

## Contenido mineral de cafés de diferente altitud del Estado de Guerrero, México

### Mineral content of coffee of different altitudes from the State of Guerrero, México

Oscar Martín Antúñez-Ocampo<sup>1\*</sup> , Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>2</sup> , Mariana Espinosa-Rodríguez<sup>3</sup> , Juan Elías Sabino-López<sup>3</sup> , Luis Antonio Flores-Hernández<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. Carr. Iguala-Tuxpan, km 2.5. CP. 40000. Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

<sup>2</sup>CENID-RASPA, km. 6.5 Margen Derecha Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico poniente S/N, Col. Villa de Guadalupe, CP. 40040. Iguala de la independencia, Guerrero, México.

\*Autor de correspondencia: [antunez.oscar@inifap.gob.mx](mailto:antunez.oscar@inifap.gob.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 20 de febrero 2024

Aceptado: 10 de febrero 2025

**RESUMEN.** En las regiones Montaña, Costa Grande y Chica del Estado de Guerrero, México; el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) es una actividad estratégica importante para la población indígena y campesina. La altitud es uno de los factores que influye en la composición bioquímica, calidad física y organoléptica de la taza de café. El objetivo fue evaluar el contenido de macro y micronutrientes en café tostado molido proveniente de diferentes alturas del Estado de Guerrero. Los tratamientos fueron seis cafés recolectados a diferentes altitudes de Guerrero. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los cafés se recolectaron en las localidades y municipios de: i) San Miguel el Progreso y Paraje Montero, Malinaltepec; ii) Páscala del Oro, San Luis Acatlán; iii) El Carrizal, Tlacoapa y iv) Barranca Pobre, Acatepec. El K, Ca, Fe y Cu se analizaron por aspiración directa en flama aire - acetileno, en espectrómetro de absorción atómica Analyst700 PerkinElmer®; el N y P se cuantificaron con un espectrofotómetro Jenway® 73 UV/VIS, los valores se expresaron en porcentaje (%) y mg kg<sup>-1</sup>. Se registró mayor contenido de N y Cu en café de 2041 m; sin embargo, en cafés de menor altitud (1 060 y 1 089 m) hubo mayores niveles de P, K y Fe. El café de 1 986 m, sobresalió en Ca (0.17%). La altitud fue un factor que diferenció el contenido mineral del café tostado molido, donde el orden de abundancia fue K, N, P, Ca, Fe y Cu.

**Palabras clave:** Altitud, calidad, *Coffea arabica*, Guerrero, tostado, minerales.

**ABSTRACT.** In Montaña, Costa Grande and Chica regions of Guerrero State, Mexico; The coffee (*Coffea arabica* L.) cultivation is an important strategic activity for indigenous and farmers population. Altitude is a factor one that influences in the biochemical composition, physical and organoleptic quality of the cup coffee. The objective was to evaluate the macro and micronutrients content in ground roasted coffee from different altitudes of Guerrero State. The treatments were six coffees collected at different altitudes in Guerrero. The experimental design was completely randomized, with four repetitions. The coffees were collected in the towns and municipalities of: i) San Miguel el Progreso and Paraje Montero, Malinaltepec; ii) Páscala del Oro, San Luis Acatlán; iii) El Carrizal, Tlacoapa and iv) Barranca Pobre, Acatepec. K, Ca, Fe and Cu were analyzed by direct aspiration in air-acetylene flame, in an Analyst700 PerkinElmer® atomic absorption spectrometer; N and P were quantified with a Jenway® 73 UV/VIS spectrophotometer, values were expressed in in percentage (%) and mg kg<sup>-1</sup>. The highest content of N and Cu was recorded in coffee of 2041 m; however, in coffees at lower altitudes (1 060 and 1 089 m) there were higher P, K and Fe levels. The 1 986 m coffee stood out in Ca (0.17%). Altitude was a factor that differentiated the mineral content of ground roasted coffee, where the abundance order were K, N, P, Ca, Fe and Cu.

**Keywords:** Altitude, quality, *Coffea arabica*, Guerrero, toasted, minerals.

**Como citar:** Antúñez-Ocampo OM, Puente-Valenzuela CO, Espinosa-Rodríguez M, Sabino-López JE, Flores-Hernández LA (2025) Contenido mineral de cafés de diferente altitud del Estado de Guerrero, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4016. DOI: 10.19136/era.a12n1.4016.

## INTRODUCCIÓN

El cafeto (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos industriales en México, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar y producir variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo (Gasperín-García *et al.* 2023). Este cultivo es una actividad estratégica de gran importancia porque participan más de 500 mil productores, en su mayoría minifundistas e indígenas que habitan en las áreas montañosas del centro y sureste del país, donde la venta del grano de café les permite obtener ingresos económicos para la subsistencia (Canet *et al.* 2016, López-García *et al.* 2016, Gasperín-García *et al.* 2023). En zonas marginadas del Estado de Guerrero, específicamente en las regiones Montaña, Costa Grande y Chica, predomina población indígena (Tlapaneco, Mixteco, Amuzgo y Náhuat) que se caracteriza por ser agricultores de pequeña escala de café y maíz (sistema milpa) y que emplean la mano de obra familiar (Tablas *et al.* 2021, Oropeza-Guevara *et al.* 2023). En este sentido, los cafeticultores guerrerenses manejan pequeñas parcelas bajo sombra (asociada con árboles forestales y frutales) distribuidas en diversas condiciones geográficas (de 100 a más de 2 000 msnm) (González y Hernández 2016), en terrenos con pendientes suaves a muy pronunciadas, con escaso uso de tecnología para la producción; sin un marco de plantación y aplican pocos insumos para el control de plagas y enfermedades (Tablas *et al.* 2021, Oropeza-Guevara *et al.* 2023). Respecto a las variedades, las más cultivadas son Typica, Bourbon, Caturra Rojo, Mundo Novo, Garnica y Caturra Amarillo (Oropeza-Guevara *et al.* 2023), cuya producción promedio de fruto de café (cereza) es inferior a 2.0 Mg ha<sup>-1</sup> (López-García *et al.* 2016).

La mayoría de las variedades de *Coffea arabica* son genéticamente parecidas; sin embargo, morfológicamente presentan diferencias notables, debido a que sus frutos contrastan en calidad en pre y poscosecha (Illy y Viani 2005, Kathurima *et al.* 2009, Canet *et al.* 2016). En este contexto, diversos estudios han descrito factores que influyen en la calidad del café como la variedad, la altitud o ubicación de la plantación, intensidad de la sombra, manejo agronómico, condiciones agrometeorológicas de la región y el manejo poscosecha, son los factores más importantes en el sistema de producción, ya que el genotipo y su adaptación al ambiente permite expresar su potencial productivo en cuanto a cantidad y calidad de los frutos a cosechar (Escamilla *et al.* 2015, López-García *et al.* 2016, Barrera *et al.* 2019). No obstante, hay otros factores poscosecha que tienen relación con la calidad del café en taza (Orozco *et al.* 2011, Suárez *et al.* 2015).

La altitud influye en la composición bioquímica, la calidad física y organoléptica del café en taza (Barrera *et al.* 2019, Guevara-Sánchez *et al.* 2019); por ejemplo, cafés provenientes de zonas altas (altitud mayor de 800 msnm) resaltan por presentar mejor sabor, aroma y acidez. Otro aspecto que altera la calidad es el beneficio del grano, ya que problemas durante este proceso pueden disminuir en 80% la calidad en taza (Puerta 2011, Puerta *et al.* 2017). Entre los procesos más sobresalientes durante el beneficio se tiene el tostado del grano, que es considerado como el parámetro más importante en el resultado final en taza (Wei y Tanokura 2015, Santos *et al.* 2016, Barrera *et al.* 2019), ya que promueve el desarrollo de componentes volátiles, como el aroma, atributo característico del café; sin embargo, este estará influenciado por la composición de los granos, que a su vez difiere según la especie o variedad de cafeto, así como, del origen y el grado del tostado (Araúz *et al.* 2019). Lo anterior se debe a que, en el proceso de tostado, los granos verdes son sometidos a altas temperaturas (> 150 °C) por lo que sufren cambios físicos y químicos, es por ello que las condiciones

de este proceso influyen fuertemente en la calidad, siendo la bioactividad y el sabor los más afectados (Farah 2012, Santos *et al.* 2016).

En Colombia, diversos autores han reportado resultados en la composición química del café; por ejemplo, Puerta *et al.* (2017) indicaron que, en café verde y tostado de variedades Arábica; el nitrógeno (1.88% N) y potasio (1.34% K) son los elementos más abundantes. También, se ha documentado que, en café verde, el contenido de minerales no presentó diferencias entre especies cultivadas (*Coffea arabica*, *C. canephora*, *C. liberica* y *C. congensis*), ni entre localidades (Villarreal *et al.* 2008). Comportamiento similar también fue registrado por Clarke y Walker (1974) quienes no encontraron diferencias en el contenido de potasio (K) en café verde y soluble, proveniente de Colombia, Brasil, Uganda y Angola. Por otro lado, Roffi *et al.* (1971) y Ferreira *et al.* (1971) no encontraron relación entre el contenido de 16 elementos químicos con la calidad de la bebida, ni diferencias por la procedencia del grano de café verde y tostado de Angola.

La diferencia en la composición química del grano de café se ha observado más entre regiones geográficas productoras (Indonesia, África Oriental y América Central y del Sur). Por ejemplo, los granos provenientes de Colombia presentan mayor contenido de zinc (Zn), que los granos de Sumatra, que registraron niveles bajos de manganeso (Mn), K y sodio (Na); pero, con niveles altos de hierro (Fe) y aluminio (Al). Mientras que, los contenidos de fósforo (P), Zn, magnesio (Mg), calcio (Ca), K y azufre (S) presentaron poca variación entre orígenes (Anderson y Smith (2002). En el caso de bebidas y espresso de café, se obtuvieron mayores contenidos de Mn y Zn en la especie Arábica que en Robusta (Pertoldi *et al.* 2001). Es importante señalar que, no todos los trabajos de investigación son concluyentes en la calidad del café en taza y su relación con la composición del grano (Ramos y Criollo 2017). No obstante, se resalta que la composición química del grano depende de la variedad, las condiciones agronómicas y ambientales donde se establece el cultivo.

En México, las investigaciones en café referentes a las características productivas y de calidad son limitadas por ser un cultivo perenne y por su requerimiento de procesos poscosecha (Avelino *et al.* 2005, Pérez-Portilla *et al.* 2011). En este sentido, la presente investigación busca aportar información de la química mineral poscosecha del café del Estado de Guerrero, bajo el objetivo de evaluar el contenido de macro y microminerales del café tostado molido proveniente de diferentes alturas del Estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que al menos un rango de altitud altera el contenido mineral del café producido en Guerrero, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

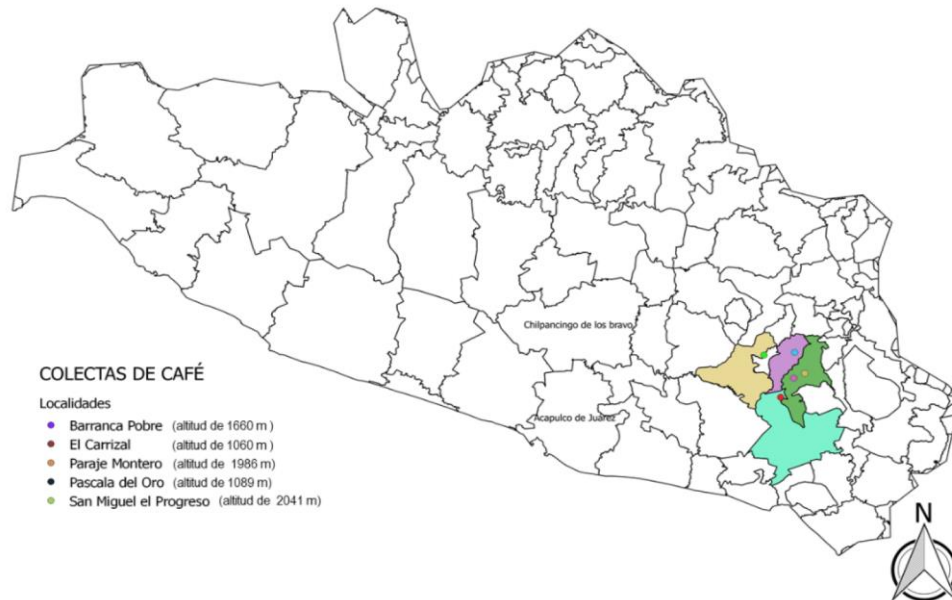
En la presente investigación se utilizó café tostado molido proveniente de las variedades Typica, Costa Rica 95 y Colombia (Tabla 1), cultivadas en los municipios de San Luis Acatlán, Malinaltepec, Tlacoapa y Acatepec, del estado de Guerrero, México.

**Tabla 1.** Características de variedades de café cultivadas en el Estado de Guerrero, México (ANACAFÉ 2019).

Variedad de café	Característica
Typica	Planta de porte alto, con frutos alargados de color rojo intenso durante la madurez, estos se caracterizan por presentar excelente calidad en taza, con aroma floral y un cuerpo pesado, que son expresados cuando es cultivado y procesado adecuadamente. El potencial de la planta y fruto (calidad sensorial) es en altitudes de 1 300 a 1 800 m; sin embargo, la variedad es susceptible a la roya y es de bajo rendimiento.
Colombia	Variedad compuesta por la mezcla de numerosas progenies seleccionadas por atributos agronómicos sobresalientes y buena calidad de la bebida, con amplia adaptación a las condiciones de la cafecultura nacional; presenta resistencia completa e incompleta a la roya del cafeto ( <i>Hemileia vastatrix</i> ).
Costa Rica 95	Planta de porte bajo, con brotes color bronce, precoz de alta productividad (50 a 70 quintales pergamino seco por manzana), con buena adaptabilidad en zonas de 800 a 1 400 m de altitud. El fruto es color rojo, con grano grande (zaranda 17), alargado y ancho, parecido al de Típica. Variedad susceptible al ojo de gallo ( <i>Mycena citricolor</i> ), requiere buen manejo agronómico, especialmente en la nutrición.

### Recolecta de los cafés

El café tostado molido se recolectó en octubre y noviembre de 2022, con productores de las localidades de: i) San Miguel el Progreso y Paraje Montero, Municipio Malinaltepec; ii) Páscala del Oro, Municipio San Luis Acatlán; iii) El Carrizal, Municipio Tlacoapa; iv) Barranca Pobre, Municipio Acatepec (Figura 1). Las muestras de café tostado molido son producto de la cosecha de enero de 2022. Una vez obtenidas las muestras, estas se almacenaron en bolsas de plástico transparente de un kg de capacidad (12 x 30 cm) y se etiquetaron con sus datos respectivos.



**Figura 1.** Mapa del Estado de Guerrero, con las localidades donde se realizó la recolecta del café tostado molido.

### Factor de estudio y diseño experimental

Se evaluaron seis cafés recolectados a diferentes altitudes en la región Montaña del Estado de Guerrero (Tabla 2). Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones, donde cada repetición fue una muestra de 100 g de café molido.

**Tabla 2.** Descripción de los sitios de recolecta de los cafés molidos, en el Estado de Guerrero.

Altitud (msnm)	Localidad	Municipio	Coordenadas geográficas	Variedad de café
1 060	El Carrizal	Tlacoapa	-98.8327 LO; 17.1577 LA	Typica
1 089	Páscala del Oro	San Luis Acatlán	-98.8125 LO; 17.055 LA	Colombia
1 089	Páscala del Oro	San Luis Acatlán	-98.8125 LO; 17.0558 LA	Costa Rica 95
1 660	Barranca Pobre	Acatepec	-98.8827 LO; 17.2502 LA	Typica
1 986	Paraje Montero	Malinaltepec	-98.7041 LO; 17.1641 LA	Typica
2 041	San Miguel el Progreso	Malinaltepec	-98.6861 LO; 17.2597 LA	Typica

### Análisis químico de las muestras de café

El análisis químico de las muestras de café tostado se realizó en el laboratorio de suelos del CENID - RASPA del INIFAP, ubicado en Gómez Palacio, Durango, México. Las determinaciones se hicieron con base en: i) secado (a 75 °C hasta llegar a peso constante) y homogenización de la muestra (tamaño de partícula menor a 0.5 mm); ii) digestión húmeda de las muestras; iii) análisis de las muestras digeridas, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Analyst700 PerkinElmer®). La cuantificación de potasio se hizo con muestras diluidas en agua; mientras que, la determinación de calcio fue en muestras diluidas y adicionadas con lantano en solución ácida de ácido nítrico en proporción de 0.774 g L<sup>-1</sup> y acidez del 1%. Para la cuantificación de hierro y cobre no se realizó ninguna dilución. Todos estos elementos fueron analizados por aspiración directa en flama aire - acetileno, en el espectrofotómetro de absorción atómica. El fósforo se determinó a partir del digerido empleando la técnica de colorimetría con desarrollo de color con solución mixta de molibdato - metavanadato de amonio, en un espectrofotómetro Jenway® modelo 73 UV/VIS, a longitud de onda de absorción máxima de 490 nm. El análisis del nitrógeno total, consistió la destrucción completa de la muestra, posteriormente se utilizó una alícuota de la preparación digerida y se sometió al método de Berthelot para su cuantificación en el espectrofotómetro. La determinación de la precisión y porcentaje de error se realizó a través de duplicados de muestras control procesados y analizados con cada lote de las muestras; la evaluación del recobro se realizó a través de muestras adicionadas de manera sintética y evaluando la cantidad recuperada para cada adición. Como control de calidad externo se empleó el material de referencia certificado de la NIST® SRM® 1573a de hojas de tomate (con recuperaciones superiores al 95% para cada uno de los elementos). Los resultados obtenidos de macronutrientes y micronutrientes se expresaron en porcentaje (%) y mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. El contenido de N del café se multiplicó por 6.25 para obtener el contenido de proteína (Castrillón-Monroy y Riaño-Luna 1999).

### Análisis estadístico

La información obtenida del análisis mineral se sometió a un análisis de varianza (ANOVA) y a las variables que resultaron significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey al 5%) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS 2002).

## RESULTADOS

Los análisis de varianza mostraron significancia ( $\alpha \leq 0.05$ ) en el contenido de macro (N, P, K y Ca) y microminerales (Cu y Fe) en el café tostado molido (Tabla 3) proveniente de diferente altitud del Estado de Guerrero.

**Tabla 3.** Significancia estadística y cuadrados medios de la fuente de variación para el contenido de macro y microminerales del café molido del Estado de Guerrero, México.

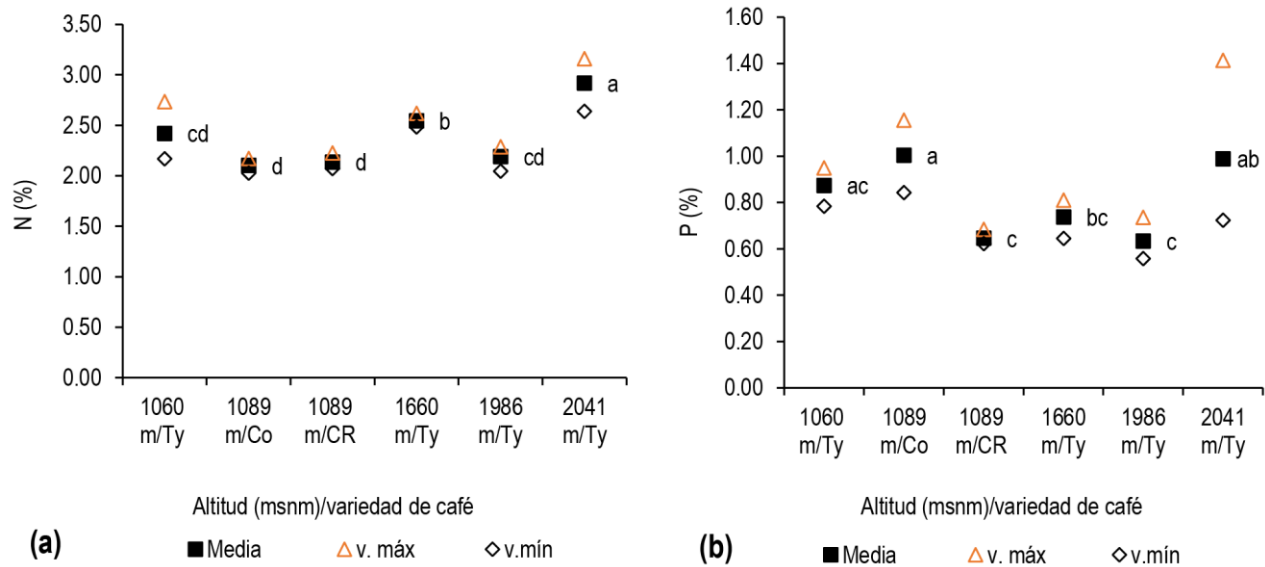
Descripción	N	P	K	Ca	Cu	Fe
	%				mg	
Significancia	0.0007*	0.0005*	0.0122*	0.0026*	0.0001*	0.0001*
CMerror	0.031	0.031	0.055	0.00	4.51	259.30
MG	2.39	0.81	3.15	0.14	28.55	169.59
C. V. (%)	7	22	7	10	7	10
R <sup>2</sup>	0.80	0.52	0.66	0.74	0.95	0.97

F. V. = Fuente de variación. C. V. = Coeficiente de variación. \* = Significativo ( $\alpha \leq 0.05$ ). ns = No significativo ( $\alpha > 0.05$ ). CM = Cuadrado medio. MG = Media general. N = Nitrógeno. P = Fósforo. K = Potasio. Ca = Calcio. Cu = Cobre. Fe = Hierro.

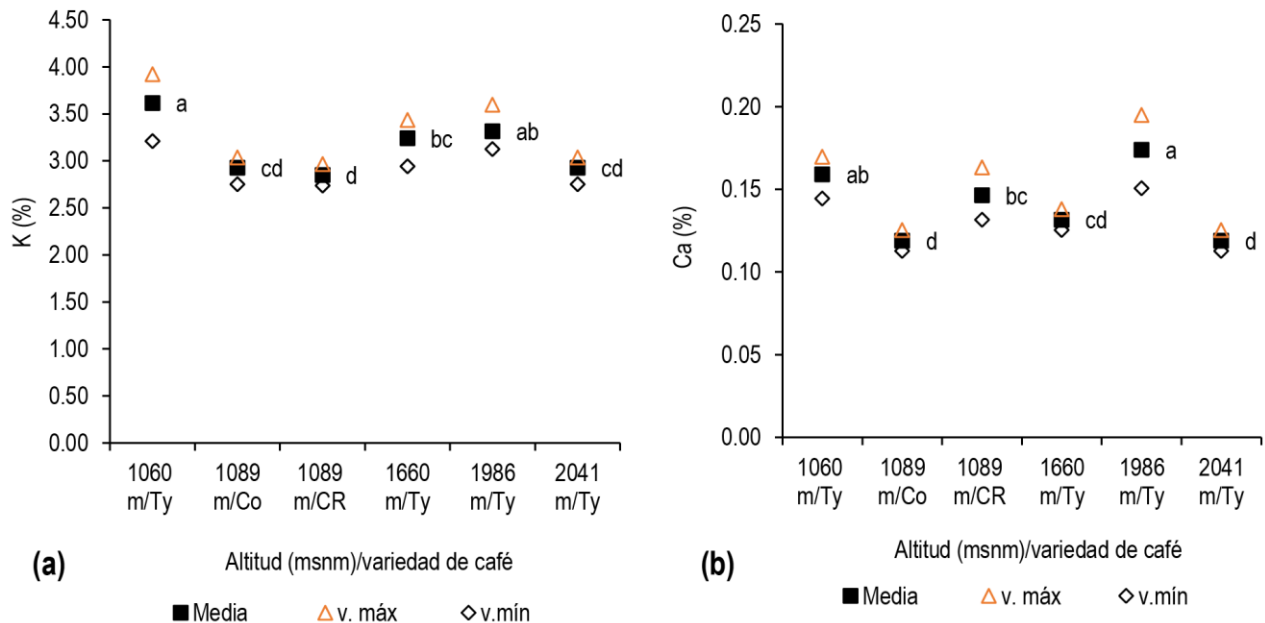
El N fue estadísticamente diferente entre cafés ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Tabla 3); en este sentido, el café proveniente de 2 041 m de altitud obtuvo el mayor contenido de este elemento (2.92%), estadísticamente superior al resto de cafés, donde los menores contenidos se tuvieron en cafés provenientes de altitudes menores de 1 660 m (Figura 2a). Para el P, los mayores contenidos se registraron en los cafés obtenidos en altitudes de 1 060, 1 089 y 2 041 m, que oscilaron de 0.87 a 1.0%, estos valores fueron superiores a los de altitudes de 1 089 y 1 986 m (excepto el café de la variedad Colombia) que presentó contenidos menores (0.63 a 0.74%). En el caso del café procedente de 1 986 m registró el promedio más bajo, inferior en 37%, con respecto al mayor promedio (altitud de 1 089 m) (Figura 2b). La variabilidad de los cafés en este mineral se puede relacionar con el valor del CV que fue 22%, lo que sugiere que la altitud puede alterar este parámetro químico.

En el contenido de K, mostró un comportamiento diferente al del N y P, ya que los contenidos mayores se registraron en altitud menor (1 060 m) e intermedia (1 660 y 1 986 m) los cuales son estadísticamente superiores de 10 a 26% al resto. Dicha diferencia fue más notoria en cafés provenientes de 1 089 y 2 041 m, que tuvieron contenidos estadísticamente similares, pero fueron los más bajos. Por otro lado, los cafés de 1 060 y 1 986 m fueron estadísticamente iguales, pero con una diferencia en contenido de 9% entre ellos (Figura 3a). Para el Ca, el comportamiento también fue diferente entre cafés ( $\alpha \leq 0.05$ ), además registro un CV de 10%, lo que sugiere que los cafés pueden tener mayor variabilidad en mineral. En este sentido, el café más sobresaliente fue el proveniente de 1 986 m de altitud, al presentar el mayor contenido de Ca (0.17%), superior en 29% al registrado en café de mayor (2 041 m) y menor (1 089 m) altitud. Por otro lado, altitudes de 1 060

y 1 986 m originaron cafés con contenido de Ca estadísticamente similares, pero con una diferencia de 5.85% entre ambos (Figura 3b).



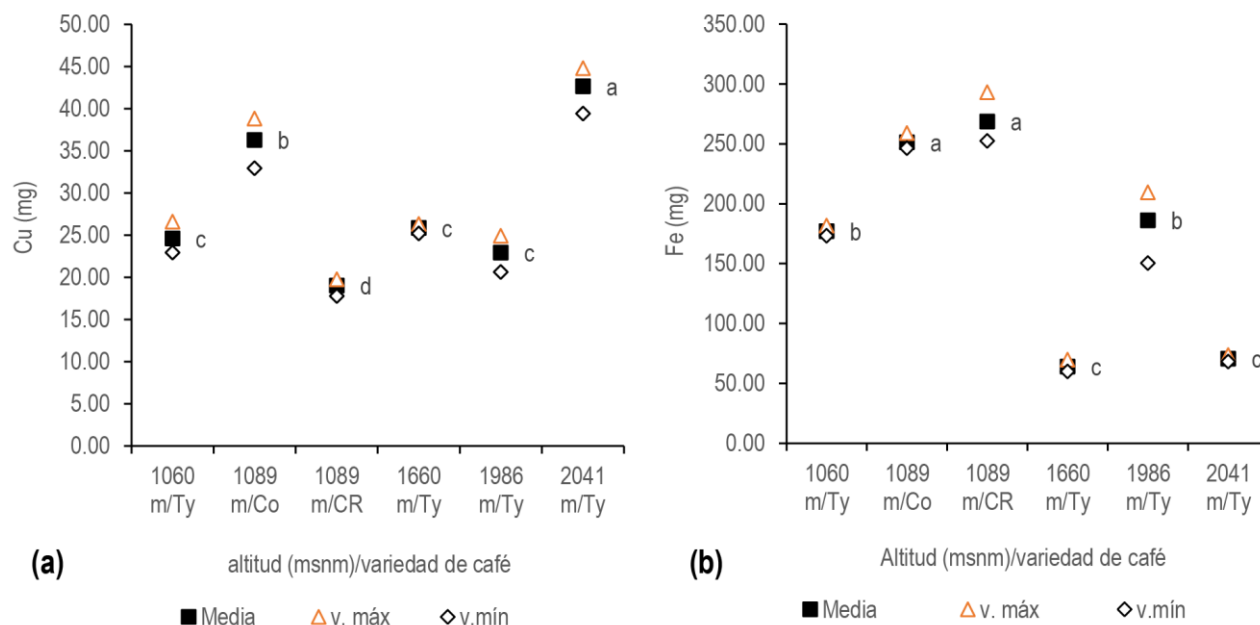
**Figura 2.** Contenido (%) de nitrógeno (N) y fósforo (P) de cafés tostados-molidos recolectados en diferentes altitudes del Estado de Guerrero. Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales, Tukey,  $p > 0.05$ . DMS (a y b) = 0.26. Ty = Typica. Co = Colombia. CR = Costa Rica 95.



**Figura 3.** Contenido (%) de potasio (K) y calcio (Ca) de cafés molidos recolectados en diferentes altitudes del Estado de Guerrero. Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales, Tukey,  $p > 0.05$ . DMS(a) = 0.35. DMS(b) = 0.02. Ty = Typica. Co = Colombia. CR = Costa Rica 95.

El mayor contenido de Cu (42.64 mg) se presentó en café recolectado a 2 041 m de altitud, cuya diferencia osciló de 18 a 124%, con respecto al resto de cafés; mientras que, la variedad Costa Rica

proveniente de 1 089 m de altitud tuvo el menor contenido de Cu (Figura 4a). Con respecto al contenido de Fe, se registró un CV de 10%, indicando que los cafés presentaron un comportamiento diferente, ya que la altitud de 1 089 m originó el café con mayor contenido de este mineral, promedio que es estadísticamente diferente a los registrados en los cafés provenientes de mayor altitud (1 660 a 2 041 m). El promedio más bajo se encontró en cafés de 1 660 y 2 041 m, que fueron inferiores en más de 200%, con respecto al promedio más alto registrado (Figura 4b).



**Figura 4.** Contenido ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cobre (Cu) y hierro (Fe) de cafés molidos recolectados en diferentes altitudes del Estado de Guerrero. Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales, Tukey,  $p > 0.05$ . DMS(a) = 3.12. DMS(b) = 23.67. Ty = Typica. Co = Colombia. CR = Costa Rica 95.

## DISCUSIÓN

Estudios previos han señalado que la composición bioquímica de los granos de café está influenciada por el factor genético (Kathurima *et al.* 2009); por ejemplo, en la variedad Arábica se reportó 4.20% de minerales y 4.40% en la variedad Robusta (Illy y Viani 2005). Al respecto se sabe que la calidad está relacionada directamente con el microclima de la región donde se establece el cafeto (Avelino *et al.* 2005, Olechno *et al.* 2021a,b). En general, la especie, latitud, altitud, clima, cuidados sanitarios, prácticas agronómicas, madurez, fermentación, secado, almacenamiento y el tostado son los aspectos que más influyen en la composición fisicoquímica y posteriormente en el sabor, acidez, cuerpo, amargo, dulzor y aromas de una taza de café (Canet *et al.* 2016).

Los resultados de N de los cafés de Guerrero, se encuentran dentro del rango reportado en cafetales de Colombia, ubicados en altitudes de 1 050 a 2 050 m, donde el café verde se presentó de 1.31 a 3.24% de N, con promedio de 2.04%, y en café tostado de 1.52 a 2.64%, con promedio de 2.10% (Puerta *et al.* 2017). Por otro lado, en la variedad Colombia se reportó 1.89% de N en café almendra (Sadeghian *et al.* 2006). La diferencia en el contenido de N es más notable entre variedades, ya que



en Borbón se reportó 1.65%, en Typica 1.69%, Caturra y Colombia de fruto rojo 2.10%, y Colombia fruto amarillo 2.06%; mientras que, en granos tostados de estas variedades se encontraron contenidos de 2.06 a 2.11% (Cenicafé 2000). La importancia del N en el grano es porque constituye entre el 1.30 y 3.23% del peso seco, con promedio de 2.05%, por lo que su adición como fuente de fertilización natural al cafetal es fundamental para el crecimiento vegetativo, la formación de frutos y la producción (Puerta *et al.* 2017). La variabilidad del N de los cafés de Guerrero contrasta con lo reportado en cafés de Colombia, donde no se observaron diferencias significativas entre los rangos de altitud; sin embargo, los autores observaron que las regiones de Antioquia, Quindío, Caldas, Cesar, Santander, Huila y Tolima (cosechas de 2005 al 2007) presentaron granos con mayor contenido de N, que los producidos en Malabar, Quindío, Chinchiná y Suroeste. Además, identificaron que las variedades de Maragogipe, Typica y Tabi cultivadas en Antioquia y la Sierra Nevada registraron el menor contenido de este mineral (Puerta 2011).

En Colombia, en cafés de altitudes de 1 050 a 2 050 m se reportaron contenidos de P en el rango de 0.02 a 0.20%, con promedio de 0.14% en café verde, y en café tostado de 0.09 a 0.50%, con promedio de 0.15% (Anderson y Smith 2002, Puerta *et al.* 2017). En general, en variedades Arábica se describen contenidos de 0.11 a 0.16% (Cenicafé 2000), donde la variedad Colombia registró 0.16% de P en café verde (Sadeghian *et al.* 2006). Este mineral es importante porque forma parte de las moléculas que transportan energía en la planta; interviene en la formación de los órganos reproductores de la estructura floral y en el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas; además, interviene en la asimilación del N (Colina-Navarrete *et al.* 2017).

En café tostado, el comportamiento variable del N y P puede deberse al proceso de tueste, ya que se tiene liberación de gases de combustión como el dióxido (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), así como, la descomposición de carbohidratos, grasas, proteínas y aminoácidos, siendo 140 °C; la temperatura donde se presenta la fase de crepitación y descomposición del grano (Coelho *et al.* 2014, De-Luca *et al.* 2016, Oliveros *et al.* 2017). Entre las sustancias nitrogenadas que se forman durante este proceso son pirazinas, aldehídos, cetonas, melanoidinas, pirroles, piridinas, ácido nicotínico, y que se relacionan con el sabor, color y aroma a la bebida de café (Clarke y Vitzhum 2001). La relevancia del tostado, es por el tipo y la relación tiempo-temperatura del proceso (temperaturas mayores de 150 °C) (Gamboa *et al.* 2013, Cheng *et al.* 2016). Al respecto, se ha observado una tendencia creciente del contenido de cenizas a medida que aumenta el grado de tueste (tostado claro, 3.95%; tostado medio, 4.12%; tostado oscuro, 5.82%), esto se debe a que durante la etapa de tostado se incrementa el contenido de minerales (Caudillo-Ortega *et al.* 2020). Los resultados de K se encuentran en el rango reportado en granos de la variedad Colombia, que contienen de 1.23 a 2.55%, con promedio de 1.85% (Sadeghian *et al.* 2006, Puerta 2011); pero son mayores a los reportados en café Colombia Excelso (1.63 a 1.70%) (Clarke y Walker 1974), cafés de Costa Rica y Kenia (1.68%), Brasil (1.52 a 1.98%) (Clarke 1985), y de Uganda, Costa de Marfil, Ghana y Sierra Leona (en café Robusta; 1.84 a 2.00%) (Clarke y Walker 1974). Por otro lado, en café tostado de Colombia se reportó de 1.09 a 2.91% de K, con promedio de 1.99% (Puerta 2011), 1.86% para Costa Rica, 1.90% para Guatemala y 1.75% para Kenia (Anderson y Smith 2002). En Ca, los valores obtenidos coinciden con los señalados en otros estudios, con contenidos de Ca de 0.02 a 0.4%, representando el 2.1% del peso de las cenizas del grano (Macrae *et al.* 1993). En variedades Arábica se describen valores entre 0.11 y 0.16% (Cenicafé 2000), y en la variedad Colombia de 0.16%

(Sadeghian *et al.* 2006). Por otro lado, en Colombia y Brasil en café tostado se reportan contenidos de 0.08 a 0.12% (Anderson y Smith 2002, Morgano *et al.* 2002).

La relevancia del K y Ca en el café, es por qué el primero es el elemento que más abunda en los granos, este constituye entre 40 y 45% del peso de las cenizas. En variedades de café Arábica se reporta que integra el 1.7%, del 4.2% de los minerales (S, Mg, P, Ca, K) y en la variedad Robusta representa el 1.8%, del 4.4% de los minerales (Puerta 2011, Gómez-Merino *et al.* 2018). La abundancia del K, es porque es el segundo nutriente requerido por el cafeto después del N, ya que participa en el crecimiento vegetativo, la regulación de la temperatura y la humedad en la planta, formación de frutos y calidad de la semilla (Munguía-Hernández *et al.* 2018). Otro aspecto es que el K también influye en las características fisicoquímicas de los frutos de café al favorecer la actividad enzimática de la polifenoloxidasas, enzima cúprica que cataliza la oxidación de fenoles que influyen en el sabor y el aroma de la bebida de café (Dubberstein *et al.* 2016). Mientras que, el Ca participa en el desarrollo productivo, la maduración y la obtención de granos de calidad (Sadeghian *et al.* 2013).

En la salud humana, el K participa en la regulación de la presión arterial, que es la principal causa de enfermedades cardiovasculares (Houston 2011). En este sentido, Ferruzzi *et al.* (2020) señalaron que una taza de café (150 mL) proporciona el 5% de las necesidades diarias de este mineral, mientras que, el Ca contenido en la bebida, tiene actividad vasodilatador y antidepresivo en el organismo (Gómez-Leyva *et al.* 2021). Es por ello, que se recomienda una Ingestión Diaria Recomendada (IDR) para la población mexicana de 900.00 mg de Ca (SS 2008). La actividad anterior define al café y sus sustitutos como alimentos con alta biodisponibilidad natural de K (Bolton *et al.* 2019). y de magnesio (Mg) (Olechno *et al.* 2021b).

La variabilidad de Cu y Fe observada en los cafés de Guerrero se encuentra dentro del rango reportado en áreas productoras de café de África, Asia y América. Por ejemplo, los valores de Cu obtenidos tienen similitud con lo reportado en Colombia, donde en café verde se observó que el Cu varió de 0.79 a 35.76 mg kg<sup>-1</sup>, con promedio de 10.67 mg kg<sup>-1</sup>; en cambio, en café tostado se obtuvieron valores de 0 a 41.07 mg kg<sup>-1</sup>, con promedio de 10.72 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (Puerta *et al.* 2017). Rango similar también se registró en café Angola, 1.00 a 33.00 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (Ferreira *et al.* 1971). En el caso de Fe, en general se reportan contenidos de 16.46 a 632.33 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, donde en cafés de variedades Arábica provenientes de Colombia, tienen contenidos de 2.55 a 150 mg kg<sup>-1</sup> en café verde y de 38.47 a 208.70 mg kg<sup>-1</sup>, con promedio de 36.05 mg kg<sup>-1</sup> de Fe para café tostado (Cenicafé 2000, Sadeghian *et al.* 2006, Puerta *et al.* 2017), Por otro lado, los cafés analizados superaron (> 100 mg kg<sup>-1</sup>; Figura 3) el contenido de Fe reportado en la variedad Colombia (37.15 mg kg<sup>-1</sup>) (Sadeghian *et al.* 2006) y el de cafés de Brasil (22.89 a 37.58 mg kg<sup>-1</sup> de Fe) (Macrae *et al.* 1993).

Es importante mencionar que la bebida de café no suele considerarse como fuente de minerales, sino por sus propiedades funcionales; pero su consumo frecuente contribuye como complemento de la dieta diaria para consumir la proporción necesaria de macrominerales (Poole *et al.* 2017), y microminerales con propiedades antioxidantes, como el Mn, Zn, Cu y Fe (Olechno *et al.* 2021a,b). En este sentido, la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 recomienda una ingesta diaria (IDR) para la población mexicana de 650.00 µg de Cu y 17. 0 mg de Fe. Sin embargo, la cantidad presente de 11 minerales en la infusión está condicionada principalmente por el origen, que

determina los elementos presentes en el lugar del cultivo; es decir el suelo, otro factor influyente en la composición es el método de preparación, que establece la cantidad de agua y café utilizado (Severini *et al.* 2017).

A pesar de que los resultados reportados en investigaciones previas tienen cierta similitud con los encontrados en el presente estudio, el contenido de los minerales puede variar entre sitios y variedades, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y de manejo del productor. Este comportamiento fue confirmado por Laviola *et al.* (2007 y 2008), quienes describieron que la acumulación de macrominerales se modifica por el clima, destacando la temperatura y la altitud del sitio. En el mismo contexto, Aguilar-Bustamante *et al.* (2015) detectaron que las concentraciones de macrominerales en frutos de café bajo sombra y sin sombra, presentaron una reducción en el contenido de N, K y Ca a los 60 ddf (días después de la floración) y de P y Mg a los 90 ddf. Por otro lado, Ramírez *et al.* (2002) reportaron que la acumulación mineral en la variedad Caturra es  $K > N > Ca > Mg > P > S$ ; mientras que, Puerta *et al.* (2017) señalaron que los elementos químicos más abundantes en el grano de café verde en cafés de Colombia fueron N, K, S, P, Ca, seguidos por Na, Rb, Fe, Mn, Si, Sr, Cu y Al, y en café tostado el orden de abundancia de los minerales fue relativamente similar. Estos autores también indicaron que el K, S, Mg, P y Ca constituyeron el 63% del peso de las cenizas del café.

## CONCLUSIONES

La altitud diferenció el contenido mineral del café tostado molido, donde el orden de abundancia de los minerales fue K (2.85 a 3.62%), N (2.10 a 2.92%), P (0.63 a 1.00%), Ca (0.12 a 0.17%), Fe (63.93 a 268.64 mg kg<sup>-1</sup>) y Cu (19.02 a 42.64 mg kg<sup>-1</sup>). El café de mayor altura (2 041 m) sobresalió en N y Cu, y los de menor altura (1 060 a 1 089 m) destacaron en P, K y Fe; mientras que, el de altura intermedia (1 989 m) resaltó en Ca. Esta diferenciación en el contenido mineral del café puede estar asociada a las condiciones agroclimáticas y al proceso de beneficio, especialmente al tostado del grano que realiza el productor en cada localidad. Los valores hallados en el contenido mineral en el café tostado molido en esta investigación pueden usarse como atributos de diferenciación para su comercialización, asociados a características sensoriales (aroma, color, sabor) del café en las diferentes regiones del estado de Guerrero, México.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los productores cooperantes y al estudiante Rodrigo Juárez Reyes por su apoyo en la recolecta de los cafés en estudio.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Bustamante V, Munguía-Hernández R, Chavarría-Rivera A, Calderón-Guido N (2015) Crecimiento, acumulación de biomasa seca y nutrientes en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) variedad Pacas, Masatepe, Nicaragua. *Revista Científica La Calera* 15 (24): 6-12.
- ANACAFÉ (2019) Guía de variedades de café de Guatemala. 2da Edición. Asociación Nacional del Café. pp. 22-25. <https://www.anacafe.org/PDF/uploads/file/-variedades.pdf>. Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2023.
- Anderson KA, Smith BW (2002) Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(7): 2068-2075.
- Araúz ML, Yailyn N, Abarca AYN, Porras ZMC, Vargas EG (2019) Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha* 32(8): 20-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>
- Avelino J, Barboza B, Araya JC, Fonseca C, Davrieux F, Guyot B, Cilas C (2005) Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa Maria de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 1869-1876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2188>
- Barrera BÓM, Gutiérrez GN, Orozco-Blanco D (2019) Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 22(1): e1158. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158>
- Bolton K, Trieu K, Woodward M, Nowson C, Webster J, Dunford E, Bolam B, Grimes C (2019) Dietary intake and sources of potassium in a cross sectional study of Australian adults. *Journal Nutrients* 11(12): 2996-3007. <https://doi.org/10.3390/nu11122996>
- Canet BG, Soto VC, Ocampo TP, Rivera RJ, Navarro HA, Guatemala MGM, Villanueva RS (2016) La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. San José, Costa Rica. 148p.
- Castrillón-Monroy DL, Riaño-Luna CE (1999) Extracción, preparación y almacenamiento de proteína obtenida de almendras de café defectuosas. *Cenicafé* 50(4): 299-312.
- Caudillo-Ortega NA, Salas-Amezquita AG, Blancas-Hernandez LE, LonaLuna SP, Mares-Mares E (2020) Análisis químico del café variedad arábica durante el proceso del tostado artesanal. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 5: 811-814.
- Cenicafé (2000) Informe anual Cenicafé: 1999-2000. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná, Colombia. 161p.
- Cheng B, Furtado A, Smyth HE, Henry RJ (2016) Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology* 57: 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- Clarke RJ (1985) *Coffee: Chemistry*. Elsevier Applied Science. New York, USA. 306p.
- Clarke RJ, Vitzhum OG (2001) *Coffee: Recent developments*. Wiley Blackwell. New Jersey, USA. 272p.
- Clarke RJ, Walker LJ (1974) Potassium and other mineral contents of green, roasted and instant coffees. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 25(11): 1389-1404.
- Coelho C, Ribeiro M, Cruz ASC, Domingues MR, Coímbra MA, Bunzel M, Nunes FM (2014) Nature of phenolic compounds in coffee melanoidins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62 7843-7853. <https://doi.org/10.1021/jf501510d>
- Colina-Navarrete E, Santana-Aragone D, Castro-Arteaga C, Cadena-Piedrahita D, Sotomayor-Morán A, Galarza-Centeno E, López-Villacrés M (2017) Microorganismos fijadores de nitrógeno y su acción complementaria a la fertilización química en el cultivos de *Coffea arabica* L. *European Scientific Journal* 13(3): 211-222. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n3p211>

- De-Luca S, De Filippis M, Bucci R, Magri A, Magri L, Marini F (2016) Characterization of the effects of different roasting conditions on Coffee samples of different origins HPLC-DAD, NIR and chemometrics. *Microchemical Journal* 129: 348-361.
- Dubberstein D, Partelli FL, Dias JRM, Espindola MC (2016) Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Australian Journal of Crop Science* 10(5): 701-710.
- Escamilla PE, Ruiz RO, Zamarripa CA, González HVA (2015) Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México *Revista de Geografía Agrícola* 55: 45-55.
- Farah A (2012) Coffee constituents. In: Chu Y (ed) *Coffee: Emerging health effects and disease prevention*. WileyBlackwell. Oxford, UK. pp: 21-58.
- Ferreira LAB, Fragoso MAC, Peralta MF, Silva MCC, Rebelo MC (1971) Constituintes minerais dos cafés de Angola. 5th International Colloquium on the Chemistry of Coffee. ASIC. Paris. pp. 51-62.
- Ferruzzi M, Tanprasertsuk J, Kris-Etherton P, Weaver C, Johnson E (2020) Perspective: the role of beverages as a source of nutrients and phytonutrients. *Advances in Nutrition* 11(3): 507-523.
- Gamboa PYR, Mosquera SAS, Paz IEN (2013) Caracterización de taza de café especial en el municipio de chachagüí, departamento de Nariño, Colombia, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 11(2): 85-92.
- Gasparín-García EM, Platas-Rosado DE, Zetina-Córdoba P, Vilaboa-Arroniz J, Marcos DF (2023) Calidad de vida de los cafecultores en las Altas Montañas de Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 34(1): 50163. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50163>
- Gómez-Leyva B, Díaz-Armas M, Valdés-Cabodevilla R, Miguel-Cruz M (2021) Efectos del consumo de café sobre la salud. *Medisur* 19(3): 492-502.
- Gómez-Merino FC, Trejo-Téllez LI, Morales-Ramos V, Marín-Garza T, Crosby-Galván MM (2018) Valoración nutricional de granos de café robusta (*Coffea canephora*) de diferentes orígenes procesados en México. *Revista Agroproductividad* 11(4): 25-29. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i4.264>
- González GHA, Hernández SJR (2016) Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas* 90: 105-118. <https://doi.org/10.14350/rig.49329>
- Guevara-Sánchez M, Bernal del ÁCI, Saavedra-Ramírez J, Owaki-López JJ (2019) Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria* 10(4): 505-510.
- Houston M (2011) The importance of potassium in managing hypertension. *Current Hypertension Reports* 13(1): 309-317.
- Illy A, Viani R (2005) *Espresso coffee: The science of quality*. Elsevier Academic. London, UK. 398p.
- Kathurima CW, Gichimu BM, Kenji GM, Muhoho SM, Boulanger R (2009) Evaluation of beverage quality and green bean physical characteristics of selected Arabica coffee genotypes in Kenya. *African Journal of Food Science* 3: 365-371. <https://doi.org/10.5897/AJFS.9000123>
- Laviola BG, Martínez HEP, Salomão LCC, Cruz CD, Mendonça SM, Rosado L (2008) Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. *Bioscience Journal* 24(1): 19-31.
- Laviola BG, Prieto MHE, Salomão CLC, Cruz CD, Mendonça SM (2007) Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em em quatro altitudes de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 1451-1462.
- López-García FJ, Escamilla-Prado E, Zamarripa-Colmenero A, Cruz-Castillo JG (2016) Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(3): 297-304.

- Macrae R, Petracco M, Illy E (1993) Trace metal profiles of green coffees. 15th International Colloquium on the Chemistry of Coffee, ASIC. Paris. 650p.
- Morgano MA, Pauluci LF, Mantovani DMB, Mory EEM (2002) Determinação de minerais em café cru. *Ciência Tecnología Alimentos* 22(1): 19-23.
- Munguía-Hernández R, Hagggar J, Silvio-Ponce A (2018) Cambios en la fertilidad del suelo, producción de biomasa y balance de nitrógeno en sistemas agroforestales con café en Nicaragua. *La Calera* 10(14): 5-12. <https://doi.org/10.5377/calera.v10i14.22>
- Olechno E, Puscion A, Socha K, Elzbieta M (2021a) Coffee brews: Are they a source of macroelements in human nutrition? *Journal Foods* 10(6): 1328-1354. <https://doi.org/10.3390/foods10061328>
- Olechno E, Puscion A., Socha K, Elzbieta M (2021b) Coffee infusions: ¿Can they, be a source of microelements with antioxidant properties? *Journal Antioxidants* 10(11): 1709-1738. <https://doi.org/10.3390/antiox10111709>
- Oliveros NO, Hernández JA, Sierra-Espinosa FZ, Guardián-Tapia R, and Pliego-Solórzano R (2017) Experimental study of dynamic porosity and its effects on simulation of the coffee beans roasting. *Journal of Food Engineering* 199: 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.012>
- Oropeza-Guevara A, Aceves-Ruiz E, Guerrero-Rodríguez JD, Olvera-Hernández JI, Álvarez-Calderón NM (2023) El cultivo de café en Paraje Montero, Malinaltepec, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(spe29): e3552. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3552>
- Orozco CN, Guacas SA, Bacca T (2011) Caracterización de fincas cafeteras por calidad de la bebida y algunas condiciones ambientales y agronómicas. *Revista de Ciencias Agrícolas* 28(2): 9-17.
- Pérez-Portilla E, Bonilla-Cruz S, Hernández-Solabac JAM, Partida-Sedas JG (2011) Estrategia de mejoramiento de la producción cafetalera de la organización Campesinos Ecológicos de la Sierra Madre de Chiapas: caracterización de la bebida de café. *Revista de Geografía Agrícola* 46-47: 7-18.
- Pertoldi MG, Procida G, Palo D. De, Weber A (2001) Characterization of Arabica and Robusta coffee varieties according to their trace heavy metals content. 19th International Scientific Colloquium on Coffee (Trieste). ASIC. Paris. pp. 386-39.
- Poole R, Kennedy O, Roderick P, Fallowfield J, Hayes P, Parkes J (2017) Coffee consumption and health: Umbrella review of meta-analyses of multiple health outcomes. *Journal BMJ* 359: 24-50. <https://doi.org/10.1136/bmj.j5024>
- Puerta QGI (2011) Composición química de una taza de café. *Avances técnicos. Cenicafé* 414: 1-12.
- Puerta QGI, Bolívar FCP, Gallego ACP (2017) Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. *Cenicafé* 68(2): 28-60.
- Ramírez F, Bertsch F, Mora L (2002) Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(1): 33-42.
- Ramos L, Criollo H (2017) Calidad física y sensorial de *Coffea arabica* L. variedad Colombia, perfil Nespresso AAA, Unión Nariño. *Revista Ciencias Agrícolas* 34(2): 83-97.
- Roffi J, Santos ACDos, Mexia JT, Busson F, Maigrot M (1971) Cafés verts et torrefies de l'Angola etude chimique, 5th International Colloquium on the Chemistry of Coffee. ASIC. Paris. pp. 179-200.
- Sadeghian KS, Mejía MB, Arcila PJ (2006) Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4): 251-261.
- Sadeghian KS, Mejía MB, González OH (2013) Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®. *Revista Cenicafé* 64(1): 7-18.
- Santos JR, Viegas O, Páscoa RNMJ, Ferreira IMPLVO, Rangel AOSS, Lopes JA (2016) In-line monitoring of the coffee roasting process with near infrared spectroscopy: Measurement of sucrose and colour. *Food Chemistry* 208: 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.114>
- SAS (2002) SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute. Cary, NC, USA. 5136p.

- Severini C, Degrossi A, Ricci I, Fiore A, Caporizzi R (2017) How much caffeine in coffee cup? effects of processing operations, extraction methods and variables. In *The Question of Caffeine*. 3ra edition IntechOpen. London. UK. pp: 45-85. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69002>
- Suárez SJ, Rodríguez BE, Duran BE (2015) Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica* 64(4): 342-348.
- SS (2008) NOM-247-SSA1-2008 Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Secretaria de Salud. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5100356](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5100356). Fecha de consulta: 29 de diciembre de 2023.
- Tablas GI, Guerrero RJD, Aceves RE, Álvarez CNM, Láinez-Loyo E, Olvera HJI (2021) El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(6): 1031-1042. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2736>
- Villarreal PD, Bertrand B, Laffargue A, Posada SHE, Lashermes P, Dussert S (2008) Chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes and growig origins. 22nd International Conference on Coffee Science. Montpellier. ASIC. Paris. pp: 1497-1506.
- Wei F, Tanokura M (2015) Chemical changes in the components of coffee beans during roasting. In: Preedy RV (ed) *Coffee in health and disease prevention*. Elsevier Academic Press. Londres, UK. pp: 83-91.