

Evaluación del tostado en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café Typica y Caturra

Evaluation of roasting on the physicochemical and sensory properties of Typica and Caturra coffee varieties

Rabít Jesús Jaimes-Bustamante¹ , Blanca Aurora Francisco-Ponce² , Javier Jiménez-Hernández^{1,2} , Yanik I. Maldonado-Astudillo^{1,2} , Gerónimo Arámbula-Villa³, Ricardo Salazar^{4*} 

¹ Universidad Autónoma de Guerrero, Centro de Innovación Competitividad y Sostenibilidad, Calle Pino s/n, Col. El Roble, 39640, Acapulco, Guerrero, México.

² Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria Sur, Col. La Haciendita, 39090, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México.

³ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro, Libramiento Norponiente 2000, Fraccionamiento Real de Juriquilla, 76230, Querétaro, Querétaro, México.

⁴ SECIHTI-Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Javier Méndez Aponte 1, Fracc. Servidor Agrario, 39070, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México.

*Autor para correspondencia: rsalaxarlo@secihtl.mx

Fecha de recepción:

8 de octubre de 2024

Fecha de aceptación:

9 de septiembre de 2025

Disponible en línea:

22 diciembre de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

Las características fisicoquímicas y sensoriales del café son determinantes clave de su calidad, valor comercial y aceptación en el mercado. En este estudio se evaluaron los cambios en dichas propiedades en las variedades de café Typica y Caturra a dos niveles de tostado: suave (TS) y fuerte (TF). La concentración de ocratoxina A (OTA) fue de 30.027 µg/kg en Caturra y 23.077 µg/kg en Typica. El análisis fisicoquímico mostró que los granos de ambas variedades disminuyen su dureza conforme aumenta el nivel de tostado. El contenido de fenoles disminuyó en Typica en 9 % (TS) y 50 % (TF), y en Caturra en 40 % (TS) y 25 % (TF). Asimismo, el tostado incrementó los valores de IC₅₀ de la actividad antirradicalaria DPPH y ABTS en ambas variedades. El análisis sensorial indicó que la calidad de ambas variedades se clasifica como “buena”, según la Asociación de Cafés Especiales de América. Estos resultados aportan información relevante para optimizar los parámetros de tostado y obtener perfiles sensoriales deseables en la bebida final.

PALABRAS CLAVE

Tostado, OTA, análisis sensorial, compuestos fenólicos, actividad antioxidante.

ABSTRACT

The physicochemical and sensory characteristics of coffee are key determinants of its quality, commercial value, and market acceptance. This study evaluated changes in these properties in the coffee varieties Typica and Caturra at two roasting levels: light (TS) and strong (TF). Ochra-toxin A (OTA) concentrations were 30-027 µg/kg in Caturra and 23.077 µg/kg in Typica. Physico-chemical analysis showed the hardness of the beans decreased in both varieties as the roasting level increased. Phenolic content decreased in Typica by 9 % (TS) and 50 % (TF), and in Caturra by 40 % (TS) and 25 % (TF). In addition, roasting increased the IC₅₀ values of DPPH and ABTS radical scavenging activity in both coffee varieties. Sensory analysis indicated that the quality of both varieties was classified as 'good' according to the Specialty Coffee Association of America. These provided relevant information for optimizing roasting parameters to obtain desirable sensory profiles in the final beverage.

KEYWORDS

Roasting, OTA, sensory analysis, phenolic compounds, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos básicos agrícolas más importantes en el mundo debido a su impacto cultural, social y económico (Merbah y Benito-Hernández, 2024). Se cultiva ampliamente en más de 70 países ubicados principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de África, América y Asia (Morales-Reyes et al., 2024; Ruta y Farcasanu, 2021).

Actualmente, México ocupa el décimo lugar a nivel mundial con una producción de 1,025,034.80 t de café al año (1.6 %), que se generan en los estados de Chiapas (35 %), Veracruz (20.8 %), Oaxaca (18.9 %), Puebla (10.2 %) y Guerrero (6.5 %) (Tablas González et al., 2021). El sector cafetalero en el país proporciona un medio de subsistencia, ya que genera un ingreso anual de MXN 6,534,603.54, y genera empleo para más de 500,000 productores en 480 municipios en 15 entidades federativas (Oropeza-Guevara et al., 2023). A nivel nacional, el estado de Guerrero ocupa el quinto lugar en producción de café con 45,668.97 ha, una obtención anual de 34,991.48 t y un valor aproximado de MXN 268,951.20 (Dirección General de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

Además de los beneficios económicos y sociales, la cafecultura también genera importantes servicios ambientales que incluyen la conservación de la biodiversidad y la protección de suelo (Pham et al., 2019). Sin embargo, esta industria enfrenta diversos desafíos que afectan la producción y rendimiento del cultivo, principalmente el desplome y volatilidad de los precios en el mercado internacional, baja productividad, aumento de costos, investigación limitada, entre otros (Gabriel-Hernández & Barradas, 2024). Se considera que los pequeños productores han sido el eslabón más afectado de la cadena productiva, ya que más del 60 % son minifundistas indígenas que viven en regiones con alta marginación y pobreza en las áreas montañosas del centro y sureste de México (Juárez González et al., 2021).

Adicionalmente, con el constante incremento de la tasa de consumo mundial de café, especialmente de mayor calidad, se requiere buscar estrategias para aumentar la producción y calidad de este producto (Rendón-Mera et al., 2022). Algunos autores han reportado la presencia de microorganismos fúngicos (*Aspergillus* y *Penicillium*) en los granos de café, estos producen la ocratoxina A (OTA) la cual es considerada

una toxina carcinógena, nefrotóxica, teratogénica, hepatotóxica y genera daños a la salud humana (Bessaire et al., 2019; Taniwaki et al., 2018). Por lo tanto, la presencia de la OTA impacta de manera negativa en la calidad del café. Otra etapa que juega un papel importante en la calidad del café es el proceso de tostado, ya que determina el desarrollo y conservación de las propiedades organolépticas específicas del grano (Madihah et al., 2013), como la dulzura, atribuida a proteínas y carbohidratos, y el sabor salado, a la presencia de potasio, fósforo y calcio.

El sabor ácido es otorgado por los ácidos clorogénico, cítrico, tartárico y málico, y lo amargo, producido por la cafeína, fenoles y trigonelina. Por ello, es esencial comprender la influencia del tostado en los cambios físicos, químicos, estructurales y sensoriales, así como en el contenido de los compuestos biológicamente activos del café, para proporcionar información a los productores que permita mejorar los atributos sensoriales de la bebida, satisfacer la demanda de los consumidores y obtener mejores precios en el mercado. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del tostado en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de las variedades de café Typica y Caturra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Las muestras de café verde y tostado de las variedades Typica y Caturra fueron proporcionadas por pequeños cafecultores del municipio de Acatepec, Guerrero, México.

Análisis cuantitativo de ocratoxina A

La determinación de ocratoxina A se realizó mediante el ensayo ELISA, utilizando el kit comercial de prueba RIDASCREEN® (R-Biopharm AG, Darmstadt, Alemania). Los granos de café verde de cada variedad se molieron finamente (Krups®, modelo GX4100, México). Brevemente, 5 g de muestra se mezclaron con 12.5 mL de metanol al 70 % y el extracto se filtró a través de papel filtro Whatman no. 1 (Whatman International Ltd., Maidstone, Reino Unido). El filtrado se recogió para analizarlo de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La densidad óptica se midió a 450 nm utili-

zando el lector de placas ELISA de 96 pocillos (Stat Fax 2000, Inglaterra) y los datos se analizaron mediante el *software* RIDASOFT Win (Z9996, R-Biopharm, Alemania).

Proceso de tostado

Los granos de café se tostaron de manera artesanal en un comal de barro a una temperatura media de $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 min para tostado suave y 20 min para tostado fuerte. Se obtuvo 1 kg de café tostado suave, café tostado fuerte y café verde de cada variedad, posteriormente se almacenaron a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bolsas de plástico al vacío hasta la realización de los experimentos.

Análisis de color

Se utilizó un colorímetro de esfera portátil (espectrofotómetro X-Rite, Modelo Ci62, Grand Rapids, Estados Unidos) para medir las coordenadas de color; L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul) de los granos de café. Los parámetros de cromaticidad (C) y matiz (H°) se calcularon según la ecuación 1 y 2, respectivamente.

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$H^{\circ} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

Análisis de textura

La dureza de los granos se determinó mediante un analizador de textura TX plus (Texture Technologies Corp., Scarsdale, Nueva York, Estados Unidos) utilizando una sonda cilíndrica de 1 mm de diámetro a una velocidad de prueba de 2 mm/s. La fuerza máxima (N) requerida para romper la muestra se definió como la medida de dureza.

Obtención del extracto de café y determinación de fenoles

Los granos de café se molieron (Krupps®, modelo GX4100, México) y tamizaron con una malla de 1 mm de abertura. Posteriormente, se añadieron 3 g de café molido en 30 mL de agua destilada y la mezcla se llevó

a sonicación a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una frecuencia de 40 kHz durante 30 min. Luego, las muestras se filtraron a través de papel filtro Whatman no. 1 (Whatman International Ltd., Maidstone, Reino Unido) y el extracto se almacenó a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

El contenido de fenoles totales (CPT) se determinó espectrofotométricamente mediante el método de Folin-Ciocalteu en una placa de 96 pocillos y utilizando ácido cafeico (CA) como estándar. Los resultados se expresaron en mg de CA equivalentes por g de extracto seco de café (mg CA/g).

Determinación de la actividad antirradicalaria

La actividad atrapadora de radicales libres de los extractos de café se analizó mediante los ensayos de 2,2-Difenil-1-Picril-Hidrazilo (DPPH) y de ácido 2,2'-Azino-Bis-3-Etilbenzotiazolin-6-Sulfónico (ABTS^{•+}) según el método descrito por Thaipong et al. (2006) con modificaciones. El porcentaje de inhibición se determinó mediante la ecuación (3):

$$\text{Inhibición}(\%) = \left(\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

El resultado se expresó como la concentración de extracto que inhibió la formación de radicales DPPH y ABTS^{•+} en un 50 % (IC_{50}) ($\mu\text{g/mL}$).

Análisis sensorial

La evaluación sensorial del café se realizó por un panel de catadores certificados a través del protocolo establecido por la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA) (Fernández Alduenda & Giuliano, 2022). Se evaluaron un total de 10 indicadores sensoriales que incluyen el aroma, sabor, regusto, acidez, cuerpo, equilibrio general, taza limpia, uniformidad y dulzura en una escala decimal de 0 a 10. La suma del puntaje individual de cada atributo se consideró como la puntuación final de la muestra, y se clasificó de acuerdo con la escala de la SCAA, en un rango de 0 a 100 puntos; <40: fuera de rango, 40-50: grado bajo, 50-60: grado comercial, 60-70: grado commodity, 70-74: calidad promedio, 75-79: bueno, 80-84: muy bueno, 85-89: especial, 90-94: premium especial, 95-100: super premium especial.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias del contenido de OTA en las variedades de café se evaluaron mediante la prueba de t-Student con un valor de significancia de $p < 0.05$. Por otra parte, las diferencias entre los grupos se evaluaron mediante la prueba de Tukey con un valor de significancia de $p < 0.05$. Para ello se utilizó el *software* estadístico IBM SPSS versión 22.0.7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de OTA entre ambas variedades de café (Cuadro 1). Se observó que la variedad Caturra mostró una concentración de 30.027 $\mu\text{g/kg}$, mientras que la variedad Typica, de 23.077 $\mu\text{g/kg}$, estas concentraciones exceden el límite máximo de 5 $\mu\text{g/kg}$ establecidos por la Unión Europea para café tostado y molido (Pabón U. et al., 2021). La presencia de OTA en granos de café verde es una característica con límites regulatorios para su exportación y comercialización. La presencia de OTA en el café se atribuye a la contaminación por hongos ocratoxigénicos debido a un manejo inadecuado en las etapas de clasificación, secado, almacenamiento y transporte del grano poscosecha (Juárez González et al., 2021).

Cuadro 1. Concentración de ocratoxina A en muestras de café analizadas provenientes de Acatepec, Guerrero, México.

Variedad de café	OTA ($\mu\text{g/kg}$)
Caturra	30.03 \pm 7.66
Typica	23.08 \pm 1.83

Los valores indican la media \pm desviación estándar ($n = 3$). Valores en la misma columna con un * indican diferencias significativas ($p < 0.05$) empleando la prueba de t-Student.

En este contexto, los altos niveles de OTA en las dos variedades de café se relacionan con prácticas inadecuadas durante el proceso de recolección y almacenamiento de los granos de café, lo que influye negativamente en la calidad de café. Lo anterior se debe a que, en el estado de Guerrero, la obtención del café se realiza mediante sistemas de producción rústicos que no permiten tener un control adecuado en el manejo y transformación del café; esto contribuye a que los granos se contaminen por la OTA en cualquier etapa del proceso, afectando la calidad. En este sentido,

se sugiere la implementación de asesorías técnicas que contribuyan al adecuado manejo del cultivo, cosecha y el beneficio del café.

Las propiedades físicas de color y textura son los principales indicadores del grado de tostado del café (Tsiafitsa et al., 2022), además de tener un papel importante en la determinación de la calidad y la aceptabilidad del consumidor (Nakilcioğlu-Taş y Ötleş, 2019). Los granos de café verde exhibieron los valores de luminosidad (L^*) más altos, sin embargo, no se observaron diferencias significativas en ambas variedades (Cuadro 2). El incremento del tostado del café disminuyó el valor de L^* en ambas variedades, mostrando tonos más oscuros. Los valores bajos de L^* se asocian principalmente con reacciones de pardeamiento no enzimático dadas por la condensación entre compuestos carbonilos y derivados de aminas, o debido a la degradación de moléculas compuestas por enlaces dobles conjugados a grupos carbonilo (Benítez Urbano y Campo Ceballos, 2018). La disminución en la luminosidad de los granos también puede atribuirse a las condiciones de secado, dado que la exposición directa a luz solar intensa acelera los cambios químicos y físicos que propician la decoloración de los frutos (López-García et al., 2016). La tendencia al color amarillo indicada por el ángulo Hue (H^* , ubicado cerca de 90°) en los granos verdes de ambas variedades se debe a los compuestos fenólicos como el ácido cafeico, precursor del ácido clorogénico, intermediarios en la biosíntesis de lignina en las semillas. Otros factores que pueden favorecer la coloración amarillenta en granos verdes son los abióticos como temperaturas excesivamente cálidas de almacenaje, así como almacenamientos prolongados antes del tueste (Bicho et al., 2013). Por otro lado, la tendencia hacia el color rojo (ubicado en 30°) tras el tostado en la variedad Caturra y Typica se debe a las melanoidinas generadas durante la condensación de los polisacáridos y aminoácidos tras la reacción de Maillard a $>160^\circ\text{C}$. A medida que los granos se tuestan, estas reacciones intensifican el color. En la variedad Caturra, los granos son más pequeños y redondos en comparación con Typica que se caracteriza por tener granos más grandes, por lo que el área de exposición al tostado, así como la temperatura interna que alcanzan los granos, puede variar bajo las mismas condiciones; esto se relaciona con los datos de Hue en CS y CF que presentaron una coloración más roja en comparación con TS y TF respectivamente.

Cuadro 2. Dureza y valores de color de granos de café provenientes de Acatepec, Guerrero, México.

Café	L*	h°	Dureza (N)
CV	31.75 ± 3.48 a	86.82 ± 0.51 a	138.86 ± 55.71 a
CS	7.12 ± 0.55 bc	40.93 ± 2.48 bc	35.37 ± 11.85 b
CF	5.98 ± 1.24 c	36.69 ± 3.10 c	32.75 ± 7.02 b
TV	33.44 ± 4.59 a	84.92 ± 1.28 a	127.09 ± 39.03 a
TS	11.79 ± 1.30 b	44.21 ± 4.09 b	41.40 ± 10.70 b
TF	9.70 ± 0.95 bc	42.77 ± 2.80 b	30.62 ± 7.00 b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. cv = Caturra verde, cs = Caturra tostado suave, cf = Caturra tostado fuerte, tv = Typica verde, ts = Typica tostado suave, tf = Typica tostado fuerte, L* = Luminosidad, h° = Ángulo matiz/tono. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

El análisis físico reveló que la dureza de los granos tras el tostado disminuye de forma significativa en comparación con los granos verdes. Esta disminución puede atribuirse a que durante el proceso de tostado los granos liberan vapores de agua, dióxido de carbono y otros compuestos volátiles, lo cual genera poros que debilitan su estructura (Schenker et al., 2000). Se ha demostrado que la temperatura empleada durante el proceso de tostado juega un papel importante en la calidad del café (Saloko et al., 2019). La temperatura óptima oscila entre los 210-230 °C en tiempos de 12 a 15 minutos. Si la temperatura y el tiempo se eleva, el grano se puede quemar; por ejemplo, a 300 °C el café se carboniza. Por el contrario, si la temperatura no es suficiente, el grano no logra tostarse ni alcanza el proceso de pirólisis. En este sentido, los niveles de tostado que se emplearon para las dos variedades de café fueron óptimos debido a que se usó una temperatura de 200 °C ± 10 °C durante 15 min para tostado suave y 20 min para tostado fuerte.

En la variedad Caturra, el contenido de fenoles disminuyó un 9 % y 50 % en TS y TF respectivamente (Cuadro 3). En el mismo sentido, TS y TF redujeron un 40 % y 25 %, respectivamente, el contenido de fenoles totales en la variedad Typica. La presencia de metabolitos secundarios como los fenoles en el café juega un papel crucial en la actividad antirradicalaria de la bebida, puesto que son esenciales para el perfil sensorial (Martínez-Valverde et al., 2000). Su presencia y concentración pueden variar según el tipo y especie de grano, el método de procesamiento y el perfil de tostado, lo que hace que cada taza de café sea única en términos de sabor y aroma (Morales-Reyes et al., 2024). Durante el proceso de tostado, los fenoles son

transformados por el tratamiento térmico (150-250 °C) en unidades simples como catecoles, guaiacoles y otros fenoles simples, y desarrollan complejas características aromáticas que son cruciales para la calidad del café (Merbah y Benito-Hernández, 2024). El incremento observado en TF con relación a TS de la variedad Typica se atribuye a que, durante el proceso de tostado, el ácido clorogénico se hidroliza y transforma en fenoles de bajo peso molecular, como el catecol, guayacol y pirogalol (Montilla-Pérez et al., 2008).

Cuadro 3. Contenido de fenoles y actividad antirradicalaria de granos de café provenientes de Acatepec, Guerrero, México.

Café	Fenoles (mg/100g)	DPPH IC ₅₀ (µg/mL)	ABTS IC ₅₀ (µg/mL)
CV	7,113.18 ± 62.13 a	105.5 ± 5.5 c	105.3 ± 7.9 c
CS	6,522.88 ± 209.97 c	148.5 ± 6.6 b	154.2 ± 12.8 b
CF	3,606.34 ± 44.77 e	298 ± 20.6 a	317.1 ± 42.6 a
TV	9,235.82 ± 83.94 a	72.3 ± 0.8 c	35.0 ± 8.0 d
TS	5,546.60 ± 216.93 d	169.1 ± 7.5 b	131.5 ± 15.6 b
TF	6,858.08 ± 83.59 bc	261.8 ± 41.7 a	140.9 ± 18.0 b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. cv = Caturra verde, cs = Caturra tostado suave, cf = Caturra tostado fuerte, tv = Typica verde, ts = Typica tostado suave, tf = Typica tostado fuerte. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

La presencia de compuestos fenólicos se relaciona con la actividad antioxidante, asociada a su vez con la capacidad de neutralizar los radicales libres presentes en el cuerpo humano, contribuyendo a disminuir el riesgo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. En este contexto, Díaz-Hernández et al. (2022) evaluaron la actividad antirradicalaria (DPPH y ABTS) en extractos de café verde, café tostado y residuos de café tostado molido, observando que el abundante contenido de compuestos antioxidantes como flavonoides, triterpenos, fenoles y ácidos clorogénicos generan una actividad antirradicalaria elevada en todos los extractos ($IC_{50} < 100 \mu\text{g/mL}$). Asimismo, demostraron de manera *in vitro* que la actividad antirradicalaria de los extractos de café disminuyó significativamente la proliferación de células cancerosas C33A. En este sentido, el proceso de tostado prolongado favorece la destrucción de los compuestos antioxidantes del café, incrementado los valores del IC_{50} . Por lo tanto, es necesario procesar el grano de café con temperaturas y tiempos moderados para afectar en menor medida la actividad antioxidante de las infusiones preparadas.

Cuadro 4. Evaluación sensorial de cafés obtenidos con diferentes tipos de tostados provenientes de Acatepec, Guerrero, México.

Atributo	Caturra		Typica	
	TS	TF	TS	TF
Notas de sabor	Chocolate, caramelo, vainilla, moras, vinoso, semillas de cacao.	Ceniza, vainilla, tabaco, chocolate.	Vainilla, dulce de leche, azúcar quemada, cereza, chocolate.	Nuez, pasas, ciruela, pie de nuez, cajeta, cáscara de naranja, yogurt, chocolate amargo, ceniza.
Notas de aroma	Galleta, uva, fresa, papaya, frutos amarillos, miel, piña melaza, cacahuete.	Fresa, manzana, caramelo, vinagre balsámico, piña humo, almendra, nueces, cacahuete, miel, cereal.	Humo, ceniza, fruta pasada, galleta, maíz, canela, metal, frutas amarillas.	Ceniza, chocolate, vino, galleta, almendra, cereza.
Total	77.42	76.75	77.58	77.75
Clasificación	Buena	Buena	Buena	Buena

TS = Tostado suave, TF = Tostado fuerte.

El análisis sensorial permitió evaluar la calidad del café, mediante la identificación y descripción de sus atributos de sabor, aroma, cuerpo, acidez y otras características. Esto ayuda a garantizar que el café cumpla con los estándares esperados y a detectar cualquier defecto o problema en el producto (Juárez González et al., 2021). En ambas variedades se apreciaron notas de sabor a chocolate, vainilla, nuez y otros (Cuadro 4). Asimismo, se perciben notas de aroma a fresa, manzana, caramelo, uva, humo, almendra, nueces, cacahuete, miel y cereal. El aroma y sabor del café suele ser difícil de describir, clasificar y calificar, debido a que cada individuo presenta una sensibilidad distinta para identificar olores y sabores. No obstante, el café es uno de los pocos alimentos de origen agrícola que es valorado de acuerdo con descriptores cualitativos.

Durante el proceso de tostado de los granos de café se desarrollan diversas reacciones químicas que generan compuestos volátiles y sustancias que confieren las cualidades sensoriales a la bebida. Según Puerta et al. (2017), los compuestos químicos que se pueden encontrar en los cafés tostados son fenoles, furanos, cetonas, pirroles, alcoholes, etc., que proporcionan aromas a caramelo, almendras, cítricos, frutales, cocinado, y también algunos aromas desagradables como a tierra, ahumados y fétidos, entre otros. En la variedad Typica, tanto en TS y como en TF, se presentaron notas de sabor y aroma relacionadas a ceniza. La descomposición de ácidos fenólicos libres como el guayacol está relacionado con aromas a humo y ceniza (Morales-Reyes et al., 2024).

Finalmente, de acuerdo con la SCAA se determinó que las variedades de café Typica y Caturra tienen una clasificación de bueno. Los atributos sensoriales del café dependen de la especie del grano, su madurez, las condiciones de fermentación, secado y almacenamiento y nivel de tostado (Ruta y Farcasanu, 2021). La similitud de sabor y aroma que existe entre el café Typica y Caturra se debe a que ambas variedades comparten una composición química similar (18 % fibra, 13 % lípidos, 14 % proteínas, 1 % cafeína, 6 % ácidos clorogénicos y 3 % cenizas) (Puerta et al., 2017). Como ya se mencionó, las propiedades sensoriales del café se atribuyen a diversos factores, incluyendo la contaminación por la OTA. En ese sentido, De Melo Pereira et al. (2016) demostraron que la adición de algunas levaduras y bacterias ácido-lácticas (BAL) en las cerezas de café, reducen el contenido de OTA hasta en un 88 %. Estos resultados, además de considerarse una opción de control biológico eficiente de hongos aflatoxigénicos en granos de café, también evidencian una mejora en los atributos sensoriales (acidez, amargor, astringencia, cuerpo en la taza y la calidad general del café) de la bebida.

CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó el efecto del TS y TF en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en las variedades de café Typica y Caturra provenientes de Acatepec, Guerrero, México. El nivel de tostado afecta las propiedades fisicoquímicas, mejorando atributos químicos como la presencia de fenoles y la actividad antirradica-

laria, y generan notas de aroma y sabor atractivos para el consumidor; esto se considera una ventaja competitiva para la comercialización del café. Sin embargo, los altos niveles de OTA presentes en los granos de café no permiten que dichos atributos sensoriales destaquen, afectando de manera significativa la calidad del café. Por lo tanto, para obtener mejores propiedades fisicoquímicas y sensoriales se recomienda un nivel de tostado fuerte en la variedad Typica, mientras que para Caturra se debe emplear un nivel de tostado simple. Asimismo, se sugiere controlar la contaminación por la OTA en ambas variedades de café a lo largo de toda la cadena productiva, desde la cosecha inicial hasta el producto terminado.

LITERATURA CITADA

- Benítez Urbano, O. J., & Campo Ceballos, D. A. (2018). Evaluación de la calidad el café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 30, 32-43.
- Bessaire, T., Perrin, I., Tarres, A., Bebius, A., Reding, F., & Theurillat, V. (2019). Mycotoxins in green coffee: Occurrence and risk assessment. *Food Control*, 96, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.033>
- Bicho, N. C., Leita, A. E., Ramalho, J. C., & Lidon, F. C. (2013). Application of colour parameters for assessing the quality of arabica and robusta green coffee. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(1), 9-17. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i1.17190>
- De Melo Pereira, G. V., Beux, M., Pagnoncelli, M. G. B., Soccol, V. T., Rodrigues, C., & Soccol, C. R. (2016). Isolation, selection and evaluation of antagonistic yeasts and lactic acid bacteria against ochratoxigenic *Aspergillus westerdijkiae* on coffee beans. *Letters in Applied Microbiology*, 62(1), 96-101. <https://doi.org/10.1111/lam.12520>
- Díaz-Hernández, G. C., Alvarez-Fitz, P., Maldonado-Astudillo, Y. I., Jiménez-Hernández, J., Parra-Rojas, I., Flores-Alfaro, E., Salazar, R., & Ramírez, M. (2022). Antibacterial, antiradical and antiproliferative potential of green, roasted, and spent coffee extracts. *Applied Sciences*, 12(4), 1938. <https://doi.org/10.3390/app12041938>
- Dirección General de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Cierre de la Producción Agrícola 2023*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Fernández Alduenda, M. R., & Giuliano, P. (2021). *Coffee Sensory and Cupping Handbook*. Specialty Coffee Association.
- Gabriel-Hernández, L., & Barradas, V. L. (2024). Panorama of coffee cultivation in the central zone of Veracruz State, Mexico: Identification of main stressors and challenges to face. *Sustainability*, 16(2), 802. <https://doi.org/10.3390/su16020802>
- Juárez González, T., Maldonado Astudillo, Y. I., González Mateos, R., Ramírez Sucre, M. O., Álvarez Fitz, P., & Salazar, R. (2021). Physicochemical and sensory characterization of coffee from Guerrero mountain. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1057-1069. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2773>
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(3), 297-304.
- Madiah, K. Y. K., Zaibunnisa, A. H., Norashikin, S., Rozita, O., & Misnawi, J. (2013). Optimization of roasting conditions for high-quality Arabica coffee. *APCBEE Procedia*, 4, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.11.035>
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5-18.
- Merbah, N., & Benito-Hernández, S. (2024). Consumer willingness-to-pay for sustainable coffee: evidence from a choice experiment on fairtrade and UTZ certification. *Sustainability*, 16(8), 3222. <https://doi.org/10.3390/su16083222>
- Morales-Reyes, E. I., Bolaños-González, M. A., Escamilla-Prado, E., & Libert-Amico, A. (2024). Post-harvest practices for the production of specialty coffees in Chiapas, Mexico. *Agrociencia*. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i5.2880>
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena-Gómez, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé*, 59(2), 120-142.
- Nakilcioğlu-Taş, E., & Ötles, S. (2019). Physical characterization of ground Arabica coffee with dif-

- ferent roasting degrees. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), e20180191. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180191>
- Oropeza-Guevara, A., Aceves-Ruiz, E., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Olvera-Hernández, J. I., & Álvarez-Calderón, N. M. (2023). El cultivo de café en Paraje Montero, Malinaltepec, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(29), e3552. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3552>
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156(4), 609-630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Pabón U., J. P., Osorio P., V. & Imbachí Q., L. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el Oriente del departamento de Caldas. *Cenicafé*, 72(2), 27-40. <https://doi.org/10.38141/10778/72202>
- Puerta, G., Bolívar, C., & Gallego, C. (2017). Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. *Cenicafé*, 68(2), 28-60. <https://doi.org/10.38141/10778/68203>
- Rendón-Mera, A. M., Corrales, D. C., & Peñuela Mesa, G. A. (2022). A systematic mapping study of coffee quality throughout the production-to-consumption chain. *Journal of Food Quality*, 2022, 8019251. <https://doi.org/10.1155/2022/8019251>
- Ruta, L. L., & Farcasanu, I. C. (2021). Coffee and yeasts: From flavor to biotechnology. *Fermentation*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation7010009>
- Saloko, S., Sulastri, Y., & Rinjani, M. A. (2019). The effects of temperature and roasting time on the quality of ground Robusta coffee (*Coffea robusta*) using Gene Café roaster. *AIP Conference Proceedings*, 2199(1), 060001. <https://doi.org/10.1063/1.5141310>
- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. (2000). Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *Journal of Food Science*, 65(3), 452-457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16026.x>
- Tablas González, I., Guerrero Rodríguez, J. de D., Aceves Ruiz, E., Álvarez Calderón, N. M., Laínez Loyo, E., & Olvera Hernández, J. I. (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>
- Taniwaki, M. H., Pitt, J. I., & Magan, N. (2018). *Aspergillus* species and mycotoxins: occurrence and importance in major food commodities. *Current Opinion in Food Science*, 23, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.008>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Tsiafitsa, A., Oikonomopoulou, V., Stramarkou, M., Krokida, M., & Papassiopi, N. (2022). Effect of heat treatment on the physicochemical and sensory properties of selected coffee varieties. *European Food Research and Technology*, 248, 2009-2020. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04025-8>