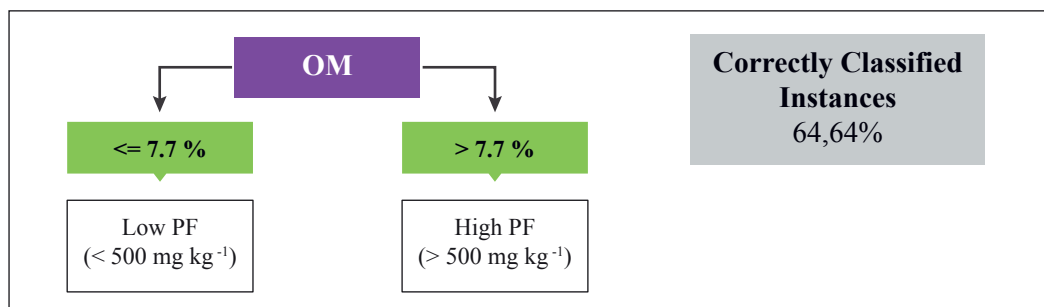


Figure 4. Classification tree, explaining PF from SOM content in all the soils studied.

reactions equilibrium was reached. Therefore, a duration between 60 h and 156 h was proposed to obtain most reliable results, contrary to the USDA recommendation for Andisols (classified by high PF capability) of 24 h (USDA, 2014). Our results are according with those by Fox & Kamprath (1970) who found that the equilibration time was reached after 6 days in a P adsorption isotherm conducted in an Ultisol (recognized by high PF).

Several authors had used less equilibration times (< 48 h) in P adsorption isotherms, such as in models of Langmuir or Freundlich to explain the dynamic and magnitude of the process to soils beyond the scope of this investigation (Poveda & Sadeghian, 2023, Alovisei et al. 2020; Díaz & Sadeghian, 2018, Cao et al. 2017, Shafquat & Pierzynski 2014, and Gauthan & Prabhaker, 2012), and miscellaneous materials which have a weak PF capability such as labile organic matter derived from harvest residues and activated biochar (Ziwei et al., 2026, Chanda et al. 2025), or materials with a slower adsorption rate constant like eggshell (Sarkar et al. 2025). Our study did not consider these models, because the retention force depends on the amount of P adsorbed, the adsorption is not a monolayer phenomenon, P adsorption sites were unevenly distributed on the colloid surface, and precipitation of phosphate with Al and Ca ions occurred in parallel (Gupta et

al. 2020, Sparks, 1995). This seems evident only under specific levels of P evaluated in the isotherms, for instance, as found by Dunne et al (2021) who worked with Langmuir and Freundlich parameters, predicted satisfactory PF employed P concentrations less than 50 mg L⁻¹. In our research amounts between 0–2 000 mg L⁻¹ of P were evaluated.

P-Sorption isotherms

PF in Andisols results from processes including non-crystalline materials such as allophane, imogolite, Al-humus complexes, ferrihydrite and the active surfaces at silicate minerals (Shoji y Takahashi, 2002). Results reported by Gonzalez & Sadeghian (2012), in the same soil profiles corresponding to Chinchiná and Quindío soils, indicated in both cases, mineral traces of volcanic ash (<5%), andesite, hypersthene and zircon, and high content of (6-15%) magnetite, quartz and other weathered minerals. It is worth mentioning that non-crystalline material present at Chinchiná soil was above 50%, while in Quindío the contents were between 30 and 50%. The differences mentioned explain variations in the PF among Andisols.

In relation with soil fertility status, variables like, OM, ΔpH and sand content provide valuable information to explain PF in the Andisols studied. In the first place, ΔpH is

widely accepted as an indicator of net charge on the colloids surface (Kome et al. 2018), indicating the prevalent magnitude of negative charges, avoiding the P sorption. Furthermore, in the same soil type, while OM content in Chinchiná, Líbano and Timbío was above 12% and the sand percentage was lower than others (average 49 %), in Quindío and Doña Juana, the OM were 6.2 and 7.7 % respectively and the sand content was around 67%.

Regarding OM, the tendency can be associated to the specific surface in allophane, which corresponds to 257-374 m² g (Huang et al. 2016), combined to positive charges of OM, which can generate organic-mineral complex, against biodegradation (Mabagala & Mng'ong'o, 2022). As an outcome, OM prevents or inhibits crystallization of Al and Fe, which form stable complexes with them, and maintain ores with less ordinated range (non-crystalline and amorphous minerals), which in turn, generate a greater specific surface area to fixing P (Campos et al. 2016; Pizzeghello et al. 2014; Peña-Ramírez et al. 2009). Chemical forms of Fe and Al (OM-Fe³⁺, OM-Fe(OH)²⁺, OM-Al³⁺, OM-Al(OH)²⁺) associated with OM, also control, to a large extent, the high PF. Under these considerations, an increase of PF occurred where the exchange acidity and the Al content were highest (Table 2). In Portugal Jalali & Jalali (2016), reported PF from 99 to 4406 mg kg⁻¹ and found a strong relationship among those chemical properties and SOM levels.

Similar requirements of P_{0.2} in Doscientos soil are associated to its high OM content (>14%). This behavior can be explained considering that the Doscientos soil appears in the intermediate strip into hill, where Andisols and Doscientos are connected to each other. Under these conditions, some volcanic ashes deposits, and particles such as amorphous clay minerals are commonly found in the soil

profile of the Doscientos soil (González, 2013). However, this condition is not sufficient to classify Doscientos into the Andisol order.

To Llano Palmas and Roperio soils, where OM was the lowest (5.7 y 6.3%, respectively), a major PF was expected due to its highest clays contents (among 39 and 45%), which generating a considerable specific area. Although Shafqad & Pierzynski (2014) reported under high clay content soils that PF can occur but with low magnitude. Additionally, the Al³⁺ actively participated in the PF (Chen & Liao, 2016), under this consideration a significant content of this metallic ion explains PF in both soils. In the San Simon soil, the association that has been discussed did not occur. Nevertheless, since this soil was derived from a granodiorite rock, whose sands are coarse (bigger than 0.5 mm), it showed low specific area surface, San Simon had the lowest P-requirements to achieve P_{0.2} level among the soils studied. Similar results achieved by Spohn et al. (2020) in Chilean soils derived from granodiorite, demonstrated that highest sand content derived a lower surface area of mineral particles, thus a low capability of P sorption. Arai & Livi (2013) demonstrated that the sand fraction in soils exhibits chemical reactivity to P sorption only under specific chemical configuration based on alumina- silicates and iron.

Taking in consideration the results of P isotherms in Colombian coffee soils, P amounts of coffee fertilizations can be modified to the extent of precisions according to the objective, for instance, a recommendation to a specific coffee cultivar, crop stage or biotechnological strategy. In relation to the technological option, P_{0.2} is accepted as an optimal indicator. Jaramillo & Osorio (2009), Habte & Bittenbender (1999) and González-Osorio et al. (2022) established recommendations based on P_{0.2} or around, to promote growing coffee seedlings throughout

mycorrhizal association. Yost et al. (1981), who worked with P-Sorption isotherms, suggested indicators to predict that the efficient use in P fertilizations could be possible and correlated these results with any methodology to estimate P disposable by roots. In Brazilian soils, Roy et al. (2017) obtained a significant correlation between PF and the nutrient extracted by P in the Bray II methodology, which indicated that knowing PF values constitutes a great alternative to predicting and calculating P requirements by crops.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación y Metodología: **HGO**; Análisis formal: **HGO-RDMR-WO**; Redacción: **HGO-CEGB** original: **HGO-CEGB**; Redacción–revisión y edición: **HGO-CEGB-WO**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

REFERENCES

- Alewel, C., Ringeval, B., Ballabio, C., Robinson, D. A., Panagos, P., & Borrelli, P. (2020). Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. *Nature Communications*, 11(1), 4546. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18326-7>
- Alovisi, A. M. T., Cassol, C. J., Nascimento, J. S., Soares, N. B., Da Silva Junior, I. R., Da Silva, R. S., & Da Silva, J. A. M. (2020). Soil factors affecting phosphorus adsorption in soils of the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, 22, e00298. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00298>
- Arai, Y., & Livi, K. J. (2013). Underassessed phosphorus fixation mechanisms in soil sand fraction. *Geoderma*, 192, 422–429. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.021>
- Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P. M., & Castro, H. E. (2007). Producción de almácigos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y de fósforo. *Avances Técnicos Cenicafe*, 356, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0356>
- Bhattacharyya, P., Nayak, A. K., Shahid, M., Tripathi, R., Mohanty, S., Kumar, A., Raja, R., Panda, B. B., Lal, B., Gautam, P., Swain, C. K., Roy, K. S., & Dash, P. K. (2015). Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice. *The Crop Journal*, 3(5), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.009>
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299–317. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>
- Braun, S., Warrinnier, R., Börjesson, G., Ulén, B., Smolders, E., & Gustafsson, J. P. (2019). Assessing the ability of soil tests to estimate labile phosphorus in agricultural soils: Evidence from isotopic exchange. *Geoderma*, 337, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.048>
- Campos, M., Antonangelo, J. A., & Alleoni, L. R. F. (2016). Phosphorus sorption index in humid tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 156, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.020>
- Cao, X., Liu, X., Zhu, J., Wang, L., Liu, S., & Yang, G. (2017). Characterization of phosphorus sorption on the sediments of Yangtze River Estuary and its adjacent areas. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.026>
- Chanda, R., Jahid, T., Karmokar, A., Hossain, B., Moktadir, Md., Islam, Md. S., Aich, N., & Biswas, B. K. (2025). Functionalized biochar from vegetable waste for phosphorus removal from aqueous solution and its potential use as a slow-release fertilizer. *Cleaner Materials*, 15, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100287>
- Chen, Z. C., & Liao, H. (2016). Organic acid anions: An effective defensive weapon for plants against aluminum toxicity and phosphorus deficiency in acidic soils. *Journal of Genetics and Genomics*, 43(11), 631–638. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2016.11.003>
- Díaz-Poveda, V., & Sadeghian, S. (2018). Adsorción de fósforo en suelos de la zona cafetera de

- Colombia. *Revista Cenicafé*, 69(2), 7-16. <https://doi.org/10.38141/10778/69201>
- Díaz-Poveda, V., & Sadeghian, S. (2023). Phosphorus fixation and its relationship with soils chemical properties of the coffee zone of Huila, Colombia. *Coffee Science*, 18, e182122. <https://doi.org/10.25186/v18i.2122>
- Díaz, C., Sadeghian, S., & Morales, C. S. (2008). Cambios químicos ocasionados por encalamiento y uso de lombrinaza en la etapa de almácigo del café. *Revista Cenicafé*, 59(4), 295–309. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/214>
- Dijkstra, F. A., He, M., Johansen, M. P., Harrison, J. J., & Keitel, C. (2015). Plant and microbial uptake of nitrogen and phosphorus affected by drought using 15N and 32P tracers. *Soil Biology and Biochemistry*, 82, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.12.021>
- Dunne, K. S., Holden, N. M., & Daly, K. (2021). Predicting phosphorus sorption isotherm parameters in soil using data of routine laboratory tests. *Pedosphere*, 31(5), 694–704. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60012-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60012-7)
- Fink, J. R., Inda, A. V., Bavaresco, J., Barrón, V., Torrent, J., & Bayer, C. (2016). Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. *Soil and Tillage Research*, 155, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.017>
- Fox, R. L., & Kamprath, E. J. (1970). Phosphate Sorption Isotherms for Evaluating the Phosphate Requirements of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 34(6), 902–907. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400060025x>
- Frank, E., Hall, M. A., & Witten, I. H. (2016). *The WEKA Workbench* (4th ed.). Morgan Kaufmann.
- González-Osorio, H., Sadeghian, S., & Mira, B. E. (2025). Contribution of mycorrhiza and phosphate-solubilizing fungi in coffee seedling growth in four soils with different fertility conditions. *Bragantia*, 84, e20240171. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20240171>
- González-Osorio, H., Sadeghian, S., Medina, R., & Furia, L. (2023). Response of Granulated Polyhalite on Yield and Quality of Coffee (*Coffea arabica*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(11), 1525–1536. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2171051>
- González-Osorio, H., Góngora Botero, C. E., Jaramillo, S. P., & Osorio, W. (2022). Plant growth and phosphorus uptake of coffee seedlings through mycorrhizal inoculation. *Agronomía Colombiana*, 40(1), 77–84. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.98599>
- González-Osorio, H. (2013). Identificación de las principales Unidades de suelos de la zona cafetera. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 269-283). Cenicafé.
- González-Osorio, H., & Sadeghian, S. (2012). Lixiviación de nitrógeno en suelos de la zona cafetera a partir de diferentes fuentes fertilizantes. *Revista Cenicafé*, 63(1), 111–119. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/516>
- González-Osorio, H., Zapata, R. D., & Sadeghian, S. (2009). Caracterización de los ácidos húmicos en suelos de la zona cafetera de Caldas. *Revista Cenicafé*, 60(1), 25–40. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/156>
- Gupta, A. K., Maheshwari, A., & Khanam, R. (2020). Assessment of phosphorus fixing capacity in different soil orders of India. *Journal of Plant Nutrition*, 43(15), 2395–2401. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771585>
- Habte, M., & Bittenbender, H. C. (1999). Reactions of coffee to soil solution P concentration and arbuscular mycorrhizal colonization. *Journal of South Pacific Agriculture*, 6(1), 29–34.
- Helin, J., & Weikard, H. P. (2019). A model for estimating phosphorus requirements of world food production. *Agricultural Systems*, 176, 102666. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102666>
- Hue, N. V., & Fox, R. L. (2010). Predicting Plant Phosphorus Requirements for Hawaii Soils using a Combination of Phosphorus Sorption Isotherms and Chemical Extraction Methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(2), 133–143. <https://doi.org/10.1080/00103620903426949>
- Huang, Y.-T., Lowe, D. J., Churchman, G. J., Schipper, L. A., Cursons, R., Zhang, H., Chen, T.-Y., & Cooper, A. (2016). DNA adsorption by nanocrystalline allophane spherules and nanoaggregates, and implications for carbon sequestration in Andisols. *Applied Clay Science*, 120, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.11.009>
- Jalali, M., & Jalali, M. (2016). Relation between various soil phosphorus extraction methods and sorption parameters in calcareous soils with different texture. *Science of The Total Environment*, 566–567, 1080–1093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.133>
- Jaramillo, S., & Osorio, N. W. (2009). Factores que determinan la dependencia micorrizal de las plantas. *Suelos Ecuatoriales*, 35(2), 34–40.

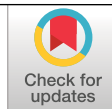
- Jeppu, G. P., & Clement, T. P. (2012). A modified Langmuir-Freundlich isotherm model for simulating pH-dependent adsorption effects. *Journal of Contaminant Hydrology*, 129–130, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2011.12.001>
- Juo, A. S. R., & Fox, R. L. (1977). Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of west africa. *Soil Science*, 124(6), 370–376. https://journals.lww.com/soilsci/abstract/1977/12000/phosphate_sorption_characteristics_of_some.10.aspx
- Kome, G. K., Enang, R. K., Yerima, B. P. K., & Lontsi, M. G. R. (2018). Models relating soil pH measurements in H₂O, KCl and CaCl₂ for volcanic ash soils of Cameroon. *Geoderma Regional*, 14, e00185. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00185>
- Li, Z., Sorour, M. K., Qi, Z., El Sayed, E., & Prasher, S. O. (2026). Corn residue alters phosphorus sorption and retention dynamics in a leaching-prone soil. *Soil and Tillage Research*, 256, 106854. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106854>
- Mabagala, F. S., & Mng'ong'o, M. E. (2022). On the tropical soils; The influence of organic matter (OM) on phosphate bioavailability. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3635–3641. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.056>
- Minten, B., Dereje, M., Engida, E., & Kuma, T. (2019). Coffee value chains on the move: Evidence in Ethiopia. *Food Policy*, 83, 370–383. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.07.012>
- Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Osorio, W. (2014). *Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico*. Editorial L. Vieco.
- Osorio, N. W., & Habte, M. (2015). Effect of a phosphate-solubilizing fungus and an arbuscular mycorrhizal fungus on leucaena seedlings in tropical soils with contrasting phosphate sorption capacity. *Plant and Soil*, 389(1–2), 375–385. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2357-5>
- Peña-Ramírez, V.M., Vázquez-Selem, L., & Siebe, C. (2009). Soil organic carbon stocks and forest productivity in volcanic ash soils of different age (1835–30,500 years B.P.) in Mexico. *Geoderma*, 149(3–4), 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.038>
- Pizzeghello, D., Berti, A., Nardi, S., & Morari, F. (2014). Phosphorus-related properties in the profiles of three Italian soils after long-term mineral and manure applications. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.047>
- Roy, E. D., Willig, E., Richards, P. D., Martinelli, L. A., Vazquez, F. F., Pegorini, L., Spera, S. A., & Porder, S. (2017). Soil phosphorus sorption capacity after three decades of intensive fertilization in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 249, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.004>
- Shafqat, M. N., & Pierzynski, G. M. (2014). The Freundlich adsorption isotherm constants and prediction of phosphorus bioavailability as affected by different phosphorus sources in two Kansas soils. *Chemosphere*, 99, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.009>
- Sadeghian, S., & González-Osorio, H. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de levante. *Avances Técnicos Cenicafe*, 423, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0423>
- Sarker, P., Liu, X., Rahaman, M. S., & Maruo, M. (2025). Eggshell waste as a promising adsorbent for phosphorus recovery from wastewater: A review. *Water Biology and Security*, 4(1), 100319. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100319>
- Shoji, S., & Takahashi, T. (2002). Environmental and agricultural significance of volcanic ash soils. *Global Environmental Research*, 6(2), 113–135.
- Spohn, M., ZeiB, I., Brucker, E., Widdig, M., Lacher, U., & Aburto, F. (2020). Phosphorus solubilization in the rhizosphere in two saprolites with contrasting phosphorus fractions. *Geoderma*, 366, 114245. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114245>
- Soratto, R. P., Sandaña, P., Fernandes, A. M., Martins, J. D. L., & Job, A. L. G. (2020). Testing critical phosphorus dilution curves for potato cropped in tropical Oxisols of southeastern Brazil. *European Journal of Agronomy*, 115, 126020. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126020>
- Sparks, D. L. (1995). *Environmental soil chemistry*. Academic Press.
- United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. (2014). *Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (20th ed.). USDA.

- Wang, N., Jassogne, L., Van Asten, P. J. A., Mukasa, D., Wanyama, I., Kagezi, G., & Giller, K. E. (2015). Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. *European Journal of Agronomy*, 63, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.003>
- Williams, G. (2022, January 26). Phosphate Outlook 2022: Geopolitics to be a Key Market Mover. *Investing News Network*. <https://investingnews.com/phosphate-outlook-2022/>
- Xu, G., Song, J., Zhang, Y., Lv, Y., & Han, G. (2020). Enhancement of phosphorus storage capacity of sediments by coastal wetland restoration, Yellow River Delta, China. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110666. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110666>
- Yan, X., Wei, Z., Hong, Q., Lu, Z., & Wu, J. (2017). Phosphorus fractions and sorption characteristics in a subtropical paddy soil as influenced by fertilizer sources. *Geoderma*, 295, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.012>
- Yost, R. S., Kamprath, E. J., Naderman, G. C., & Lobato, E. (1981). Residual Effects of Phosphorus Applications on a High Phosphorus Adsorbing Oxisol of Central Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 45(3), 540–543. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030021x>
- Zhang, Z., Wang, X., Liang, L., Huang, E., & Tao, X. (2020). Phosphorus fertilization alters complexity of paddy soil dissolved organic matter. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(9), 2301–2312. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63215-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63215-4)
- Zhu, J., Li, M., & Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of The Total Environment*, 612, 522–537. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>

CALIDAD DEL CAFÉ DEL CESAR Y EFICIENCIA DE LAS RECOMENDACIONES TÉCNICAS DERIVADAS DEL DIAGNÓSTICO

Luz Fanny Echeverri Giraldo *, Luis Carlos Imbachí Quinchúa *, Jenny Paola Pabón Usaquén **,
Valentina Osorio Pérez ***

Echeverri, L. F., Imbachí, L. C., Pabón, J., & Osorio, V. (2025) Calidad del café del Cesar y eficiencia de las recomendaciones técnicas derivadas del diagnóstico. *Revista Cenicafé*, 76(2), e76202. <https://doi.org/10.38141/10778/76202>



Con el fin de fortalecer la competitividad y la producción de cafés especiales en el departamento del Cesar, esta investigación tuvo como objetivo diagnosticar la calidad del café y evaluar la eficiencia de las recomendaciones técnicas implementadas. Se evaluaron 3.058 muestras de 1.529 fincas distribuidas en 12 municipios cafeteros del departamento durante dos cosechas consecutivas (2021-2023). Inicialmente se diagnosticó la calidad física y sensorial del grano producido y a partir de los resultados, se generaron recomendaciones técnicas. En la segunda cosecha, se evaluaron los resultados de dichas recomendaciones, lo que demostró una mejora significativa en la calidad sensorial, aumentando las muestras sin defectos del 79,7% al 85,4%, un incremento del 5,7%. Para analizar la adopción y eficacia de las recomendaciones técnicas, se aplicó un Análisis Envolvente de Datos (DEA), usando el modelo CCR orientado a insumos, considerando calidad física y sensorial. Este análisis identificó a los productores más eficientes y estimó el margen de mejora. Los municipios de La Jagua de Ibirico (21%), Valledupar (17%), Pueblo Bello (16%) y Manaure (12%) mostraron las mayores ganancias en eficiencia. Estos resultados demuestran que el diagnóstico de la calidad y la aplicación de las recomendaciones técnicas son intervenciones efectivas para mejorar la calidad del café producido, resaltando la importancia de la adopción de estas prácticas por los caficultores.

Palabras clave. Calidad del café, Análisis Envolvente de Datos (DEA), Eficiencia técnica, Café del Cesar, Poscosecha, café, Cenicafé, Colombia.

COFFEE QUALITY IN CESAR: TECHNICAL RECOMMENDATION EFFICACY ASSESSMENT

To enhance the competitiveness and production of specialty coffees in the Cesar department, this research aimed to assess coffee quality and evaluate the effectiveness of the implemented technical recommendations. A total of 3,058 samples from 1,529 farms, spread across 12 coffee-producing municipalities throughout the department, were evaluated during two consecutive harvesting seasons (2021-2023). Initially, the physical and sensory quality of the produced bean was diagnosed, and based on the results, technical recommendations were generated. In the second harvest, the results of those recommendations were evaluated, showing a significant improvement in sensory quality, increasing the percentage of defect-free samples from 79.7% to 85.4%, an increment of 5.7%. To analyze the adoption and effectiveness of the technical recommendations, a Data Envelopment Analysis (DEA) was applied, using an input-oriented CCR model, considering good practices and sensory quality. This analysis identified the most efficient producers and estimated the margin for improvement. The municipalities of La Jagua de Ibirico (21%), Valledupar (17%), Pueblo Bello (16%), and Manaure (12%) recorded the most significant gains in efficiency. In conclusion, these results demonstrate that quality diagnosis and the application of technical recommendations are effective interventions for improving the quality of the coffee produced, highlighting the importance of coffee growers adopting these practices.

Keywords. Coffee quality, Data Envelopment Analysis (DEA), Technical efficiency, Cesar coffee, Post-harvest

* Asistente de Investigación, Disciplina de Calidad y Disciplina de Biometría, respectivamente, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9866-6147> y <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>

** Investigador Científico I. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>

*** Investigador Científico II. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>



Colombia es reconocida a nivel mundial como el principal productor de café suave lavado; una característica que se debe en gran parte a su procesamiento por vía húmeda. Este proceso inicia con la recolección selectiva de frutos maduros, práctica indispensable para asegurar la calidad final de la bebida (Osorio et al., 2022). Posteriormente se realiza el despulpado, la primera etapa de transformación del fruto, donde se retira la cáscara y se procede a la eliminación del mucílago, cuya degradación es facilitada por levaduras y bacterias presentes en el ambiente, proceso conocido como fermentación espontánea y necesario para el desarrollo de los atributos sensoriales del café procesado por esta vía (Peñuela-Martínez et al., 2010, 2023). Una vez finalizada la fermentación, el café es lavado para retirar los restos de mucílago y finalizar con la etapa de secado, donde se reduce el contenido de humedad desde 55% hasta valores entre el 10% y el 12%, asegurando su estabilidad y conservación durante el almacenamiento (Peñuela Martínez & Sanz-Urbe, 2021).

Las condiciones agroclimáticas particulares de cada departamento, en conjunto con las prácticas de poscosecha implementadas por los caficultores en sus fincas, inciden directamente en la calidad final del grano de café (Barbosa et al., 2012, 2019; Osorio et al., 2021; Puerta, 2016). Calidad que es expresada en la bebida como atributos sensoriales: fragancia/aroma, el sabor, sabor residual, la acidez, el dulzor y el cuerpo, los cuales pueden evaluarse cuantitativamente, mediante escalas de calidad e intensidad, y cualitativamente, a través de descriptores sensoriales que permiten caracterizar el perfil del café; sin embargo, la aceptación o rechazo del producto por parte de los consumidores responde principalmente a la percepción general, asociada a la ausencia de defectos y a la presencia de características sensoriales positivas.

Las principales características físicas del café incluyen la cantidad de almendra sana, el contenido de humedad y el tamaño del grano. Esta última es una característica física de importancia en la evaluación de su calidad, dado que influye en su valor comercial, la uniformidad del tueste y, en consecuencia, en las características sensoriales de la bebida (Cheserek et al., 2020). Además, el tamaño del grano está relacionado con factores genéticos, particularmente con la variedad de café cultivado (Bertrand et al., 2006). Adicionalmente, estudios han demostrado que variables como la altitud, el microclima y las prácticas agronómicas y de poscosecha pueden afectar significativamente la distribución granulométrica (DaMatta et al., 2007).

El departamento del Cesar es uno de los 23 departamentos productores de café en Colombia. Según datos del Sistema de Información Cafetera (SICA, 2024), el departamento cuenta con un área cultivada de 24.703 hectáreas y una densidad promedio de 5.276 plantas/ha. Los cultivos se distribuyen en los 19 municipios cafeteros del departamento en 9.455 fincas con un área promedio de 2,7 ha. La producción del departamento se concentra principalmente en cuatro municipios, que representan el 80% del total del departamento: Valledupar y Pueblo Bello, ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta; y Agustín Codazzi y La Paz, ubicados en la Serranía del Perijá, de la cordillera Oriental. El departamento del Cesar ha emergido como una región cafetera destacada, y su calidad ha sido validada en concursos como "Colombia Tierra de Diversidad". Durante la décima edición de este certamen, dos caficultores del municipio de Agustín Codazzi, clasificaron a la ronda internacional (FNC, 2025).

El comportamiento climático en esta región determina un patrón de cosecha concentrado en el segundo semestre del año, donde

aproximadamente el 90% de la producción se recolecta entre octubre y diciembre, mientras que el 10% restante, entre enero y febrero (Giraldo-Jaramillo et al., 2021). Las condiciones climáticas del departamento hacen necesario el uso de sistemas de producción bajo sombra (75,4%), salvo en altitudes superiores a 1.600 m (24,6%), donde es viable el cultivo a plena exposición solar (SICA, 2024).

La aplicación de buenas prácticas durante toda la cadena de valor del café es un factor determinante en el aseguramiento de su calidad, lo que a su vez se traduce en mejores ingresos para los caficultores (Osorio et al., 2021; Pabón & Osorio, 2019; Peñuela Martínez & Sanz-Urbe, 2021; Puerta, 2016). En este contexto, la calidad del café es determinada por un conjunto de características físicas y sensoriales asociadas no sólo a las buenas prácticas, sino también a factores asociados al cultivo y a los procesos de beneficio, los cuales pueden incidir en que un comprador pague un precio superior por el producto (SCA, 2024).

Con el objetivo de caracterizar y fortalecer la calidad del café de producido en el departamento del Cesar, este estudio evaluó la calidad física y sensorial del café procesado por vía húmeda y la efectividad de las recomendaciones técnicas implementadas por los caficultores. Adicionalmente, el estudio identificó a los productores más eficientes en la aplicación de buenas prácticas de poscosecha y estimó el margen de mejora en la producción de cafés de especialidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los caficultores se seleccionaron de manera aleatoria, siguiendo los criterios definidos en el protocolo metodológico realizado durante la implementación del proyecto, priorizando a quienes tenían sus fincas en los 12 municipios

participantes del departamento, estaban registrados en el Sistema de Información Cafetera (SICA) y formaban parte de alguna asociación. Adicionalmente, se verificó que sus fincas no estuvieran en zonas protegidas. En total se seleccionaron 1.529 caficultores, distribuidos proporcionalmente en cada uno de los municipios (Tabla 1). Las muestras fueron evaluadas en dos cosechas consecutivas (2021-2023), para un total de 3.058 muestras.

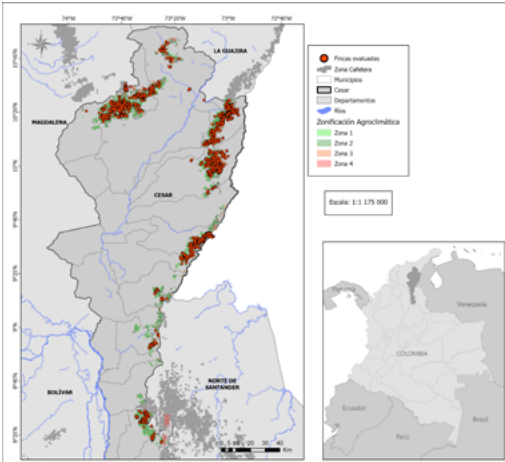
Diagnóstico inicial y procesamiento de muestras. Las muestras de la primera cosecha fueron procesadas por los caficultores de forma tradicional en sus fincas, mediante beneficio vía húmeda, posteriormente fueron entregadas al Laboratorio de Calidad del Comité de Cesar-Guajira, donde se analizó la calidad física y sensorial. Cada muestra se etiquetó con un código único para asegurar su trazabilidad. Las contra muestras se enviaron a Cenicafé para su custodia, en bolsas plásticas con cierre hermético, y se almacenaron en un cuarto frío a una temperatura promedio de 11,3°C y una humedad relativa del 72%.

Intervención y generación de recomendaciones. A partir de los resultados obtenidos en la Cosecha 1, se generaron recomendaciones técnicas a los caficultores a través de la entrega y socialización de reportes de su calidad física y sensorial, complementada con capacitaciones especializadas en calidad del café y adopción de buenas prácticas de cosecha y poscosecha (7P®).

Evaluación de la implementación (Cosecha 2). La aplicación de estas recomendaciones técnicas se evaluó en la Cosecha 2. El propósito fue determinar el impacto de la intervención y verificar si los productores lograron reducir los defectos en la calidad de sus muestras, optimizando sus prácticas de beneficio.

Tabla 1. Ubicación de las fincas en el departamento del Cesar.

Municipio	Número de fincas por municipio
Aguachica	77
Agustín Codazzi	370
Chiriguana	2
Curumani	18
El Copey	40
La Jagua de Ibirico	222
La Paz	259
Manauere Balcón del Cesar	52
Pailitas	25
Pueblo Bello	340
Río de Oro	15
Valledupar	109
Total	1.529



Caracterización de las fincas. La información sobre la identificación de la finca, el sistema de producción y las prácticas de beneficio se recopiló durante visitas técnicas en las fincas, realizadas por los promotores de campo, con el apoyo del Servicio de Extensión y con base en un formato modificado de identificación de muestras para registro de la trazabilidad del café en la finca (Puerta, 2007).

Análisis de la calidad física. Las variables de la calidad física del café que se midieron incluyeron la humedad del café pergamino seco, la merma (cantidad de cascarilla o pergamino resultante de la trilla), el porcentaje de almendra sana, la proporción de granos negros y vinagres, brocados, mordidos y/o cortados, decolorados y el contenido total de pasilla (representado por la sumatoria de todos los defectos físicos encontrados en el análisis físico de la almendra).

Los análisis físicos de las muestras de café se llevaron a cabo siguiendo las normativas de la Federación Nacional de Cafeteros y del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). El porcentaje

de humedad se determinó conforme a la norma NTC 2325 (2005) para café verde y pergamino y los defectos físicos en el café en almendra se identificaron y cuantificaron según lo establecido en la norma NTC 2324 (2021).

La distribución granulométrica del café se determinó mediante tamizado, de acuerdo con la norma NTC 5248 (2013) y se clasificó según su tamaño como: Premium (retenido en la malla #18), Supremo (retenido en la malla #17), Extra Especial (retenido en la malla #16), Europa (retenido en la malla #15) y "Usual Good Quality" (UGQ) (Calidad Usualmente Buena), retenido en la malla #14, (FNC, s.f.).

Análisis de la calidad sensorial. El análisis sensorial de las muestras de café, realizado sobre almendra sana, se llevó a cabo en los laboratorios de Calidad del Comité de Cesar-Guajira, por un panel de catadores Q-Grader. La evaluación siguió el protocolo de la Asociación de Cafés Especiales (SCA, 2018) que asigna un puntaje total basado en atributos como fragancia/aroma, sabor, acidez, cuerpo, balance, dulce, uniformidad y limpieza en taza. A partir

de la sumatoria de los atributos sensoriales y con base en el puntaje total, se establecieron las siguientes categorías de calidad para las muestras sin defectos: "No especial" (<80,00 puntos), "Buena" (80,00–82,99 puntos), "Muy buena" (83,00–84,99 puntos), "Excelente" (85,00–89,99 puntos) y "Excepcional" (90,00–100 puntos).

Rangos altitudinales de las fincas. En esta investigación, las fincas se clasificaron en cuatro grupos altitudinales mediante un análisis de conglomerados jerárquico. Para este análisis se empleó la distancia de Manhattan como medida de disimilitud y el método de Ward como criterio de vinculación.

Análisis de información. Para cada variable de interés de la calidad física y sensorial, se realizó una caracterización estadística descriptiva estratificada por municipio y cosecha, considerando medidas de tendencia central y dispersión, tales como media, desviación estándar, valor mínimo y máximo. A continuación, se implementó un Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre las variables relacionadas con defectos físicos del grano, con el propósito de explorar estructuras subyacentes y posibles asociaciones con las variables físicas. Posteriormente y con base en los rangos altitudinales definidos por el análisis de conglomerados, se aplicó nuevamente un

ACP de forma independiente sobre las variables de calidad sensorial y física, para identificar patrones de asociación entre los estratos de altitud y las características sensoriales y físicas del café. Finalmente, se llevó a cabo un Análisis Envoltorio de Datos (DEA), empleando el modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) orientado a insumos (input-oriented), para estimar la eficiencia técnica de cada unidad productiva (caficultor), considerando como variables las buenas prácticas de poscosecha y la calidad sensorial obtenida. Este análisis permitió evaluar el desempeño relativo de los productores en función de la implementación de dichas prácticas, identificando las unidades más eficientes y cuantificando los posibles niveles de mejora con respecto a la frontera de desempeño óptimo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas. El estudio de 1.529 caficultores indica que la producción está representada por pequeños productores, quienes constituyen el 77,6% del total. Estos cultivan en fincas de menos de 5,0 ha y 783 de ellos lo hacen en áreas inferiores a 3,0 ha. En contraste, los caficultores medianos con áreas entre 5,0 y 10,0 ha, representan solo el 19,8%, mientras que los grandes productores, con más de 10 ha, constituyen el 2,6% restante (Figura 1).

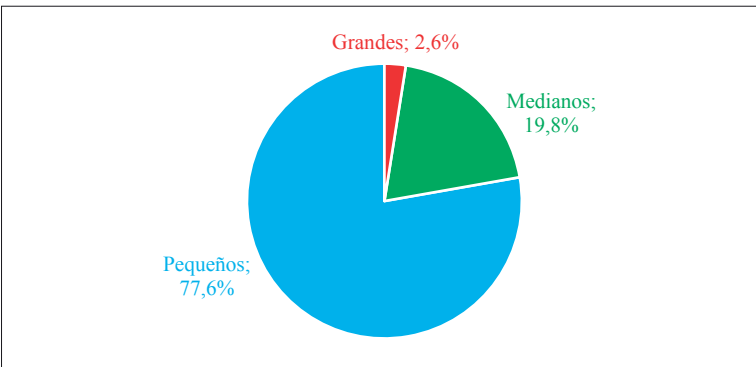


Figura 1. Distribución de la población de caficultores según área de cultivo.

En cuanto a las variedades de café sembradas, el 97,1% corresponde a variedades con resistencia a la roya, siendo Castillo® la más representativa, con una proporción del 74,7% en el total de fincas caracterizadas, le sigue la variedad Colombia, que representa el 16,5% de las siembras y el porcentaje restante corresponde a las variedades Tabi (3,9%) y Cenicafé 1 (2,0%).

Durante la caracterización, se encontró que el 55% de los caficultores utiliza fertilización química, mientras que el 23% no fertiliza sus cultivos, el 19% opta por fertilización orgánica y un 3,0% emplea una fertilización mixta.

Respecto al control de la broca, se encontró que la mayoría de los caficultores (70,8%) utiliza control cultural (Re-Re), un 25,4% no realiza ningún tipo de control, mientras que el 3,5% restante combina el control cultural con métodos biológicos.

Rangos altitudinales. A partir del análisis de conglomerados, se determinaron cuatro grupos altitudinales (Tabla 2), la mayor concentración de fincas se encontró en el Grupo 1 (altitudes entre 877 y 1.424 m), que representó el 53% del total de unidades productivas. Le siguió el Grupo 2 (altitudes entre 1.426 y 2.014 m), con

el 44% de las fincas. En conjunto, estos dos grupos abarcan el 97% del total de 1.529 fincas evaluadas. Los Grupos 3 y 4, correspondientes a los extremos altitudinales del territorio (2.034–2.629 y 637–857 m, respectivamente), representaron el 4,0% restante, indicando una distribución altitudinal menos frecuente en dichos rangos.

Prácticas en el proceso de beneficio

Determinación del punto de lavado. Con base en las 1.529 fincas caracterizadas, se identificaron diversos métodos para estimar el punto del lavado del café durante el proceso de beneficio por vía húmeda. El método predominante consiste en estimar el tiempo de fermentación entre 12 y 18 horas, práctica identificada en el 69,6% de los caficultores. En segundo lugar, se encuentra el método del tacto (19,6%), en el cual se toma una muestra del tanque de fermentación y si después del lavado se percibe una textura áspera y un sonido similar a "cascajo", se procede a lavar el café. Además, se identificó la aplicación de métodos sensoriales como el olor y color (4,8%) y prácticas menos frecuentes, como la prueba del orificio en la masa de café (2,4%) y, en casos excepcionales (0,6%), la omisión del punto de lavado.

Tabla 2. Distribución de fincas por grupo altitudinal según análisis de conglomerados jerárquico.

Rango de altitud	Grupo altitudinal	Fincas	Proporción según altitud
877 – 1.424 m	1	807	53%
1.426 – 2.014 m	2	667	44%
2.034 – 2.629 m	3	31	2%
637 -857 m	4	24	2%

En general, se observó que el 97,1% de los caficultores del departamento del Cesar recurren a métodos empíricos basados en la experiencia y tradición, y solo un 2,9% utiliza herramientas objetivas como el Fermaestro®.

Sistemas de secado. Las caracterizaciones realizadas en la finca indicaron que la mayor proporción de caficultores utilizan el secado solar (67%) con el fin de aprovechar la radiación y las condiciones del aire; mientras que un 4,5% utiliza secado mecánico, que consiste en hacer circular aire caliente a través de la masa de café mediante un sistema de ventilación (Peñuela Martínez & Sanz-Urbe, 2021). Sin embargo, un 6,7% de los caficultores combina ambos métodos. Se evidenció que hay un 21,7% de caficultores que no realizan proceso de secado y comercializan el café en estado húmedo (Figura 2).

Entre el 67% de los caficultores que utilizan el secado solar, el 32,0% no realiza el proceso en su finca, sino que seca el café en un lugar cercano o paga por el servicio. Mientras que el 35,1% restante emplea diversos métodos de secado solar, predominando las marquesinas (17,9%), seguidas por los patios de secado (9,6%), las paseras (3,5%) y los secadores tipo túnel (2,2%). Otros tipos de secado solar como la casa helda (1,4%), el secador parabólico (0,3%) y los carros secadores (0,1%), se usan en menor proporción.

Diagnóstico de la calidad física del café producido en el departamento

Los resultados del diagnóstico de la primera cosecha (Tabla 3) indican que la determinación del punto final del secado es uno de los aspectos a fortalecer entre los caficultores. Aunque la

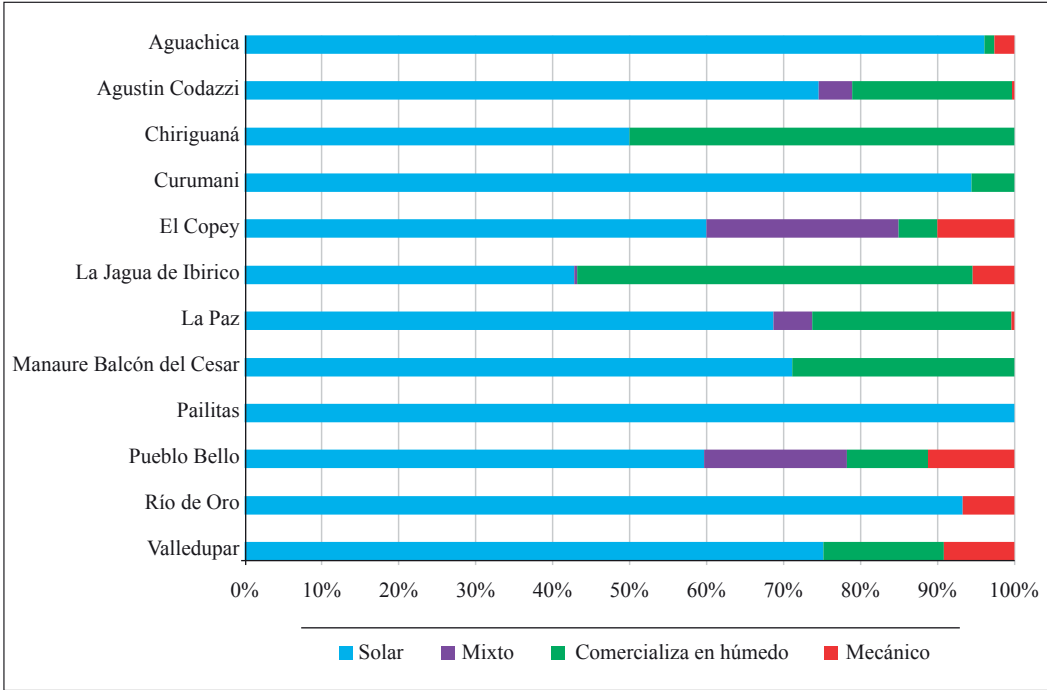


Figura 2. Métodos de secado empleados por los caficultores según el municipio en el departamento de Cesar.

humedad promedio del café pergamino seco (CPS) se encuentra en el rango recomendado para la conservación de la calidad (10% – 12 %), los valores mínimos y máximos muestran variabilidad significativa. De las 1.529 muestras evaluadas, 840 (55%) se encontraron fuera de este rango, de las cuales 491 estuvieron por debajo del 10% de humedad y 349 por encima del 12%, lo cual puede afectar significativamente la calidad del café producido.

En los defectos físicos evaluados del grupo I, se incluyeron los granos negros (llenos, parciales o secos) y granos vinagres (enteros o parciales), cuya presencia incide negativamente en la calidad sensorial, generando sabores y aromas indeseables en la bebida (Pabón & Osorio, 2019). Aunque la incidencia promedio de estos defectos fue baja (media de 0,63 %), se registraron valores máximos de 17,45%.

Una situación similar se presenta con los granos brocados, registrando un valor máximo de 23,55% de infestación. El daño por broca no solo genera pérdidas económicas en la

caficultura, sino que deteriora la calidad física del grano (apariencia y color) y altera la calidad de la bebida (Puerta, 2001). De forma similar, contenidos superiores al 25% de granos perforados por broca con daño superior al 30%, generan rechazo en taza con defectos, entre los más frecuentes, como el *stinker* (fragancia y sabor nauseabundo) (Montoya, 1999; Puerta, 2001).

Los promedios de defectos en granos mordidos, decolorados o pasillas, fueron relativamente bajos, registrando valores máximos de 43,09% en granos mordidos o cortados, 25,64% en decolorados y 18,96% en pasilla, lo que sugiere la necesidad de realizar nivelaciones técnicas orientadas a la adopción de buenas prácticas de cosecha y poscosecha.

El análisis de la almendra sana en las 1.529 muestras de café registró un promedio de 79,18%, lo cual indica que la calidad promedio del café es buena. Sin embargo, la desviación estándar de 3,81% y la amplia variación entre

Tabla 3. Diagnóstico de la calidad física del grano, primera cosecha de evaluación.

Variable calidad física	n	Media	D.E	Mínimo	Máximo
Humedad pergamino (%)	1.529	10,93	1,98	5,80	23,40
Merma (%)	1.529	16,62	1,49	11,48	26,45
Granos negros y vinagres (%)	1.529	0,63	1,08	0,00	17,45
Granos brocados (%)	1.529	1,38	2,06	0,00	23,55
Granos mordidos y/o cortados (%)	1.529	1,50	1,82	0,00	43,09
Granos decolorados (%)	1.529	0,82	1,73	0,00	25,64
Pasilla (%)	1.529	0,71	1,07	0,00	18,96
Almendra sana (%)	1.529	79,18	3,81	40,60	85,85

n: número de muestras analizadas; D.E: Desviación estándar.

un mínimo de 40,60% y un máximo de 85,85% revelan una gran inconsistencia en la calidad. Esto sugiere que, aunque la mayoría de las muestras evaluadas son de alta calidad, algunas presentan porcentajes significativamente bajos de almendras sanas.

Nivelaciones técnicas en calidad física. Para abordar las deficiencias identificadas en la evaluación de la calidad física del grano, fue importante implementar en los caficultores, un conjunto de nivelaciones técnicas que incluyeron aspectos como:

- Identificación y clasificación de granos defectuosos.
- Aplicación de buenas prácticas durante el proceso de beneficio basado en las recomendaciones de las 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022).
- Implementación de sistemas de trazabilidad que permitieran identificar puntos críticos durante el beneficio.
- El desarrollo de programas formativos enfocados en la comprensión integral de la calidad física del grano y las causas más comunes de sus defectos.

En la Figura 3 se presentan las recomendaciones generales con base en los resultados obtenidos durante el diagnóstico de la calidad física del grano, cada diagnóstico fue entregado al caficultor y explicado mediante jornadas técnicas desarrolladas en los distintos municipios del departamento del Cesar, con el apoyo de los promotores de campo, el equipo de calidades del Comité de Cafeteros del departamento y la Disciplina de Calidad de Cenicafé.

Diagnóstico de la calidad sensorial del café producido durante la primera cosecha

Del total de 1.529 muestras recibidas durante la primera cosecha, el 23% no fue evaluado sensorialmente por incumplir el rango de humedad (9%-13%) exigido por el Panel de Catación. Aunque este criterio no permitió el análisis sensorial para este grupo de muestras (23%), el dato de la humedad es un indicador clave del diagnóstico de calidad, ya que permite generar recomendaciones técnicas directas a los caficultores, enfocando las mejoras en procesos de poscosecha como el secado.

De las 1.173 muestras evaluadas sensorialmente, el 79,7% no presentó defecto sensorial mientras que el 20,3% fueron categorizadas con algún tipo de defecto (Tabla 4). Dentro del conjunto de muestras con defectos, la mayor proporción corresponde al grupo de terrosos (9,8%). Este grupo de defectos suele originarse por prácticas inadecuadas durante la poscosecha, como interrupciones en el secado, almacenamiento del grano con humedad superior al 12,5 %, o el contacto del café húmedo con suelos, paredes o materiales contaminantes. Estas condiciones favorecen el desarrollo de microorganismos que alteran el perfil sensorial del grano (Pabón & Osorio, 2022; Puerta, 2015).

A partir de este diagnóstico, las recomendaciones se centraron en prácticas para la determinación del punto óptimo de secado recomendado entre el 10% y el 12%, (Oliveros et al., 2009), así como el manejo correcto del Gravimet y la aplicación de buenas prácticas durante el almacenamiento del CPS.

El 5,1% de las muestras presentaron defectos del grupo de los sobrefermentados en la primera cosecha, los cuales se asocian

Variable	Concepto	Valor crítico	No. de muestras	Recomendación Técnica
 Almendra sana	Cantidad de granos sanos, sin ningún defecto físico, presentes en una cantidad determinada de café. Valor óptimo $\geq 75\%$	$< 75\%$	162 (10,6%)	Cuando el contenido de almendra sana es inferior al 75%, se deben realizar controles en la clasificación (flotes, despulpado).
 Granos brocados	Granos afectados por la broca (<i>Hypothenemus hampei</i>), un escarabajo que perfora la cereza y daña el grano Valor óptimo $\leq 1,5\%$	$> 1,5\%$	433 (28,3%)	Revise permanentemente los niveles de infestación de broca. Mantener el cafetal libre de frutos sobremaduros o secos en árboles y suelo.
 Granos negros y vinagres	Granos negros: presentan una tonalidad oscura y opaca. Granos vinagres: presentan una tonalidad amarilla. Valor óptimo $\leq 1,0\%$	$> 1,0\%$	284 (18,6%)	Controlar la fermentación, evitar la recolección de cerezas inmaduras o enfermas, y asegurar un secado y almacenamiento adecuados.
 Granos mordidos y cortados	Daño físico al grano causado por presencia de frutos verdes o inmaduros o despulpadoras mal calibradas. Valor óptimo $\leq 1,0\%$	$> 1,0\%$	822 (53,8%)	Evitar procesar el café con despulpadoras mal ajustadas o camisas defectuosas y evitar recolectar frutos verdes o pintones.
 Humedad en el grano	Se refiere al porcentaje de agua presente en el producto final. Valor óptimo 10% - 12%	$< 10\%$ $> 12\%$	491 (32,1%) 349 (22,8%)	Evitar el sobresecado (humedad $< 10\%$) ya que compromete su integridad física, reduce la retención de compuestos volátiles y dificulta el tueste uniforme. Evitar que la humedad del café supere el 12% ya que favorece el desarrollo de microorganismos, acelera procesos de deterioro y genera riesgos de hongos y micotoxinas, afectando la inocuidad y la calidad.

Figura 3. Recomendaciones técnicas según resultados del diagnóstico de la calidad física.

Tabla 4. Clasificación de defectos por grupos.

Sobrefermentados	Ásperos	Terrosos	Contaminados
Pulpa	Inmaduros	Moho	Fenol
Vinagre	Acre	Terroso	Humo
Fermento	Sucio	Reposo	Contaminado
Stinker	Áspero		Químico

con aromas y sabores desagradables, como cebolla, nauseabundo o hediondo, resultado de fermentaciones prolongadas o mal controladas, mezclas de lotes con diferentes tiempos de fermentación, uso de aguas sucias y deficiente remoción del mucilago (Pabón & Osorio, 2019; Puerta, 2015). Para su prevención, se recomienda realizar recolección selectiva, evitar mezclas de cafés despulpados de diferentes días, usar agua limpia, controlar el tiempo de fermentación del mucilago y utilizar herramientas como el Fermaestro® para establecer el punto óptimo de lavado del café (Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al., 2022).

Las muestras con defectos pertenecientes al grupo de contaminados representaron el 3,5%, incluyendo sabores como fenol, químico, contaminado y humo. Este grupo se origina por la exposición del café a agentes externos (fertilizantes, humo o aguas contaminadas) durante cualquier etapa de la producción. Sin embargo, los defectos fenol y químico están también ligados a las deficiencias de secado y almacenamiento (Puerta, 2015). La prevención requiere evitar el contacto del grano con estas sustancias y asegurar ambientes limpios en todas las etapas del proceso.

Finalmente, las muestras con presencia de defectos del grupo de los ásperos, representaron el 1,9%. Estos defectos afectan

la calidad sensorial al generar astringencia y una sensación secante en boca, los cuales se asocian a la presencia de pasillas y frutos inmaduros. Para prevenirlo, se recomienda realizar clasificaciones antes y después del despulpado, limpiar diariamente el beneficiadero y asegurar una cosecha con frutos en estados 5 y 6 de maduración (Guerrero et al., 2022; Osorio et al., 2022; Peñuela-Martínez, Guerrero et al., 2022).

Comparativo de la calidad física y sensorial para las dos cosechas

Calidad física. Durante la segunda cosecha (2022 – 2023) y después de las nivelaciones técnicas se realizó la evaluación física de las muestras de CPS. En la Tabla 5 se presenta el comparativo entre las dos cosechas de evaluación para las muestras procedentes de las 1.529 fincas de caficultores.

En la cosecha 1, si bien la humedad promedio fue óptima (10,9%), la variabilidad ($\pm 2,0$ D.E.) y el rango amplio de los promedios máximos (5,8% a 23,4%) sugieren falta de uniformidad en el secado. De manera similar, aunque los promedios de defectos como los granos brocados y mordidos fueron bajos, los promedios máximos extremos (23,5% y 43,1%, respectivamente) indican deficiencias en los procesos poscosecha.

Tabla 5. Comparación de resultados del promedio general de la calidad física de las muestras durante dos cosechas de evaluación (n = 1.529 muestras).

Variable calidad física	Cosecha 1				Cosecha 2			
	Media	D.E	Mínimo	Máximo	Media	D.E	Mínimo	Máximo
Humedad pergamino (%)	10,9	2,0	5,8	23,4	10,8	1,2	5,8	13,0
Merma (%)	16,6	1,5	11,5	26,4	16,9	1,4	13,0	21,4
Granos negros y vinagres (%)	0,6	1,1	0,0	17,4	0,7	1,3	0,0	20,2
Granos brocados (%)	1,4	2,1	0,0	23,5	0,9	1,6	0,0	21,5
Granos mordidos y/o cortados (%)	1,5	1,8	0,0	43,1	1,7	1,6	0,0	12,2
Granos decolorados (%)	0,8	1,7	0,0	25,6	1,0	1,9	0,0	42,4
Pasilla (%)	0,7	1,1	0,0	19,0	1,2	1,4	0,0	13,8
Almendra sana (%)	79,2	3,8	40,6	85,8	78,2	3,9	45,6	85,4

D.E: Desviación estándar; n: número de muestras analizadas por cosecha.

En contraste, la cosecha 2 demostró un mayor control en sus procesos, evidenciado por la reducción de la variabilidad en la humedad, que mantuvo un promedio de 10,8% y un rango que no superó el 13,0%. A pesar de esta mejora general, el análisis por municipios (Tabla 6), revela la necesidad de un mayor monitoreo en algunas zonas, especialmente en aquellas con limitaciones de infraestructura (Figura 4) y dado que la humedad es una variable crítica para disminuir defectos físicos (diez de los 14 defectos se pueden generar en el secado), es fundamental

generar en los caficultores la adopción de buenas prácticas promoviendo el uso de métodos como el Gravimet para alcanzar el punto óptimo de secado.

De igual forma, en la cosecha 2 se observa un incremento significativo en los granos decolorados. El promedio de este defecto aumentó de 0,8% a 1,0% y su valor máximo se incrementó hasta un 42,4%. Este hallazgo indica la necesidad de continuar no solo monitoreando el proceso de secado en algunas fincas del departamento, como se ha

indicado anteriormente, sino fortalecer las condiciones de infraestructura que presentan algunos caficultores.

En la cosecha 2 se observa también una reducción de defectos como granos brocados y

mordidos, donde tanto la desviación estándar como los valores máximos disminuyeron considerablemente. El porcentaje de almendra sana se mantuvo estable (78,2%) y el valor mínimo mejoró, incrementando 5,0 puntos porcentuales.

Tabla 6. Promedio de humedad por municipio (n=1.529).

Municipio	Cosecha 1				Cosecha 2			
	Prom.	D.E.	Mínimo	Máximo	Prom.	D.E.	Mínimo	Máximo
Aguachica	11,1	2,5	7,5	22,3	11,0	1,3	6,8	12,9
Agustín Codazzi	10,9	2,2	6,8	23,4	10,6	1,2	6,2	13,0
Chiriguaná	8,6	0,4	8,3	8,8	10,8	2,2	9,2	12,3
Curumaní	11,0	2,5	7,9	15,6	10,7	1,3	8,8	12,6
El Copey	10,9	1,8	7,2	19,0	10,8	0,9	8,6	12,4
La Jagua de Ibirico	10,9	2,0	6,3	17,4	10,6	1,3	5,8	13,0
La Paz	10,5	1,6	6,9	21,0	10,6	1,3	6,0	13,0
Manaure Balcón del Cesar	10,8	2,0	5,8	15,9	10,6	1,4	7,3	12,8
Pailitas	11,0	2,2	7,8	15,8	11,0	0,9	9,4	12,7
Pueblo Bello	11,3	1,7	6,8	18,6	11,0	1,1	8,1	13,0
Río de Oro	12,0	1,6	9,8	16,0	11,2	0,9	10,1	13,0
Valledupar	10,7	1,9	7,1	19,2	10,8	1,1	7,7	12,8
Promedio general	10,9	2,0	5,8	23,4	10,8	1,2	5,8	13,0

n: número de muestras analizadas por cosecha; D.E: Desviación estándar.



Figura 4. Nivelación en infraestructura de secado para algunas fincas del departamento del Cesar.

Calidad sensorial. Los resultados del análisis sensorial realizados por el Panel de Catación del Laboratorio de Calidad del Comité Departamental de Cafeteros de Cesar-Guajira (Tabla 7), muestran que, durante la primera cosecha (2021-2022), de 1.173 muestras evaluadas sensorialmente, el 79,7% no presentó defectos. En contraste, la segunda

cosecha (2022-2023) registró un aumento en las muestras analizadas sensorialmente (1.393). Este incremento, asociado a mejoras en el proceso de secado y la adopción de buenas prácticas, resultó en un porcentaje de muestras sin defectos sensoriales del 85,44%, lo que representa una mejora de 5,8 puntos porcentuales respecto a la primera cosecha.

Tabla 7. Comparativo de la calidad en taza para las dos cosechas del departamento.

Grupo sensorial	Cosecha 1 (2021 – 2022)	Cosecha 2 (2022 – 2023)
Número de muestras	1.173	1.393
Sin defecto	79,7%	85,4%
Terrosos	9,8%	8,8%
Sobrefermentados	5,1%	3,4%
Contaminados	3,5%	1,6%
Ásperos	1,9%	0,8%

El porcentaje de muestras con defectos sensoriales también mostró un comportamiento positivo, disminuyendo del 20,3% en la primera cosecha al 14,6% en la segunda. Esta reducción de 5,7 puntos porcentuales refleja una mejora significativa en la calidad.

En cuanto a la clasificación de la calidad de las muestras sin defectos sensoriales, los resultados del puntaje total SCA (Figura 5) confirman una tendencia de mejora significativa en la calidad sensorial. La segunda cosecha mostró un aumento considerable en la proporción de cafés con puntajes más altos, lo que afianza el impacto de las buenas prácticas en la obtención de un perfil sensorial superior y, por ende, de una mayor calidad.

Análisis por Componentes Principales

Variables de calidad física en relación a la altitud de la finca

Se realizó un Análisis por Componentes Principales (PCA) para explorar la relación entre las variables de tamaño de grano

(mallas), porcentaje de grano supremo (mallas 17 y 18) y porcentaje de almendra sana, en función de los cuatro grupos altitudinales definidos inicialmente (Tabla 8). El biplot resultante (Figura 6) muestra que el primer componente principal (Dim1) explica el 82,9% de la variabilidad total, mientras que el segundo (Dim2) explica el 16,6%. La varianza acumulada del 99,5% en el plano bidimensional evidencia una clara separación entre los grupos altitudinales en función de las variables de calidad física.

El análisis evidencia que el Grupo 4, representado por el color violeta o el símbolo cruz, que representa las fincas ubicadas entre 637–857 m, se asoció con el mayor porcentaje promedio de granos de calidad inferior y de menor tamaño. Esta relación está directamente influenciada por las condiciones agroclimáticas del cultivo, especialmente por la temperatura, que es un factor crítico en el desarrollo fenológico del grano.

Las altitudes bajas, a menudo asociadas con temperaturas más elevadas, pueden acelerar

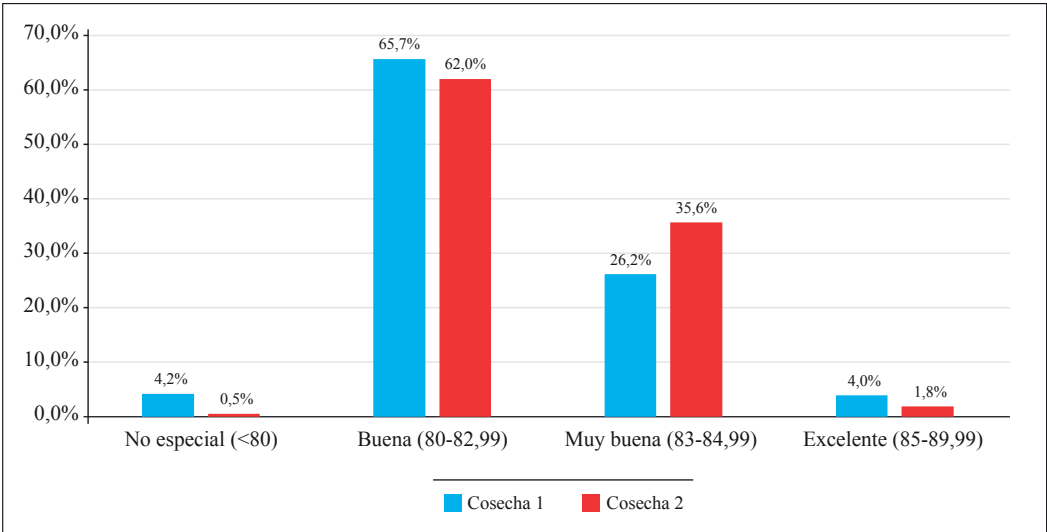


Figura 5. Comportamiento de la calidad sensorial por cosecha.

Tabla 8. Contenido de almendra sana y distribución granulométrica según altitud de la finca.

Grupo altitudinal	Rango (m)	N	Almendra sana (%)	Mallas (M, %)									Supremo
				#18	#17	#16	#15	#14	#13	#12	#0		
1	877 – 1.424	1.614	78,6	31,1	32,0	22,4	8,8	4,0	1,0	0,3	0,2	63,1	
2	1426 – 2014	1.334	78,7	31,1	33,1	22,1	8,3	3,9	1,0	0,2	0,2	64,2	
3	2.034 – 2.629	62	77,0	21,1	30,9	28,3	12,1	5,3	1,6	0,4	0,2	52,0	
4	637 -857	48	75,8	27,8	29,7	24,1	10,7	5,3	1,5	0,5	0,3	57,5	

n: número de fincas por grupo altitudinal.

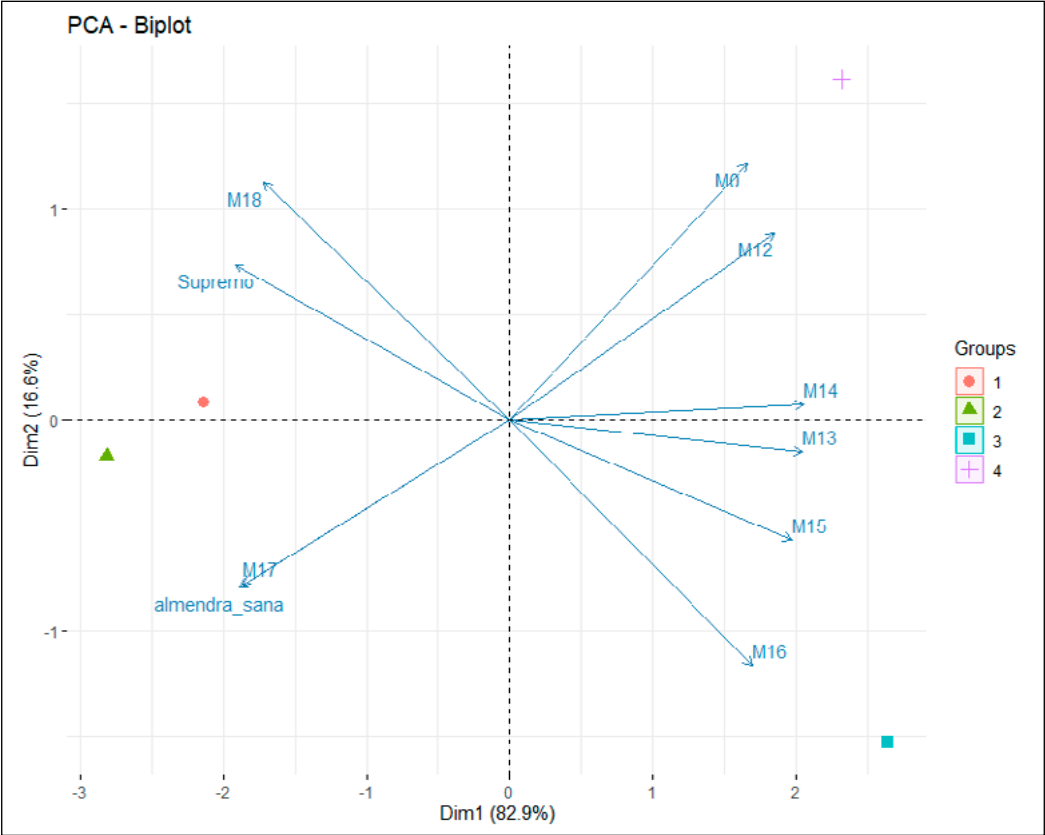


Figura 6. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la relación entre variables de calidad física del café y los cuatro grupos altitudinales.

la maduración de los frutos, lo que, según la literatura, afecta negativamente la densidad del grano y, en consecuencia, su tamaño y calidad física (Osorio et al., 2021) concuerda con estudios que señalan que el rango térmico óptimo para el café *Coffea arabica* L. se sitúa entre los 18°C y 21°C de temperatura media anual; fuera de este rango, especialmente cuando las temperaturas superan los 23°C, el desarrollo del grano puede verse comprometido (DaMatta et al., 2007; Laderach et al., 2011).

Defectos físicos en relación a la presencia de defectos sensoriales

Se aplicó un PCA para identificar la relación entre el tamaño en grano y el porcentaje de almendra sana con respecto a los resultados del análisis sensorial. El biplot de la Figura 7 presenta esta relación, incluyendo variables de defectos físicos y muestras agrupadas según los grupos de defectos predominantes (ásperos, contaminados, sobrefermentados y terrosos). Los dos primeros componentes explican el 75,7% de la variabilidad total (Dim1: 47,2%; Dim2: 28,5%). Esta representación bidimensional evidencia las asociaciones entre las variables físicas (tamaño y defectos) y la correspondencia con las características sensoriales observadas en la bebida. La asociación entre estas variables se fundamenta en el "**riesgo de pérdida de calidad**". Si los caficultores implementan correctamente las recomendaciones técnicas (reduciendo defectos físicos), minimizan la incidencia de defectos que podrían anular la calidad intrínseca del café producido, lo que se traduce en una mejora directa de la calidad sensorial final.

El análisis por componentes principales evidenció que la ocurrencia de defectos físicos del grano está estrechamente vinculada a defectos sensoriales específicos. Estos últimos, que incluyen sabores y aromas indeseables como fermento, reposo, fenólico, mohoso, terroso y

notas astringentes, comprometen gravemente la calidad y la inocuidad del café. Un ejemplo de esta relación es la asociación observada entre los defectos sensoriales sobrefermentado y contaminado que se vincularon a defectos físicos como la broca y los granos mordidos/cortados, mientras que los defectos ásperos y terrosos se relacionaron con granos decolorados y defectos pertenecientes al grupo I (negros y vinagres). Resultados similares fueron encontrados en trabajos de caracterización realizados en muestras del Oriente de Caldas y reportados por Pabón et al. (2021).

Los defectos sensoriales en el café, que incluyen sabores y aromas indeseables como fermento, reposo, fenólico, mohoso, terroso y notas astringentes, pueden comprometer la calidad de la bebida y la inocuidad del producto (Puerta & Pabón, 2018). Estos defectos se originan principalmente por prácticas inadecuadas durante el beneficio y el almacenamiento del grano (Puerta, 2015). Por ejemplo, el sabor a fermento y vinagre es causado por la recolección de granos inmaduros o sobremaduros, la sobrefermentación o el uso de agua sucia y recirculada durante el lavado (Puerta, 2001). El defecto fenólico y la contaminación pueden surgir del contacto con sustancias químicas o microorganismos, así como de un secado inadecuado o el almacenamiento de café húmedo, especialmente si está dañado por broca (Montoya, 1999; Puerta, 2001, 2015). El sabor a reposo se asocia con un almacenamiento prolongado bajo condiciones inadecuadas, como alta humedad y temperatura, o exposición al oxígeno y la luz, lo que provoca la oxidación de lípidos (Gallego & Valencia, 2021). El defecto mohoso se debe a la falta de control de la humedad del grano durante el secado y almacenamiento, y a una higiene deficiente en los equipos (Puerta, 2015). Autores como Pabón & Osorio (2022), confirmaron como la interrupción del secado

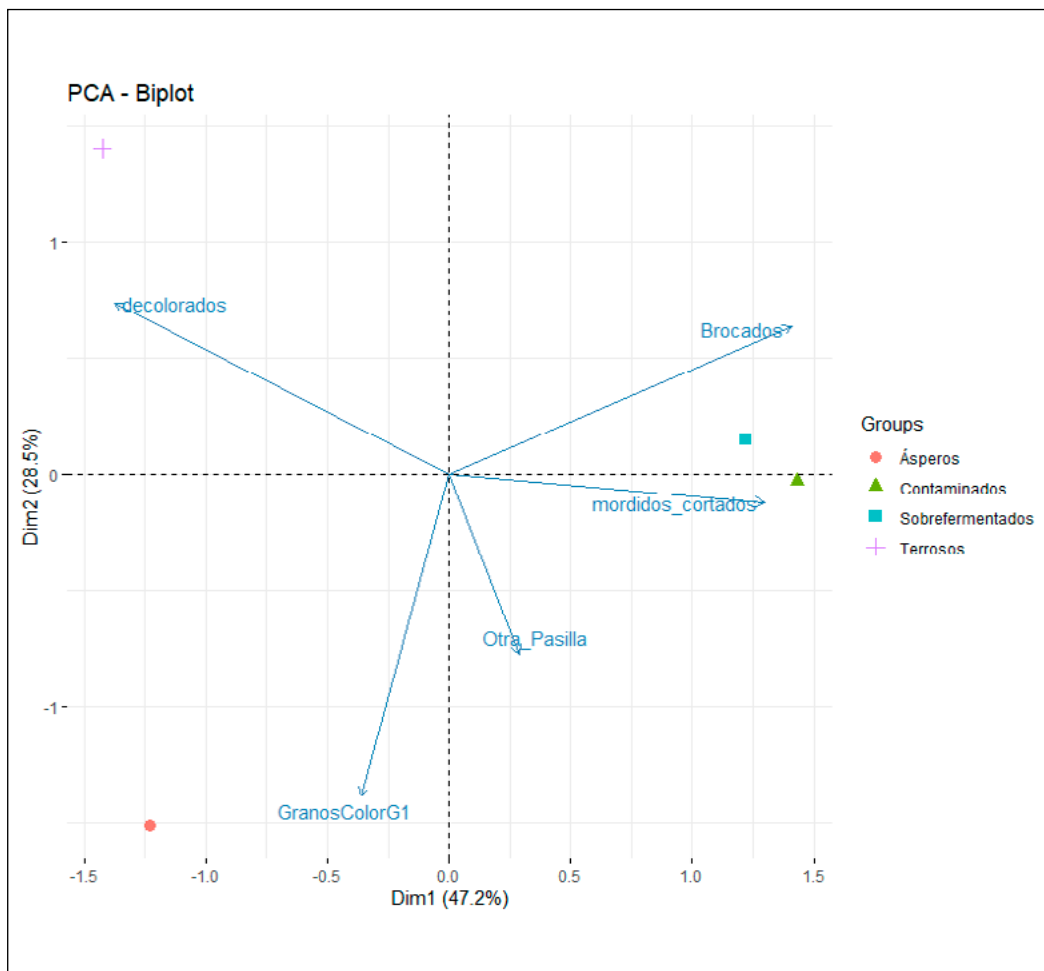


Figura 7. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la asociación entre defectos físicos del grano y grupos de defectos sensoriales en la bebida de café.

mecánico, puede generar el defecto sensorial terroso, especialmente con menores tiempos de secado inicial y periodos de interrupción prolongados.

Para prevenir el deterioro de la calidad física y sensorial, es fundamental aplicar buenas prácticas en todas las etapas de cosecha y beneficio (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe et al., 2022). Esto incluye realizar un control efectivo

de plagas como la broca, cosechar únicamente granos maduros, controlar el proceso de fermentación, asegurar una completa remoción del mucílago y lavar el café con agua limpia. El secado debe ser continuo y uniforme hasta alcanzar el rango de humedad recomendado (10%-12%), sin superar los 50°C del grano. Finalmente, el almacenamiento debe realizarse en lugares frescos, secos y ventilados donde se evite el re-humedecimiento del grano.

Análisis de la eficiencia en las nivelaciones técnicas realizadas a los caficultores

En la Figura 9 y la Tabla 9 se presenta la evaluación de la eficiencia en 1.071 caficultores, cuyas muestras cumplieron con los criterios de humedad para ser evaluadas física y sensorialmente durante dos cosechas.

Para determinar la eficiencia de cada caficultor, se aplicó un DEA bajo el modelo CCR, orientado a los insumos (output). Las variables físicas de entrada fueron los granos brocados, con defectos negros y vinagres, ambas directamente asociadas con la calidad sensorial del café (Figura 7). Cuanto mayor es la proporción de estos defectos en una muestra, mayor es su impacto negativo en la calidad sensorial.

Los resultados demuestran que, en la cosecha 1, el 35% de los caficultores presentaba ineficiencias atribuidas a prácticas inadecuadas de cosecha y poscosecha, sin embargo, en la cosecha 2 se observó una mejora significativa, con una reducción del 15,6% en la proporción de caficultores que realizan prácticas inadecuadas, equivalente a 168 productores adicionales que mostraron una disminución en la presencia de granos brocados y granos negros y vinagres. Este avance se traduce en una mayor calidad sensorial de las muestras. Adicionalmente, los datos de la Tabla 9 muestran un incremento del 15% en la eficiencia de adopción de buenas prácticas, lo que contribuyó a la reducción de los porcentajes de broca y granos negros y vinagres en casi un 50%, ubicándolos por debajo de los niveles críticos establecidos.

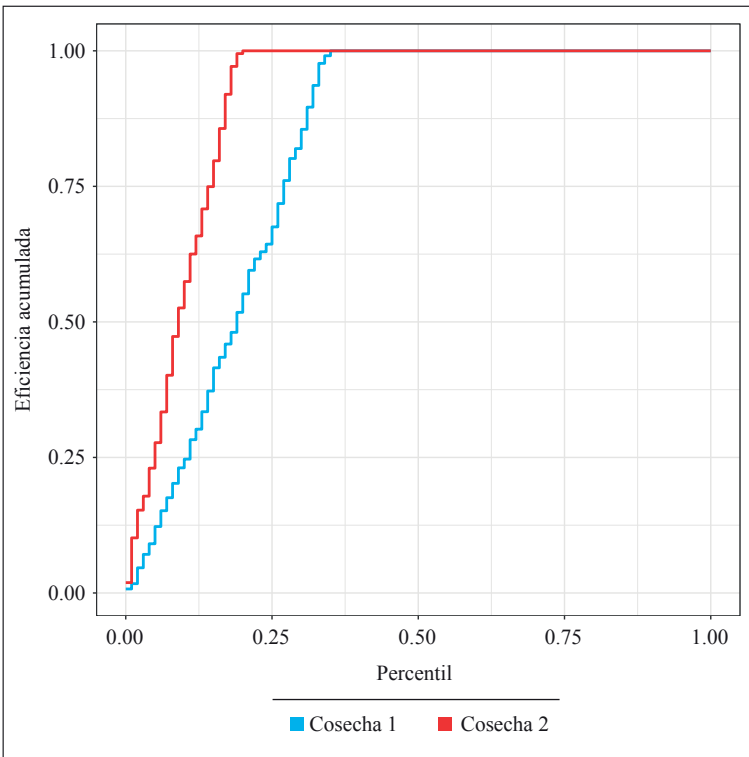


Figura 9. Distribución del análisis de percentiles acumulados de la eficiencia por cosecha.

Tabla 9. resultados de la calidad física promedio entre cosechas por caficultor.

Cosecha	Eficiencia	Caficultor	Granos negros y vinagres (%)	Brocados (%)
1	Ineficiente	375	0,97	1,85
	Eficiente	696	0,48	1,13
2	Ineficiente	207	1,02	1,73
	Eficiente	864	0,61	0,72

La mejora en las prácticas de cosecha y poscosecha fue evaluada aplicando una prueba de homogeneidad chi-cuadrado al 5% de significancia, la prueba evidenció que la distribución de caficultores en los niveles de eficiencia fue diferente en cada cosecha, es decir, que una vez realizado el diagnóstico de la calidad del café producido por cada caficultor en su finca (cosecha 1) y socializados los resultados, se generaron las recomendaciones para la mejora de la calidad física y sensorial a tener en cuenta en la segunda cosecha. En la Tabla 9 se muestran los resultados de la prueba realizada:

No eficiente: Número de caficultores con una eficiencia menor a 1

Eficientes: Número de caficultores con una eficiencia igual a 1

Tabla 9. Eficiencia en la adopción de recomendaciones.

Eficiencia aplicación de prácticas	Cosecha	
	1	2
No eficiente	375	207
Eficiente	696	864

Test de homogeneidad chi-cuadrado con corrección de Yates'
 $X^2 = 65.797$, $df = 1$, $p\text{-valor} = 4.999e^{-16}$

La Tabla 10 muestra una disminución del 11% en la eficiencia promedio para las fincas ubicadas en el rango de altitud más bajo (637 – 857 m). Esta reducción se asocia a un probable incremento de la infestación por *Hypothenemus hampei* (broca), dado que el aumento de la temperatura a baja altitud potencia la aptitud reproductiva de esta plaga (Constantino, 2010). Dicho rango altitudinal, enmarcado en la zona agroclimática 1 por la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé y una temperatura promedio de 22,8°C, con máximas de 28,2°C, es ideal para el ataque por broca, ya que su desarrollo óptimo ocurre entre los 22,0 °C y 28,0°C (Giraldo-Jaramillo et al., 2021). Por lo tanto, en esta zona específica, el factor ambiental superó los efectos de las intervenciones técnicas. Mientras las temperaturas altas penalizaron la eficiencia y calidad en las zonas marginales bajas, las altitudes medias y altas (zonas agroclimáticas 2 y 3) ofrecieron un ambiente térmico más favorable que permitió que las recomendaciones tuvieran un mayor impacto positivo. Esta relación es confirmada por estudios previos realizados por Osorio et al. (2021), en el departamento del Huila, donde las zonas de baja altitud (ZAE4) con alta temperatura y menor disponibilidad hídrica registraron un mayor porcentaje de granos defectuosos (pasillas) y un alto factor de rendimiento.

Tabla 10. Eficiencia de caficultores según rango altitudinal.

Rango de altitud	Grupo altitudinal	Caficultores	Cosecha		Diferencia
			1	2	
637 -857	4	17	0,93	0,82	-0,11
877 – 1.424	1	572	0,81	0,90	0,09
1.426 – 2.014	2	462	0,83	0,92	0,09
2.034 – 2.629	3	20	0,87	0,98	0,11

Revisando los resultados promedio de la eficiencia en la mejora de la calidad a través de la aplicación de las buenas prácticas de cosecha y poscosecha por cada uno de los municipios del departamento del Cesar (Tabla 11), puede evidenciarse que los municipios con mayor aceptación o puesta en práctica de las recomendaciones fueron La Jagua de Ibirico, Valledupar, Pueblo Bello y Manaure con un 21%, 17%, 16% y 12% de ganancia en la eficiencia, respectivamente. Por otra

parte, municipios como Agustín Codazzi, El Copey, Pailitas y La Paz fluctuaron entre 3,0% y 4,0% de ganancia en la eficiencia. Por el contrario, Aguachica evidenció una disminución en su calidad física, lo cual podría estar asociado a las condiciones agroclimáticas de los cultivos, dado que, de las 59 fincas ubicadas en el municipio, el 92% se encuentran por debajo de los 1.400 m de altitud favoreciendo el ataque por *H. hampei*.

Tabla 11. Eficiencia en la adopción de prácticas por municipio.

Departamento	n	Cosecha		Diferencia
		1	2	
Aguachica	59	0,95	0,79	-0,15
Agustín Codazzi	236	0,86	0,90	0,03
Curumaní	8	0,91	0,89	-0,03
El Copey	35	0,85	0,90	0,04
La Jagua De Ibirico	144	0,72	0,93	0,21
La Paz	187	0,85	0,89	0,04
Manaure Balcón del Cesar	34	0,83	0,95	0,12
Pailitas	18	0,91	0,95	0,04
Pueblo Bello	260	0,77	0,94	0,16
Río de Oro	11	0,82	0,83	0,01
Valledupar	79	0,79	0,96	0,17

Puede concluirse que:

El diagnóstico de la calidad del café a nivel regional es una estrategia fundamental para identificar los factores de riesgo y las prácticas a mejorar durante la producción y procesamiento del café. Al correlacionar los atributos de calidad física y sensorial con las prácticas de los caficultores, es posible generar recomendaciones técnicas precisas para mejorar los procesos de cosecha y poscosecha. Esto se refleja directamente en los resultados positivos de la calidad obtenida y, por ende, en una reducción de pérdidas económicas para el productor. Adicionalmente, el balance climático entre zonas actúa como un factor diferencial en la eficiencia, ya que las condiciones moderadas a frías de las zonas medias y altas preservaron y potenciaron la eficacia de las buenas prácticas implementadas. En este sentido, la segmentación de los productores por grupos altitudinales sugiere la importancia de generar estrategias de extensión diferenciadas, orientadas al manejo de plagas en las zonas bajas, y a la optimización sensorial en las zonas altas. Finalmente, se identificó que la infraestructura de beneficio y secado es un factor limitante crítico no cuantificado en este estudio, por lo que su inclusión como variable de entrada en futuros análisis de eficiencia es clave para determinar el impacto real de las intervenciones y las inversiones en el sector cafetero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo técnico de promotores y al Equipo del Laboratorio de Calidad de café – Comité Cesar-Guajira en especial a los profesionales Liseth Javela, Jamir Rodríguez, Helí Santiago Castaño y su grupo de trabajo por su valioso apoyo durante el desarrollo de la investigación. Al Dr. Benjamín Pardo y Dr. Álvaro Osorio. Se extiende un especial agradecimiento y reconocimiento a

los integrantes de la Disciplina de Calidad y al personal vinculado al proyecto: Erika Patricia Corredor, Lady Julieth Vargas y Claudia Tabares, por su compromiso y colaboración en las distintas etapas del trabajo. Los resultados de esta publicación hacen parte de la investigación CAL101006 que se desarrolló en el marco del proyecto: *Desarrollo Experimental para la Competitividad del Sector Cafetero del Departamento del Cesar*, código 2017000100036, financiado por el Sistema General de Regalías, Gobernación de Cesar en convenio con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Cenicafé–Crossref Funder ID 100019597).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación y Metodología: **LFEG**; Análisis formal: **LFEG** y **LCI**; Redacción–borrador original: **LFEG**; Redacción–revisión y edición: **LFEG**, **JPPU** y **VOP**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Barbosa, J. N., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., & Alves, H. M. R. (2012). Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 181–190. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>
- Barbosa, M. de S. G., Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. *Food Chemistry*, 292, 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.072>
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., & Charmetant, P. (2006). Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*, 26(9), 1239–1248. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.9.1239>

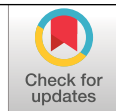
- Cheserek, J. J., Ngugi, K., Muthomi, J. W., & Omondi, C. O. (2020). Assessment of Arabusta coffee hybrids [*Coffea arabica* L. X Tetraploid Robusta (*Coffea canephora*)] for green bean physical properties and cup quality. *African Journal of Food Science*, 14(5), 119–127. <https://doi.org/10.5897/AJFS2019.1852>
- Constantino, L. M. (2010). La broca del café un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. *Brocarta*, 39, 1–2. <https://doi.org/10.38141/10785/039>
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485–510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- Gallego, C. P., & Rodríguez, N. (2021). Identificación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con el defecto reposo en el café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72105. <https://doi.org/10.38141/10778/72105>
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa-Orsorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., & Benavides Machado, P. (2021). Vulnerabilidad de la caficultura de los departamentos de Cesar, La Guajira y Bolívar a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 527, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0527>
- Guerrero, Á., Sanz-Urbe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Ramírez, C. A. (2022). Mediverdes®: Un método para medir la calidad de la recolección del café en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 536, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0536>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). NTC 2325: *afé verde. Determinación de la pérdida de masa a 105 °C*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verdedeterminacion-de-la-perdida-de-masa-a-105-c-ntc2325-2005.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2013). NTC 5248: *Café verde. Análisis del tamaño. Tamizado manual y mecánico*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-analisis-del-tamano-tamizado-manual-y-mecanico-ntc5248-2013.html>
- 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>
- Montoya, E. C. (1999). Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, 50(4), 245–258.
- Oliveros-Tascón, C., Peñuela-Martínez, A. E., & Jurado-Chana, J. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravímetro. *Avances Técnicos Cenicafé*, 387, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0387>
- Osorio Pérez, V., Álvarez-Barreto, C. I., Matallana, L. G., Acuña, J. R., Echeverri, L. F., & Imbachi, L. C. (2022). Effect of Prolonged Fermentations of Coffee Mucilage with Different Stages of Maturity on the Quality and Chemical Composition of the Bean. *Fermentation*, 8(10), 519. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100519>
- Osorio, V., Pabón, J., Calderón, P. A., & Imbachi, L. C. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el departamento del Huila. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72201. <https://doi.org/10.38141/10778/72201>
- Pabón, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 162–187). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_7
- Pabón, J., & Osorio, V. (2022). Efecto de la interrupción del secado mecánico en la calidad física y sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73201. <https://doi.org/10.38141/10778/73201>
- Peñuela-Martínez, 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. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/494>
- Peñuela-Martínez, A. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3.ª ed., pp. 189–218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, Á., & Sanz-Urbe, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>
- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Urbe, J. R., Guerrero, A., & Ramírez, C. A. (2022). Siete prácticas en el

- beneficio para obtener café de buena calidad–Proceso 7P®. *Avances Técnicos Cenicafé*, 546, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0546>
- Peñuela-Martínez, A. E., Velasquez-Emiliani, A. V., & Angel, C. A. (2023). Microbial Diversity Using a Metataxonomic Approach, Associated with Coffee Fermentation Processes in the Department of Quindío, Colombia. *Fermentation*, 9(4), 343. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040343>
- Puerta, G. I. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Avance Técnico*, 284, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/562>
- Puerta, G. I. (2007). Registro de la trazabilidad del café en la finca. *Avance Técnico*, 355, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/375>
- Puerta, G. I. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafé*, 461, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0461>
- Puerta, G. I. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. *Revista Cenicafé*, 67(1), 7–40. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/676>
- Puerta, G. I., & Pabón, J. (2018). Calidad física y sensorial del café cultivado en el paisaje cultural cafetero de Colombia en Caldas. *Revista Cenicafé*, 69(1), 16–31. <https://doi.org/10.38141/10778/69102>
- Specialty Coffee Association. (2018). Protocols & Best Practices. Cupping Protocols. URL
- Specialty Coffee Association. (2024). *A System to Assess Coffee Value: Understanding the SCA's Coffee Value Assessment*. [https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/667182ffde8a5081afc2d8c/1718715138872/SCA+-+A+System+to+Assess+Coffee+Value+-+June+2024+\(Secured\).pdf](https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/667182ffde8a5081afc2d8c/1718715138872/SCA+-+A+System+to+Assess+Coffee+Value+-+June+2024+(Secured).pdf)

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EL PROCESO DE BENEFICIO DE CAFÉ

Diego Fernando Arango Cardona  *, Beatriz Eugenia Mira Rada  **, Hugo Mauricio Salazar Echeverry  *

Arango-Cardona, D. F., Mira-Rada, B. E., & Salazar, H. M. (2025). Estimación de pérdidas económicas en el proceso de beneficio de café. *Revista Cenicafé*, 76(2), e76203. <https://doi.org/10.38141/10778/76203>



Cenicafé ha identificado siete prácticas clave para optimizar el proceso de beneficio húmedo y seco del café, con el propósito de mejorar los factores de conversión y rendimiento, así como preservar la calidad del grano. Sin embargo, hasta ahora no se había cuantificado el impacto económico de no implementar estas recomendaciones técnicas en las fincas cafeteras. Este estudio evaluó las prácticas que generan mayores pérdidas físicas y económicas durante el beneficio, enfocándose en dos aspectos: 1) el efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y las pérdidas en el proceso de beneficio, y 2) el efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Así mismo, se comparó el proceso realizado por caficultores con el modelo estandarizado de las siete prácticas clave (7P®) recomendadas por Cenicafé, analizando su impacto sobre la cantidad y calidad física del café pergamino seco y su valor comercial según los precios de la Cooperativa de Caficultores. Los resultados revelan que un proceso técnico estandarizado reduce la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café excelsa, y que la recuperación de pasillas puede aumentar los ingresos hasta en un 8,8%. Por otro lado, la falta de calibración de equipos puede ocasionar pérdidas de hasta un 73,86% de la producción. Estos hallazgos destacan la importancia de adoptar prácticas técnicas adecuadas para mejorar el rendimiento y la rentabilidad económica para los caficultores.

Palabras clave: Rentabilidad, proceso 7P®, clasificación, pasillas, calibración, factor de rendimiento, factor de conversión, café, Cenicafé, Colombia.

ECONOMIC LOSSES ESTIMATION IN THE COFFEE WET-MILLING PROCESS

Cenicafé has identified seven key practices to optimize both the wet and dry coffee processing processes, improving conversion factors and yield while preserving bean quality. However, until now, the economic impact of not implementing these technical recommendations on coffee farms had not been quantified. This study evaluated the practices that generate the most significant physical and economic losses during the processing process, focusing on two aspects: 1) the effect of coffee grading on physical quality and losses during the processing process, and 2) the effect of pulper maintenance, cleaning, and calibration. The process performed by coffee growers was also compared with the standardized model of the seven key practices (7P®) recommended by Cenicafé, analyzing their impact on the quantity and physical quality of dry parchment coffee, as well as its commercial value, according to the prices set by the Coffee Growers' Cooperative. The results reveal that a standardized technical process reduces the amount of parchment coffee required to obtain a 70 kg bag of Excelso coffee, and that the recovery of coffee beans can increase revenue by up to 8,8%. Furthermore, poor equipment calibration can lead to losses of up to 73,86% of production. These findings underscore the importance of adopting suitable technical practices to enhance yield and economic profitability for coffee growers.

Keywords: Profitability, 7P® process, grading, byproducts, calibration, yield factor, conversion factor, coffee, Cenicafe, Colombia.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0594-728X>, <https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>

** Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5683-7190>

La calidad física en taza y el rendimiento en trilla del café pergamino seco obtenido durante el proceso del beneficio dependen, en gran medida, de la calidad de la materia prima, la tecnología utilizada en cada etapa del beneficio, la calibración y mantenimiento de los equipos, y el nivel de entrenamiento de los operarios (Oliveros-Tascón et al., 2009). Durante más de cuatro décadas, Cenicafé ha generado y validado recomendaciones y tecnologías para optimizar el proceso de beneficio húmedo, promoviendo sistemas eficientes, ambientalmente sostenibles y adaptados a las exigencias del mercado (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022).

Como resultado de estas investigaciones, y en el marco de la estrategia más agronomía, más productividad, más calidad (Cenicafé, 2021), se han identificado siete prácticas clave para el beneficio húmedo y seco del café que mejoran los factores de conversión y rendimiento, y preservan la calidad del grano. Estas prácticas, conocidas como el proceso 7P®, son:

1. Asegurar la calidad de la recolección del café.
2. Procesar cada tanda de café de manera independiente.
3. Retirar frutos y granos de inferior calidad.
4. Limpiar y calibrar los equipos de beneficio del café.
5. Monitorear la fermentación con Fermaestro®.
6. Retirar el mucílago realizando un buen lavado.
7. Obtener y mantener el café pergamino seco con una humedad entre el 10% y el 12%.

De forma complementaria Isaza, et al. (2021) recomiendan fortalecer la capacitación de los productores, impulsar el uso de tecnologías actualizadas y operar bajo principios de sostenibilidad ambiental, social y económica, con el fin de mejorar la toma de decisiones y garantizar la trazabilidad del producto.

El café es uno de los productos más consumidos en el mundo, solo superado por el agua, con un consumo global estimado en 2,25 mil millones de tazas diarias. Su importancia económica es notable: se cultiva en más de 80 países, la mayoría de ellos en vías de desarrollo (Fernández-Cortés et al., 2020). En Colombia, el cultivo de café abarca aproximadamente 837.685 hectáreas y representa el sustento de unas 557.311 familias, constituyéndose como una actividad clave para la economía rural y las exportaciones nacionales (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2024).

Dentro de las prácticas recomendadas, la calibración de la despulpadora (Práctica 4) es esencial. Debe asegurarse la separación entre el pechero de la despulpadora y la camisa del cilindro de acuerdo con el tamaño de los frutos para evitar pérdidas de granos en la pulpa o daños mecánicos durante el despulpado (Peñuela-Martínez & Sanz-Urbe, 2021; Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1985; Oliveros-Tascón et al., 2020).

El **factor de conversión** corresponde a la relación entre la cantidad de frutos frescos y el café pergamino seco obtenido (kg de cereza/kg de pergamino seco), mientras que el **factor de rendimiento en trilla** indica cuántos kilogramos de pergamino seco se requieren para obtener 70 kg de café excelso (Montilla-Pérez et al., 2008). Este último se utiliza como base para calcular el precio de venta en la Cooperativa de Caficultores.

Actualmente, el valor de referencia del factor de rendimiento es de 94, lo que implica que se necesitan 94 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso y 6,3 kg de pasilla. A menor factor de rendimiento, mayor es la calidad del café y, por tanto, su precio. Un factor alto, por el contrario, refleja menor calidad y conlleva descuentos en el precio (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2022a, 2022b).

Si un caficultor tiene una productividad de 200 @ ha-año⁻¹, y el 4,00% de pérdida en la producción por equipos de despulpado descalibrados (frutos de buena calidad mordidos o que pasan a masa de la pulpa), podrían dejar de percibirse aproximadamente \$1.760.000 por hectárea al año (Duque-Orrego et al., 2021).

El análisis costo-beneficio (ACB) es una herramienta económica utilizada para evaluar la rentabilidad de diferentes alternativas en procesos productivos. Según Aguilera Díaz (2017), este análisis permite determinar costos y beneficios de todas las alternativas disponibles para seleccionar la opción más rentable. Dentro del ACB, la Relación Beneficio-Costo (B/C) es una métrica ampliamente empleada que cuantifica los beneficios netos obtenidos frente a los costos requeridos.

Este artículo tiene como objetivo estimar las pérdidas económicas derivadas de un proceso de beneficio inadecuado, evaluando aquellas prácticas que generan mayores pérdidas físicas y afectan la calidad física del grano a nivel de finca. En particular, se enfoca en dos prácticas del proceso 7P®: la clasificación de frutos (Práctica 3) y el mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora (Práctica 4), según lo establecido por Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al. (2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), específicamente en la planta de beneficio de café La Granja, ubicada a 1.300 m s. n. m., con una temperatura promedio de 21,5°C, una precipitación anual de 2.660 mm y una humedad relativa del 79,5%. Se utilizaron frutos de café provenientes de las estaciones experimentales Naranjal y La Catalina, así como de fincas cafeteras localizadas en los municipios de Chinchiná y Villamaría, departamento de Caldas.

El estudio se enfocó en la evaluación de dos actividades principales: 1. Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio y 2. Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Evaluando café recolectado tanto en la cosecha principal como en la travesía. Adicionalmente, se comparó el proceso de beneficio implementado por los caficultores con el proceso 7P® recomendado por Cenicafé.

Actividad 1. Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio

Se evaluaron las pérdidas asociadas a la ausencia de clasificación del café en tres puntos críticos del proceso de beneficio:

1. Clasificación por densidad de frutos de café antes del despulpado.
2. Clasificación por tamaño mediante zaranda, inmediatamente después del despulpado.
3. Clasificación por densidad durante el proceso de lavado.

Para ello, se definieron cinco tratamientos (Figura 1), todos implementados bajo las practicas implícitas en las 7P®.

El experimento se diseñó como un bloque completo al azar, con la procedencia del café como factor de bloqueo. Cada unidad experimental consistió en 500 kg de frutos de café, divididos aleatoriamente en cinco partes iguales de 100 kg, asignadas a los tratamientos. Se realizaron cinco repeticiones durante la cosecha principal y cinco durante la travesía, totalizando diez repeticiones por tratamiento.

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamiento 1 (TT1): Clasificación en los tres puntos del proceso de beneficio.

Tratamiento 2 (TT2): Ausencia total de clasificación.

Tratamiento 3 (TT3): Clasificación únicamente antes del despulpado.

Tratamiento 4 (TT4): Clasificación únicamente por tamaño, posterior al despulpado.

Tratamiento 5 (TT5): Clasificación únicamente durante el proceso de lavado.

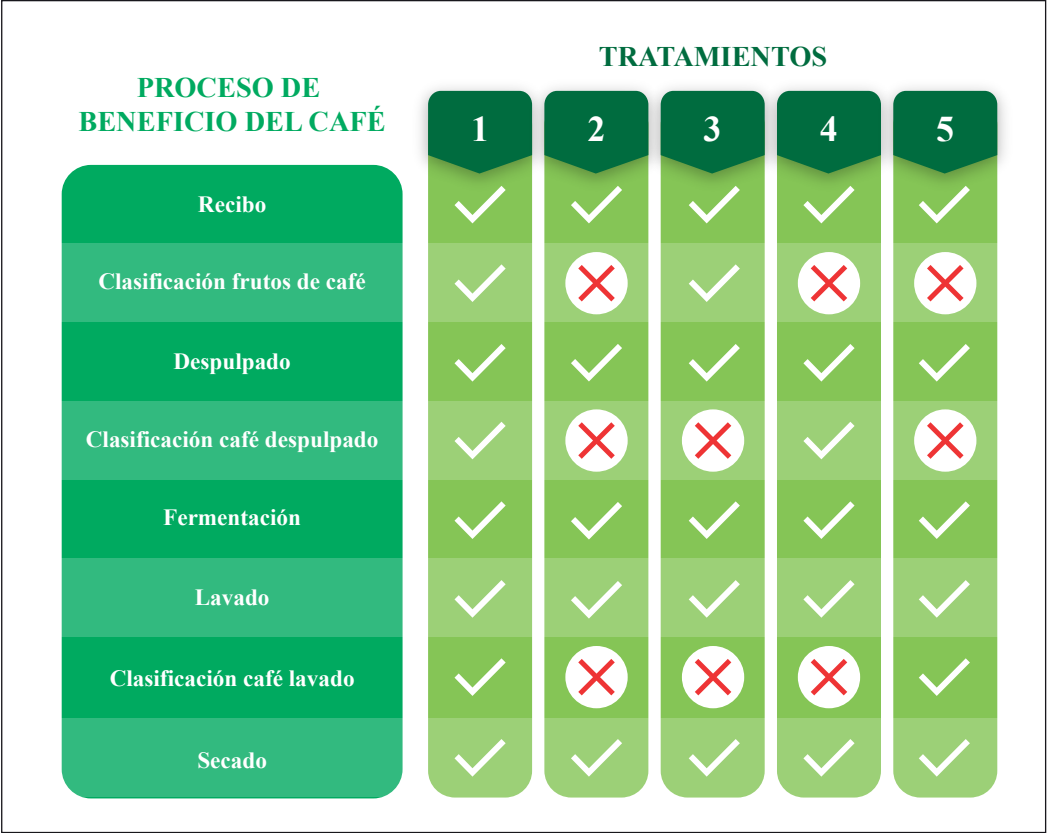


Figura 1. Descripción de la secuencia de los tratamientos de clasificación del café en el beneficio húmedo, Actividad 1.

Actividad 2. Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora

Se cuantificaron las pérdidas atribuibles a la falta de mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Para esto se usó un equipo que presentaba fallas causadas por la ausencia de mantenimiento, limpieza y calibración, específicamente rodamientos y/o pecheros en mal estado, lo que agravaba su funcionamiento. Se establecieron dos tratamientos (Figura 2), manteniendo constantes las demás condiciones técnicas del proceso 7P®:

Tratamiento 1 (TT1): Despulpadora con mantenimiento, limpieza y calibración.

Tratamiento 2 (TT2): Despulpadora sin mantenimiento, limpieza ni calibración.

Cada unidad experimental consistió en 200 kg de frutos de café provenientes de un mismo

pase de cosecha, divididos aleatoriamente en dos partes iguales de 100 kg, asignadas a los tratamientos. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones en la cosecha principal y cinco en la travesa, para un total de diez repeticiones por tratamiento.

La calibración de la máquina despulpadora se realizó conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2090 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1985), la cual exige que la masa despulpada contenga:

- Menos de 0,5% de granos mordidos.
- Menos de 0,5% de granos trillados.
- Menos del 1,0 de frutos sin despulpar.
- Menos de 2,0% de pulpa residual.
- 0% de granos en la pulpa.

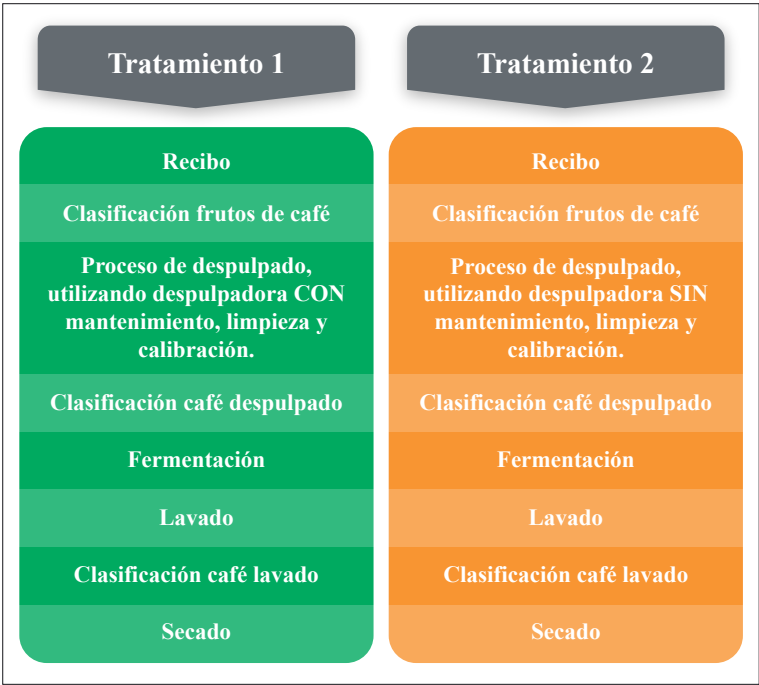


Figura 2. Descripción de la secuencia de los tratamientos con y sin calibración de la despulpadora, Actividad 2.

El desarrollo experimental tanto en la actividad 1 como en la actividad 2 siguió la secuencia técnica del proceso de beneficio descrita por Puerta (2006).

Evaluación del proceso de beneficio de los caficultores frente al proceso 7P®

Con el fin de comparar el proceso realizado en finca con el proceso 7P® estandarizado por Cenicafé, se seleccionaron ocho caficultores del centro del departamento de Caldas, en colaboración con el Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros departamental. De acuerdo con el criterio de los técnicos estos caficultores no implementaban las prácticas de beneficio recomendadas.

En cada finca, tanto en la cosecha principal como en la travesía, se recolectaron 200 kg de frutos de café, que se dividieron en dos muestras de 100 kg. Una fue procesada por el caficultor en condiciones normales de finca llevando a cabo el seguimiento para analizar el café resultante en cada etapa del proceso de beneficio, y la otra se trasladó a la planta de beneficio de Cenicafé, donde se aplicaron las siete prácticas clave del proceso 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022; Peñuela-Martínez & Sanz-Urbe, 2021).

Con el apoyo de la Cooperativa de Caficultores de Manizales, se realizó el análisis físico, tanto para el café pergamino seco, como para las pasillas obtenidas en cada una de las actividades, evaluando los siguientes aspectos:

- Calidad física del grano.
- Factor de rendimiento en trilla.
- Precio de venta.

Análisis de la información

Análisis Estadístico. El efecto de los tratamientos de las actividades 1 y 2 se midió a partir de un análisis de varianza (ANOVA) para un modelo de bloques completos al azar de acuerdo con el diseño experimental establecido previamente. A partir de los resultados del ANOVA en la actividad 1, se aplicó prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) para identificar las diferencias entre los tratamientos. Para la actividad adicional (caficultores respecto a proceso 7P®) se realizó seguimiento y documentación para describir y caracterizar descriptivamente la práctica de los caficultores y concluir frente a los resultados obtenidos por Cenicafé.

Análisis económico. Para la evaluación económica de los tratamientos aplicados durante el beneficio del café, se utilizó el método de Relación Beneficio-Costo (B/C). Esta herramienta permitió comparar los ingresos generados por carga de café pergamino seco frente a los costos incurridos en el proceso de beneficio, con el fin de cuantificar si los resultados obtenidos a partir de las recomendaciones implementadas en el proceso justifican su adopción. Se calculó la relación B/C parcial, considerando únicamente el costo directo del beneficio, con el fin de recomendar prácticas económicamente viables que reduzcan pérdidas y mejoren los ingresos del caficultor.

Para realizar los análisis económicos en las actividades desarrolladas se usaron los datos básicos descritos en la Tabla 1. Los datos básicos se construyeron con el registro de la información real de mano de obra empleada en el beneficio húmedo y secado del café.

Tabla 1. Datos básicos para el análisis económico en los procesos de beneficio

Variable	Unidad	Valor	Observacion
Mano de obra	jornal	\$56.000,00	zona central cafetera 2024
Precio de venta	\$/CargaCPS	\$1.880.440,00	Precio interno promedio año 2024 (FR94)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la calidad de recolección

Antes de iniciar con el proceso, a cada una de las masas de café que conformaron las diez repeticiones del experimento, se les evaluó de forma general la calidad de la recolección. La unidad experimental número 9 presentó la mejor calidad, con un factor de rendimiento en trilla superior al promedio. Esta unidad presentó un 81,26% de frutos en los estados de madurez 4, 5 y 6, y solo 1,78% en los estados 1 y 2, de acuerdo con la escala cromática de la herramienta Cromacafé® (Peñuela-Martínez, Guerrero, et al., 2022).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Guerrero et al. (2022), Peñuela-Martínez,

Sanz-Uribe, et al. (2022) y Puerta (2000), quienes destacan que una recolección adecuada influye positivamente en la calidad física del café pergamino seco, impactando directamente el precio de venta.

Actividad 1: Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio

Factor de rendimiento en trilla (FR) y factor de conversión (FC)

El análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completos al azar, con un nivel de significancia de 0,05, mostró un efecto significativo del tratamiento sobre el factor de rendimiento. Es decir, al menos uno de los tratamientos de clasificación produjo un FR significativamente diferente. (Tabla 2).

Tabla 2. Factor de rendimiento promedio obtenidos en cada uno de los tratamientos, variabilidad y cuartiles.

Tratamientos	Promedio	Des. Estándar	Q1	Q2	Q3	Mínimo	Máximo
TT1	97,22	6,29	95,02	96,62	101,41	84,95	107,03
TT2	104,70	8,93	98,93	103,71	111,84	90,09	117,06
TT3	98,63	6,47	94,34	98,53	102,14	88,38	111,46
TT4	97,56	5,08	93,84	99,72	101,22	88,72	102,04
TT5	99,49	6,47	96,64	98,88	102,99	87,94	112,00

La **ausencia total de clasificación (TT2)** presentó la mayor variabilidad en el FR (Figura 3). En este tratamiento, el 75% de las unidades evaluadas tuvo un FR entre 90,09 kg y 111,84 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. En contraste, los demás tratamientos registraron valores mínimos inferiores a 88,7 kg. El Tratamiento 1 presentó una distribución más compacta y consistente, lo cual favorece la estabilidad del proceso y facilita la planificación productiva. En contraste, el Tratamiento 2 exhibió una mayor dispersión en los datos, indicando una variabilidad significativa que puede afectar negativamente tanto la calidad física del café como la rentabilidad del producto final.

Estos resultados respaldan los hallazgos de Oliveros-Tascón et al. (2007, 2020) y de Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al. (2022) quienes señalan que una clasificación adecuada reduce defectos físicos y mejora el FR.

La prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) reveló diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento TT2 (sin clasificación) presentó

un FR promedio de 7,48 kg mayor al tratamiento TT1 (clasificación en los tres puntos). Esto implica que, en promedio, se requieren 7,48 kg adicionales de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso cuando no se realiza ninguna clasificación. De igual forma se encontraron diferencias en el FR entre el TT2 y los tratamientos TT3 y TT4 (clasificación únicamente antes del despulpado y clasificación únicamente por tamaño, posterior al despulpado) en ambos casos también a favor de los procedimientos de beneficio que incluyen la clasificación (Tabla 3).

El factor de conversión reflejó la eficiencia del proceso en términos de insumo-producto. Como se observa en la Figura 4, en el tratamiento sin clasificación (TT2), se obtuvo un FC promedio de 4,33 kg de frutos de café por cada kilogramo de pergamino seco. Aunque este valor es bajo, aparentemente eficiente, se acompañó de un FR elevado (104,7 kg) con respecto al FR de referencia actual (94 kg), indicando un mayor contenido de pasillas y una calidad inferior del café pergamino seco.

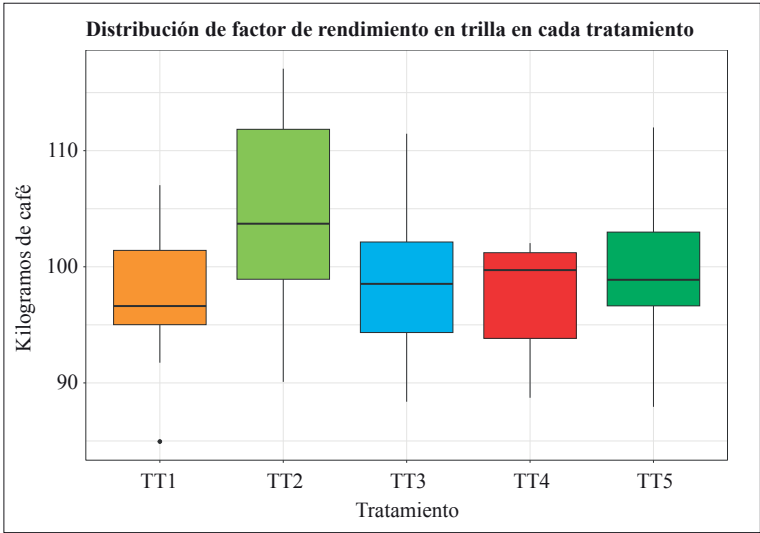


Figura 3. Distribución del factor de rendimiento por tratamiento.

Tabla 3. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), diferencia del factor de rendimiento promedio entre pares de tratamientos.

TTO	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-adj	
TT2-TT1	7,48	1,70	13,25	0,01	***
TT3-TT1	1,41	-4,37	7,18	0,96	
TT4-TT1	0,34	-5,44	6,11	1,00	
TT5-TT1	2,27	-3,50	8,05	0,79	
TT3-TT2	-6,07	-11,85	-0,29	0,04	***
TT4-TT2	-7,14	-12,91	-1,36	0,01	***
TT5-TT2	-5,20	-10,98	0,57	0,09	
TT4-TT3	-1,07	-6,85	4,71	0,98	
TT5-TT3	0,87	-4,91	6,64	0,99	
TT5-TT4	1,94	-3,84	7,71	0,87	

*** Indica diferencia estadística entre los tratamientos

En contraste, el tratamiento TT1 (clasificación en los tres puntos del proceso de beneficio) tuvo un FC promedio de 5,87 kg y un FR de 97,22 kg. Esto evidencia que la clasificación retiene impurezas en las etapas tempranas del proceso, mejora la calidad del grano y, en consecuencia, permite obtener más café excelso por unidad de pergamino seco, aunque se requieran más frutos inicialmente. Los factores de conversión obtenidos en este estudio presentan características similares a los reportados por (Montilla-Pérez et al., 2008).

Considerando un rendimiento de mano de obra de 3,43 jornales en el beneficio húmedo y secado por carga de café pergamino seco lo que coincide con lo reportado por (Salazar et al.,

2019) el cual tiene un precio de \$192.118,30, se calculó la Relación Beneficio-Costo (B/C) para cada tratamiento con base en los ingresos según el factor de rendimiento (FR). El tratamiento TT1 presentó la mayor rentabilidad (B/C = 9,57), seguido por TT4 (9,54) y TT3 (9,47), todos ellos estadísticamente similares en términos del FR según la prueba de Tukey. Aunque el tratamiento TT5 obtuvo una relación B/C ligeramente menor (9,36), aún se mantuvo dentro de un rango competitivo. En contraste, el tratamiento TT2, que no implementó prácticas de clasificación ni recuperación, presentó la menor relación B/C de 9,0. Estos resultados evidencian que, la aplicación de las prácticas 7P® en el beneficio, mejora consistentemente la calidad física del café y en consecuencia la rentabilidad para el productor.

Desde una perspectiva económica, un menor FC puede parecer ventajoso por requerir menos frutos de café, pero los descuentos asociados a la baja calidad del pergamino seco cuestionan esa apreciación. Mientras que, un proceso más riguroso, como el de los tratamientos TT1, TT3, TT4 y TT5, garantiza un producto con mayores estándares de calidad y un precio superior en el mercado.

Análisis de los tratamientos de pasillas

Sanz-Uribe et al. (2018) recomiendan procesar las pasillas por separado para agregar valor al subproducto y mejorar los ingresos del productor. Dado que esta actividad no implica costos adicionales significativos, la recuperación de café de buena calidad desde las pasillas representa una ganancia neta, lo que mejora la relación beneficio-costos del proceso.

Los tratamientos en los cuales se utilizó zaranda (TT1 y TT4), registraron porcentajes de café pergamino en buen estado dentro de las pasillas iguales a 49,54% y 56,29%, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Imbachí et al. (2023),

quienes destacan que las nuevas variedades de café desarrolladas por Cenicafé tienden a presentar granos de mayor tamaño exigiendo perforaciones de la zaranda entre 8,0 y 8,5 mm. En este contexto, una selección inadecuada del tamaño de perforación en la zaranda puede ocasionar pérdidas considerables de granos de buena calidad. Lo anterior sugiere que una parte significativa del grano descartado puede ser recuperado. Incluso en el tratamiento TT5, donde no se usó zaranda, se obtuvo un 30,79% de granos buenos, lo que resalta la importancia económica de recuperar este café de buena calidad.

Desde una perspectiva más amplia, esta estrategia puede entenderse como una medida de adaptación dentro de un sistema productivo resiliente. En línea con el enfoque de sistemas adaptativos complejos propuesto por Holling (1973), prácticas como la selección adecuada de zarandas y el procesamiento diferenciado de pasillas permiten al beneficio de café ajustarse a nuevas condiciones como las características físicas de las nuevas variedades, sin comprometer su estabilidad ni aumentar su vulnerabilidad operativa.

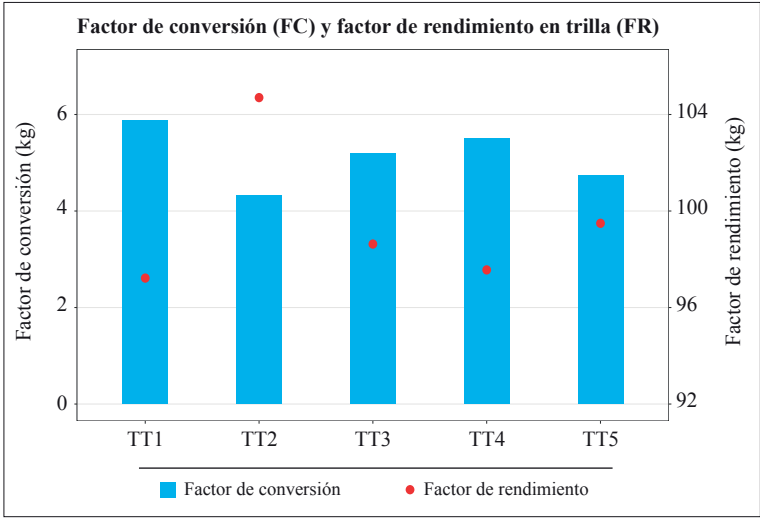


Figura 4. Comportamiento del factor de conversión (barras azules) y el factor de rendimiento (puntos rojos) en cada uno de los tratamientos.

Con base en el precio interno promedio para 2024 por carga de 125 kg de café pergamino seco (FR = 94), la Figura 5 ilustra el precio de venta (PV), los ingresos recuperados (IR) por la recuperación de granos buenos en la pasilla, el total de ingresos ajustados (PVIR) y el porcentaje de recuperación para cada tratamiento. En particular, el tratamiento TT1 generó un ingreso adicional de \$137.116,93, alcanzando un total de \$1.687.502,91 (incremento del 8,8%). El tratamiento TT4 generó un 7,1% adicional, y el tratamiento TT3 un 4,6%. Aunque el tratamiento TT5 tuvo el mayor precio de venta (PV) inicial, su recuperación fue de apenas 1,6%. El tratamiento TT2 no generó pasillas y, por tanto, no aplicó para esta evaluación.

Estos resultados indican que la rentabilidad del proceso de beneficio no depende únicamente del precio base del café pergamino seco, sino

también de la capacidad del sistema para recuperar café de buena calidad presente en las pasillas. La adopción de estrategias de clasificación y recuperación permite incrementar los ingresos sin necesidad de mayores insumos ni inversión adicional.

Actividad 2: Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0,05$) en términos del precio del café pergamino seco obtenido por cada 100 kg de frutos. El tratamiento con despulpadora calibrada (TT1) presentó un precio promedio de \$286.855,70, mientras que el tratamiento sin calibración (TT2) obtuvo un valor promedio de \$188.336,30, además de una mayor variabilidad entre repeticiones (Tabla 4).

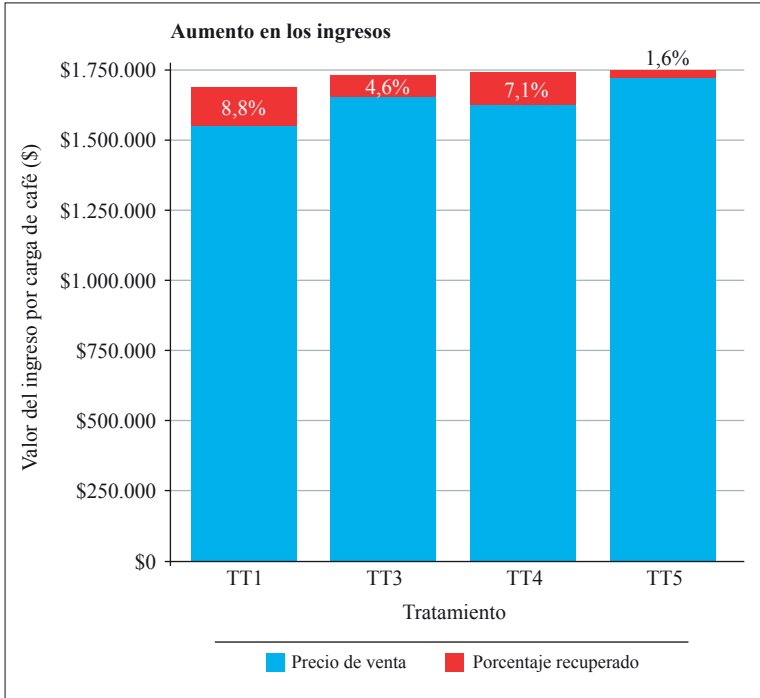


Figura 5. Aumento en los ingresos al implementar proceso de recuperación de pasilla.

Tabla 4. Precio promedio del café pergamino seco (por 100 kg de frutos) según tratamiento, con medidas de dispersión.

Trata- mientos	Promedio	Des. Estándar	Q1	Q2	Q3	Mínimo	Máximo
TT1	\$ 286.855,70	\$ 26.668,76	\$ 271.330,40	\$ 285.482,30	\$ 298.624,10	\$ 253.666,20	\$ 339.206,20
TT2	\$ 188.336,30	\$ 61.447,00	\$ 130.663,10	\$ 181.420,10	\$ 241.175,70	\$ 122.027,80	\$ 278.577,80

Esta diferencia de precios puede explicarse, en parte, por la pérdida de grano de buena calidad observada en el tratamiento sin calibración (TT2). En este caso, se encontró que la pulpa contenía entre 11,11% y 42,86% de granos en buen estado, con un promedio del 26,55%, lo que generó una pérdida física de café del 30,93% y una disminución promedio en los ingresos del 40,56%. La Figura 6 ilustra la variación en los ingresos entre tratamientos. En el TT2 (sin mantenimiento), las pérdidas oscilaron entre un 3,16% y un 73,83%, mientras que en el TT1 (con mantenimiento) se observó una producción estable y eficiente.

Estos hallazgos resaltan la importancia de realizar mantenimiento, limpieza y calibración periódicos a la despulpadora. La falta de mantenimiento y calibración ocasiona pérdidas directas de café de buena calidad, ya sea por su paso a la pulpa o por daño físico del grano. Así mismo, la ausencia de limpieza favorece la acumulación de mucílago, pulpa y material en descomposición, lo cual induce desgaste prematuro de los componentes, reduce la eficiencia del despulpado y provoca pérdidas adicionales de grano por expulsión inadecuada o deslizamiento sobre superficies contaminadas. Esto disminuye la eficiencia del proceso y compromete la rentabilidad del cultivo, además de generar un desperdicio de recursos productivos, tierra, fertilizantes y mano de obra, que incrementa el costo por arroba producida.

A partir de los precios promedio obtenidos por cada tratamiento, se calculó la Relación Beneficio-Costo (B/C) para evaluar el efecto económico de realizar mantenimiento, limpieza y calibración a la despulpadora. El tratamiento con calibración (TT1) generó ingresos promedio de \$286.855,70 por cada 100 kg de frutos, mientras que el tratamiento sin calibración (TT2) apenas alcanzó \$188.336,30. Considerando un costo de beneficio proporcional de \$26.666,66 por cada 100 kg de frutos, la relación B/C fue de 10,76 para TT1 y de 7,06 para TT2. Esta diferencia representa un incremento del 52,3% en la relación B/C a favor del tratamiento calibrado, lo que demuestra que el mantenimiento preventivo de la despulpadora mejora significativamente la rentabilidad del proceso al reducir las pérdidas por defectos, sin necesidad de incurrir en nuevos costos fijos.

Replicando el modelo de simulación propuesto por Duque-Orrego et al. (2021), considerando un precio promedio de venta para 2024 de \$188.044/@ y productividad nacional promedio de 125@ ha⁻¹, se estimó que, con una pérdida del 40,56% como la observada en este estudio, un caficultor dejaría de percibir aproximadamente \$9.580.841,80 ha⁻¹, y el costo de realizar mantenimiento, limpieza y calibración de la maquina despulpadora se cubre con el 2% del dinero que está dejando de percibir.

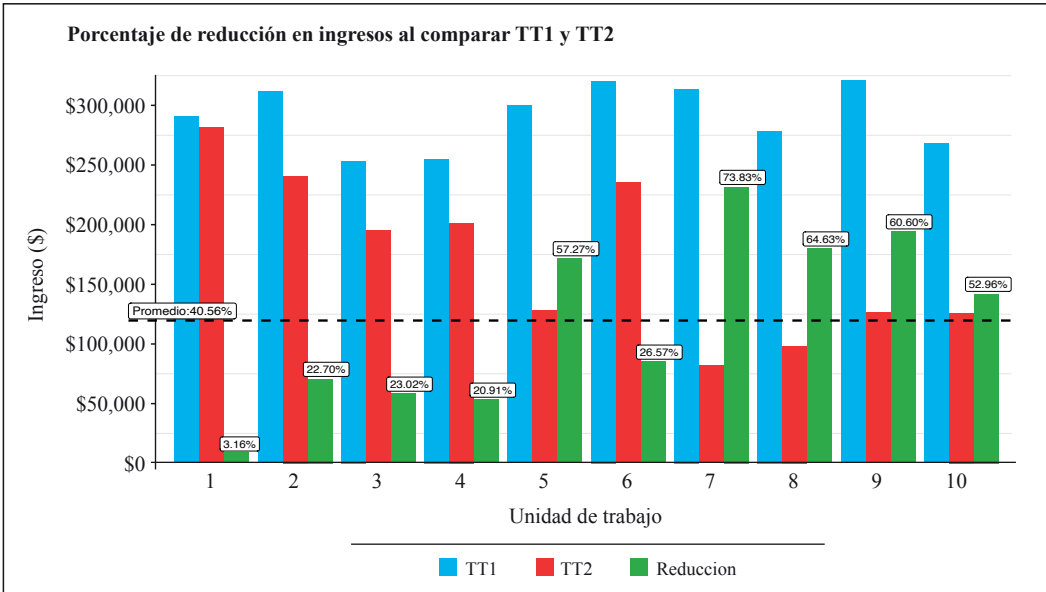


Figura 6. Reducción porcentual de los ingresos por repetición o unidad de trabajo.

Evaluación del proceso de beneficio realizado por los caficultores, frente al proceso de beneficio recomendado por Cenicafé, conocido como las 7 P

- En la comparación entre el proceso del caficultor y el proceso 7P®, se encontró que:
- El 100% de los caficultores clasifican el café durante el lavado.
- Solo el 33% aplica clasificación en las tres etapas del beneficio.
- El 25% cuenta con desmucilagador y tolva húmeda, mientras que el 75% restante utiliza tolva seca y lavado en tanque con la técnica de los cuatro enjuagues.
- Cuando el volumen de café es reducido, los productores tienden a juntar café despulpado de varios días.

- Ninguno de los caficultores hacía uso de la herramienta Fermaestro®, la cual indica el momento ideal de lavado del grano (Peñuela-Martínez et al., 2013).

Estos resultados difieren de los reportados por Aristizabal & Duque-Orrego (2005), quienes señalaron que el 94% de los caficultores clasifican el café. A partir de estos resultados se procedió a indagar en qué momento se realizaba el subproceso, encontraron que el 56% de los productores clasifica el café después del despulpado y el 90% de ellos lo hace al momento de lavar el café.

Respecto a la calidad de recolección, todos los productores evaluados lograron altos estándares según Cromacafé® desarrollado por Peñuela-Martínez, Guerrero, et al. (2022). con más del 85% de frutos en estados 4, 5 y 6, y menos del 1,5% en estados 1 y 2.

La Figura 7, muestra la dispersión de los FR obtenidos en finca, en la cual se observa una variabilidad más alta (con valores extremos como 122,38), es decir, hay una inconsistencia en la eficiencia del proceso, causada por fallas en el manejo del beneficio. Esta variabilidad genera incertidumbre en los costos y en los rendimientos al productor. Comparando el FR, entre los dos métodos de procesamiento: el método ejecutado por cada caficultor en finca y el recomendado por Cenicafé en las 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al., 2022). El FR óptimo en finca fue de 92,33 kg, mientras que en la central de beneficio fue de 90,01 kg, lo que indica que se necesita menos café pergamino seco para obtener la misma cantidad de café excelso si se sigue el proceso técnico estandarizado.

Finalmente, al comparar el proceso de beneficio realizado por los caficultores

con el proceso técnico estandarizado 7P® recomendado por Cenicafé, se evidenció una mejora económica integral. El ingreso promedio por carga de café pergamino seco fue de \$1.942.374,83 bajo el proceso 7P®, frente a \$1.894.294,29 en el proceso de beneficio realizado por los caficultores, lo que representa una ganancia directa de \$48.080,54 por carga. Sin embargo, al considerar también la recuperación de granos buenos presentes en las pasillas, valorada en \$137.116,93 por carga según los resultados obtenidos anteriormente, el ingreso total ajustado del proceso 7P® asciende a \$2.079.491,76.

La Relación Beneficio-Costo (B/C) a 10,82 para el proceso 7P®, frente a 9,86 del proceso realizado por los caficultores, considerando un costo de beneficio constante de \$192.118,30 por carga.

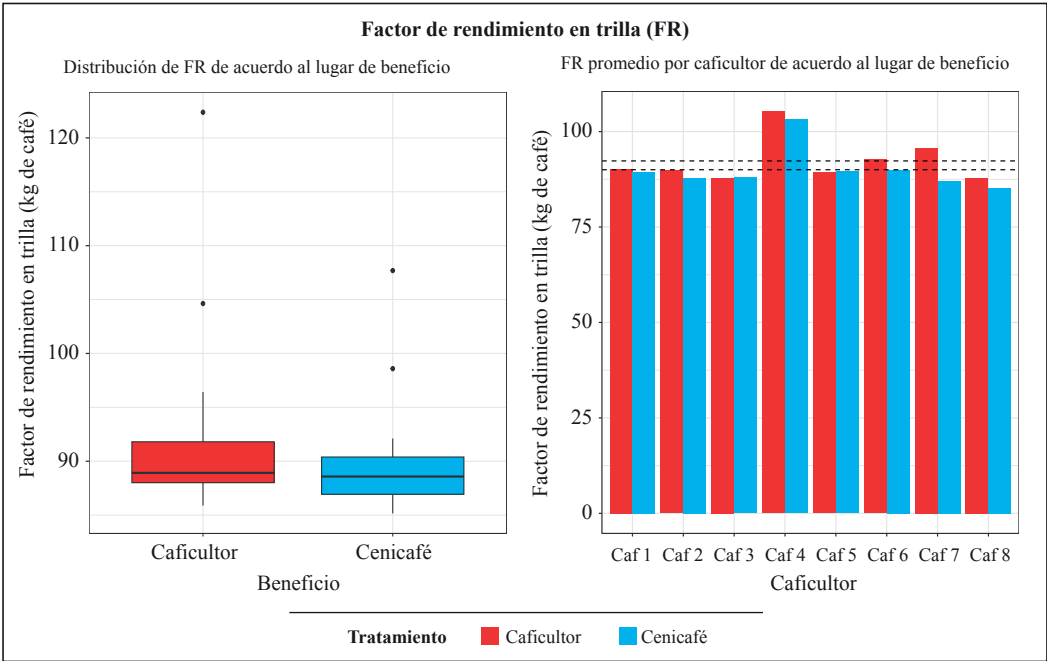


Figura 7. Factores de rendimiento caficultores vs. Proceso 7P®

Estos resultados demuestran que la implementación de prácticas estandarizadas como la clasificación en todas las etapas del beneficio, el uso de la herramienta Fermaestro® y el procesamiento separado de pasillas mejora la calidad física y reduce pérdidas económicas, así mismo, maximiza los ingresos del productor con inversiones mínimas adicionales. En efecto, el proceso 7P® constituye una estrategia técnica y económicamente rentable.

Puede concluirse que:

Los resultados de este estudio evidencian que el uso de prácticas técnicas estandarizadas durante el proceso de beneficio del café tiene un impacto positivo y significativo en la calidad del producto y en la rentabilidad económica para el caficultor. En particular:

La ausencia de clasificación en el beneficio húmedo incrementa el factor de rendimiento, disminuye la calidad del grano y genera pérdidas económicas, al requerir mayor cantidad de pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. La implementación de clasificación en los tres puntos del proceso (TT1) mejoró notablemente los indicadores técnicos y comerciales.

La recuperación de pasillas con contenido de café de buena calidad, especialmente en tratamientos con uso de zaranda, demostró ser una estrategia viable para aumentar los ingresos hasta en un 8,8%, sin necesidad de inversiones adicionales.

La falta de mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora se asoció con pérdidas físicas de café superiores al 30% y reducciones en los ingresos promedio del 40,56%, con impactos económicos que podrían superar los \$9.500.000 por hectárea al año.

En la comparación entre el proceso del caficultor en finca y el modelo 7P®, se evidenció que el proceso estandarizado permite alcanzar un mejor factor de rendimiento, asociado a mayores ingresos por carga comercializada y mayor estabilidad productiva.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de promover la adopción del proceso 7P® en los sistemas productivos cafeteros, así como de fortalecer los programas de capacitación y transferencia tecnológica que garanticen su implementación. La optimización del proceso de beneficio no solo mejora la calidad del café colombiano, sino que representa una oportunidad concreta para aumentar los ingresos y sostenibilidad económica del sector.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores que participaron en el estudio. Al personal de apoyo The People Company. A las disciplinas de Poscosecha y Experimentación. Al Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de Caldas y la Cooperativa de Caficultores de Manizales. Esta investigación fue financiada con recursos del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (Crossref Funder ID 100019597), proyecto ECO102008.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: **HMSE**, **DFAC**; Administración de proyecto, Curación de datos: **DFAC**; Análisis formal: **DFAC**, **BEMR** y **HMSE**; Redacción - borrador original: **DFAC** y **BEMR**; Redacción - revisión y edición: **HMSE**, **DFAC** y **BEMR**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

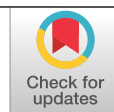
- Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 12(2), 322-343. <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v11n2/cofin22217.pdf>
- Aristizabal, C., & Duque-Orrego, H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Revista Cenicafé*, 56(4), 299-318.
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022a). *Aprenda a vender su café*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022b). *Tabla precio interno de referencia para la compra de café en Colombia*. https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/precio_cafe.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2024). *SIC@—Sistema de Información Cafetera de Colombia [Plataforma]*. <https://sica.cafedecolombia.com/sica/faces/index.jsp>
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Guerrero, Á., Sanz-Urbe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Ramírez, C. A. (2022). Mediverdes®: Un método para medir la calidad de la recolección del café en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 536, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0536>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Imbachí, L. C., Medina-Rivera, R., & Sanz-Urbe, J. R. (2023). Caracterización del tamaño de los granos de café despulpados en nuevas variedades de café. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74206. <https://doi.org/10.38141/10778/74206>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1985). *NTC 2090. Maquinaria agrícola. Despulpadoras de café*. <https://tienda.icontec.org/gp-maquinaria-agricola-despulpadoras-de-cafe-ntc2090-1985.html>
- López, G. A., Correa Vallejo, M. J., & Estrada-Márquez, M. L. (2021). Caracterización de la cadena de suministro de los cafés especiales de Belén de Umbria, Risaralda, Colombia. *Scientia et Technica*, 26(04), 449-460. <https://doi.org/10.22517/23447214.23911>
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizabal-Loaiza, M., Montoya, E. C., Puerta-Quintero, G. I., & Oliveros-Tascón, C. E. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé*, 370, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0370>
- Oliveros-Tascón, C. E., Rodríguez-Valencia, N., Ramírez, C. A., Sanz-Urbe, J. R., & Velásquez-Henao, J. (2020). Método de las dos canecas: Para separar flotes en pequeños lotes de frutos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 519, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0519>
- Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Montoya-Restrepo, E. C., & Moreno-Cárdenas, E. L. (2010). Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. *Revista Cenicafé*, 60(3), 229-238. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/226>
- Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez-Gómez, C. A., & Mejía-González, C. A. (2007). Separador hidráulico de tolva Y tornillo sinfin. *Avances Técnicos Cenicafé*, 360, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0360>
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, A., & Sanz-Urbe, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>
- Peñuela-Martínez, A. E., Pabón, J., & Sanz-Urbe, J. R. (2013). Método fermaestro: Para determinar la finalización de la fermentación del mucílago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0431>
- Peñuela, A. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más

- productividad, más calidad (3a ed., pp. 189–218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Uribe, J. R., Guerrero, A., & Ramírez, C. A. (2022). Siete prácticas en el beneficio para obtener café de buena calidad—Proceso 7P®. *Avances Técnicos Cenicafé*, 546, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0546>
- Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136–150. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/65>
- Puerta, G. I. (2006). Sistema de aseguramiento de la calidad y la inocuidad del café en la finca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 351, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0351>
- Salazar, H. M., Gallego, C. H., Castrillón-García, J. R., Álvarez, L. A., & Marín, S. M. (2019). *Indicadores de rendimiento de mano de obra—Café* [Aplicación móvil]. <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/sof/article/view/2227>
- Sanz-Uribe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). *Cómo agregar valor a las pasillas en las fincas cafeteras*. Cenicafé.

EVALUACIÓN DE CEBOS QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y FORMICIDAS TERMONEBULIZABLES, PARA CONTROL DE *Atta cephalotes* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

Luis Miguel Constantino Chuairé *, Carmenza Esther Góngora Botero **, Héctor Flavio Álvarez Agudelo ***, John Félix Trejos Pinzón ***, Daniel Antonio Franco Chaurra ***, Beatriz Eugenia Mira Rada ****, Pablo Benavides Machado *

Constantino, L. M., Góngora, C. E., Álvarez-Agudelo, H. F., Trejos Pinzón, J. F., Franco, D. A., Mira-Rada, & B. E., Benavides, P. (2025). Evaluación de cebos químicos, biológicos y formicidas termonebulizables, para control de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Cenicafé*, 76(2), e76204. <https://doi.org/10.38141/10778/76204>



Ante la prohibición del uso de clorpirifos y fipronil, se evaluaron cebos formicidas alternativos e insecticidas para el control de *Atta cephalotes*, empleando *Trichoderma* sp. como antagonista del hongo simbiote de la hormiga, así como los entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, junto con los insecticidas químicos abamectina, cipermetrina, indoxacarb y thiamethoxam+ciproconazole. Para evaluar el antagonismo de *Trichoderma*, se sembró junto a *Leucoagaricus gongylophorus* (hongo simbiote de *A. cephalotes*), logrando invadirlo, inhibirlo y necrosarlo en cinco días. En las pruebas de patogenicidad se expusieron obreras adultas a una concentración de *M. anisopliae* o *B. bassiana* a 1×10^7 conidias/mL dentro de viales de vidrio con agar y micelio de *L. gongylophorus* como alimento, con 25 repeticiones por tratamiento. *M. anisopliae* y *B. bassiana* causaron mortalidad total a los tres y cinco días, respectivamente. Para el control de nidos, se aplicaron cebos con *Trichoderma* y *M. anisopliae* (1×10^7 conidias/mL) e insecticidas en hojuelas de avena sobre nidos de 5,0 m², con cinco repeticiones por tratamiento. Se evaluó la actividad de forrajeo a los 0, 5, 10, 15 y 20 días, alcanzando un 100% de control con *Metarhizium* y *Trichoderma* al día 20. Indoxacarb eliminó los nidos al día diez y thiamethoxam+ciproconazole al día 15. En nidos grandes (>50 m²) se aplicó termonebulización con 50 cm³ de insecticida por litro de ACPM, durante un minuto por cada 10 m². Cipermetrina 200EC logró control total al día cinco, superando a los demás tratamientos. Estos resultados ofrecen alternativas biológicas y químicas viables para el manejo de *A. cephalotes* en el campo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, control biológico, hormigas cortadoras, *Leucoagaricus gongylophorus*, *Metarhizium anisopliae*, *Trichoderma*, café, Cenicafé, Colombia.

EVALUATION OF CHEMICAL, BIOLOGICAL, AND THERMONEBULIZABLE FORMICIDES BAITS FOR CONTROL OF *Atta cephalotes* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

Following the ban on chlorpyrifos and fipronil, alternative formicidal baits and insecticides were evaluated for *Atta cephalotes* control. These included the biological agents *Trichoderma* sp. (an antagonist of the ant's symbiotic fungus), *Metarhizium anisopliae*, and *Beauveria bassiana*, along with the chemical insecticides: abamectina, cipermetrina, indoxacarb and thiamethoxam+ciproconazole. To evaluate the antagonism of *Trichoderma*, it was co-cultured with *Leucoagaricus gongylophorus* (symbiotic fungus of *A. cephalotes*), successfully invading, inhibiting, and causing necrosis within five days. In pathogenicity tests, adult worker ants were exposed to *M. anisopliae* or *B. bassiana* at 1×10^7 conidia/ml in glass vials containing agar and *L. gongylophorus* mycelium as food, with 25 replicates per treatment. *M. anisopliae* and *B. bassiana* caused total mortality at three and five days, respectively. For nest control, baits with *Trichoderma* and *M. anisopliae* (1×10^7 conidia/ml) and insecticides were applied on oat flakes over 5 m² nests, with five replicates per treatment. Foraging activity was assessed on days 0, 5, 10, 15, and 20, achieving 100% control with *Metarhizium* and *Trichoderma* by day 20. Indoxacarb eliminated nests by day 10 and thiamethoxam + ciproconazole by day 15. In large nests (>50 m²), thermonebulization was applied using 50 cm³ of insecticide per liter of diesel (ACPM), for one minute per 10 m². Cypermethrin 200 EC achieved total control by day 5, outperforming the other treatments. These results offer viable biological and chemical alternatives for the field management of *A. cephalotes*.

Keywords: *Coffea arabica*, biological control, leaf-cutting ants, *Leucoagaricus gongylophorus*, *Metarhizium anisopliae*, *Trichoderma*, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Senior e Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8117-5803> y <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>, respectivamente.

** Investigador Científico III. Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3633-1077>

*** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856> y <https://orcid.org/0000-0002-3358-3260>, respectivamente.

**** Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5683-7190>

Las hormigas arrieras o cortadoras de hojas pertenecientes a los géneros *Atta* y *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae), son una de las principales plagas limitantes de la producción agrícola en la región andina del país, donde se han registrado afectando cultivos de pancoger, agrícolas, forestales y ornamentales, causando la defoliación total o parcial de las plantas, lo cual incide en la baja producción, reducción de crecimiento y hasta la muerte de las plantas, cuando la incidencia del ataque es continuo (Madrigal y Yepes, 1997; Fernández et al., 2015; Castaño-Quintana, 2019). Son insectos sociales, es decir, la población de cada colonia está conformada por individuos morfológicamente diferentes y su tamaño está relacionado con la función que cada uno de ellos cumple en el hormiguero. Las castas que componen un hormiguero son la reina alada (hembra fértil), el macho alado y las obreras estériles, conformadas por las hormigas cortadoras, las cargadoras, las jardineras, las escoltas y los soldados (Benavides, 1971; Madrigal y Yepes, 1997). La reina tiene como función la multiplicación de la colonia, puede vivir hasta 15 años, durante los cuales pone aproximadamente un millón de huevos por año (Madrigal, 2003). Las obreras y jardineras cultivan el hongo simbionte *Leucoagaricus gongylophorus* del cual las hormigas se alimentan (López y Orduz, 2002).

Con frecuencia se observan las obreras de hormiga arriera atacando almacigos de café y plantas jóvenes en cafetales, ocasionando una defoliación considerable y retraso en su desarrollo. Para controlar es necesario definir estrategias de manejo integrado de hormiga arriera para evitar que causen daños económicos y ambientales, en las zonas productivas agrícolas y forestales (Ramos y Patiño, 2002; Constantino, 2008).

Actualmente no existen alternativas eficaces para el manejo de la hormiga arriera en el país. Existe desconocimiento biológico y

ecológico del insecto por parte de la mayoría de caficultores, los cuales casi no hacen manejo de hormiga arriera (Constantino, 2008). La estrategia de reducir las poblaciones muchas veces falla, porque tiende a hacerse de forma individual. Por lo tanto, es necesario que el control sea comunitario, involucrando varios miembros de una vereda o vecinos de diferentes fincas, para que sea efectivo, conformando brigadas de control, ubicando los nidos por zonas de trabajo, una vez ubicados se deben limpiar y desyerbar, así como contabilizar el número de bocas de cada nido, ubicar la entrada principal de forrajeo de nidos activos, marcarlos con una estaca y medir los nidos (área en metros cuadrados) (Ramos y Patiño, 2002). La medición de los hormigueros es fundamental para determinar la medida de control más apropiada a realizar y calcular la cantidad de producto necesario a aplicar (Giraldo, 2007; Castaño-Quintana, 2019).

Por otra parte, se recomienda hacer prevención y manejo de nidos pequeños superficiales cuando se encuentran en su etapa inicial, es decir, entre el vuelo nupcial y la apertura del primer y segundo orificio (Madrigal y Yepes, 1997; Madrigal, 2003). El vuelo nupcial ocurre con la llegada de las primeras lluvias para la zona central cafetera en los meses de abril y septiembre, y es la época de apareo de las reinas con los machos. La cópula ocurre en las noches y una vez fecundada, la hembra busca un sitio nuevo para iniciar una nueva colonia. Una vez ubicado el sitio, la reina excava una galería de 20 cm de profundidad en el suelo donde construye una cámara para empezar a colocar huevos (Castaño-Quintana y Rodríguez, 2015). Este es el momento oportuno para cavar y desenterrar la reina para detener la formación del nido. Si no se controlan en el período crítico, al cabo de un año los nidos se profundizan hasta dos metros y en cinco años o más pueden abarcar un área de 100 m² y alcanzar hasta

seis metros de profundidad, dificultándose su control y manejo (Castaño-Quintana, 2019).

La incidencia del problema de hormiga arriera se ha incrementado en los últimos años en el país como consecuencia de la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, lo cual favorece la colonización y expansión del insecto. La deforestación de los bosques nativos y la introducción de monocultivos forestales y frutales, los hace más susceptibles y vulnerables al ataque de la hormiga arriera, al no tener estas otras opciones de forrajeo (Castaño-Quintana, 2019).

Diferentes trabajos hacen referencia a que aproximadamente 47 cultivos agrícolas y hortícolas, 13 especies forrajeras (pastos) y alrededor de 50 especies forestales, tanto nativas como introducidas en diferentes países, son atacados por las hormigas cortadoras de hojas, causando disminuciones en la productividad hasta de un 35% (Montoya et al., 2012). Los nidos de *Atta cephalotes* producen claros en los bosques de entre 80-150 m² y poseen una tasa de consumo estimada entre 11 y 34 kg de material seco por mes, su impacto se relaciona con el corte y transporte de millones de fragmentos de hojas, que pueden alcanzar una cifra anual entre 70 y 500 kg de material vegetal seco por nido (Correa et al., 2016). Se han reportado daños en plantaciones forestales y en bosques nativos. Se estima que, en plantaciones forestales menores de diez años, con más de 30 hormigueros, la producción de madera (m³ ha⁻¹) puede reducirse más del 50% y que un hormiguero adulto puede utilizar entre ocho a diez toneladas anuales de hojas para su mantenimiento (Correa et al., 2016; Castaño et al., 2019). En los pastizales, las especies de *Atta* tienen el potencial de remover cantidades sustanciales de gramíneas, más de lo que cualquier otro insecto plaga puede hacer, reduciendo la capacidad de carga en dichos ecosistemas. La magnitud del daño

depende de la cantidad de hormigueros por hectárea y el uso al que se destina el suelo (Giraldo, 2007).

Los enemigos naturales ejercen un alto porcentaje del control natural de la hormiga arriera durante el vuelo nupcial (más del 80%), representado en depredación de reinas aladas por parte de aves y murciélagos, por lo tanto, su protección mejorará la calidad de su ayuda (Castaño-Quintana, 2019). Igualmente acontece con los armadillos, osos hormigueros y tamandúas que se alimentan de hormigas y ayudan a controlar los hormigueros, desafortunadamente en muchas regiones de la zona cafetera la cacería, el envenenamiento por la fumigación de cultivos y la destrucción de los bosques, han causado su desaparición (Giraldo et al., 2015; Castaño-Quintana, 2019).

Tradicionalmente el control de hormiga arriera en el país se ha realizado con formicidas de síntesis químicas en formulaciones en polvo como el clorpirifos, para insuflarlos en los nidos, por las bocas de forrajeo o entrada de las obreras (Constantino, 2008). Igualmente, existen formulaciones emulsionables como el clorpirifos aplicadas con termonebulizador para nidos grandes, siendo un método muy efectivo de control ya que logra que el producto penetre en forma de humo hasta todas las cámaras del nido (Estrada y Ramos, 2000).

El uso de cebos tóxicos granulados es efectivo y de fácil aplicación. Hasta hace poco, en Colombia se disponían de las siguientes formulaciones comerciales: Attamix SB (i.a. clorpirifos), Blitz (i.a. fipronil) y Attakill (i.a. sulfluramida), desafortunadamente dichos ingredientes activos (i.a) fueron prohibidos y estos cebos se encuentran descontinuados. Actualmente solo existe la formulación comercial Trompa (i.a. abamectina) que es eficaz para el control de arriera; sin embargo, el pellet de este cebo parece ser pesado y

dificulta su transporte por las obreras, se observa ser rechazado con facilidad por las hormigas (Constantino, 2025).

Existen productos biológicos sustitutos a los insecticidas de síntesis química como el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* que infecta a las obreras y la reina causando su muerte y la eliminación del nido al cabo de dos semanas (López y Orduz, 2002). Igualmente se han evaluado los hongos antagonistas *Trichoderma lignorum*, *T. hartzianum* y *T. viridae* que, aplicados en forma de cebos, contaminan el hongo simbionte *L. gongylophorus* que cultiva la hormiga arriera como fuente de alimento, causando la inanición de las hormigas y la eliminación de la colonia (Machado et al., 1998; López y Orduz, 2002; Castro y Martínez, 2008; Castaño-Quintana, 2019). Se requiere por lo tanto evaluar la eficacia de productos alternativos para el control de hormiga arriera y seleccionar los más eficaces, para ofrecerle alternativas de manejo a los caficultores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración. Esta investigación se llevó a cabo en tres Estaciones Experimentales

de Cenicafé (Tabla 1). El proyecto tuvo una duración de un año y medio.

Procedimiento. El trabajo se desarrolló en dos fases. 1). Una fase en laboratorio donde se evaluaron y seleccionaron las cepas de hongos del género *Trichoderma* sp. antagonistas del hongo simbionte de la hormiga arriera *L. gongylophorus*, y se identificó y evaluó la patogenicidad de los hongos entomopatógenos *M. anisopliae* y *Beauveria bassiana* sobre obreras de *Atta cephalotes*; 2.) Una fase de campo sobre nidos activos de *A. cephalotes* donde se evaluaron los cebos impregnados con los hongos entomopatógenos y antagonistas que fueron eficaces en la fase de laboratorio y nuevos formicidas químicos sustitutos al fipronil y clorpirifos.

Fase de laboratorio

Pruebas de antagonismo de cepas de *Trichoderma* frente al hongo simbionte *L. gongylophorus*

Se evaluaron tres cepas de hongos antagonistas de *Trichoderma* spp. nativos que fueron tomados del Cepario de Hongos de Cenicafé. La unidad experimental (UE) estuvo conformada por una caja de Petri conteniendo una cepa de

Tabla 1. Ubicación, área, temperatura y precipitación en tres Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Depto.	Municipio	Coordenadas geográficas		Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)
			Latitud/Longitud	Altitud (m)		
Naranjal	Caldas	Chinchiná	04°58'N 75°39'W	1.381	20,8	2.656
La Catalina	Risaralda	Pereira	04°45'N 75°44'W	1.321	21,6	2.062
Paraguaicito	Quindío	Bellavista	04°24'N 75°44'W	1.203	22,1	2.295

Trichoderma y el *L. gongylophorus*. Se tuvieron nueve UE por tratamiento.

La cepa del hongo simbiote *L. gongylophorus* fue aislado de un nido activo de *A. cephalotes* presente en un terrario de la Disciplina de Entomología de Cenicafé, tomando un trozo de micelio del hongo y sembrándolo en placas Petri de 9,0 cm, conteniendo Papa Dextrosa Agar (PDA) y posteriormente incubados a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante diez días. Se realizaron pruebas de antagonismo in vitro siguiendo la técnica de cultivo dual de Dennis y Webster (1971), en cajas Petri de 9,0 cm, conteniendo PDA. En el extremo de la caja Petri, se ubicó un disco de agar de 5,0 mm de diámetro con micelio de las cepas de *Trichoderma* en estudio y en el extremo opuesto otro disco de agar de *L. gongylophorus*, los cultivos se incubaron a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante diez días, midiendo cada 24 h las variables de respuesta, que correspondía al crecimiento radial en milímetros, del micelio de la colonia de los hongos en estudio. Se calcularon los valores medios de Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) (Ezziyyani et al., 2004).

De las zonas de confluencia de las colonias, se tomaron muestras de micelio y se hicieron montajes para observar al microscopio óptico y verificar la interacción hifal característico de los procesos micoparasíticos de cada organismo.

Pruebas de patogenicidad con *M. anisopliae* y *B. bassiana*

Para las pruebas de patogenicidad se utilizaron formulaciones comerciales de *M. anisopliae* y *B. bassiana* (Bio-Ma y Micosis, Bioprotección, Manizales, Colombia); previamente se evaluó la calidad de las cepas, asegurando una germinación de las conidias a las 24 h de 90% y que la concentración de conidias correspondía a lo indicado en la etiqueta de la formulación. Los hongos formulados se

disolvieron en un volumen de 300 mL de agua a una concentración de 1×10^7 conidias/mL. Como unidad experimental se utilizaron viales de vidrio con una obrera adulta de *A. cephalotes* confinada conteniendo 5,0 mm de agar con micelio de *L. gongylophorus* como alimento. Los insectos fueron sumergidos en las soluciones con cada uno de los hongos, usando 25 hormigas-repeticiones por tratamiento y el testigo, hormigas sumergidas en agua. Para determinar el porcentaje de mortalidad, los viales fueron revisados diariamente durante diez días, registrando el número de hormigas muertas en cada día. Se realizó la prueba de *Mantel-Cox* (Log-Rank test), para contrastar las curvas de supervivencia, con un nivel de significancia de 5% y un valor de $p < 0,0001$.

Fase de campo

Evaluación de cebos

Esta fase se desarrolló en el campo con nidos activos de *A. cephalotes*, objetivo de esta investigación. Con las cepas de hongos entomopatógenos evaluados en la etapa anterior y el hongo comercial Tribiol (*Trichoderma* spp. Bioprotección, Manizales, Colombia), se conformaron los tratamientos que se ilustran en la Tabla 2.

Inventario general y georreferenciación de nidos activos

Una vez ubicados los nidos activos de hormiga arriera, se utilizó un GPS satelital para anotar las coordenadas geográficas de la ubicación del nido en los predios y lotes de cada estación experimental. El censo de los nidos se llevó a cabo registrando: número consecutivo seriado de cada nido, área del nido en metros cuadrados, número de bocas de forrajeo, ubicación (lote) y georreferenciación del nido en grados, minutos y segundos. Posteriormente, se mapearon los hormigueros imprimiendo el croquis de los predios con los puntos de ubicación de los nidos marcados con un número seriado consecutivo.

Tabla 2. Descripción y conformación de tratamientos evaluados.

Tipo de Formicida	Formicida en cebos	Tratamiento
Biológico	<i>Trichoderma hartzianum</i>	Tratamiento 1
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Tratamiento 2
Químico	Insecticida indoxacarb (6,0 cc/60 mL)	Tratamiento 3
	Thiamethoxam + cyproconazole (3,0 g/60 mL)	Tratamiento 4
	Cebo comercial Trompa (i.a. abamectina)	Testigo relativo
Ninguno	Sin aplicación de formicida	Testigo absoluto

Limpieza de hormigueros

Con el fin de identificar el área aparente del hormiguero, se desyerbó con un machete, para poder facilitar la observación y conteo de las bocas de forrajeo (boca del nido).

Medición y clasificación de hormigueros

Una vez limpiado el nido, se procedió a medir la longitud de las bocas más extremas a lo largo y multiplicando por la longitud de las bocas más extremas a lo ancho, con lo cual se obtuvo el área en metros cuadrados del hormiguero. Se clasificaron como hormigueros pequeños aquellos con un área menor de 5 m², con una a tres bocas; medianos aquellos de 5 a 50 m² con tres a diez bocas y grandes los de más de 50 m². Esta información permitió calcular la cantidad de producto necesario para aplicar el control del hormiguero.

Marcación del hormiguero

Para identificar y censar los nidos en el campo y poder hacer el seguimiento, cada nido fue marcado con una estaca de

guadua y un número consecutivo seriado pintado con tinta negra indeleble. Además, se amarraron cintas plásticas de distinto color para determinar rápidamente si el hormiguero había sido inventariado, tratado o controlado. Los siguientes colores de cintas fueron utilizados: rojo, para hormigueros inventariados; amarillo, para hormigueros tratados; blanco, para nidos controlados.

Preparación de los cebos

Para la evaluación de los cebos en el campo se evaluaron cepas comerciales de *T. hartzianum* y *M. anisopliae* (Tabla 2) para el control de nidos activos de *A. cephalotes*. Los cebos con los hongos se prepararon el mismo día de la aplicación.

Como vehículo de aplicación se utilizaron hojuelas de avena enteras, humedecidas con una solución azucarada, conteniendo esporas de los hongos entomopatógenos y/o el antagonista. La preparación manual de un cebo con agentes microbiológicos contuvo:

- 500 g de hojuelas enteras de avena
- 200 mL de agua destilada (pH 7,0)
- 2 cucharadas de azúcar (60 g) como atrayente
- *M. anisoplia* y/o *T. harzianum* a una concentración de 1×10^7 conidias/mL, o los insecticidas en las dosis propuestas (Tabla 2).

Para la preparación del cebo, se colocaron las hojuelas de avena en una bandeja metálica y se fue agregando la mezcla con los insecticidas o los hongos, con un atomizador de mano y revolviendo con la mano, utilizando guantes de nitrilo, hasta humedecerlas lo suficiente, pero evitando que se pegaran y apelmazaran. Posteriormente, se pusieron a secar por una hora a la sombra (Figura 1).

La dosis utilizada para un nido pequeño, de una a tres bocas, fue de 30 g de cebo, en montículos ubicados a 30 cm de la boca de forrajeo de las hormigas y a un lado del camino, utilizando guantes. Para nidos medianos la dosis aplicada fue de 60 g de

cebo; la aplicación de los cebos se hizo con suelo seco y en horas donde no había sol, temprano en la mañana o al final de la tarde. El cebo no se tocó con las manos para evitar que las hormigas detectaran olores extraños y lo rechazaran.

La evaluación del efecto del formicida biológico y/o químico sobre colonias activas de hormigas, se hizo a partir de un diseño de bloques completos al azar donde el factor de bloqueo fue la fecha de montaje del experimento, la unidad experimental fue un nido activo pequeño de hormiga arriera (con un área $< 5 \text{ m}^2$) con una a tres bocas y nidos medianos con tres a diez bocas (con un área de $5\text{-}50 \text{ m}^2$). No se trabajó con nidos grandes ($> 50 \text{ m}^2$). Se evaluaron dos tratamientos biológicos, dos tratamientos químicos, un testigo relativo y un testigo absoluto que correspondió a un nido sin ningún tipo de control.

Evaluación de la aplicación de formicidas líquidos con termonebulizador

Esta actividad se tuvo como alternativa en caso de que ninguno de los tratamientos fuera



Figura 1. Preparación de cebos formicidas de forma manual utilizando hojuelas de avena enteras como vehículo conductor para el control de nidos de *A. cephalotes*. Derecha, una obrera de *A. cephalotes* transportando al nido una hojuela de avena impregnada con esporas de *Trichoderma harzianum*.

eficaz en el control de nidos de hormiga arriera, en particular para nidos grandes con un área mayor de 50 m².

Se evaluaron los insecticidas Ciperex 200 EC (i.a. cipermetrina de uso agrícola), Avaunt 150 EC (i.a. indoxacarb), Engeo SC (i.a. lambdacihalotrina + thiamethoxam) y Verdadero 600 WG (i.a. cyproconazole + thiamethoxam), con efecto de contacto, ingestión e inhalación, y un testigo absoluto que corresponde a un nido sin ningún tipo de control.

Como vehículo de aplicación de los insecticidas en mezcla con ACPM se utilizó un termonebulizador MHS – 36 marca Saeta-Etagro específico para control de hormigas (Figura 2), con las siguientes especificaciones:

- Capacidad del tanque: 14 L
- Capacidad del tanque comb: 2 L
- Alcance: 14 m² min⁻¹
- Peso: 11 kg
- Tipo de motor: 2 tiempos

- Relación de mezcla gasolina: aceite: 25:1
- Modelo del motor: 1E40FP-3Z
- Velocidad del ventilador (rev/min): 6.500-7.000

Usando una concentración de 50 cm³ del insecticida por litro de ACPM, a razón de un minuto de termonebulización por cada 10 m² de hormiguero. Para esto se introdujo la lanza del equipo en la boca principal de forrajeo. Para un óptimo cubrimiento del producto en todo el nido, se esperó hasta que el humo tóxico empezara a salir por los orificios de ventilación del nido, en ese momento se taparon los orificios de salida haciendo presión con una pisada fuerte sobre las bocas del nido para que el producto no se perdiera por volatilización. Se tuvieron diez repeticiones por tratamiento.

Análisis estadístico

En ambas evaluaciones, tanto para los formicidas biológicos como para los químicos, la variable de respuesta fue el porcentaje de mortalidad (tasa de inactividad del hormiguero), contabilizando el número de obreras por minuto



Figura 2. Empleo de un equipo termonebulizador para el control de nidos grandes de *A. cephalotes* en lotes de café infestados.

que pasan por un punto fijo del camino de forrajeo al día 0, 5, 10, 15 y 20 después de aplicados los tratamientos. La inactividad total del hormiguero al día 20 después de aplicado los tratamientos, fue el criterio tomado para determinar un 100% de control en comparación al testigo absoluto.

El análisis de la información consistió en: estimar el promedio y error estándar por tratamiento (producto formicida y testigo), para la variable de respuesta; análisis de varianza de una vía, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar al 5%. Para los análisis que mostraron efecto de tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Dunnett al 5% para compararlos frente al testigo absoluto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase de laboratorio

Pruebas de antagonismo de cepas de *Trichoderma* frente al hongo simbiote *L. gongylophorus*

Se muestran las pruebas de antagonismo entre el hongo *Trichoderma* cepa T054 y el hongo simbiote de la hormiga arriera *L. gongylophorus*, aislado en medio de cultivo PDA (Figuras 3 y 4).

La cepa T054 proveniente del Cepario de Hongos de Cenicafé presentó el mejor efecto de antagonismo frente al hongo simbiote de la hormiga arriera *L. gongylophorus*. Igualmente fue la cepa que presentó mayor porcentaje de germinación (>95%). De acuerdo a la escala de clasificación de antagonismo de Bell et al. (1982) siguiendo el crecimiento radial del micelio de la colonia de los hongos en estudio, el valor medio de porcentaje de inhibición del crecimiento radial de *Trichoderma* cepa T054 fue del 100% al día 7. En la Figura 4 se aprecia como el hongo *Trichoderma* invade la

caja de Petri y esporula sobre *Leucoagaricus* inhibiendo su crecimiento y desarrollo.

Esta misma cepa de *Trichoderma* causó mortalidades del 100% en las obreras de *A. cephalotes* cuando el hongo fue asperjado directamente sobre trozos de estromas de *L. gongylophorus* conteniendo obreras activas en condiciones de laboratorio. *Trichoderma* cepa T054 causó necrosis en los estromas de *L. gongylophorus* y esporuló a los siete días después de asperjada la solución causando la muerte del hongo simbiote, lo cual ocasionó también la muerte de las obreras de hormiga arriera por inanición al no tener opción de alimento, en comparación al testigo donde no se aplicó *Trichoderma* sp.

Trichoderma es un hongo antagonista que se ha usado como fungicida biológico en varios cultivos para controlar enfermedades en las plantas, ya que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de otros hongos. Es seguro para las personas, el medio ambiente y las plantas, y no deja residuos en el suelo (Poveda, 2021). En este sentido, se ha comprobado el micoparasitismo que ejerce *Trichoderma* in vitro sobre el hongo *L. gongylophorus*, simbiote de *Acromyrmex pubescens* (Castillo et al., 2016) y de *A. cephalotes* (Ortiz y Orduz, 2001). Estos autores indican que a partir de los resultados in vitro, se aplicaron esporas de *T. viride* a salvado de trigo, también utilizado por *A. cephalotes* como sustrato de crecimiento de su hongo simbiote, reportándose la mortalidad del 100% de las hormigas en 40 días por inanición (López y Orduz, 2003). Con base en este mecanismo de acción, se ha sugerido que existen especies vegetales que favorecen la colonización de sus tejidos por *Trichoderma*, de manera que, al ser llevadas al nido por las hormigas cortadoras de hojas (*Atta*), *Trichoderma* micoparasita a los hongos simbioses, actuando como

una estrategia de control natural (López y Orduz, 2002).

Pruebas de patogenicidad con *M. anisopliae* y *B. bassiana*

En la Figura 5 se presenta el resultado de la probabilidad de supervivencia de obreras de *A. cephalotes* expuestas a dos formulaciones comerciales de *M. anisopliae* y *B. bassiana*. A partir de la prueba de *Mantel-Cox* (Log-

Rank test), se contrastaron las curvas de supervivencia, con un nivel de significancia de 5% y un valor de $p < 0,0001$, se concluye que existe diferencia estadística significativa en la supervivencia (mortalidad) de las obreras expuestas a los diferentes cebos y el testigo. Las pruebas de patogenicidad con *M. anisopliae* mostraron mortalidades del 100% de las hormigas a los tres días de aplicados los tratamientos, mientras que con

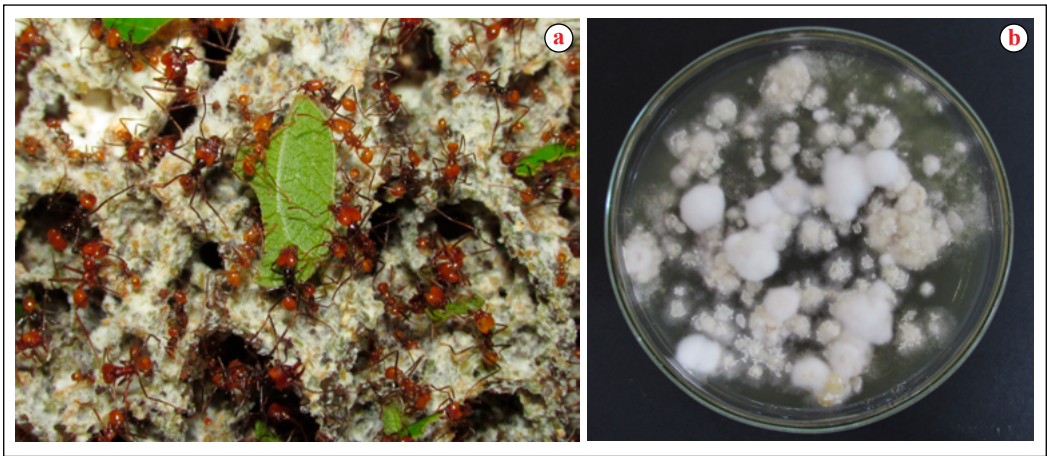


Figura 3. A. Nido de *A. cephalotes*; **B.** Aislamiento en medio de cultivo PDA del hongo simbionte de la hormiga arriera *L. gongylophorus*.

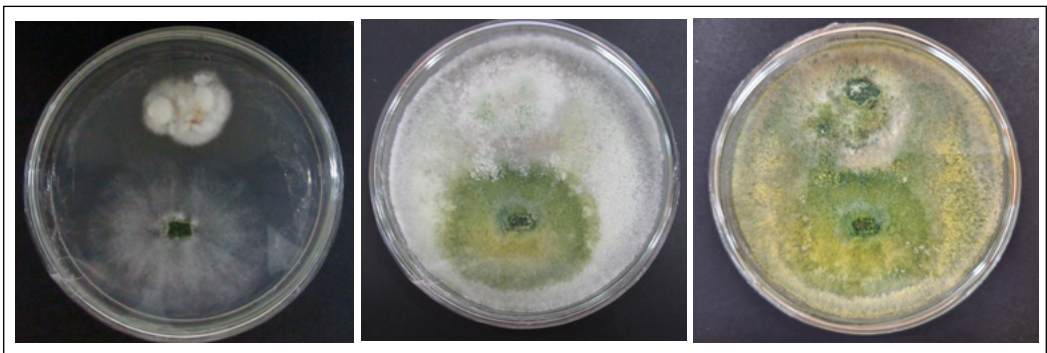


Figura 4. Pruebas de antagonismo entre *Trichoderma* (parte inferior) y el hongo simbionte de la hormiga arriera *L. gongylophorus* (parte superior). *Trichoderma* invade y esporula sobre *Leucoagaricus* en siete días inhibiendo su desarrollo.

B. bassiana se alcanzó el 100% de mortalidad a los cinco días de aplicados los tratamientos, en comparación al testigo absoluto. La Figura 6 muestra los signos de infección tanto de *M. anisopliae* como de *B. bassiana* en obreras de *A. cephalotes* luego de 23 días de evaluación.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Castro y Martínez (2008) y Castaño y Rodríguez (2015), quienes evaluaron la eficacia de *M. anisopliae* y *B. bassiana* para controlar nidos activos de *A. cephalotes* utilizando diversas técnicas de aplicación. El uso de productos biológicos como alternativa al control químico convencional, se constituye en una alternativa ambientalmente viable para

el control de nidos de hormiga arriera, además de que son productos inocuos al hombre y al medio ambiente.

Fase de campo

En las Figuras 7, 8 y 9 se presentan los resultados de la evaluación de cebos formicidas biológicos a base de *T. harzianum* y *M. anisopliae*. Se observa la distribución del flujo de obreras por minuto registrado para cada uno de los formicidas, incluyendo el testigo relativo Trompa (i.a abamectina) y el testigo absoluto, sobre nidos activos de *A. cephalotes* de tres tamaños (pequeños, medianos y grandes) en la Estación Experimental La Catalina.

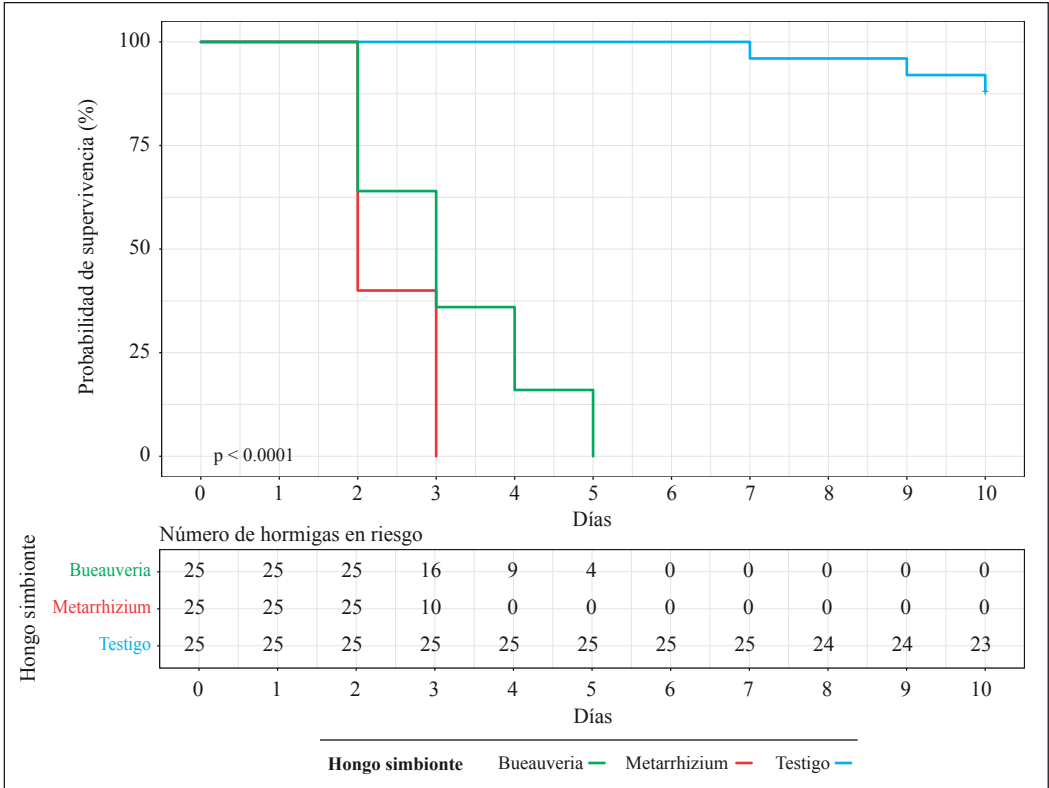


Figura 5. Curvas de supervivencia de obreras de *A. cephalotes* expuestas a *B. bassiana*, *M. anisopliae* y un testigo absoluto.



Figura 6. Signos de infección de los hongos entomopatógenos *M. anisopliae* (a) y *B. bassiana* (b) sobre obreras de *A. cephalotes*.

Un análisis de varianza de una vía mostró un efecto significativo del cebo sobre el flujo de hormigas obreras por minuto. En consecuencia, para cada tamaño de nido y en cada uno de los tiempos de evaluación, se compararon los cebos formicidas biológicos con los testigos. La prueba de comparación de medias de Dunnett, con un nivel de significancia del 5%, indicó que el flujo de hormigas obreras difirió estadísticamente entre los tratamientos y los testigos a partir del día cinco. En la comparación de eficacia entre Trompa (testigo relativo) y los cebos formicidas biológicos, se encontró que, en nidos pequeños (Figura 7), no hubo diferencias estadísticas significativas en el flujo de obreras por minuto entre los nidos tratados con *M. anisopliae* o *Trichoderma* sp. y aquellos tratados con Trompa. La mortalidad total de las obreras se alcanzó después del día 15 de aplicados los cebos con abamectina y del día 20 con *Trichoderma* y *Metarhizium* (Figura 7).

En nidos medianos (Figura 8), se observa efecto de los cebos con *Trichoderma*, *Metarhizium* y amamectina desde el día cinco hasta el día 20, en comparación al testigo, pero no se observaron diferencias estadísticas en el

flujo de obreras entre los nidos tratados con Trompa y aquellos tratados con *Trichoderma* sp. Sin embargo, los flujos registrados en estos tratamientos fueron menores que los obtenidos en los nidos tratados con *M. anisopliae*.

Por otro lado, en nidos grandes (Figura 9), los resultados indican que, a medida que avanzan los días de evaluación, se presentan diferencias significativas en el flujo de obreras. En particular, los nidos tratados con Trompa y *Trichoderma* sp. no mostraron diferencias estadísticas sino a partir del día cinco de evaluación. No obstante, en los días subsecuentes, sí se observaron diferencias entre estos tratamientos. En el caso de *M. anisopliae* este parece tener efecto entre el día cinco al 15.

En condiciones de campo los cebos preparados con *Trichoderma* y *Metarhizium* fueron eficaces en controlar los nidos de *A. cephalotes* después del día 20 de aplicados, en comparación al testigo. Estos cebos preparados con una solución de esporas de *T. harzianum* y *M. anisopliae* a una concentración de 1×10^7 conidias/mL fueron efectivos para atraer las hormigas y para que las obreras cargaran y

transportaran los cebos al nido. Se evitó el uso de jugo de naranja como atrayente de las hormigas ya que este presenta un pH de 3,0 que es considerado bastante ácido para la germinación de las esporas. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se prepararon los cebos el mismo día de la aplicación para evitar fermentos indeseados y descomposición de las hojuelas de avena.

Debido a la dinámica de los hormigueros medianos y grandes, es necesario incrementar los periodos de evaluación hasta 30 días y realizar una segunda aplicación, en aquellos nidos ubicados en sitios enrastrados o de difícil acceso, que no permiten una óptima aplicación. Para los cebos preparados con hongos entomopatógenos o antagonistas, es

necesario incrementar en una semana adicional el periodo de evaluación hasta el día 30, ya que el crecimiento de los hongos es lento y toma entre tres y cuatro semanas en actuar para eliminar los nidos totalmente. De ser necesario aumentar la dosis de aplicación de los cebos dependiendo del área del nido y de las condiciones ambientales, evitando que estos sean aplicados en épocas de lluvia, para que su eficacia no se afecte.

En la Figura 10 se presentan los resultados de evaluación de cebos formicidas químicos a base indoxacarb, de thiametoxam + cyproconazole y un testigo absoluto sobre nidos activos pequeños de *A. cephalotes* en la Estación Experimental La Catalina (EE La Catalina) a través del tiempo.

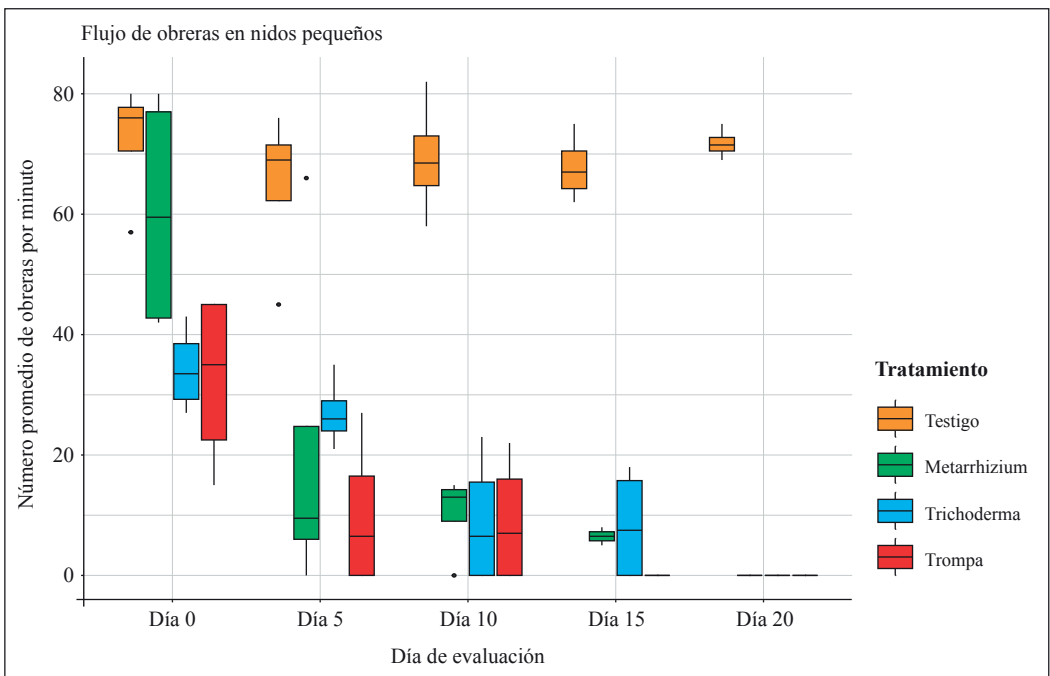


Figura 7. Distribución del flujo de entrada al hormiguero, de hormiga arriera *A. cephalotes*, por minuto, en nidos pequeños tratados con cebos preparados a base de hongos entomopatógenos (*M. anisopliae*), hongos antagonistas (*T. harzianum*), el cebo comercial Trompa (i.a. abamectina) y un testigo absoluto a través de cinco periodos de evaluación.

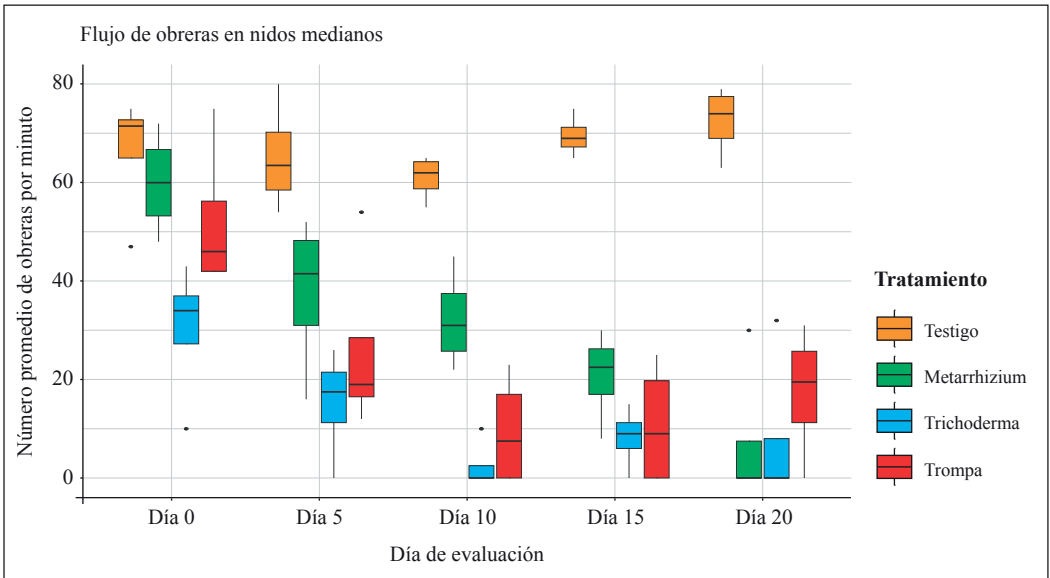


Figura 8. Distribución del flujo de entrada al hormiguero, de hormiga arriera *A. cephalotes*, por minuto, en nidos medianos tratados con cebos preparados a base de hongos entomopatógenos (*M. anisopliae*), hongos antagonistas (*T. harzianum*), el cebo comercial Trompa (i.a. abamectina) y un testigo absoluto a través de 5 periodos de evaluación.

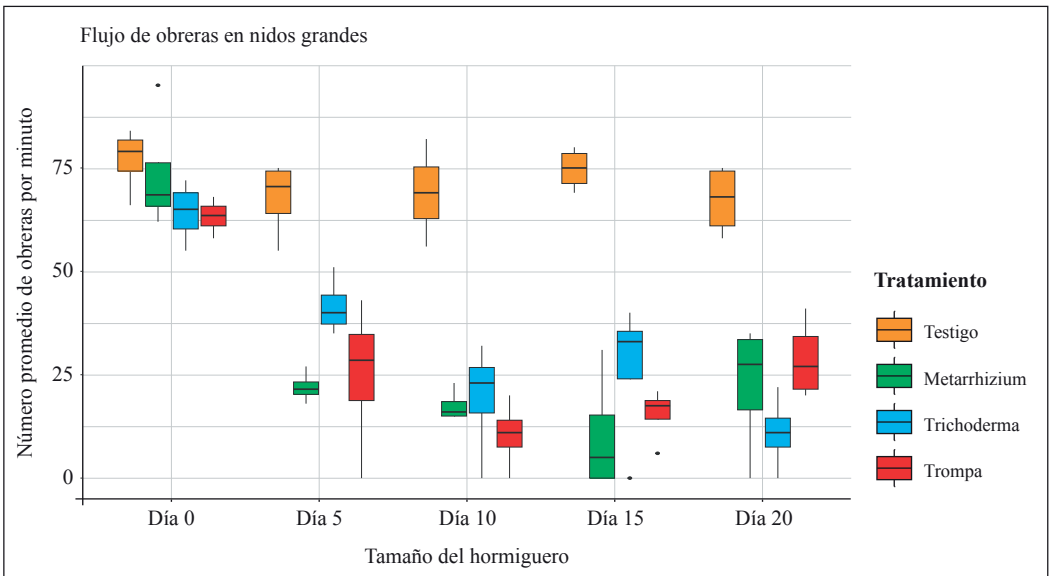


Figura 9. Distribución del flujo de entrada al hormiguero, de hormiga arriera *A. cephalotes*, por minuto, en nidos grandes tratados con cebos preparados a base de hongos entomopatógenos (*M. anisopliae*), hongos antagonistas (*T. harzianum*), el cebo comercial Trompa (i.a. abamectina) y un testigo absoluto a través de cinco periodos de evaluación.

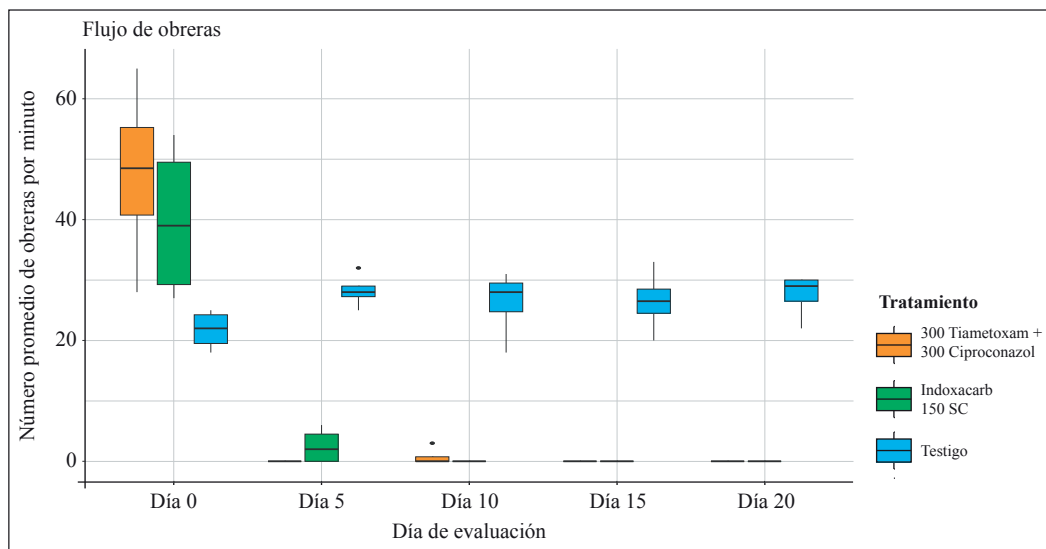


Figura 10. Distribución del flujo de entrada al hormiguero, de hormiga arriera *A. cephalotes*, por minuto, en nidos pequeños tratados con cebos a base de thiametoxam + cyproconazole e indoxacarb 150 SC a través de cinco períodos de evaluación.

A raíz de la prohibición de clorpirifos y fipronil, actualmente no hay cebos químicos disponibles en el mercado para el control de nidos activos de hormiga arriera en el país. Solamente se consiguen cebos a base de abamectina. Muchas de las prohibiciones de insecticidas químicos en el mundo provienen del Pacto Verde Europeo, una iniciativa de la Unión Europea (UE) presentado en 2019, para hacer de la UE la primera región climáticamente neutra para 2050. El Pacto Verde Europeo busca reducir el uso de insecticidas químicos para proteger la biodiversidad y la salud, estableciendo como objetivo reducir el uso de pesticidas químicos en un 50% para 2030. Las medidas incluyen la prohibición de insecticidas en zonas sensibles como parques públicos y áreas para polinizadores, y la promoción de alternativas más sostenibles.

Con estos resultados estamos presentando formicidas sustitutos al fipronil y clorpirifos utilizando los insecticidas indoxacarb y

thiametoxam + cyproconazole y dos cebos biológicos preparados a base de esporas de *T. harzianum* y/o *M. anisopliae*. Los cebos químicos y biológicos son útiles para el control de nidos de *A. cephalotes*, en particular en aquellos casos donde las bocas de entrada al nido se encuentran en sitios de difícil acceso o en sitios enastrojados (Constantino, 2008). Es importante aplicarlos con guantes evitando tocarlos con las manos para que las hormigas no los rechacen, y en días secos y sin lluvia para que la eficacia de los cebos no se afecte (Madrigal y Yepes, 1997; Ramos y Patiño, 2002; Castaño-Quintana, 2019).

Evaluación de la aplicación de formicidas líquidos con termonebulizador

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la evaluación de cuatro formicidas químicos en emulsión concentrada utilizados para el control de nidos grandes de *A. cephalotes* y la dosis empleada en la termonebulización de cada producto.

Tabla 3. Mortalidad (%) de la hormiga arriera *A. cephalotes* con la aplicación de insecticidas líquidos aplicados con termonebulizador en nidos grandes.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Concentración (cm ³ o g L ⁻¹ de ACPM)	Mortalidad a los 5 días (%)	EE
Ciperex 200 EC	Cipermetrina	50 cm ³	100	1,87
Avaunt 150 EC	Indoxacarb	30 cm ³	100	1,54
Engeo SC	Lambdacihalotrina + thiametoxam	50 cm ³	85	2,62
Verdadero 600 WG	Cyproconazole + thiametoxam	10 g	92	2,23

Con relación a los formicidas aplicados con termonebulizador para nidos grandes con un área mayor de 50 m² (Figura 10), los insecticidas compatibles con el ACPM como la cipermetrina de uso agrícola y el indoxacarb fueron los más eficaces en controlar los nidos de hormiga arriera en un 100%, después de cinco días de aplicados. El engeo presentó menor eficacia, posiblemente porque es un producto no compatible con el ACPM; formó una fase acuosa no miscible y no se obtuvo una mezcla homogénea del ingrediente activo. El insecticida verdadero tampoco fue compatible con el ACPM y dejó residuos que taponaron el equipo; no se recomienda su uso con termonebulizadores.

Con estos resultados de evaluación se le está ofreciendo a los caficultores colombianos alternativas de uso para el control de nidos de hormiga arriera con dos formicidas biológicos y tres químicos como sustituto al clorpirifos y fipronil. Estos formicidas pueden prepararse fácilmente de forma manual en forma de cebo, como se indica en la metodología,

con resultados de control eficaces sobre nidos de hormiga arriera.

Con este estudio:

Se demostró que el hongo antagonista *T. hartzianum*, el hongo entomopatógeno *M. anisopliae*, el insecticida indoxacarb y la mezcla de cyproconazole y thiamethoxam controlan los nidos de *A. cephalotes*, de cualquier tamaño, cuando son aplicados como cebos.

Los insecticidas cipermetrina e indoxacarb resultaron eficaces cuando el control fue realizado en nidos grandes usando termonebulizadores.

El hongo *T. harzianum* tiene efecto antagónico sobre el hongo simbiote de la hormiga arriera *L. gongylophorus*, el cual logra parasitar y esporular, inhibiendo su desarrollo y causando la muerte a las hormigas por inanición al no tener opción de alimento, después de 20 días de aplicados los cebos impregnados con esporas de *Trichoderma*. Igualmente, el hongo entomopatógeno *M. anisopliae* parasita

y mata a las hormigas, eliminando la colonia completamente después de 20-30 días de aplicados los cebos impregnados con esporas del hongo entomopatógeno.

El uso de productos biológicos como alternativa al control químico convencional, se constituye en una alternativa ambientalmente viable para el control de nidos de hormiga arriera, además de que son productos inocuos al hombre y al medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los auxiliares Carlos Alberto Quintero de la Disciplina de Entomología quien participó en el montaje de los ensayos en campo y en la evaluación de los tratamientos, a Gloria Patricia Naranjo por el apoyo en las evaluaciones de germinación, aislamiento y evaluación de hongos antagonistas y entomopatógenos, al personal de las estaciones experimentales de Naranjal, La Catalina y Paraguaicito por el

apoyo con la evaluación de cebos químicos y biológicos en campo y en el manejo del termonebulizador para la aplicación de los formicidas. Esta investigación fue financiada con recursos del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto ENT109001.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, análisis de datos, investigación, metodología, administración del proyecto, visualización, redacción–borrador original: **L.M.C**; redacción, revisión metodológica y montaje de la fase de laboratorio: **C.E.G**; conceptualización, supervisión, revisión de textos: **P.B.M**; supervisión y coordinación en campo EE La Catalina: **H.F.A**; supervisión y coordinación en campo EE Naranjal: **J.F.T**; supervisión y coordinación en campo EE Paraguaicito: **D.F**; análisis estadísticos y redacción metodológica: **B.M.R**.

LITERATURA CITADA

- Bell, D. K., Well, H. D., & Markham, C. R. (1982). In Vitro Antagonism of *Trichoderma* species Against Six Fungal Plant Pathogens. *Phytopathology*, 72(4), 379–382. <https://doi.org/10.1094/Phyto-72-379>
- Benavides, M. (1971). Combate de la hormiga arriera *Atta cephalotes*. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1, 1.
- Castaño-Quintana, K. (2019). Revisión de la biología y métodos de control de la hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae). En K. Castaño, J. Chará, C. Giraldo, & Z. Calle (Eds.), *Manejo integrado de insectos herbívoros en sistemas ganaderos sostenibles* (pp. 108–149). CIPAV.
- Castaño, K. (2015). *Viabilidad y efectividad de microorganismos patógenos para colonias de hormigas cortadoras, aplicados a través de termonebulizadora* (Informe Cipreses, p. 13). Universidad del Valle.
- Castro, J. F., & Martínez, G. (2008). Evaluación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como control biológico de la hormiga arriera *Atta cephalotes* con diferentes técnicas de aplicación en el Centro de Investigaciones Macagual. *Momentos de Ciencia*, 5,(1-2), 41–45.
- Constantino, L.M. (2008). La hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera:Formicidae). En A. E. Bustillo Parley (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 323–329). Cenicafé.
- Constantino, L. M. (2025). Manejo integrado de la hormiga arriera en la zona cafetera. *Memorias Seminario Científico Cenicafé*, 76(1), e760929. <https://doi.org/10.38141/10795/760929>
- Corrêa, M. M., Silva, P. S. D., Wirth, R., Tabarelli, M., & Leal, I. R. (2016). Foraging activity of leaf-cutting ants changes light availability and plant assemblage in A

- atlantic forest. *Ecological Entomology*, 41(4), 442–450. <https://doi.org/10.1111/een.12312>
- Dennis, C., & Webster, J. (1971). Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. *Transactions of the British Mycological Society*, 57(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(71\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(71)80077-3)
- Estrada, J., & Ramos, A. A. (2000). *Biología y Manejo de las Hormigas Cortadoras o Arrieras*. Comité de Cafeteros del Valle del Cauca.
- Ezziyyani, M., Pérez, C., Requena, M. E., Rubio, L., Candela, M. E. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* Ziyani, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología*, 26(1), 69–78. <https://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/08-BIOCONTROL.pdf>
- Fernández, F., Castro-Huertas, V., & Serna, F. (2015). *Hormigas cortadoras de hojas de Colombia: Acromyrmex & Atta (Hymenoptera: Formicidae)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo, C. (2007). Manejo integrado de la hormiga arriera *Atta cephalotes* en fincas ganaderas. *Revista Carta Fedegan*, 99, 58–65.
- Giraldo, C., Castaño, K., Reyes, K., Giraldo, N. V., Calle, Z., & Montoya-Lerma, J. (2015). Enemigos naturales de la hormiga arriera en sistemas de reconversión productiva. En *Memorias del II Taller nacional sobre hormiga arriera y caracol gigante africano: Avances y retos*. Cali, Colombia.
- López, E. & Orduz, S. (2002). *Metarhizium anisopliae* y *Trichoderma viride* controlan colonias de *Atta cephalotes* en campo mejor que un insecticida químico. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 4(1), 71–78. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30093>
- Lopez, E., & Orduz, S. (2003). *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma viride* for control of nests of the fungus-growing ant, *Atta cephalotes*. *Biological Control*, 27(2), 194–200. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00005-7)
- Machado, V., Diehl-Fleig, E., Silva, M., & Lucchese, M. (1988). Reações observadas em colônias de algumas espécies de *Acromyrmex* (Hymenoptera-Formicidae) quando inoculadas com fungos entomopatogênicos. *Ciência e Cultura*, 40(11), 1106–1108.
- Madrigal, A. (2003). *Insectos forestales en Colombia: Biología, hábitos, ecología y manejo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Madrigal, A., & Yepes, F. C. (1997). Las hormigas cortadoras. Cuadernos Divulgativos de Entomología N° 3. Universidad Nacional de Medellín.
- Montoya-Lerma, J., Chacón De Ulloa, P., & Manzano, M. D. (2006). Caracterización de nidos de la hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) en Cali (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(2), 151–158. <https://doi.org/10.25100/socolen.v32i2.9383>
- Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverri, C., Armbrrecht, I., Farji-Brener, A., & Calle, Z. (2012). Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management*, 58(3), 225–247. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.663946>
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. *Biological Control*, 159, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>
- Ramos, A. A., & Patiño, O. (2002). *Manejo Integrado Comunitario de la Hormiga Arriera*. Instituto Colombiano Agropecuario. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/16485>

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

DIRECCIÓN

Santiago Jaramillo C., Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Diana Marcela Buitrago R., Lic. Biología y Química,
Administradora de Empresas, Esp.
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de
Sistemas, Esp., M.Sc

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología

Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Camilo Mora G., Ing. Ambiental
Wilmar Antonio 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.
Jeison Alexander Hoyos G., Técnico en Informática

Biometría

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

Calidad

Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp., Ph.D.
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga, M.Sc.
Luz Fanny Echeverri G., Química Industrial
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción
Agropecuaria Ecológica
Wilson Vargas L.
Víctor Manuel Castañeda G.
Angy Paola Pulgarín E., Pasante

Economía

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.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo

Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Fáber de Los Ríos P.
José Robín García C.
Gloria Patricia Naranjo E.
Ramón Antonio Montoya C.
Juan Pablo Arboleda V., Pasante
Sergio Rodríguez A., Pasante
Nicolás González S., Pasante

Fisiología Vegetal

Tatiana María Saldaña V., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Aristóteles Ortiz, Químico, M.Sc.
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Patricia Valencia V., Técnico en Producción de Café
Jhon James Ladino Q.

Fitopatología

Marco Aurelio Cristancho A., Microbiología, Ph.D.
Rosa Lilia Ferrucho, Ing. Agrónoma, Ph.D.
Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Jesús David Ortiz M., Ing Agrónomo
José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción
Agropecuaria
Yoni Alejandro González A. Técnico Producción de Cafés
Especiales
Jerson Steven Villa A., Técnico en Agroindustria Alimentaria
Nicolas Ocampo Moreno., Pasante
Carlos Andrés Velásquez López., Aprendiz
Dayani Jiménez C., Aprendiz

Fitotecnia

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc, Ph.D.
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Alexander Jaramillo J.
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
Juliana Vargas L., Pasante

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Julio Quiroga C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Carlos Augusto Ramírez C., Administrador de Empresas
Agropecuarias
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de
Producción Pecuaria

Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Juan Pablo Montoya T., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias
Steven Giraldo R., Tecnólogo en Gestión Administrativa
Sandra Patricia Velarde M., Tecnólogo en Procesamiento de Alimentos
Camila Sanchez Valencia., Tecnólogo en Gestión Administrativa
Diana Marcela Giraldo V.
Cristian Giovanni Samper O., 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.
Eduardo Duque D., Ing. Mecánico, Ph.D.
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.
Cristian Camilo Arboleda O., Biólogo
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Valentina Cruz O., Agrónomo
Laura Vanessa Cano R., Ing. de Alimentos
Jorge Wilmar Zuluaga A. Técnico profesional en Mantenimiento Industrial
Juan Sebastián Rivera R.
Juan Carlos Ortiz F.
Cristian David Rendón L.
José Gilmar Carmona V.
Samuel Osbaldo López G.
Samuel Antonio Castañeda
Yennifer Ospina P., Aprendiz
Alison Manuela Loaiza R., Aprendiz

Suelos

Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Diana Lisbeth Manrique L., Química.
Eliana Gómez A., Tecnóloga Química
Juan Manuel Rendón R., Tecnólogo Químico
Camila Quintero O., Aprendiz
Gerardo Antonio Giraldo M., Pasante
Jaroliver Cardona G.

EXPERIMENTACIÓN

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

Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Dayana Alejandra Ríos O., Aprendiz

Estación Experimental El Rosario

León Darío Caicedo R., Agrónomo, Esp.

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, 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.

Estación Experimental Jorge Villamil

Victor Ricardo Montaña E., Ing. Agrónomo, Esp.

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, Esp., 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
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
Estefanía Gil M., Pasante
María Del Mar Alvarado C., Pasante

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, M.Sc.
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas, Esp.
Paula Andrea García M., Ingeniera Ambiental, Esp.
Cristian David Bravo L., Administrador de Sistemas Informáticos.
Maria Fernanda Castaño L., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Luz Adriana Jiménez Q., Técnico profesional en Contabilidad y Finanzas
Diana Marcela Palacio R., Abogada, Esp.
Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable

Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
Jesús Danilo González O., Contador, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Lina María Giraldo, Administrador Financiero
Lina María Buitrago A., Administrador de Empresas
Santiago Benjumea V. Ing. Industrial
Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Brahian Steven Narváez G., Tecnólogo en Contabilidad y Finanzas
Angie Paola Zapata C., Técnico en Gestión Administrativa

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
María Alejandra López R., Ing. Mecatrónica, Esp.
Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico
José Gildardo Aguirre O., Ing. Industrial
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
Oscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial
Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café
Albert Johane Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica–
Técnico en Instalaciones de Redes Internas
Luis Fernando Pérez L., Técnico en Plantas Industriales
José Alexander Marín A., Técnico en Administración de la Producción de Café
Gustavo Andrés Araujo G., Tecnólogo en Mantenimiento Electrónico e Instrumental Industrial
Julian Alexander Ramirez L., Técnico en Instalaciones eléctricas internas

Freddy Alexander Sánchez O.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Ferney Cifuentes R.
Juan Diego Pérez V., Aprendiz

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, Esp., M.Sc.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional, M.Sc.
Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.
Laura Tatiana Carmona D., Aprendiz Universitario

Planeación Financiera y Presupuesto

Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas, Esp.
Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas, Esp.
Carolina Herrera A., Administración de Empresas, Esp.

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

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

TABLAS Y FIGURAS

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

ECUACIONES

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

SISTEMA DE UNIDADES

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título - Máximo 16 palabras

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

Resumen - Máximo 250 palabras

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

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

Abstract - Máximo 250 palabras

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

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

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

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

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

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

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

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

Agradecimientos - Máximo 70 palabras

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

Literatura citada

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

PRODUCCIÓN EDITORIAL

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

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve, Diseñadora Visual

Fotografías: Archivo Cenicafé

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.