

Caracterización fisicoquímica y sensorial de café de la montaña de Guerrero

Tiburcio Juárez González¹
Yanik I. Maldonado Astudillo¹
Ricardo González Mateos¹
Manuel Octavio Ramírez Sucre²
Patricia Álvarez Fitz³
Ricardo Salazar^{3§}

¹Centro de Innovación, Competitividad y Sostenibilidad-Universidad Autónoma de Guerrero. Calle Pino s/n, Col. El Roble, Acapulco, Guerrero, México. CP. 39640. (tgonzalez-68@hotmail.com; yaixma@gmail.com; ricardoglezm@yahoo.com.mx). ²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, AC-Unidad Sureste. Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Yucatán, México. (oramirez@ciatej.mx). ³CONACYT-Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Javier Méndez Aponte núm. 1, Fracc. Servidor Agrario, Chilpancingo del Bravo, Guerrero, México. CP. 39070. (paty-fitz@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: rsalazarlo@conacyt.mx.

Resumen

En este estudio se evaluaron las características fisicoquímicas y organolépticas de café producido en el municipio José Joaquín Herrera, Guerrero para incrementar su valor agregado y de comercialización. El café (*Coffea arabica* L. variedad Caturra) se procesó mediante cuatro métodos de beneficiado: tradicional, enmielado natural, fermentación controlada y lavado natural. Se midió el color, la dureza, la humedad, la actividad de agua, el contenido de ocratoxina A y la presencia de defectos en los granos de café verde. Además, se evaluaron 10 atributos organolépticos siguiendo el protocolo de la Speciality Coffee Association of America. Las muestras fueron similares en L* (41.98-46.23) y H° (87.21-88.71), indicando una coloración amarilla semioscura de los granos. La dureza fue mayor en los granos de café enmielado (102.81N) y menor en café tradicional (87.85N). Se obtuvieron valores similares de a_w (0.48-0.51), con independencia del método de beneficio y un porcentaje de humedad entre 8.65-9.71. Los cafés presentaron puntuaciones de calidad sensorial ≥ 80 . El café obtenido por fermentación controlada se clasificó como café de especialidad porque mostró la mejor calidad en taza (84) y ausencia de defectos primarios en grano. Las muestras de café presentaron concentraciones de OTA entre 1.3 y 1.61 $\mu\text{g kg}^{-1}$, que se encuentran dentro del rango establecido para su comercialización. El beneficio de los granos por métodos alternativos al tradicional permitió obtener café con mejores atributos fisicoquímicos y sensoriales, aumentando su calidad final en taza y demostrando ser una alternativa viable para la generación de cafés con valor agregado.

Palabras clave: calidad en taza, métodos alternativos de beneficiado, OTA.

Recibido: julio de 2021

Aceptado: agosto de 2021

Introducción

El café es un producto básico de origen agrícola con gran relevancia en la economía mundial y sólo es superado por el petróleo en actividad y valor comercial. Este grano es cultivado en sus diferentes variedades en zonas tropicales y se cosecha en más de 70 países en todo el mundo siendo los principales productores Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Etiopía. Actualmente, se estima que se producen alrededor de siete millones de toneladas de granos de café al año y su consumo supera los tres mil millones de tazas por día (Slavova y Georgieva, 2019).

México es uno de los principales exportadores internacionales de café y se ubica en la undécima posición como productor de este grano a nivel global, con una participación de 2.01% en la producción mundial. La cafecultura mexicana se distingue como una actividad estratégica de gran importancia económica, social y ambiental, debido a que su producción involucra principalmente a pequeños productores de bajos ingresos y alrededor de 30 grupos indígenas, permitiendo la generación de divisas, empleo y la conservación de la biodiversidad al cultivarse bajo sombra.

Los principales estados que concentran la producción de café son Chiapas (34%), Veracruz (30%), Puebla (12%) y Oaxaca (11%) (Jáuregui-Arenas *et al.*, 2017). En el estado de Guerrero, el café es el segundo cultivo perenne de mayor extensión, con 47 000 ha de superficie sembrada correspondiente a la variedad arábica en las regiones de Costa Grande, Costa Chica, Montaña y Centro. Los niveles de producción de café en el estado lo posicionan en el quinto lugar como productor en el país, con aproximadamente 49 000 t en promedio y un rendimiento medio de 1.64 t ha⁻¹, que equivale al 4% de la producción nacional.

Adicionalmente, la proporción de zonas cafetaleras de montaña, la adaptación de café bajo sombra y el uso del beneficio seco o tradicional como método principal de obtención de café verde, evidencian el potencial del estado para producir y comercializar cafés de especialidad (Polito y Ruiz, 2018). A pesar de su relevancia, en los últimos años el sector cafetalero ha experimentado una crisis recurrente por la caída de los precios en el mercado internacional debido a una sobreproducción mundial (Reyes-Landa *et al.*, 2018).

Esta crisis induce a los productores a buscar alternativas para agregar valor a su producto e incursionar en mercados no convencionales que les permitan asegurar mejores precios y tener un mayor control ante la inestabilidad del mercado. Entre las diferentes alternativas que se han desarrollado ante esta situación, destaca la producción de café diferenciado de alta calidad con características físicas y atributos sensoriales específicos (Jáuregui-Arenas *et al.*, 2017), como una estrategia que permite a los productores avanzar en la cadena productiva del café y proporcionar valor agregado a través de la diferenciación de su producto.

En este sentido, el método de beneficio del café o transformación primaria es el paso más importante durante el flujo productivo de café de calidad, ya que permite conservar o degradar los atributos sensoriales de la bebida. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes métodos de beneficio sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de cafés de la Montaña de Guerrero para proporcionar información a los productores que permita mejorar su proceso productivo y comercialización.

Materiales y métodos

El estudio se efectuó en la parcela ‘Tlatenti’ con manejo productivo de *Coffea arabica* L., variedad Caturra de porte bajo, con tratamiento de recepa, sin aplicación de agroquímicos, ubicada en la parte alta de la Montaña, a una altitud de 1 420 m, con coordenadas 17° 26’ 14.98” latitud norte y 98° 59’ 45.44” longitud oeste, en el municipio de José Joaquín Herrera, Guerrero. La producción de café de la parcela durante el periodo 2019-2020, correspondió a 500 kg de café cereza.

Beneficio natural o tradicional

Los granos de café se cosecharon en forma general entre cerezas maduras, medias maduras, verdes y granos secos. Después de la recolección, las cerezas enteras de café se separaron manualmente de las impurezas (ramas, hojas, tierra, etc.) y se secaron a pleno sol extendiéndose en patios de asfalto en espacios cerrados para evitar el acceso de animales domésticos o roedores. Las cerezas se removieron manualmente y se pesaron en balanza digital (Torrey®, L-PCR 40; México) cada 24 h hasta obtener un contenido de humedad menor al 12% y se determinó el tiempo de secado necesario para obtener el café capulín o café natural.

Procesamiento de las cerezas de café

Para el procesamiento del café por el beneficio enmielado natural, fermentación controlada y lavado natural, se seleccionaron manualmente cerezas de café ubicadas en el centro de las bandolas de los cafetos, de 1.7-2 g de peso, con una maduración óptima y una concentración de azúcares entre 22 y 26 °Bx, que se determinó utilizando un refractómetro Atago Pal-1® (Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan). Las cerezas de café recién cosechadas se depositaron en tinajas de agua para un primer lavado y clasificación. Se removieron constantemente en forma circular con una paleta de madera y se separaron los granos dañados, frutos verdes, hojas y ramas por flotación, así como los residuos de tierra por decantación. Posteriormente, las cerezas del café se separaron en tres lotes para su beneficiado.

Beneficio enmielado natural

Los frutos enteros del café se extendieron en capas de aproximadamente 2 cm de espesor, sobre camas ecológicas de secado de tela malla con estructura de madera a 70 cm de altura para facilitar la ventilación. Las cerezas de café se sometieron a secado continuo en exposición al sol durante 9 h al día y se removieron con rastrillo cada 2 h para equilibrar el contenido de humedad. Las cerezas de café se pesaron cada 24 h hasta alcanzar un contenido de humedad menor al 12% y se determinó el tiempo de secado necesario para obtener los granos de café enmielado.

Beneficio fermentación controlada

Los frutos enteros se despulparon mecánicamente desprendiendo el exocarpo mediante una despulpadora (Aipec, Ecomaqx®, Puebla, México) con abertura de disco de 1.5-2 cm, obteniendo granos recubiertos de pergamino con mucilago adherido. Posteriormente, los granos se sometieron a 18 h de fermentación controlada en un tanque con 10 L de agua a temperatura ambiente (17-25 °C) y se removieron cada 2 h, para permitir la degradación microbiana de la capa mucilaginosa.

Luego, los granos se lavaron para eliminar los residuos de mucilago y las sustancias solubles que se formaron durante el proceso de fermentación. Se extendieron en capas de 2 cm de grosor sobre camas ecológicas de tela malla con estructura de madera a 70 cm de altura para facilitar la ventilación. Los granos pergamino se sometieron a secado continuo en exposición al sol durante 9 h al día y se removieron manualmente cada 3 h. Los granos de café se pesaron cada 24 h hasta obtener un contenido de humedad menor al 12% y se determinó el tiempo de secado necesario para obtener los granos de café fermentado natural.

Beneficio lavado natural

Las cerezas del café se despulparon de manera similar a lo descrito en el inciso anterior. Para la remoción del mucilago, los granos pergamino se colocaron en tinajas de agua y se removieron en forma circular durante 30 min en 3 sesiones por 6 h a temperatura ambiente (17-25 °C). En seguida, los granos se secaron a pleno sol en capas de 2 cm de grosor sobre camas ecológicas de tela malla con estructura de madera a 70 cm de altura y se removieron manualmente cada 3 h. Los granos de café se pesaron cada 24 h hasta alcanzar un contenido de humedad menor al 12% y se determinó el tiempo de secado necesario para obtener los granos de café lavado natural.

Rendimiento

El rendimiento de café obtenido por beneficio húmedo se calculó como la relación entre el peso del café pergamino seco obtenido y el peso de café cereza procesado, multiplicado por 100. El rendimiento de café procesado por beneficio seco se calculó como el peso de café cereza seco obtenido, dividido por el peso de café cereza procesado, multiplicado por 100.

Análisis físicos

Las características de color de los granos de café verde se determinaron mediante un colorímetro de esfera portátil (espectrofotómetro X-Rite, Modelo Ci62, Grand Rapids, MI, USA), con un observador de 10° y un iluminante D₆₅, utilizando los parámetros del sistema CIE L*, a*, b*. A partir de estos valores, el ángulo Hue (H°) se determinó considerando: $H^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, donde a* = [negativo (verde) a positivo (rojo)] y b* = [negativo (azul) a positivo (amarillo)].

La densidad promedio se evaluó como la relación entre el peso de 100 granos de café de cada muestra y el volumen ocupado por los granos. La dureza se midió utilizando un analizador de textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA) con un punzón cilíndrico de 1 mm de diámetro y un ángulo de punta de 22°, a una velocidad de ensayo de 2 mm s⁻¹. La actividad de agua (a_w) se evaluó mediante un medidor de actividad de agua Aqualab® 4te (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA). La humedad del café verde se determinó mediante el método gravimétrico. Se secaron 10 g de muestra por triplicado en un horno de convección forzada (Luzeren, DHG-9070A, Beijing, China), a 105 °C durante 24 h hasta peso constante.

Análisis de ocratoxina A en granos de café

El análisis cuantitativo de ocratoxina A (OTA) se realizó mediante el inmunoensayo enzimático competitivo del kit comercial Ridascreen® Fast (R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany). Los granos de café se molieron finamente y se mezclaron 5 g de muestra con 12.5 ml de metanol al 70%. Las muestras se agitaron vigorosamente durante 3 min. El extracto obtenido se filtró a través de papel whatman núm. 1 y se diluyó 1 ml del filtrado resultante con 1 ml de agua destilada.

Posteriormente, se colocaron 50 ml de muestra estándar en pocillos individuales y se añadió 50 μ l de conjugado enzimático y 50 μ l de solución de anticuerpo anti-OTA. La placa se agitó e incubó a temperatura ambiente (17-25 °C) durante 10 min. Luego, se realizaron tres lavados utilizando 250 μ l de agua destilada y se agregaron 100 μ l de mezcla de sustrato/cromógeno a cada pocillo. Por último, se añadió 100 μ l de solución stop y se midió la absorbancia a 450 nm en un lector de microplacas (Stat Fax-2100, GMI-Inc., Miami, FL, USA).

Presencia de defectos

El contenido de granos dañados se determinó en una muestra de 300 g de café verde de cada lote. Los granos se clasificaron y separaron manualmente en defectos primarios (completamente negro, completamente agrio, materia extraña, daño por hongos, daño por insecto severo) y defectos secundarios (parcialmente negro, parcialmente agrio, conchas, rotos o mordidos, daño por insecto leve) de acuerdo con los requisitos de la SCAA.

Torrefacción y molienda

Los granos de café cereza y pergamino secos se trillaron en una morteadora (Ecomach, EM-120 kg, Chiapas, México) para obtener café verde (oro). Posteriormente, los granos de café verde se tostaron durante 20 min a 190 °C \pm 10 en grado medio utilizando un tostador tradicional de cilindro (RicoCafé, T3, Puebla, México), y se molieron (RicoCafé, ASIN-7T, Puebla, México) a un tamaño de partícula de 700-900 μ m, con máximo 30 min previos a la preparación de la infusión para su catación.

Análisis sensorial

La evaluación sensorial de la calidad en taza de las muestras de café se realizó siguiendo el protocolo de catación para cafés especializados de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA) por un catador certificado por la Asociación Mexicana de Cafés y Cafeterías de Especialidad, AC (AMCCE). Se realizaron en total 10 evaluaciones sensoriales para cada muestra. Cada taza se preparó utilizando 6 g de café molido en 100 ml de agua a 80-90 °C.

Las características sensoriales evaluadas fueron: aroma/fragancia, sabor, sabor residual, dulzor, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia y puntaje del catador. Los atributos organolépticos se calificaron utilizando una escala ordinal de 0 a 10 puntos y la muestra en general, se evaluó como la suma del puntaje individual de cada atributo en una escala de 0 a 100 puntos. El catador identificó notas o descriptores específicos encontrados en taza para los atributos de sabor y aroma. Las muestras con una puntuación \geq 80, con al menos un atributo distintivo en cuerpo, sabor, aroma o acidez y poco o ningún defecto completo en grano, se denominaron café de especialidad.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron estadísticamente como medias \pm error estándar utilizando Anova de una vía en el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Statistics 25). La comparación de medias se realizó mediante la prueba Tukey, con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados y discusión

Rendimiento y tiempo de secado del café

Se determinaron los diferentes rendimientos y tiempos de secado del café procesado por beneficio húmedo y seco (Cuadro 1). El mayor rendimiento en peso se obtuvo en café cereza seco procesado por beneficio tradicional (64%) y enmielado natural (66%), lo que se debe esencialmente al recubrimiento de la pulpa que presentan los granos y que incrementa el peso de estos.

Cuadro 1. Tiempo de secado y rendimiento del café obtenido por los distintos métodos de beneficio.

Beneficio	Tiempo de secado (días)	Rendimiento (%)
Tradicional	15 días	64.37
Enmielado	10 días	65.66
Fermentado	6 días	25.9
Lavado natural	6 días	26.23

En contraste, el café beneficiado por fermentación controlada y lavado natural presentó un rendimiento de aproximadamente 26% en café verde, debido a la ausencia de exocarpio y mesocarpio de los granos. Por lo tanto, se necesita alrededor de 3.8 kg de café cereza para obtener 1 kg de café verde por beneficio húmedo. En general, una selección y clasificación rigurosa de los granos, permite incrementar el rendimiento del café al descartar la mayor cantidad de defectos que inciden en su procesamiento (Montilla *et al.*, 2008).

El tiempo total de secado de los granos se redujo con el beneficio del café por métodos alternativos al tradicional. El café lavado natural y fermentado controlado presentó el menor tiempo de secado (6 días), en tanto que, para café enmielado natural y tradicional, el secado se prolongó hasta 10 y 15 días, respectivamente. En principio, el secado se ve afectado por un mayor contenido de humedad inicial en el café tradicional y enmielado, debido a la presencia de exocarpio y mesocarpio en las cerezas.

Sin embargo, al eliminar las capas externas de la cereza y dejar solo una pequeña porción de mucílago, se acelera el tiempo de secado del café (Poltronieri y Rossi,). Esto fue demostrado por Siqueira *et al.* (2017), quienes observaron una aceleración del proceso de secado para café sin mucilago en comparación con el café cereza. De igual forma, las camas ecológicas también podrían favorecer la disminución del tiempo de secado de los granos, al incrementar el área de exposición a la luz solar y permitir que el aire circule con mayor facilidad, logrando obtener un secado rápido y uniforme.

Caracterización fisicoquímica de los granos de café

La evaluación de las características físicas y químicas del café verde es importante para incrementar la calidad del producto final. En el (Cuadro 2) se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica de los granos verdes de café procesados.

Cuadro 2. Evaluación de características fisicoquímicas de cafés obtenidos por los diferentes métodos de beneficio húmedo y seco.

Beneficio	Luminosidad (L*)	Hue (H°)	Densidad (g ml ⁻¹)	Dureza (N)	Actividad de agua (a _w)	Humedad (%)
Tradicional	44.05 ±1.91 ab	88.43 ±0.81 a	0.66 ±1 c	87.85 ±7.83 b	0.48 ±0 b	8.65 ±0.02 d
Enmielado	44.39 ±1.79 ab	87.21 ±1.02 a	0.73 ±1 b	102.81 ±3.18 a	0.48 ±0.01 b	9.17 ±0.1 b
Lavado natural	41.98 ±2.73 c	88.71 ±0.63 a	0.74 ±1 a	95.22 ±3.55 b	0.51 ±0.01 a	9.71 ±0.07 a
Fermentado	46.23 ±3.19 a	87.83 ±0.63 a	0.74 ±1 a	94.21 ±2.25 b	0.48 ±0 b	8.90 ±0.06 c

Los promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes. Los valores indican la media ± desviación estándar (n= 3).

El color de los granos verdes es el primer indicador de calidad del café y se utiliza para establecer estándares de clasificación. La ISO 4149 (2005) recomienda descripciones de color asociadas con la calidad de los granos que van desde azulado-verdoso-blanquecino-amarillento-pardusco. En la caracterización de los componentes de color del café, las muestras presentaron valores promedio de luminosidad (L*) de 44.05-46.23 y ángulo de matiz (H°) de 87.21-88.71, indicando tonos amarillos semioscuros que coinciden con la coloración uniforme de los granos obtenidos. Se ha establecido que el color del café verde depende de factores relacionados con el origen botánico, el procesamiento y el tiempo del almacenamiento (Bicho *et al.*, 2014).

El color que presentaron los granos se puede atribuir 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 (Jurinjak *et al.*, 2015). Esto coincide con diversos autores que afirman que el color amarillo corresponde a granos que se secaron demasiado rápido a temperaturas excesivamente cálidas (Tesfa, 2019). Asimismo, se ha reportado que la pérdida de color del grano tiene lugar debido a almacenamiento prolongado antes de tostarse (Bicho *et al.*, 2014).

Los granos presentaron valores de densidad de 0.66-0.74 g ml⁻¹, donde el café beneficiado tradicionalmente tuvo la menor densidad. Estos resultados son comparables a los de Montilla *et al.* (2008), quienes reportan que se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la comercialización y clasificación de calidad del café. De acuerdo con Duicela y Corral (2004), los granos con una densidad mayor a 0.65 g ml⁻¹, se consideran de alta densidad, la cual se asocia con un proceso de maduración más lento y uniforme, permitiendo una mayor acumulación de importantes precursores de aroma y sabor del café.

Una menor densidad en cambio se relaciona con diferentes defectos en el café como granos rotos, malformados, huecos, fermentados, atacados por plagas, cáscaras, entre otros. El comportamiento textural constituye otro parámetro de importancia en la aceptación y calidad del café ya que se relaciona con su capacidad para resistir la deformación o la fractura de su superficie. Los menores valores de dureza se encontraron en los granos obtenidos por beneficio tradicional (87.85 N), lavado natural (95.22) y fermentado controlado (94.21 N), los cuales presentaron valores similares. Por el contrario, hubo un incremento de la dureza en el café enmielado natural (102.81 N), lo que podría atribuirse al revestimiento del mucílago y azúcares residuales que presentan estos granos y que protegen de la pérdida de firmeza y textura durante el período de almacenamiento, a través de la reducción del proceso de transpiración del grano (Bernardino-Nicanor *et al.*, 2018).

La actividad de agua (a_w) y la humedad constituyen factores que determinan el proceso de conservación de los granos de café durante su almacenamiento y transporte. Las muestras de café verde exhibieron valores de a_w entre 0.48 y 0.51, indicando que los granos son estables frente al crecimiento microbiano, debido a que el mínimo a_w en el que pueden crecer los microorganismos es 0.6 y debajo de este valor, se deterioran las actividades fisiológicas necesarias para su desarrollo. El contenido de humedad osciló entre 8.65 y 9.71%, en donde el café obtenido por el beneficio tradicional tuvo el menor valor de humedad y el café lavado natural presentó el mayor contenido.

Según lo recomendado por la Organización Internacional del Café (ICO), la humedad del grano de café verde comercializable no debe exceder 12.5%, por lo que los valores de humedad de los cafés procesados por los diferentes métodos de beneficio se encuentran dentro del rango establecido para el mercado de exportación, asegurando buenas condiciones de almacenamiento. Por el contrario, un contenido de humedad superior a 12.5%, facilita el crecimiento de hongos y la presencia de micotoxinas en los granos de café que, además de influir en la calidad final de la bebida, representan un riesgo para el consumidor, mientras que, un bajo contenido de humedad (menor a 8%) perjudica la calidad del café al generar granos encogidos y con una apariencia indeseable (Bicho *et al.*, 2014).

Análisis de OTA en granos de café

El café procesado por el método tradicional presentó una concentración de OTA más elevada en comparación al café enmielado ($1.3 \mu\text{g kg}^{-1}$), siendo similar a los niveles del café lavado natural ($1.44 \mu\text{g kg}^{-1}$) y fermentado controlado ($1.4 \mu\text{g kg}^{-1}$), los cuales no presentaron diferencias significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración de ocratoxina A en muestras de café de los diferentes métodos de beneficio.

Beneficio	OTA ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
Tradicional	1.61 ± 0.042 a
Enmielado natural	1.30 ± 0.131 b
Lavado natural	1.44 ± 0.109 ab
Fermentado controlado 18 h	1.4 ± 0.082 ab

Los promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes. Los valores indican la media \pm desviación estándar (n= 3).

La contaminación por OTA deriva de la presencia de hongos ocratoxigénicos en el café debido a un manejo poscosecha inadecuado en las etapas de clasificación, secado, almacenamiento y transporte del grano. La concentración ligeramente elevada de OTA del café procesado por beneficio natural puede deberse a la falta de clasificación de las cerezas durante su recolección, previo a su procesamiento, debido que, diversos autores han señalado que las cerezas sobremaduras son una fuente importante de contaminación del café verde por OTA (Taniwaki *et al.*, 2014).

Todas las muestras presentaron niveles de OTA por debajo de los límites máximos de $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ establecidos por la Unión Europea (UE) para café tostado y molido (EC, 2005). Por lo tanto, los valores observados de esta micotoxina en las muestras indican una escasa incidencia de hongos toxigénicos en los granos de café procesados, indicando que se llevaron a cabo buenas prácticas agrícolas en el manejo poscosecha del café, siendo adecuado para su comercialización.

Defectos del café verde

La presencia de defectos es relevante para establecer la calidad del café, ya que podrían estar asociados con problemas específicos durante las operaciones de procesamiento cosecha y postcosecha, además de influir negativamente en la calidad de la bebida (Oliveri *et al.*, 2019). El (Cuadro 4), presenta la cantidad de granos defectuosos de café procesado por beneficio húmedo y seco.

Cuadro 4. Cantidad de defectos en 300 g de muestra de café verde beneficiado por distintos métodos.

Defectos	Convencional	Enmielado natural	Fermentado controlado	Lavado natural
Daño por hongos	0	2	0	0
Daño por insecto severo	2	1	0	1
Daño por insecto leve	5	2	0	2
Agrio parcial	1	0	0	1
Rotos o mordidos	11	13	1	4
Total	19	18	1	8
Clasificación	Comercial	Comercial	Especial	Comercial

El mayor número de defectos se encontró en café convencional (19) y enmielado natural (18), en contraste con el café beneficiado en húmedo, donde el café fermentado controlado presentó únicamente 1 defecto en grano, seguido de café lavado natural con 8 defectos. Los granos rotos o mordidos fueron el defecto más frecuente en el café beneficiado en seco, lo que puede atribuirse al periodo prolongado de secado del café convencional y enmielado ya que se ha descrito que los granos con un secado excesivo se vuelven quebradizos y se rompen fácilmente durante el descascarado mecánico (Oliveri *et al.*, 2019).

Como mínimo, el café de especialidad es un café sin defectos de sabor o granos defectuosos (SCAA, 2015), por lo que, solamente el café fermentado controlado se categorizó como café de especialidad (grado 1), al haber presentado menos de 5 defectos secundarios y ningún defecto primario en 300 g de muestra, basado en la clasificación de la SCAA. Por otra parte, el café convencional, enmielado natural y lavado natural, se consideran de grado comercial (grado 3), con 9-23 defectos permitidos en 300 g de muestra para esta categoría. En el mismo sentido, la SCAA no recomienda la exportación de café cuando existe un exceso de 86 defectos por 300 g de muestra. Por lo tanto, independientemente del método de beneficiado utilizado, los cafés elaborados pueden ser comercializados en mercados extranjeros.

Características organolépticas del café

El procesamiento del café por beneficio húmedo (fermentación controlada y lavado natural), aumentó favorablemente su calidad en taza, destacando atributos de la bebida como fragancia/aroma, sabor y acidez en el análisis sensorial, en comparación con el café procesado en seco (convencional y enmielado natural) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evaluación sensorial de cafés obtenidos por los diferentes métodos de beneficio húmedo y seco.

Atributo	Convencional	Enmielado natural	Fermentado controlado	Lavado natural
Notas de sabor	manzana, nuez, chocolate, almendra	Un poco de madera y paja, almendras, dulce de leche.	Cedro, tamarindo, piña, mandarina, caramelo, licor de almendra, vainilla, coñac	Canela, pasas, higo, vainilla, manzana, cítricos, nuez
Notas de aroma	Nuez caramelo, almendra, macadamia	Miel, manzana, caramelo, limón, vainilla, madera ligera	Coñac, higo seco, vinoso, papaya, piña, tamarindo, ciruela	Manzana, almendra, pasas, mantequilla, caramelo, dulce de leche
Fragancia/aroma	7.25	7.17	8	7.5
Sabor	7.33	7.17	7.92	7.5
Sabor residual	7.33	7	7.75	7.58
Acidez	7.42	7.42	7.67	7.67
Cuerpo	7.17	7.08	7.25	7.42
Balance	7.33	7.08	7.5	7.5
Uniformidad	10	10	10	10
Taza limpia	10	10	10	10
Dulzor	10	10	10	10
Puntaje catador	7.17	7.08	7.92	7.45
Total	81	80	84	82.58
Clasificación	Comercial	Comercial	Especial	Comercial

Mientras que el café enmielado natural se caracterizó por sabores poco intensos o indefinidos, las muestras de café convencional, lavado natural y fermentado controlado, se describieron con notas agradables de aroma/fragancia, así como sabores intensos y definidos en taza. A pesar de que las características intrínsecas del café se originan principalmente en la composición química del grano (Poltronieri y Rossi, 2016), también son resultado del método de procesamiento utilizado.

En el beneficio seco, el producto final desarrolla aromas y sabores afrutados característicos, debido a que no se elimina ninguna capa de las cerezas del café. Mientras que, en el beneficio húmedo, la eliminación del mucilago por parte de la diversidad de microorganismos responsables de la fermentación produce la liberación de diversos compuestos aromáticos volátiles y metabolitos que difunden al interior de los granos, contribuyendo a añadir sabor, aroma, así como a aumentar la acidez y complejidad del café (De Melo-Pereira *et al.*, 2018).

Generalmente, levaduras, hongos y bacterias tienen un rol importante en la fermentación del café debido a su capacidad para degradar el mucilago a través de la producción de diversas enzimas, alcoholes y ácidos; asimismo, determina la concentración de azúcares y aminoácidos que

participaran en la reacción de Maillard para producir aromas y sabores deseables durante el tostado del café. Una fermentación controlada favorece la producción de microorganismos beneficios que aseguran mejores aromas y sabores en la taza de café. En contraste, una fermentación prolongada favorece la producción de microorganismos productores de ácido acético, propiónico y butírico, así como ácidos grasos de cadena corta, que son compuestos responsables de sabores extraños en la bebida del café (Haile y Kang, 2019).

Estos resultados son consistentes con los de múltiples investigaciones que demuestran que los métodos de procesamiento o beneficio húmedo se aplican para la producción de cafés especiales con cualidades organolépticas superiores al café obtenido por beneficio seco (Abubakar *et al.*, 2019). Es aceptado que esto se debe a la recolección selectiva de las cerezas de café, así como debido a la separación de granos defectuosos que tiene lugar durante el procesamiento en húmedo, limitando la ocurrencia de factores que podrían intervenir en su calidad final en taza. Los resultados del análisis sensorial evidenciaron una mayor preferencia y aceptación de la bebida del café fermentado controlado (84 puntos), distinguiéndose por su sabor en taza, que se describió principalmente con notas de piña, tamarindo y coñac, de textura astringente y seca, así como una acidez cítrica media.

Estos atributos, en conjunto con la evaluación de defectos en grano, permitieron al café fermentado a 18 h, alcanzar la denominación de café de especialidad de alta calidad. Lo anterior, puede atribuirse fundamentalmente al proceso controlado de fermentación del café, ya que, según varios estudios, esto permite asegurar el desarrollo de microorganismos beneficiosos que produzcan una bebida de alta calidad con propiedades organolépticas destacadas (Poltronieri y Rossi, 2016). Los granos poco fermentados contienen mucílago y azúcar residual que evitan el secado adecuado y crean un ambiente propicio para el desarrollo de hongos, mientras que, una fermentación excesiva, también resulta en el desarrollo de microorganismos de deterioro que afectan adversamente el aroma y sabor del café (Haile y Kang, 2019).

Por otra parte, las muestras de café convencional, enmielado y lavado natural obtuvieron una calificación ≥ 80 puntos en taza, indicando que fue posible obtener café de buena calidad, no obstante, se categorizan como café comercial, debido a la presencia de defectos primarios en grano que fueron previamente identificados. De los resultados presentados en este estudio, se puede establecer que la calidad del café está asociada a diversos factores que involucran aspectos fisicoquímicos, físicos y sensoriales, los cuales se relacionan estrechamente y dependen principalmente del método de beneficio o procesamiento de los granos, en donde las condiciones de selección, secado y almacenamiento tienen gran relevancia.

Conclusiones

Este estudio aportó información relevante para mejorar el proceso productivo y proporcionar valor agregado al café de la Montaña de Guerrero. La caracterización fisicoquímica del café procesado por diferentes métodos de beneficiado reveló que los granos presentaron valores de dureza, densidad, humedad, actividad de agua y niveles de OTA aceptables para fines de comercialización. En la evaluación sensorial, se encontró que el beneficio del café por métodos alternativos como el fermentado o lavado natural, permitió obtener café con menos defectos en grano y con mejores atributos organolépticos en taza.

El beneficio del café por fermentación controlada demostró ser una alternativa viable para la producción de café de especialidad, reduciendo los defectos en grano y proporcionando cualidades organolépticas superiores a la bebida. Es indispensable una selección rigurosa del café antes de su procesamiento y establecer las condiciones adecuadas de fermentación y secado para asegurar una mejor calidad final del producto.

Literatura citada

- Abubakar, Y.; Hasni, D.; Muzaifa, M.; Sulaiman, M. and Widayat, H. P. 2019. Effect of varieties and processing practices on the physical and sensory characteristics of gayo arabica specialty coffee. IOP conference series: materials science and engineering. 523(1):012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/523/1/012027>.
- Bernardino-Nicanor, A.; Montañez-Soto, J. L.; Conde-Barajas, E.; Negrete-Rodríguez, M. D. L. L. X.; Teniente-Martínez, G.; Vargas-León, E. A. and González-Cruz, L. 2018. Spectroscopic and structural analyses of opuntia robusta mucilage and its potential as an edible coating. Coatings. 8(12):466-467. <https://doi.org/10.3390/coatings8120466>.
- Bicho, N. C.; Leitao, A. E.; Ramalho, J. C. and Lidon, F. C. 2014. Application of colour parameters for assessing the quality of arabica and robusta green coffee. Emir. J. Food Agric. 9-17 pp. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i1.17190>.
- De Melo-Pereira, G. V.; Carvalho Neto, D. P.; Magalhães Júnior, A. I.; Vásquez, Z. S.; Medeiros, A. B. P.; Vandenberghe, L. P. S. and Soccol, C. R. 2018. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans a review. Food Chem. 272:441-452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>.
- Duicela-Guambi, L. A. y Corral-Castillo, R. G. 2004. Caficultura orgánica: alternativa de desarrollo sostenible. Portoviejo, EC. 111 p.
- EC. 2005. European Commission Maximum limits for ochratoxin A. Regulation EC. Office J. Eur. Union. 123(28. 01):3-5.
- Haile, M. and Kang, W. H. 2019. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. J. Food Qual. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>.
- ISO. 2005. International standards organization. 4149: Green coffee-olfactory and visual examination and determination of foreign matter and defects. International Organization for Standardization, Switzerland. 1-5 p.
- Jáuregui-Arenas, S.; Álvarez-Ávila, M. C.; Escamilla-Prado, E.; Olgúin-Palacios, C. y Figueroa-Rodríguez, K. A. 2017. Agroempresas familiares de café (*C. arabica* L.) diferenciado y de especialidad en Veracruz, México: casos de éxito. Agroproductividad. 10(12):134-140.
- Jurinjak-Tušek, A.; Benković, M. and Bauman, I. 2015. Kinetics of colour change in roasted ground coffee during secondary shelf-life. J. Processing Energy Agric. 19(1):7-11.
- Montilla, J.; Arcila, J.; Aristizábal, M.; Montoya, E. C.; Puerta, G. I.; Oliveros, C. E. y Cadena, 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.
- Oliveri, P.; Malegori, C.; Casale, M.; Tartacca, E. and Salvatori, G. 2019. An innovative multivariate strategy for HSI-NIR images to automatically detect defects in green coffee. Talanta. 199:270-276. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.02.049>.
- Polito, A. H. y Ruiz, N. L. 2018. Responsabilidad social organizacional y sustentabilidad: caso manejo de la roya del café en Guerrero, México. *In: diversidad y complejidad organizacional en América Latina. Propuestas de investigación: una mirada a la forma de estudiar las organizaciones.* Grupo (Ed.). Hess, SA de CV. México, DF. 263-285 pp.

- Poltronieri, P. and Rossi, F. 2016. Challenges in specialty coffee processing and quality assurance. *Challenges*. 7(2):19. <https://doi.org/10.3390/challe7020019>.
- Reyes-Landa, D.; Mercado-Mancera, G.; Escamilla-Prado, E. y Robledo-Martínez, J. D. 2018. Innovaciones tecnológicas en la producción de planta de café. *Agroproductividad*. 11(4):74-79.
- SCAA 2015. Protocols. Cupping specialty coffee. Specialty coffee association of America SCAA. Published by the specialty coffee association of America. <https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>.
- Siqueira, V. C.; Borém, F. M.; Alves, G. E.; Isquierdo, E. P.; Pinto, A. C. F.; Ribeiro, D. E. and Ribeiro, F. C. 2017. Drying kinetics of processed natural coffee with high moisture content. *Coffee Science, Lavras*. 12(3):400-409. <https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1320>.
- Slavova, G. and Georgieva, V. 2019. World production of coffee imports and exports in Europe, Bulgaria and USA. *Trakia J. Sci.* 17(1):619-626. <https://doi.org/10.15547/tjs.2019.s.01.098>.
- Taniwaki, M. H.; Teixeira, A. A.; Teixeira, A. R. R.; Copetti, M. V. and Iamanaka, B. T. 2014. Ochratoxigenic fungi and ochratoxin an in defective coffee beans. *Food Res. Inter.* 61:161-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.032>.
- Tesfa, M. 2019. Review on post-harvest processing operations affecting coffee (*Coffea Arabica* L.) quality in Ethiopia. *J. Environ. Earth Sci.* 9(12):30-39. <https://doi.org/10.7176/jees/9-12-04>.