

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE MATRICES DE CAFÉS ESPECIALES (*COFFEA ARABICA*) PRODUCIDOS EN EL CORREGIMIENTO CAY, IBAGUÉ, TOLIMA, COLOMBIA

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPECIALTY COFFEE MATRICES (*COFFEA ARABICA*) PRODUCED IN THE CAY-IBAGUÉ DISTRICT, TOLIMA, COLOMBIA



¹Diego Alberto Marín Idárraga,
²Guillermo Salamanca Grosso,
³July Alexandra Hernández López

1,2,3 Universidad Nacional Abierta y a Distancia y Universidad del Tolima

Cómo citar: CARACTERIZACION FÍSICOQUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE MATRICES DE CAFÉS ESPECIALES (*Coffea arabica*) PRODUCIDOS EN EL CORREGIMIENTO CAY- IBAGUÉ, TOLIMA -COLOMBIA. (n.d.). Publicaciones E Investigación. Retrieved February 13, 2026, from <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/10540>

Recibido 20 julio 2025 aprobado 15 de agosto

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar físicoquímicamente y cuantificar el contenido de fenoles, cafeína y actividad antioxidante en muestras de café tostado y molido, asociadas a sistemas productivos del corregimiento Cay, en Ibagué. Se colectaron cinco muestras de café tostado y molido, relacionadas como cafés especiales tipos *blend* (2), Castillo (2) y Tabi (1), remitidas al Laboratorio de Propiedades Físicoquímicas de los Alimentos (LIPFA) de la Universidad del Tolima. Se evaluaron los parámetros de color (CIELab), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST), sólidos fijos (% cenizas) y volátiles, conductores totales (TCD) y solubles (Brix), potencial de hidrógeno (pH), humedad (% H), actividad de agua (aw), acidez total y acidez equivalente (3-cafeoilquínico), azúcares reductores (% AR) y no reductores (% ANR), extracto etéreo (% grasa), equivalentes de fenoles (fenoles totales), equivalentes de flavonoides (flavonoides totales) y poder antioxidante y reductor (FRAP).

¹ diego.marin@unad.edu.co / ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6459-1124>

² gsalaman@ut.edu.co / ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8947-7574>

³ alexandra.hernandez@unad.edu.co / ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7888-8930>

Los valores del color CIELab oscilaron entre 20.8 ± 0.50 y 22.3 ± 0.20 en L^* , la cromaticidad (a^*) entre 3.15 ± 0.35 y 4.65 ± 0.91 ; (b^*) entre 9.40 ± 0.28 y 9.40 ± 0.28 . El croma (C) en promedio fue de 13.4 ± 0.86 . Los sólidos totales variaron de 97.9 a 99.3 %, la humedad de 0.73 a 2.14 %, con niveles bajos de aw. Los sólidos fluctuaron entre 3.62 y 5.91 %.

Se presenta un análisis multivariado y la correlación entre parámetros. Esta investigación se propone como modelo analítico para la caracterización de matrices de café y evidencia la calidad y variabilidad de muestras asociadas a las regiones.

Palabras clave: café; análisis fisicoquímico; análisis multivariado; componentes principales.

ABSTRACT

The objective of this work was to physicochemically characterize and quantify the content of phenols, caffeine and antioxidant activity in roasted and ground coffee grain samples, associated with productive systems of the Cay district in IBAGUÉ. Five (5) samples of roasted and ground coffee were collected, which were related as specialty coffee types blend (2), Castillo (2) and Tabi (1), related to the Laboratory of physicochemical properties of foods LIPFA of the University of Tolima. The parameters of color (CIELab), electrical conductivity (CE), total solids (ST), fixed (% Ash) and volatile, total conductors (TCD), and soluble (Brix), hydrogen potential (pH), humidity (% H), water activity (aw), total acidity and equivalent acidity (3-caffeoliquinic), reducing sugars (% AR) and non-reducing sugars (% ANR), ether extract (% Fat), phenol equivalents (Total Phenols), flavonoid equivalents (Total Flavonoids) and antioxidant and reducing power (FRAP) were evaluated. The CIELab color values ranged from 20.8 ± 0.50 to 22.3 ± 0.20 in (L), chromaticity (a^) from 3.15 ± 0.35 to 4.65 ± 0.91 (b^*) from 9.40 ± 0.28 to 9.40 ± 0.28 , and chroma (C) averaged 13.4 ± 0.86 . Total solids ranged from 97.9 to 99.3%, and moisture content ranged from 0.73 to 2.14%, with low levels in (aw). Solids ranged from 3.62 to 5.91%.*

A multivariate analysis and correlation between parameters are presented. The work carried out is presented as an analytical model for the characterization of coffee matrices, and the quality and variability of samples associated with the regions are demonstrated.

Keywords: Coffee; physicochemical analysis; multivariate analysis; principal components.



1. INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es una de las bebidas más populares consumidas diariamente en todo el mundo. Estudios recientes han indicado que los constituyentes del café, como la cafeína, los compuestos fenólicos, los ácidos clorogénicos y los ácidos hidroxycinámicos, exhiben propiedades antioxidantes.

El café constituye uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y cultural en Colombia, donde se observa una problemática estructural que involucra la producción, industrialización y comercialización a nivel nacional, lo que afecta a los caficultores por el comportamiento diverso, volátil y variable

que caracteriza la economía del café, con cambios esporádicos y espontáneos (Ocampo-López y Álvarez-Herrera, 2017; Samper et al., 2012). El departamento del Tolima es el tercer productor de café en Colombia: 47 de sus 38 municipios se dedican a este cultivo, con una producción aproximada de 1 780 000 sacos de 60 kilogramos, lo que proporciona cerca de 80 000 empleos directos y 180 000 indirectos, dado que el 78 % de los cafetales han sido renovados y no superan los siete años; cerca de 245 000 personas dependen directamente de la actividad asociada al café (Comité de Cafeteros del Tolima).

Los factores adversos en la producción de café se relacionan con el cambio climático y las afectaciones por la broca, producida por *Hypothenemus hampei*, coleóptero de la subfamilia *Scolytinae*, considerada la plaga que más daño causa a los cultivos en más de 70 países, y la roya causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, que sobrevive en las hojas vivas de los cafetos. Las variedades de café arábigo cultivadas en Colombia corresponden a Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Variedad Colombia (Alvarado-Alvarado et al., 2005).

La mejora productiva ha sido el objetivo de los programas de mejoramiento del café considerando aspectos como calidad, precocidad y resistencia a la roya, como retos de importancia agronómica y económica y adaptación destacada a las zonas cafeteras del país, particularmente la variedad Castillo naranjal para las regiones de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle.

El consumo de café ofrece efectos beneficiosos para los humanos compuestos con actividad antioxidante y antimicrobiana (Palmeri et al., 2018; Martini et al., 2016). Los ácidos clorogénicos están implicados en la actividad antibacteriana Patay et al., 2016; Guil-Guerrero et al., 2016; McCarthy y O’Gara, 2015). El café tostado contiene, además, altas cantidades de compuestos antioxidantes (Jiménez-Zamora et al., 2015). Entre los componentes del café sobresalen los polifenoles como grupo heterogéneo de moléculas que comparten características estructurales de varios grupos bencénicos sustituidos por grupos hidroxilo (Zavaleta et al., 2012).

El estudio detallado de las variedades, los ecotipos, los sistemas de beneficio húmedo, el secado, la intensidad del brillo solar, el régimen climático, el control de plagas, las edades de las plantas, el estado actual del trabajo en SOCA, la incidencia de los fotoperiodos, las áreas reales cultivadas, las familias caficultoras, su condición socioeconómica, su integración al proceso productivo, la rentabilidad del producto y su mercado actual, la incorporación de tecnología, el relevo generacional, la asistencia técnica, las características del suelo en función de la productividad, los factores del entorno, la humedad relativa, los sistemas de trazabilidad y el modelo de gestión, así como otras variables, inciden en el rendimiento y la calidad del producto.

El tratamiento térmico de tuestión del café conlleva la pérdida de compuestos fenólicos, como el ácido clorogénico (AC), el cual se desdobra, durante el proceso, en ácidos cafeico y quínico, siendo responsable, también, de la acidez de la bebida, efecto que se enfatiza con grados severos de tuestión (Lazcano-Sánchez et al., 2015). La composición de isómeros de ACG en los granos de café, principalmente verde, es compleja y varía según la variedad, ubicación geográfica y los procedimientos de poscosecha, lavado, secado y tuestión de los granos. El isómero más abundante es el 5-CQA, que representa del 76 % al 84 % del total de AC. Los ácidos clorogénicos constituyen componentes relevantes presentes en diferentes partes del fruto de café; son ésteres de ácido trans-cinámico, con actividad antioxidante, hipoglucemiante, antiviral, hepatoprotectora y nutracéutica (Liang y Kitts, 2015; Crozier et al., 2012).

La cafeína es un alcaloide del grupo de las xantinas, específicamente de la familia de las metilxantinas. Estas se caracterizan por poseer un sistema heterocíclico con nitrógeno, carácter básico y actividades biológicas intensas. Estructuralmente, son derivados de la purina, metabolizados mediante condensación de pirimidina y un imidazol. Dichos alcaloides se encuentran en cortezas, hojas, semillas o raíces de diversas especies vegetales, combinados con ácidos orgánicos. La cafeína, 1,3,7-trimetilxantina, actúa como estimulante de la secreción de dopamina, traspasando la barrera hematoencefálica e inhibiendo, mediante un complejo

mecanismo cerebral, la acción de neurotransmisores y sustancias que regulan el ciclo de sueño.

El color, en términos del sistema CIELab de la Commission Internationale de l'Éclairage, adquiere importancia para el café tostado, desde la perspectiva de métodos de medición. En el café, los niveles de tación se asocian, de manera objetiva, con el parámetro de color luminoso (L^*), el cual mide el índice de oscurecimiento derivado de las reacciones de caramelización; al aumentar la coloración oscura, disminuye la luminosidad (Valerio-Cubillo et al., 2016).

Los antioxidantes son compuestos que inhiben la oxidación. La oxidación es una reacción química que puede producir radicales libres. Existen diferentes parámetros de referencia que permiten evaluar la actividad antioxidante y la capacidad antirradicalaria, entre los que destaca la prueba que recomienda el uso del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Este método es simple: el extracto de trabajo se mezcla con la solución DPPH y se registra la absorbancia después de un período definido. En el ensayo ABTS, se utiliza el radical preformado del ácido 2,2'-azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS+), que se forma por oxidación de ABTS con persulfato de potasio y se reduce en presencia de antioxidantes donadores de hidrógeno. El método ORAC (*oxygen radical absorbance capacity*) mide la actividad o capacidad global de todos los antioxidantes presentes en una muestra para neutralizar radicales peróxido. En el ensayo FRAP (*ferric ion reducing antioxidant power*) se logra la reducción de iones férricos a ferrosos a pH bajo, junto con la reducción de 2,4,6-tripiridil triazina (TPTZ). La utilización de estas técnicas de análisis en procesos asociados al café empieza a consolidarse (Liang y Kitts, 2014).

La zona geográfica del corregimiento Cay (Cañón del Combeima, Ibagué, Tolima), dedicada al cultivo de plátano y café, presenta condiciones climáticas ideales para el desarrollo de este último. Los veranos, en ocasiones prolongados, el buen régimen de lluvias y el brillo solar sugieren la necesidad de caracterizar variedades de café, densidad de siembra, empleo de

sombrío o semisombrío y aplicación de fertilizantes, así como el rendimiento de la cosecha. Por ello, el objetivo de este trabajo consiste en caracterizar algunas matrices de café tostado, en asociación al proyecto de desarrollo agroindustrial y seguridad alimentaria: mujer rural en prácticas sociolaborales como estrategia de cogestión para el fortalecimiento del mercado de cafés especiales del departamento del Tolima.

2. METODOLOGÍA

Zona de estudio: La cuenca del río Combeima comprende un área que se extiende al noroccidente de Ibagué, cerca de 27 421 ha, donde se presentan diversos pisos térmicos debido a la topografía del terreno, los cuales ascienden desde los 700 hasta los 5 200 m s.n.m. La cuenca nace cerca del nevado del Tolima, que hace parte del Parque Nacional Natural Los Nevados. El territorio se caracteriza por formar parte de la zona de amortiguamiento entre el casco urbano de Ibagué y el parque natural. Cuenta con abundante vegetación, valles escarpados y numerosas quebradas que alimentan al río Combeima. La temperatura media es de 17 °C, aunque se identifican distintas zonas climáticas, entre las que destaca el clima frío húmedo. La vereda Cay forma parte del área rural, en la zona baja de la subcuenca, sobre el margen izquierdo a partir del cruce de la quebrada Cay con la vía Ibagué-Juntas. El piso presenta pendientes entre moderadas y fuertes, afectados por erosión, y suelos óptimos para la agricultura y la ganadería, permitiendo actividades agropecuarias principalmente con cultivos de café.

Muestras: Se recolectaron y analizaron cinco muestras de café tostado y molido, identificadas como cafés especiales tipos *blend* (2), Castillo (2) y Tabi (1), que fueron remitidas al laboratorio de Propiedades Fisicoquímicas de los Alimentos (LIPFA) de la Universidad del Tolima para su caracterización y determinación de algunos parámetros fisicoquímicos. La variedad Tabi es un híbrido entre las variedades Timor, Típica y Borbón, de grano grande y superior al 80 % de café supremo. El concepto café *blend* hace referencia a la mezcla de dos o más tipos de café que provienen de regiones

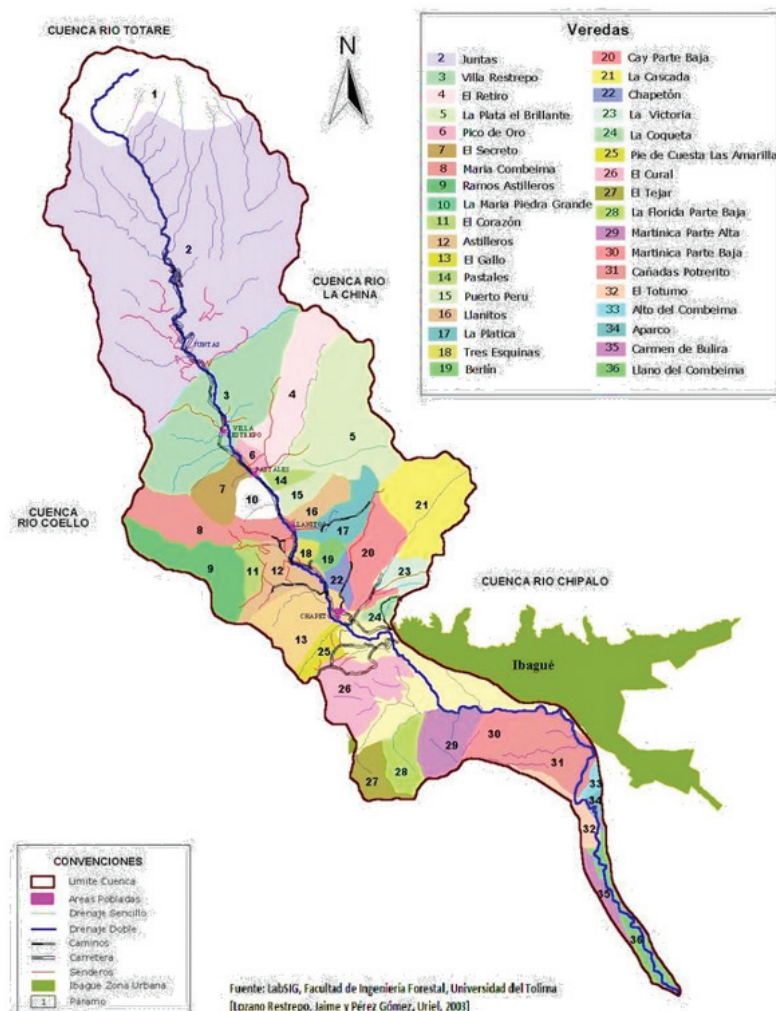
diferentes, pero tostados de forma natural. La variedad Castillo es el resultado del cruzamiento entre las variedades Caturra e híbrido de Timor, lo que ha permitido reunir cultivares con resistencia a la roya y atributos destacables de alta productividad por unidad de área, con notable adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana. Se ha consolidado como la variedad Castillo, la cual es reconocida por ofrecer resistencia duradera a la roya y tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café. Las muestras evaluadas son representativas de la zona de estudio.

Parámetros fisicoquímicos: Se evaluaron los parámetros y atributos físicos de color (CIELab),

conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST), fijos (% de cenizas) y volátiles, conductores totales (TCD) y solubles (Brix), potencial de hidrógeno (pH), humedad (% H), actividad de agua (aw), acidez total y acidez equivalente (3-cafeoliquínico), azúcares reductores (% AR) y no reductores (% ANR), extracto etéreo (% de grasa), equivalentes de fenoles (fenoles totales), equivalentes de flavonoides (flavonoides totales) y poder antioxidante y reductor (FRAP).

Color: Los parámetros de cromaticidad se determinaron en una etapa posterior al proceso de tostación a nivel de laboratorio. Las muestras se removieron en intervalos de 1 min, se homogeneizaron y

Figura 1. Áreas de distribución asociadas al cañón del río Combeima, noroccidente de Ibagué



Fuente: Agustín Codazzi (2022)

acondicionaron en estufa a 35 °C por 2 h. Posteriormente, se almacenaron en desecador con gel de sílice y en ambiente oscuro para prevenir el efecto de la luz. Las determinaciones de los parámetros de luminancia (L), cromaticidad rojo/verde y amarillo/azul (a^* , b^*) se realizaron en una cámara IMS (Milford, CT, USA) con iluminante estándar D65 y área de medición de 0.95 cm². Adicionalmente, se estimaron los parámetros de croma (C) y ángulo de tono (h) a partir de las siguientes relaciones. La cámara se calibró utilizando el patrón Minolta (L 98.3; a^* 0.20; b^* 1.40).

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad h = \arctan b^*/a^*$$

Sólidos solubles: Se evaluaron como grados Brix según AOAC 932.14, empleando un refractómetro Hanna HI 96801, con rango de contenido de 0 a 85 % Brix y temperatura de 0 a 85 °C, resolución de 0.1 y precisión de ± 0.2 % Brix, con respuesta de lectura en 1.5 segundos. Se utilizaron alícuotas de una solución de café tostado al 10 % p/v.

Cenizas: Se realizó después de la calcinación de las muestras. Se dispusieron 0.30 $\pm$ 1 mg de muestra de café tostado y molido en crisoles de porcelana debidamente preparados, en mufla Vulcan-A Selecta N-131696, a 550 °C por 6 h, de acuerdo con el método AOAC 940.26.

Humedad: Se determinó utilizando métodos convencionales de análisis gravimétrico por pérdida de peso, según el método AOAC 931.04 adaptado, con balanza analítica Sartorius CPA 423S y horno de secado MEMMERT GmbH+Co. KG tipo UNB 200. En cada caso se tomó un peso de muestra, secada hasta peso constante. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Actividad de agua: Se determinó en muestras directas de café tostado, empleando unidad psicrométrica termoelectrónica AW Sprint Novasina, modelo TH500, con precisión de ± 0.003 y resolución de ± 0.001 aw a 0.30 °C y rango de lectura de 0.03 a 1.00 aw; la temperatura en la cámara de medición se reguló a 25 °C y el rango operativo fue de 0 a 50 °C ± 0.2 K, con sensor BSK-7.

Conductividad eléctrica y TCD: Las determinaciones de conductividad se llevaron a cabo con un equipo Hanna HI 99301 (EC/TDS), utilizando electrodo HI 76306. Todas las determinaciones se realizaron a 20 °C en sistema termostataado y calibración de la unidad conductométrica con solución acuosa de cloruro de potasio (conductividad 11.67 $\pm$ 0.11 mS/cm). Los TCD corresponden al aporte de iones disueltos, parámetro que se relaciona con la conductividad eléctrica. Las mediciones se ejecutaron por triplicado utilizando unidad pH/CE/TDS.

Potencial de hidrógeno (pH): Se determinó en soluciones de café previamente homogeneizadas al 10 % p/v, empleando agua destilada libre de dióxido de carbono. Las determinaciones se realizaron según el método AOAC 981.12/90 con unidad potenciométrica Hanna Edge y electrodo combinado de vidrio con compensación automática de temperatura. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Acidez total: Este parámetro fue determinado mediante técnicas potenciométricas, a punto final de pH 8.3 usando una unidad Hanna Edge y electrodo combinado. Como agente valorante se empleó hidróxido de sodio (NaOH) estandarizado con patrón de ftalato ácido de potasio, a una concentración de 0.025 N. La acidez se expresó como miliequivalentes de Sodio por kilogramo de muestra (meq/kg). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Azúcares reductores: Se determinaron siguiendo el método microvolumétrico de Lane-Eynon, basado en óxido-reducción en caliente. Para ello, 2.5 mL de los reactivos Fehling A y B fueron activados con disoluciones de café tostado y filtrado a 10 mg/mL; se empleó azul de metileno como indicador. El licor de Fehling se estandarizó con solución patrón de glucosa 10 mg/mL. Los resultados se registraron como porcentaje de azúcares reductores por triplicado.

Extracto etéreo: Se obtuvo por gravimetría, aplicando extracción cíclica con éter de petróleo (40/60) mediante unidad Soxhlet durante 6 h. La determinación se realizó tras recuperación del solvente y pesado

del residuo, según método AOAC 31.4.02. Se analizaron por triplicado.

Extractos etanólicos: Se realizó extracción sólido-líquido usando sistema de ultrasonido (3 L), con etanol 70 % v/v. Se emplearon 2 g de café tostado y molido, sometidos a 50 mL de etanol por 30 min. Tras la extracción, el sobrenadante se almacenó en viales ámbar a 4 °C hasta análisis.

Equivalentes de fenoles: Las determinaciones se realizaron utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (RFC). Se mezclaron 100 µL de extracto con 500 µL del reactivo RFC; a los 2 min se adicionaron 400 µL de Na₂CO₃ al 7.5 %, incubando por 30 min en ausencia de luz a temperatura ambiente. La lectura se realizó a 760 nm en espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis Thermo Scientific. El valor de fenoles totales de los extractos se expresó como equivalentes de ácido gálico en mg (GAE) por 100 g de muestra, usando curva de calibración. Las determinaciones se hicieron por triplicado. La curva de calibración fue $Abs = 0.0589Cx + 0.0045$ ($r^2 = 0.9937$), con la cuantificación final en mg/kg de muestra (Salamanca et al., 2015).

Equivalentes de flavonoides: Se determinaron por espectrofotometría, usando solución de tricloruro de aluminio (AlCl₃) y patrones de quercetina. Se disuelven 10 mg de reactivo en etanol al 70 % y se preparan diluciones de 10, 20, 40, 80 y 100 µg/mL. En la determinación, se mezclan 50 µL del extracto de café, 50 µL de AlCl₃ al 2 % y 1.150 µL de etanol absoluto. La mezcla se incuba a 25 °C por 30 min; la absorbancia final se mide a 415 nm (Salamanca et al., 2015). Resultados expresados como equivalentes de quercetina por mg/kg de café, por triplicado en espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10S. Curva de calibración: $A = 0.1051FI(Qe) - 0.0219$ ($r^2 = 0.9945$).

Extracción de cafeína: Se utilizaron técnicas de extracción sólido/líquido y líquido/líquido. En la extracción sólido/líquido se pesaron 1000 mg de café molido, sometidos a ebullición y reflujo con 200 mL de agua a 80 °C por 5 min. Tras el enfriamiento y el

filtrado, se adicionaron 5 g de Na₂CO₃. Luego, en un embudo de separación, se añadieron 15 mL de diclorometano (CH₂Cl₂), con agitación y separación de la fase orgánica. Los extractos recolectados se secaron en rotavapor y, tras su eliminación, se añadieron 50 mL de agua destilada, agitando hasta la disolución completa y aforando a 100 mL. Finalmente, se tomaron 10 mL de la solución, se añadió 1 mL de ácido clorhídrico 0.01 M y se llevó el volumen a 25 mL con agua destilada.

Espectro y curva patrón: Tras la extracción, se procedió a la cuantificación de cafeína. Se prepararon disoluciones patrón de 4, 8, 16, 24 y 32 mg/L, registrando los espectros de absorción UV-Visible en espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis y verificando las longitudes de onda de máxima absorción (λ_{max}). Las extracciones se hicieron por duplicado y los resultados se expresaron en mg/g y en % de cafeína, respecto al peso seco de muestra. Curva de calibración a 273 nm: $A = 0.0485Cx + 0.0381$ ($r^2 = 0.999$).

Poder antioxidante y reductor: Se utilizaron 10 µL de cada extracto de café, mezclado con 40 µL de etanol al 70 % y 950 µL del reactivo FRAP (1 mL de solución TPTZ a 10 µM en HCl 40 µM; 1 mL de FeCl₃·6H₂O 20 µM y 10 mL de tampón acetato 300 µM, pH 3.6). Las muestras se mezclaron y se colocaron en baño María a 37 °C por 30 min. Se registró la absorbancia a 593 nm en Genesys 10S UV-Vis. Se empleó curva de calibración de Trolox y los resultados se expresaron en µM de Trolox por gramo de muestra.

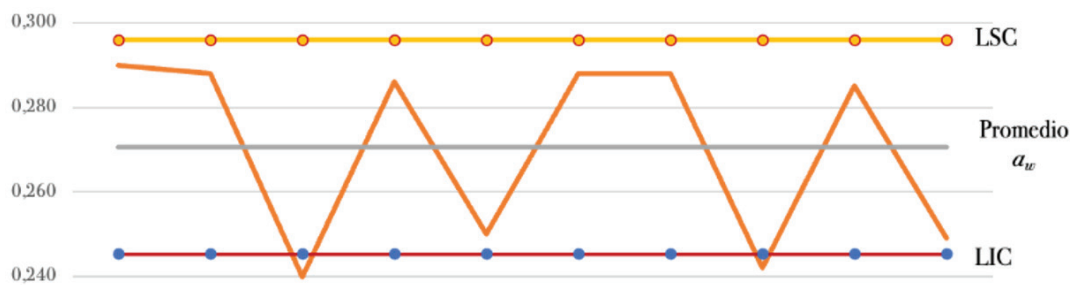
Estadística: Los análisis se realizaron por triplicado y los datos del análisis proximal se expresaron en base seca. Para la evaluación estadística, los resultados de los parámetros se organizaron en tabla dinámica de Microsoft Excel. Las evaluaciones se realizaron en el software JMP Pro 15. Se consideraron promedios, desviaciones estándar y análisis de componentes principales con las correspondientes líneas de correlación.

3. RESULTADOS

Los parámetros de las propiedades físicas en muestras de café tostado y molido de las variedades *blend*, Castillo y Tabi se muestran en la tabla 1. El contenido de sólidos totales varió entre 97.9 y 99.3 %, con un promedio global de 98.6 % y contenidos de humedad entre 0.73 y 2.14 % (tabla 1), resultados acordes con los bajos niveles de actividad de agua *a_w* (figura 2), cuyo promedio fue de 0.271, con límites y los límites de control entre 0.245 y 0.296. Estos valores coinciden con los de humedad y sólidos totales, que en promedio fueron 1.52 ± 0.50 % y 98.6 ± 0.49 %, respectivamente. Estos parámetros son variables según la intensidad del proceso de tostión y reposo (Salamanca et al., 2018).

Por su parte, el gráfico de control para el parámetro de cenizas (figura 3) presenta límites inferior y superior de 3.62 y 5.91 %, respectivamente, con promedio de 4.80 % y desviación estándar de 1.09 %. Los valores más altos se presentaron en la variedad Tabi. La conductividad eléctrica y los sólidos TCD presentan correlación positiva; cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será el valor de la conductividad. El valor más alto de TCD correspondió a una muestra de la variedad Castillo con 1.93 ± 0.03 y 3.87 ± 0.01 mS/cm. El promedio de conductividad fue 3.67 ± 0.18 mS/cm.

Figura 2. Figura de control para la actividad de agua en muestras de café tostado y molido



Fuente:

Tabla 1. Actividad de agua y contenido de sólidos en muestras de café tostado y molido

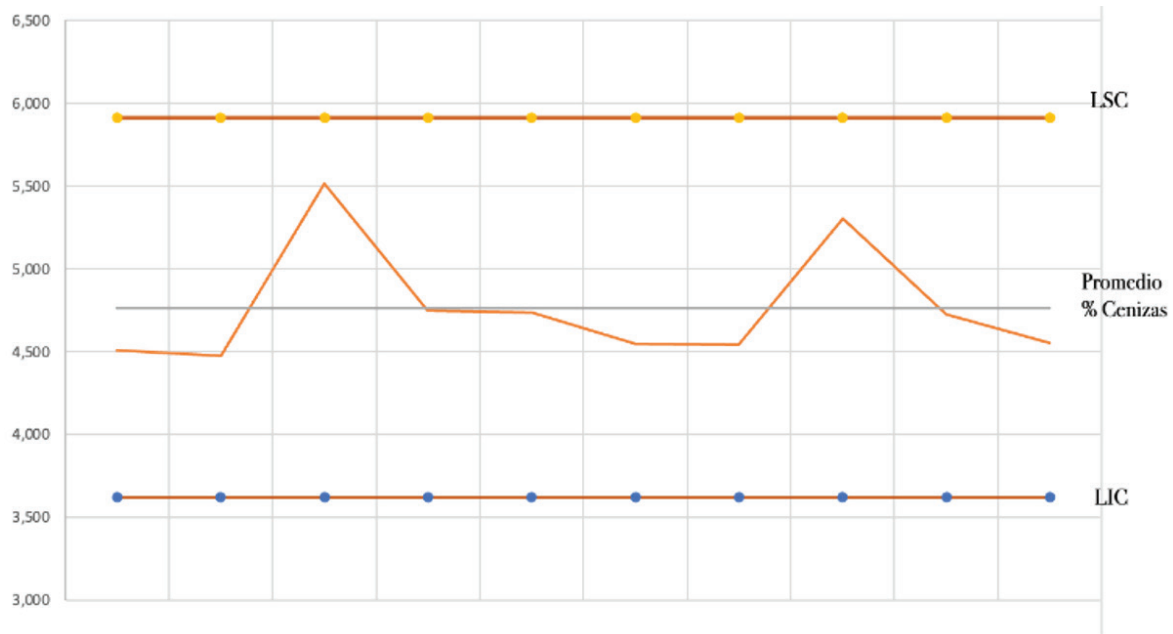
Tipos de muestra	Actividad agua (<i>a_w</i>)	% Humedad	% ST	% SF	% SV	% SS Brix	TCD
Blend	0,289	1,52 ± 0,10	98,5 ± 0,11	4,53 ± 0,03	94,0 ± 0,12	2,50 ± 0,55	1,90 ± 0,01
Blend Castillo	0,288	1,26 ± 0,06	98,7 ± 0,07	4,51 ± 0,04	94,2 ± 0,11	2,80 ± 0,14	1,88 ± 0,04
Castillo 1	0,241	1,54 ± 0,02	98,5 ± 0,03	4,74 ± 0,01	93,7 ± 0,00	2,55 ± 0,07	1,93 ± 0,03
Castillo 2	0,285	2,16 ± 0,03	97,8 ± 0,03	4,65 ± 0,13	93,2 ± 0,16	2,75 ± 0,07	1,74 ± 0,04
Tabi	0,249	0,72 ± 0,24	99,3 ± 0,14	5,41 ± 0,15	93,9 ± 0,01	2,10 ± 0,00	1,75 ± 0,02
Total	0,270	1,52 ± 0,50	98,6 ± 0,49	4,77 ± 0,36	93,8 ± 0,37	2,54 ± 0,33	1,84 ± 0,09

Fuente: Elaboración propia.

Los sólidos solubles constituyen un parámetro de calidad del café; la concentración en la bebida depende del método de extracción. El incremento de sólidos solubles ocurre por hidrólisis y solubilización de

carbohidratos insolubles. La determinación puede verse afectada por la relación agua-café, la temperatura, el sistema de preparación, el grado de molienda, el tipo, la densidad y el punto de tuestión del café.

Figura 3. Límites de control y promedio del contenido de cenizas en muestras de café tostado y molido



Fuente:

Los distintos grados de color en el café tostado dependen de la forma, la intensidad y el tiempo de aplicación de calor al grano verde. Los resultados para luminancia varían de 20.8 a 22.3. Es importante señalar que durante la tuestión el grano presenta cambios

proporcionales a las reacciones químicas que influyen en el aroma y sabor. El grano de café muestra variaciones graduales de color y tono según la temperatura, incrementando su volumen y presentando una pérdida de peso.

Tabla 2. Parámetros de cromaticidad y conductividad en muestras de café tostado y molido

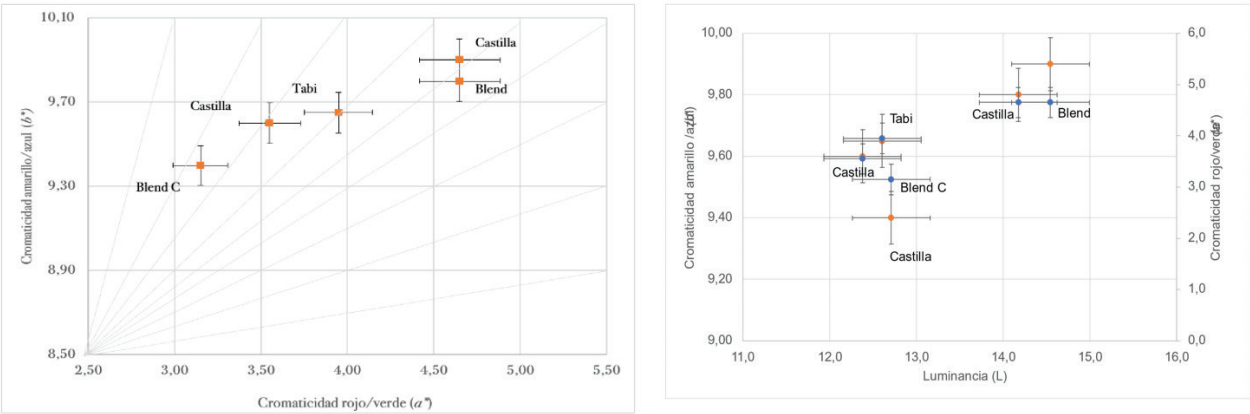
Tipos de muestra	L	a*	b*	C	h	CE
Blend	21,4 ± 0,60	4,65 ± 0,91	9,90 ± 0,14	14,1 ± 0,69	29,5 ± 7,40	3,79 ± 0,01
Blend Castillo	20,8 ± 0,50	3,15 ± 0,35	9,40 ± 0,28	12,4 ± 0,45	20,0 ± 1,80	3,74 ± 0,08
Castillo 1	21,2 ± 0,28	3,55 ± 0,80	9,60 ± 0,14	12,9 ± 0,781	22,3 ± 5,00	3,87 ± 0,01
Castillo 2	22,3 ± 0,20	4,65 ± 0,78	9,80 ± 1,31	14,2 ± 0,02	30,6 ± 10,2	3,49 ± 0,09
Tabi	20,9 ± 0,50	3,95 ± 0,21	9,65 ± 0,92	13,2 ± 0,91	25,0 ± 1,20	3,47 ± 0,02
Total	21,3 ± 0,71	4,00 ± 0,80	9,70 ± 0,53	13,4 ± 0,86	25,5 ± 6,25	3,67 ± 0,18

Fuente: Elaboración propia.

Los valores cromáticos para café tostado y molido reportados muestran cifras de 41.6 y 35.2 para L, 8.46 y 3.79 para a*, 8.02 y 16.2 para b*, y 8.85 y 18.3 para C en tuestes medios. En el presente trabajo, L osciló entre 20.8 ± 0.50 y 22.3 ± 0.20 , la cromaticidad rojo/verde entre 3.15 ± 0.35 y 4.65 ± 0.91 , y la cromaticidad amarillo/azul entre 9.40 ± 0.28 y 9.40 ± 0.28 . El

ángulo de tono (h) medio fue 25.5 ± 6.25 y el croma (C) 13.4 ± 0.86 (tabla 2). La figura 4 muestra la relación de cromaticidad rojo/verde (a*) y amarillo/azul (b*) en las variedades evaluadas. Estos valores coinciden con los reportados para procesos de tostión (luminancia entre 21.5 y 22.5).

Figura 4. Distribución y relación de la cromaticidad rojo/verde (a) y amarillo/azul (b) en tres variedades de café tostado y molido**



Fuente: Elaboración propia

Los tipos de tostión del café varían según el tiempo y la temperatura utilizados. Inicialmente, ocurre una decoloración visible en la superficie del grano. Al aumentar la temperatura, la coloración transita del verde al amarillo, castaño y finalmente marrón o negro brillante (Duarte, 2012).

En relación con el extracto etéreo, es importante señalar que en el café tostado hay un contenido de aceite fijo de entre 12 y 18% en peso, dependiendo de la variedad. Se trata de un líquido a temperatura ambiente, con proporción notable de insaponificables del 7 al 12%. El rendimiento de extracción mediante Soxhlet promedió $13.0 \pm 1.30\%$ (tabla 3).

Tabla 3. Parámetros químicos de muestras de café tostado y molido

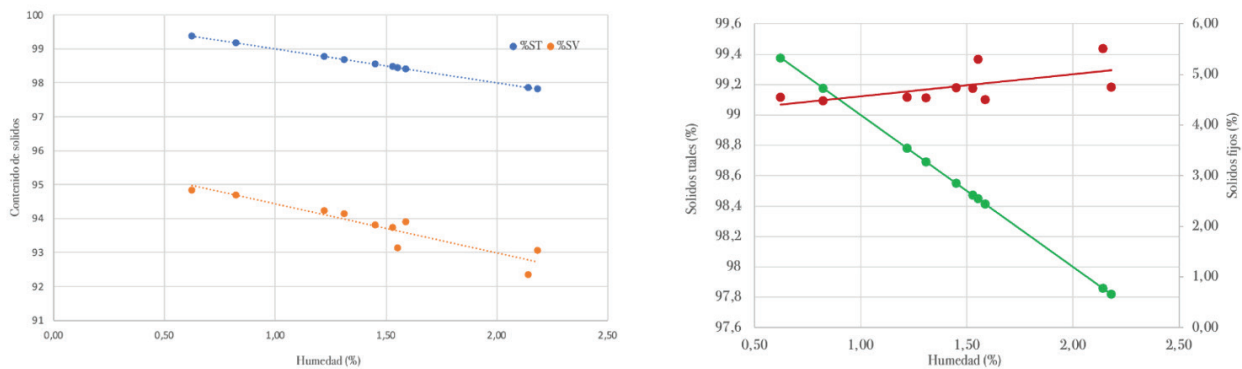
Tipos de muestra	pH	A. totalmeq/kg	A. Reductores	A. No invertidos	%E. Etéreo
Blend	$4,79 \pm 0,07$	$321,3 \pm 24,1$	$1,65 \pm 0,14$	$1,09 \pm 0,00$	$10,8 \pm 0,24$
Blend Castillo	$4,93 \pm 0,00$	$275,7 \pm 15,8$	$1,85 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,04$	$13,7 \pm 0,22$
Castillo 1	$4,98 \pm 0,01$	$240,2 \pm 8,10$	$1,10 \pm 0,03$	$1,35 \pm 0,51$	$12,9 \pm 0,05$
Castillo 2	$4,98 \pm 0,00$	$245,7 \pm 1,83$	$1,50 \pm 0,03$	$1,18 \pm 0,04$	$14,6 \pm 0,382$
Tabi	$5,54 \pm 0,01$	$151,6 \pm 8,80$	$1,17 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,03$	$13,0 \pm 0,257$
Total	$5,04 \pm 0,27$	$246,9 \pm 0,27$	$1,45 \pm 0,31$	$1,04 \pm 0,30$	$13,0 \pm 1,30$

Fuente: Elaboración propia.

Los carbohidratos presentes en el café abarcan desde los monosacáridos: glucosa, fructosa, ribosa y manosa, hasta los disacáridos sacarosa y maltosa, y los oligosacáridos, como rafinosa, además de almidón, celulosa, gomas y mucílagos. Los polisacáridos se descomponen durante el tostado, liberando mono y oligosacáridos solubles capaces de constituir precursores de compuestos del aroma y sabor. Se estima que el 20-40 % de los carbohidratos de los granos de café se

transforman en productos de degradación durante el tostado. La sacarosa, en la etapa de tuestión, se hidroliza parcialmente y el resto se carameliza, confiriendo color a las muestras de café. El *brewing* consiste en la extracción por gravedad de café tostado y molido, sin compactar, a través de un filtro de papel. Esto ocurre por la acción del agua caliente adicionada, permitiendo que los elementos solubles del café se transfieran al agua y definan el perfil sensorial de la bebida.

Figura 5. Relación entre el contenido de humedad, los sólidos totales y sólidos fijos



Fuente: Elaboración propia

En el presente estudio, los azúcares reductores — responsables, junto a otros compuestos, del color, sabor y aroma característicos de la bebida de café— se hidrolizan y, a medida que aumenta el grado de tueste, se polimerizan al reaccionar con los aminoácidos para formar las melanoidinas, también responsables del aroma y color. Los valores medios del parámetro de sólidos solubles se situaron alrededor de 2.54 ± 0.33 , siendo mayores en las muestras de café *blend*. Como era de esperarse, los azúcares reductores son bajos debido al proceso de tuestión; en el rango de las determinaciones se mantuvo entre 1.17 ± 0.03 y 1.85 ± 0.03 .

Los azúcares no invertidos, expresados como sacarosa aparente en porcentaje, fueron del orden de 1.04 ± 0.30 , tal como se observa en la tabla 3. El análisis de los datos demuestra relaciones lineales positivas entre el contenido de humedad, los sólidos totales y las cenizas (sólidos fijos), así como entre los sólidos totales, fijos y solubles, como se indica en la figura 5.

El pH del café es un factor importante en la determinación de la calidad de la bebida y suele oscilar entre 4.9 y 5.2. Cuando el café presenta valores de pH inferiores a 4.9, el resultado es sabores excesivamente ácidos, mientras que valores superiores a 5.2 tornan la bebida amarga. El pH de las muestras analizadas muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), siendo más bajo en las muestras tipo *blend* y mayor en la variedad Tabi, con 4.79 ± 0.07 y 5.54 ± 0.01 , respectivamente (tabla 3). La variación global correspondió a 5.04 ± 0.27 ; aunque los márgenes son relativamente pequeños, se detectan diferencias relevantes. Los valores de baja acidez se atribuyen a la presencia de ácidos clorogénicos. Estos resultados coinciden con la acidez total, que fue de 151.6 ± 8.80 para la variedad Tabi, a diferencia de una muestra de café tipo *blend* (321.3 ± 24.1 meq/kg).

Las expresiones equivalentes de ácido clorogénico favorecen a la variedad Castillo con 8.66 ± 1.10 y 10.5

± 1.60 mg/kg. Estos resultados permiten suponer diferencias en el proceso de tostión, que se traducen en una menor acidez en la variedad Tabi (151.6 ± 8.80 meq/kg), y 5.37 ± 0.31 mg/kg como ácido clorogénico (tabla 4). Los ácidos derivados del cafeoilquinico (CQA), dicafeoilquinico (di-CQA), feruloilquinico

(FQA), p-cumarilquinico (p-CoQA), 3-cafeoilquinico (3-CQA), 4-cafeoilquinico (4-CQA) y 5-cafeoilquinico (5-CQA) inciden directamente en los valores de pH y acidez de la bebida. La acidez titulable es inversamente proporcional al nivel de tostado del grano: a mayor tratamiento, menor acidez.

Tabla 4. Indicadores de acidez equivalente, cafeína, polifenoles y actividad reductora de café tostado y molido

Tipos de muestra	A.3-cafeoliquinico mg/kg	Cafeína mg por 100 g	Fenoles mg E. A. gálico por 100	Flavonoides mg E. Quercetina por 100 g	FRAP mg E. Trolox por 100 g
Blend	$9,77 \pm 0,56$	$246,9 \pm 7,24$	$228,1 \pm 7,50$	$103,5 \pm 1,70$	$699,5 \pm 23,0$
Blend Castillo	$8,51 \pm 0,28$	$279,2 \pm 7,80$	$212,1 \pm 7,90$	$92,9 \pm 4,50$	$702,1 \pm 29,5$
Castillo 1	$8,66 \pm 1,10$	$184,5 \pm 12,0$	$320,2 \pm 17,6$	$83,9 \pm 1,48$	$910,6 \pm 26,5$
Castillo 2	$10,5 \pm 1,60$	$207,9 \pm 12,3$	$267,9 \pm 14,1$	$82,4 \pm 9,95$	$555,5 \pm 8,20$
Tabí	$5,37 \pm 0,31$	$220,8 \pm 13,3$	$262,5 \pm 12,7$	$111,8 \pm 2,90$	$613,8 \pm 7,80$
Total	$8,75 \pm 2,11$	$246,9 \pm 9,62$	$258,2 \pm 41,7$	$258,2 \pm 41,7$	$696,3 \pm 13,1$

Fuente: Elaboración propia.

Después del proceso de extracción líquido-líquido, la cafeína se obtiene como un sólido blanco, inodoro que cristaliza en forma de agujas blancas y presenta un sabor y gusto amargo. El punto de fusión de este sólido es de 237 ± 1.0 °C. Es eflorescente en contacto con el aire, soluble en agua, cloroformo (CHCl_3) y diclorometano (CH_2Cl_2). El máximo de absorción de la cafeína se observó a 273 nm. La cafeína no presenta cambios significativos durante el tostado del café, ya que este alcaloide no sufre alteraciones. Sin embargo, durante las operaciones de tostión pueden presentarse pequeñas pérdidas o incrementos en el contenido de cafeína, debido a la pérdida de otros compuestos (Díaz Santacruz, 2014; Farah, 2012).

El contenido de cafeína de las muestras analizadas está en torno a 246.9 ± 9.62 mg por 100 g, siendo superior en las muestras tipo *blend* y Tabi. De forma paralela, los polifenoles equivalentes, expresados como

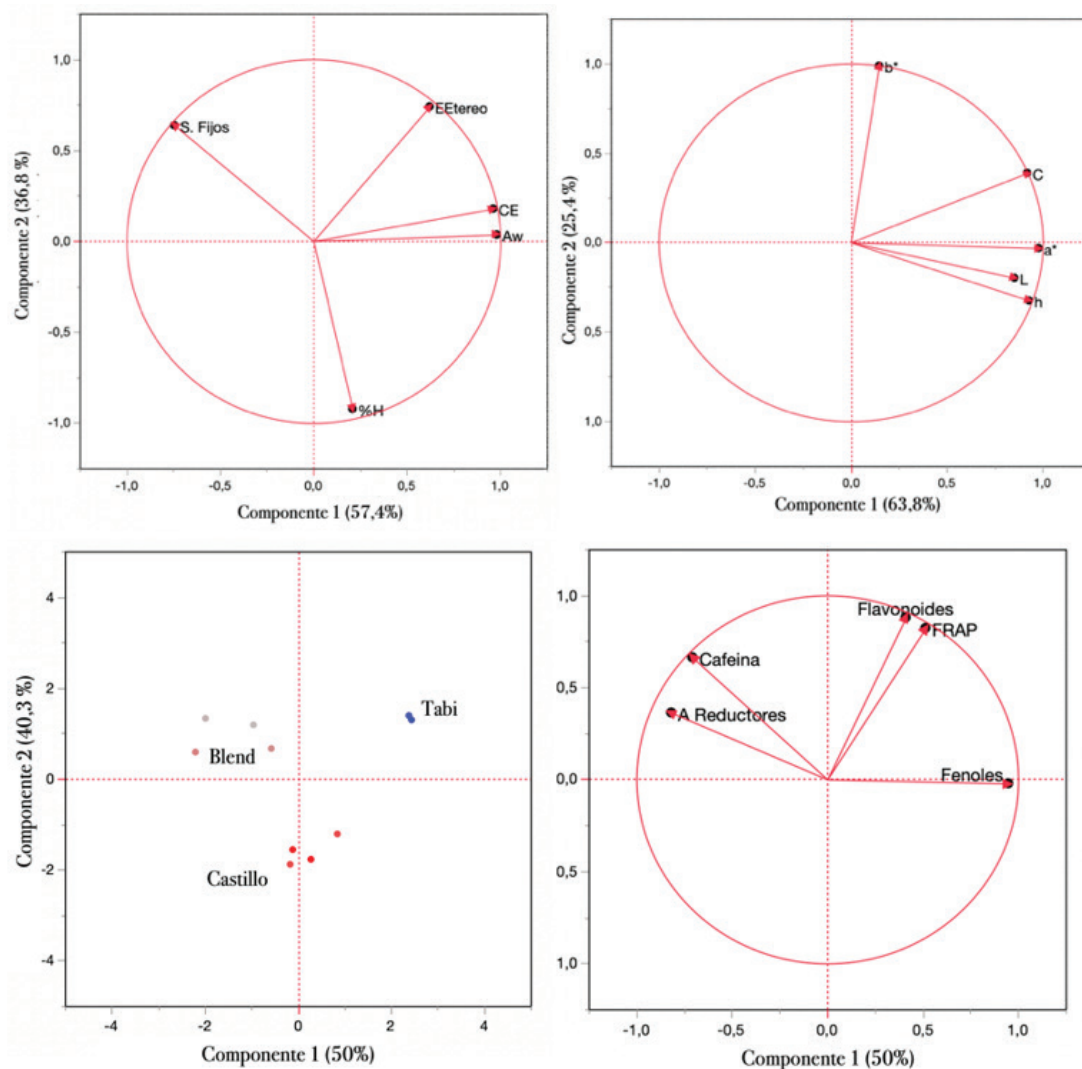
fenoles y flavonoides, ascendieron a 258.2 ± 41.7 (mg E. A. gálico por 100 g) y 258.2 ± 41.7 (mg E. quercetina por 100 g), respectivamente. Una prueba del tipo Castillo mostró valores elevados para fenoles, mientras que la muestra Tabi registró el mayor valor para flavonoides. La prueba FRAP arrojó un promedio de 696.3 ± 13.1 , alcanzando los valores más altos en una de las variedades Castillo, como se muestra en la tabla 4.

Análisis multivariado: Las técnicas de análisis multivariado, quimiometría y reconocimiento de patrones son frecuentemente empleadas en la evaluación de matrices alimentarias. En particular, destacan las técnicas de regresión múltiple, regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR), correlación canónica (CCA), análisis de Procrustes (GPA) y análisis de componentes principales (PCA), que permite describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables (Osorio Tangarife et al., 2017). La representación

biplot para los dos componentes principales (CP) de los parámetros representativos de la caracterización de tipos de café tostado y molido, asociados a la vereda Cay de Ibagué, Tolima, revela la distribución de la variedad de café. Se aprecia la contribución de los sólidos fijos, el extracto etéreo y la conductividad eléctrica como

parámetros de clasificación. En el mismo sentido, el parámetro de cromaticidad (b^*), cafeína, flavonoides y prueba FRAP (figura 6). Se evidencia alta correlación entre los fenoles totales y los análisis de trolox equivalente (FRAP), como se señala en otras investigaciones (Parras et al., 2007).

Figura 6. Representaciones *biplot* de los dos componentes principales (CP) asociados a parámetros representativos de la caracterización de tipos de café tostado y molido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Correlaciones entre parámetros analíticos asociados a las componentes principales para tipos de café tostado y molido

Parámetros	E. Etéreo	C. Eléctrica	aw	Humedad	S. Totales	S. Solubles
E. Etéreo	1,0000					
C. Eléctrica	0,7244	1,0000				
aw	0,6108	0,9216	1,0000			
Humedad	-0,4623	0,0620	0,1213	1,0000		
S. Totales	0,4617	-0,0598	-0,1335	-0,9981	1,0000	
S. Solubles	0,3344	0,5698	0,6862	0,4467	-0,4749	1,0000
Parámetros	L	a*	b*	C	h	S. Fijos
L	1,0000					
a*	0,7422	1,0000				
b*	-0,0419	0,1011	1,0000			
C	0,6764	0,8998	0,5150	1,0000		
h	0,7733	0,9547	-0,1936	0,7395	1,0000	
S. Fijos	-0,3340	-0,1007	-0,0107	-0,1196	-0,1176	1,0000
Parámetros	Cafeína	FRAP	S. Volátiles	Fenoles	Flavonoides	Acidez
Cafeína	1,0000					
FRAP	0,2082	1,0000				
S. Volátiles	0,7035	0,3683	1,0000			
Fenoles	-0,7133	0,4257	-0,3249	1,0000		
Flavonoides	0,2540	0,8812	0,4603	0,3868	1,0000	
Acidez	0,0318	-0,7515	-0,4775	-0,6269	-0,7096	1,0000

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La investigación permitió evaluar el contenido de fenoles, cafeína y actividad antioxidante en granos de café tostado y molido, asociados a sistemas productivos del corregimiento Cay en Ibagué. Se aplicaron técnicas de análisis para los parámetros de color, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos fijos y volátiles, solubles, potencial de hidrógeno, humedad, actividad de agua, acidez total, acidez equivalente

(3-cafeoilquinico), azúcares reductores y no reductores, extracto etéreo, equivalentes de fenoles, flavonoides y el poder antioxidante y reductor, con el uso de técnicas de análisis multivariado por componentes principales. Se propuso un modelo analítico para la caracterización de matrices de café, poniendo en evidencia la calidad y variabilidad de las muestras asociadas a las regiones.

REFERENCIAS

- Alvarado-Alvarado, G., Posada-Suárez, H. E., & Cortina, H. A. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe*, 337, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0337>
- Crozier, T. W. M., Stalmach, A., Lean, M. E. J., & Crozier, A. (2012). Espresso coffees, caffeine and chlorogenic acid intake: Potential health implications. *Food Funct.*, 3(1), 30-33. <https://doi.org/10.1039/C1FO10240K>
- Díaz Santacruz, P. A. (2014). *Efectos de la altitud sobre la calidad del café torrefactado (coffea arabica l. Var. Colombia) producido en los municipios de Buesaco y la Unión – Nariño, pertenecientes al ecotopo e – 220 a* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <http://repositorio.unad.edu.co/handle/10596/2598>
- Farah, A. (2012). Coffee Constituents. En: Y. F. Chu (Ed.), *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*, (pp. 21–58). John Wiley & Sons, <https://doi.org/10.1002/9781119949893>
- Guil-Guerrero, J. L., Ramos, L., Moreno, C., Zúñiga-Paredes, J. C., Carlosama-Yepez, M., & Ruales, P. (2016). Antimicrobial activity of plant-food by-products: A review focusing on the tropics. *Livestock Science*, 189, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.04.021>
- Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., & Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>
- Lazcano-Sánchez, E.; Trejo-Márquez, M. A.; Vargas-Martínez, M. G.; Pascual-Bustamante, S. (2015). Contenido de fenoles, cafeína y capacidad antioxidante de granos de café verdes y tostados de diferentes estados de México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 293–298.
- Liang, N., & Kitts, D. (2014). Antioxidant Property of Coffee Components: Assessment of Methods that Define Mechanisms of Action. *Molecules*, 19(11), 19180-19208. <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>
- Liang, N., & Kitts, D. (2015). Role of Chlorogenic Acids in Controlling Oxidative and Inflammatory Stress Conditions. *Nutrients*, 8(1), 16. <https://doi.org/10.3390/nu8010016>
- Martini, D., Del Bo', C., Tassotti, M., Riso, P., Del Rio, D., Brighenti, F., & Porrini, M. (2016). Coffee Consumption and Oxidative Stress: A Review of Human Intervention Studies. *Molecules*, 21(8), 979. <https://doi.org/10.3390/molecules21080979>
- McCarthy, R. R., & O'Gara, F. (2015). The impact of phytochemicals present in the diet on microbial signalling in the human gut. *Journal of Functional Foods*, 14, 684-691. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.032>
- Ocampo-López, O. L.; Álvarez-Herrera, L. M. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139–165
- Osorio Tangarife, M. P., Rodríguez Arias, N., y Salamanca Grosso, G. (2017). Técnicas de análisis multivariado, modelamiento factorial múltiple y PLS-PATH para estudio y clasificación de tipos de mieles venezolanas de los estados de Lara y Yaracuy. *Ciencia en Desarrollo*, 8(1), 129–143. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/15204>
- Palmieri, M. G. S., Cruz, L. T., Bertges, F. S., Húngaro, H. M., Batista, L. R., Da Silva, S. S., Fonseca, M. J. V., Rodarte, M. P., Vilela, F. M. P., & Amaral, M. D. P. H. D. (2018). Enhancement of antioxidant properties from green coffee as promising ingredient for food and cosmetic industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.011>
- Parras, P., Martineztome, M., Jimenez, A., & Murcia, M. (2007). Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures. *Food Chemistry*, 102(3), 582-592. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.037>
- Patay, É. B., Bencsik, T., & Papp, N. (2016). Phytochemical overview and medicinal importance of Coffea species from the past until now. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(12), 1127-1135. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.11.008>
- Salamanca, G., Hernández, J.A., y Osorio, M. (2015). Fracción fenólica y flavonoides totales del polen corbicular colombiano: actividad antioxidante y capacidad antirradicalaria. *Zootecnia Tropical*, 33(4), 351–374.
- Salamanca, G.; Osorio, M., & Urrego, C. D. (2108). Chromatic parameters and morphological change in coffee beans during roasting operation. FS 1330-2 *Pittcon Conference and Expo* 2018.Orlando, Florida.
- Samper, M.; Topik, S., y Talbot, J. M. (2012). Crisis y transformaciones del mundo del café: Dinámicas locales y estrategias nacionales en un periodo de adversidad e incertidumbre. *Pontificia Universidad Javeriana*. <http://hdl.handle.net/10554/41327>
- Valerio-Cubillo, O.; Vargas-Elías, G. A., Abarca Mora, R.; Barboza-Barquero, L.; Carmona-Villalobos, G. (2016). Estudio de la cinética de cambio de color de café tostado usando análisis de imágenes en image j. XII *Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola*. Bogotá, Colombia, 23-27 de mayo. <https://hdl.handle.net/10669/76904>
- Zavaleta, J., Muñoz, A. M., Blanco, T., Alvarado-Ortiz, C., y Loja, B. (2005). Capacidad antioxidante y principales ácidos fenólicos y flavonoides de algunos alimentos. *Horizonte Médico*, 5(2).