



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DEL
ESTADO DE MÉXICO, SOBRE EL TOSTADO Y CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

Ing. DANIEL ALEJANDRO ARISTEO ORTEGA

Toluca, Estado de México, mayo de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DEL
ESTADO DE MÉXICO, SOBRE EL TOSTADO Y CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

Ing. DANIEL ALEJANDRO ARISTEO ORTEGA

COMITÉ DE TUTORES:

Dra. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN

Dr. JESÚS CASTILLO NONATO

Dr. GUILLERMO ASDRÚBAL VARGAS ELÍAS

Toluca, Estado de México, mayo de 2025

RESUMEN

Los municipios mexiquenses productores de café, producen este fruto en una altitud que va de los 1700 a 2100 msnm, lo que le confiere un distintivo particular; es un café de altura. Incluso se ha posicionado como un “café de calidad”, prueba de ello, son los premios obtenidos en el concurso nacional “Taza de Excelencia México”, en los que el café del Estado de México ha destacado durante los últimos años. Para ratificar científicamente estas afirmaciones, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la humedad del grano de café del Estado de México sobre el proceso de tostado y características de calidad. En el año 2023, se cosechó café (*Coffea arabica* L. variedad Caturra rojo) y se procesó mediante un beneficio natural hasta llegar a los diferentes porcentajes de humedad (10, 11, 12, 13 y 14%) y posteriormente, se tostó de acuerdo con el protocolo de la *Specialty Coffee Association*, 2023. El café tostado se evaluó mediante un análisis sensorial a partir del protocolo de la misma asociación, en donde se evaluaron 10 atributos sensoriales. El tratamiento con 13% de humedad obtuvo la mejor puntuación, destacándose por una fragancia media-alta con notas dulces y frutales, entre ellas azúcar morena. Sin embargo, este nivel de humedad representa un riesgo microbiológico para el grano. Todas las muestras obtuvieron puntuaciones de calidad sensorial ≥ 80 , clasificándose como cafés de especialidad. Además, se determinaron los contenidos de fenoles totales, siendo los valores más altos el de los tratamientos con 10, 11 y 12% de humedad (64,20, 64,15 y 64,08 mg GAE/mL MS), respectivamente, superando los datos reportados en estudios previos (26,76 y 24,98 mg GAE/mL MS).

Palabras clave: análisis sensorial, fenoles y humedad.

ABSTRACT

The coffee-producing municipalities of the State of Mexico cultivate this fruit at an altitude ranging from 1700 to 2100 meters above sea level, which gives it a distinctive characteristic: it is a high-altitude coffee. It has even positioned itself as a "quality coffee," as evidenced by the awards received at the national competition "Taza de Excelencia México", where coffee from the State of Mexico has stood out in recent years. To scientifically confirm these claims, the objective of this study was to evaluate the effect of the coffee bean moisture from the State of Mexico on the roasting process and quality characteristics. In 2023, coffee (*Coffea arabica* L., Caturra rojo variety) was harvested and processed through a natural method to reach different moisture percentages (10, 11, 12, 13, and 14%), and then roasted according to the Specialty Coffee Association protocol, 2023. The roasted coffee was evaluated through a sensory analysis based on the protocol of the same association, where 10 sensory attributes were assessed. The treatment with 13% moisture content achieved the highest sensory score, standing out for its medium-high fragrance with sweet and fruity notes, including brown sugar. However, this moisture level poses a microbiological risk to the coffee bean. All samples obtained sensory quality scores ≥ 80 , classifying them as specialty coffees. Additionally, the total phenolic content was determined, with the highest values observed in the treatments with 10, 11, and 12% moisture (64.20, 64.15, and 64.08 mg GAE/mL MS), respectively, surpassing the data reported in previous studies (26.76 and 24.98 mg GAE/mL MS).

Keywords: Sensory analysis, phenols, and moisture.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México y a la Facultad de Ciencias Agrícolas por brindarme la oportunidad de formarme en un entorno académico de excelencia. A lo largo de mi trayectoria académica, he recibido el apoyo invaluable de profesores, personal administrativo y compañeros, quienes han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

A mis tutores académicos, la doctora María Dolores Mariezcurrena Berasain, y los doctores Jesús Castillo Nonato y Guillermo Asdrúbal Vargas Elías, por su valiosa orientación, apoyo y dedicación a lo largo de todo este proceso. Gracias por compartir su experiencia, por brindarme su tiempo y por siempre motivarme a dar lo mejor de mí.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por haberme otorgado la beca que ha sido fundamental para el desarrollo de mis estudios. Esta oportunidad no solo ha facilitado mi formación académica, sino que también ha sido una motivación constante para esforzarme y alcanzar mis metas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Descripción y morfología del fruto.....	4
2.2 Origen.....	5
2.3 Variedades de café.....	6
2.4 Fenología del café	7
2.5 Producción de café.....	8
2.5.1 Internacional.....	8
2.5.2 Nacional	8
2.5.3 Estatal	9
2.6 Cosecha	10
2.7 Beneficio del café	11
2.8 Secamiento del café	12
2.9 Almacenamiento	13
2.10 Tostado	13
2.10.1 Tipos de tostado.....	16
2.11 Calidad en café.....	18
2.12 Análisis sensorial.....	19
2.12.1 Cata de café	21
2.13 Actividad antioxidante.....	22
2.13.1 Fenoles	24
2.13.2 Fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.....	25
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. HIPÓTESIS	29
5. OBJETIVOS	30
5.1 Objetivo general	30
5.2 Objetivos específicos	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS	31

6.1 Sitio experimental	31
6.2 Diseño experimental	31
6.3 Materiales	31
6.3.1 Beneficio natural.....	31
6.3.2 Torrefacción	33
6.3.3 Análisis sensorial.....	35
6.3.4 Fenoles Totales.....	41
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
7.1 Determinación de fenoles totales.....	45
7.2 Producto de investigación.....	53
7.2.1 Efecto de la humedad del grano de café (<i>Coffea arabica</i> L.) del Estado de México, sobre el tostado y características sensoriales	53
8. CONCLUSIONES.....	76
9. BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE TABLAS, CUADROS, GRÁFICAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preparación de la curva patrón de ácido gálico	41
Tabla 2. Curva patrón de ácido gálico a partir de una solución concentrada.....	46
Tabla 3. Resultados de fenoles totales en cada nivel de humedad.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Puntaje, descripción del grado de la especialidad y clasificación.....	40
Cuadro 2. Comparación de temperatura máxima, mínima, precipitación y humedad relativa en Temascaltepec, Edo. Méx	51

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de tostado del café.....	16
Gráfica 2. Curva patrón de ácido gálico	47
Gráfica 3. Resultados de fenoles totales.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del fruto de café (<i>Coffea arabica</i>)	5
Figura 2. Estado óptimo de madurez del fruto de café	10
Figura 3. Tipos de tueste en el grano de café.....	18
Figura 4. Tipos de análisis sensoriales	20
Figura 5. Secado del fruto del café en camas africanas	32
Figura 6. Acondicionamiento de la humedad en café verde	33

Figura 7. Escala Agtron de la SCA	34
Figura 8. Tostado y almacenamiento del café	34
Figura 9. Cata de café realizada por catadores <i>Q graders</i>	35
Figura 10. Formato de evaluación sensorial de la SCA, 2023.....	36
Figura 11. Preparación de extractos de café.....	43
Figura 12. Lectura y cuantificación de fenoles totales	44

1. INTRODUCCIÓN

El café es un producto agrícola importante, y una de las bebidas más populares en el mundo (Gutiérrez-Calle *et al.*, 2021). A nivel global, la tendencia es la producción de dos especies de café, la primera es café arábica (*Coffea arabica* L.); con casi dos tercios de la producción mundial, y la segunda es la especie café robusta (*Coffea canephora*); con un tercio (Vega y Reyes, 2017). Después del agua, el café es la bebida más consumida en el mundo, además es la principal fuente de antioxidantes en la dieta alimentaria humana, pues a pesar de que existen otros alimentos con cantidades más altas; este se consume con mayor frecuencia y volumen (Rodríguez, 2021).

Brasil ocupa el primer lugar mundial en la producción de café, seguido por Vietnam, mientras que México se encuentra en la décima posición con una superficie sembrada de 710,417 ha (SIAP, 2023). El 100% de la producción de café en México proviene de 14 estados, que incluyen Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, Estado de México, Morelos, Querétaro y Tabasco (SIACON-SADER, 2023).

El Estado de México ocupa el undécimo lugar a nivel nacional en producción de café, con una superficie cultivada de 539 ha y una producción de 623 t (Leguizamo *et al.*, 2023). Los factores climáticos juegan un papel crucial en la calidad del café, siendo determinantes la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura (SADER, 2015). En comparación con los cafetales en Chiapas, situados a altitudes que varían entre 900 y 1800 msnm y con una temperatura media anual de 24°C, los cafetales en el Estado de México alcanzan altitudes de hasta 2100 msnm y presentan una temperatura media anual

de 14,7°C. Estas condiciones permiten una maduración lenta pero adecuada del fruto, favoreciendo la obtención de semillas de alta densidad y excelente calidad (SIACONSADER, 2022).

La densidad del café se define como la masa de un grano de café en relación con su volumen. Los granos densos contienen niveles más altos de azúcar, lo que resulta en perfiles de taza más complejos y dulces, motivo por el cual estos granos son altamente valorados en la actualidad (Castellano, 2021). En virtud de las características del café del Estado de México, este se ha destacado como un café de calidad (SECAMPO, 2021).

Un grano de café maduro y sin procesar, contiene aproximadamente entre 45 y 65% de humedad tras la cosecha. Posteriormente, durante el beneficio, la humedad desciende hasta un rango de 10 a 12% (Pashley, 2020). Según Puerta (1999), el proceso de secado puede realizarse al sol, en patios, sobre techos, en rendijas o en secadores eléctricos. Tras el secado, se obtiene café pergamino, que posteriormente se trilla para convertirse en café verde. El café pergamino es el café que conserva su cáscara protectora, denominada endocarpio o pergamino. Esta cáscara se elimina mediante el uso de trilladoras, resultando en café verde (Pérez, 2020).

Con una humedad inferior al 10%, los granos de café experimentan una pérdida de peso y se vuelven quebradizos, lo que compromete tanto su calidad como su sabor, por otra parte, en una humedad superior al 12%, se puede crear un ambiente propicio para el crecimiento de bacterias, hongos y moho, lo que origina que el café se vuelva rancio, y afecte su sabor y aroma (Juárez, 2019).

La catación es la técnica sensorial predominante en la cadena productiva del café, empleada para identificar atributos y defectos en la bebida, cuantificar la intensidad de las características sensoriales y describir su perfil aromático. Las características sensoriales del café abarcan aroma, acidez, amargor, cuerpo, sabor y la impresión general de la bebida. El perfil aromático se refiere a las notas olfativas y fragancias emitidas por el café, que pueden variar desde sutiles matices florales hasta intensos aromas frutales y especiados. La calidad del café se determina en función de la intensidad y el equilibrio de estas características y el perfil aromático (Puerta, 2013). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la humedad del grano de café del Estado de México sobre el proceso de tostado y características de calidad (antioxidantes y perfil en taza).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción y morfología del fruto

El fruto del cafeto es similar a una pequeña cereza o drupa. Inicialmente, estos frutos son de color verde, pero a medida que maduran, cambian a tonos rojizos o, en algunos casos, dependiendo de la variedad, a un color amarillo. En el interior de cada fruto se encuentran dos semillas, las cuales están separadas por un surco central. Estas semillas, comúnmente conocidas como granos de café, están envueltas por una capa plateada y protegidas por una piel de color amarillo o roja (Gélvez, 2023).

A continuación, se describe la estructura del fruto de café (Carril, 2022; Gélvez, 2023):

1. **Endosperma:** Es el grano de café propiamente dicho, que constituye la parte del fruto utilizada para la producción de la bebida tras ser tostado y molido.
2. **Tegumento:** También denominado piel plateada, es una capa delgada y translúcida que recubre el grano de café.
3. **Endocarpio:** Es una capa dura que rodea la semilla, conocida como pergamino o cáscara, la cual se separa del grano después del proceso de secado.
4. **Mesocarpio:** Se trata de una sustancia gelatinosa y azucarada, conocida como baba o mucílago, que recubre el grano de café antes de ser eliminado durante el proceso de fermentación posterior al descascarado.
5. **Epicarpio:** Es la capa exterior del fruto, comúnmente llamada pulpa del café, que puede tener colores rojo o amarillo, dependiendo de la variedad.

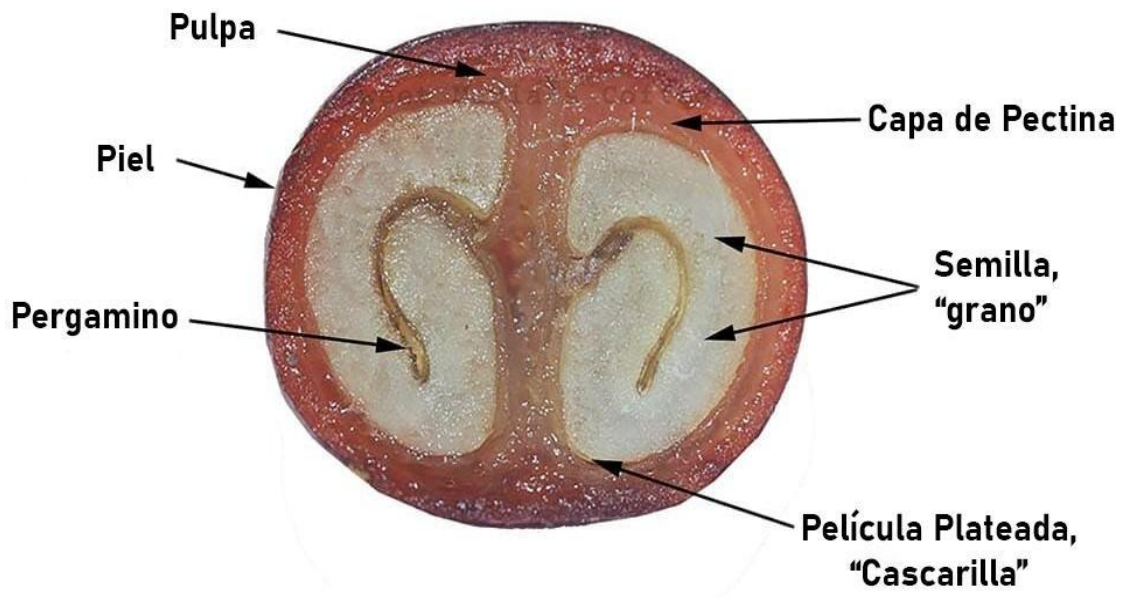


Figura 1. Estructura del fruto de café (*Coffea arabica*) (Farfán, 2021).

2.2 Origen

El café tiene su origen en Etiopía, donde comenzó su cultivo. Una prueba de esta teoría es que, en las zonas montañosas de Etiopía y las regiones cercanas de Sudán, el café arábico aún crece de forma silvestre a altitudes superiores a los 1500 msnm. Se estima que el cultivo del café comenzó a principios del siglo XIII. Durante varios siglos, hasta el siglo XV, el cultivo fue un monopolio de los árabes, inicialmente en las cercanías del Mar Rojo, con una expansión hacia Yemen en el siglo XIV y hacia el Medio Oriente en el siglo XV (Duicela, 2011).

Entre los años 575 y 890 d.C., árabes y persas llevaron el café a Arabia, mientras que los nativos africanos lo trasladaron a Mozambique y Madagascar. En 1720, los franceses

introdujeron el café en la isla Martinica, lo que marcó el inicio de su expansión hacia el continente americano, llegando a México, Brasil, Colombia, Venezuela y Centroamérica. Hoy en día, el café es un elemento global que conecta a personas de todo el mundo (Mendieta, 2023).

2.3 Variedades de café

El café pertenece a la familia Rubiaceae, que incluye más de 500 géneros y alrededor de 800 especies. Sin embargo, las dos especies más destacadas son *Coffea arabica* (Arábica) y *Coffea canephora* (Robusta) (Vega y Reyes, 2017). El café Arábica es reconocido por su alta calidad en taza, aunque es susceptible a plagas. Se cultiva principalmente en América Latina, África Central y Oriental, así como en India e Indonesia. Por otro lado, el Robusta es más resistente a enfermedades y plagas, y se encuentra comúnmente en África Central y Occidental, el Sudeste Asiático y Brasil (Jaramillo, 2021).

A partir de estas dos especies principales, se han desarrollado diversas variedades de cafetos, las cuales han sido modificadas a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones climáticas y mejorar su resistencia a plagas como la roya (Jaramillo, 2021). Dentro de la especie *Coffea arabica*, se encuentran diversas variedades, entre las que destacan Typica, Bourbon, Geisha y Caturra. Por otro lado, en la especie *Coffea canephora*, se reconocen variedades como Conilon y Ramicongo. Asimismo, se han

desarrollado híbridos populares que combinan características de arábica y robusta, tales como Catimor y Catuai (Caféfranco, 2024).

2.4 Fenología del café

Según Arcila *et al.*, (2007), el crecimiento del café sigue una curva sigmoideal, la cual se divide en cuatro etapas, que se describen a continuación:

- **Etapa 1:** Comprende desde la floración un aproximado de hasta 50 días.
- **Etapa 2:** Crecimiento del fruto de manera acelerada, adquiere su tamaño final y la semilla tiene consistencia gelatinosa. Esta etapa tiene una duración de entre 50 y 120 días.
- **Etapa 3:** Transcurre entre los 120 y 180 días, la semilla completa su desarrollo, adquiere peso y consistencia sólida.
- **Etapa 4:** El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar (entre los 180 y los 224 días).

La época de mayor demanda de agua y nutrientes del cultivo es la etapa productiva, es decir; la formación de frutos y llenado de los mismos. A partir de los registros de floración se puede proyectar el crecimiento del fruto, dando como resultado una curva de desarrollo del fruto, con la que se puede encontrar el momento de mayor masa de fruto en la planta, épocas de mayor demanda de nutrientes, agua e incluso épocas de déficit hídrico, ataques de plagas como la broca o defoliación (Ramírez, 2014).

2.5 Producción de café

2.5.1 Internacional

La producción y oferta del café mundial se divide en dos grandes tipos, definidos por la variedad cultivada: arábica y robusta (0,8 al 1,7%, 1,5 al 2,5% del contenido de cafeína y una altitud de 700 a 2,200 msnm, y de 0 a 900 msnm para su producción respectivamente) y en el mercado el sector mayoritario está dado por el café arábica (CEDRSSA, 2023)

Desde hace casi cinco décadas, Brasil ha sido el principal productor de café en la variedad arábica, el cual concentra entre el 35 y 40% de la producción a nivel mundial. Pues ésta pasó de 23,2 millones en 1963-1964 a 50,8 millones en 2012-2013 y para el ciclo 2019-2020 a 58,21 millones de sacos; es seguido por Colombia, el cual contribuye con el 8 y 15%, Indonesia cuya aportación es del 6 al 8% y Etiopía oferta del 4 al 8% (Didier, 2018). Hoy en día, México, se encuentra posicionado como el décimo productor de café en esta variedad, con una participación apenas del 2,41% para el ciclo 2021-2022 (SIAP, 2023).

El principal productor de café robusta en el mundo es Vietnam, que produce el 42%, seguido de Brasil con el 25% de este tipo de café (Didier, 2018).

2.5.2 Nacional

En México, se estima que 3 millones de personas dependen directa e indirectamente del café. A nivel nacional, hay alrededor de 500,000 productores que cultivan más de 700,000 hectáreas en 15 estados de la República Mexicana (Didier, 2018).

El 84,76% de la producción nacional de café se concentra en cuatro estados, los cuales, por orden de importancia, son: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca. Estos estados agrupan aproximadamente al 80% de los productores. El 14,19% restante proviene de los estados de Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí y Nayarit. Por último, los estados de Jalisco, Colima, Estado de México, Tabasco, Querétaro, Morelos y Michoacán contribuyen con tan solo el 1,02% de la producción nacional. En conjunto, ocho estados concentran el 98,96% de la producción de café, abarcando un total de 540 municipios productores (SIACON-SADER, 2023).

2.5.3 Estatal

El Estado de México, es uno de los quince estados productores de café y solo aporta el 0,07% de la superficie nacional cultivada, ocupa el onceavo lugar en superficie sembrada, con aproximadamente 539 ha y 650 productores que se dedican al proceso primario, secundario y algunos de ellos el terciario (SIAP, 2022). La producción de café en la entidad mexiquense, se concentra básicamente al sur del estado (Leguizamo *et al.*, 2023; SIAP, 2023). El SIACON-SADER (2022), reportan una producción para el Estado de México de 622 toneladas; siendo el municipio de Amatepec, el principal municipio productor con 350 ha cosechadas, distribuidas en 28 localidades.

Aunque el Estado de México no liderea la producción nacional en términos de volumen (SIAP, 2022), se distingue como un destacado productor de café de alta calidad. Esto se evidencia en los reconocimientos obtenidos en el certamen "La Taza de Excelencia", el

cual es considerado el concurso más prestigioso en México para cafés de especialidad (Taza de Excelencia, 2023).

2.6 Cosecha

El fruto debe ser cosechado en su punto óptimo de maduración, que en las variedades de fruto rojo corresponde a un color rojo carmesí intenso (Figura 2). Este es un factor crucial para la calidad, ya que los frutos inmaduros o sobremaduros pueden generar sabores indeseables en la taza (Reyes, 2018).



Figura 2. Estado óptimo de madurez del fruto de café (Cafés Bernal, 2021).

La cosecha del café es una actividad altamente especializada que requiere una considerable cantidad de mano de obra, por lo que comúnmente involucra al caficultor y a su familia. Sin embargo, muchos productores que contratan mano de obra enfrentan

dificultades para obtener una cosecha de calidad óptima debido a dos factores principales: el desconocimiento por parte de los recolectores o incluso del productor, y la conveniencia de algunos recolectores, quienes, al ser remunerados por volumen cosechado, suelen realizar la recolección de manera apresurada, sin la precisión ni el cuidado necesarios (Amaro-Rosales y Gortari-Rabiela, 2016).

2.7 Beneficio del café

El beneficio del café se refiere al proceso de transformación de la cereza en café verde. Existen dos métodos predominantes para su realización: el beneficio húmedo y el seco. El beneficio húmedo incluye las siguientes etapas: recolección de la cereza, despulpado, eliminación del mucílago, lavado y secado hasta obtener café pergamino seco, que posteriormente se trilla para obtener café pergamino (Bonilla, 2017; Puerta, 1999).

El proceso de beneficio seco consiste en el secado directo del grano de café cereza, desde su cosecha hasta el secado final. La cáscara, que incluye la pulpa, el mucílago y el pergamino, se elimina mediante una trilladora o molino. Este método, también denominado natural, requiere un período de secado de aproximadamente 15 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas de la región. En contraste, el beneficio húmedo o lavado, que implica un proceso diferente, se completa en un tiempo aproximado de 6 días, también condicionado por las variaciones climáticas locales (Bonilla, 2017; Puerta, 1999).

Además de los dos procesos principales, existe un método adicional denominado beneficio semihúmedo o "honey". En este proceso, las cerezas de café se despulpan para retirar la piel exterior, pero a diferencia del proceso lavado, se deja parte del mucílago adherido al grano. Este beneficio produce una taza de sabor completa y con cuerpo, debido a los ácidos generados durante la fermentación del mucílago (Hardy, 2016).

2.8 Secamiento del café

Un grano de café maduro y sin procesar contiene aproximadamente entre un 45% y un 65% de humedad al momento de la cosecha. Durante el proceso de beneficio, esta humedad se reduce a un rango de 10 a 12% (Pashley, 2020).

El proceso de secado puede llevarse a cabo de diversas formas, al sol, patios, sobre techos, rendijas o mediante el uso de secadores eléctricos. Una vez concluido el secado, se obtiene café pergamino, el cual posteriormente se trilla para transformarse en café verde (Puerta, 1999).

Cuando los granos de café tienen una humedad inferior al 10%, pierden peso y se vuelven quebradizos, lo que deteriora tanto su calidad como su sabor. Por otro lado, si la humedad supera el 12%, se favorece el crecimiento de bacterias, hongos y moho, lo que provoca que el café se vuelva rancio, afectando negativamente su sabor y aroma (Juárez, 2019).

2.9 Almacenamiento

El almacenamiento inadecuado es una de las principales causas de pérdida de calidad en el café, lo que resalta la importancia crítica de esta fase. Durante el almacenamiento, es esencial mantener estrictas condiciones de inocuidad para asegurar una vida útil prolongada y preservar la calidad del producto (Reyes, 2018).

De acuerdo con la NORMA MEXICANA NMX-F-187-SCFI-2012 – CAFÉ VERDE, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE, antes de almacenar el café verde en sacos, es fundamental verificar que esté libre de signos de contaminación por insectos, plagas de roedores o moho. Además, los granos deben tener un nivel de humedad adecuado para evitar el desarrollo de hongos, sin estar tan secos como para provocar su fractura.

Para un almacenamiento prolongado, se recomienda utilizar bolsas plásticas, preferiblemente herméticamente selladas y al vacío, con el fin de prevenir la pérdida o ganancia de humedad en el café. Posteriormente, el café debe ser envuelto en sacos de yute. Los granos deben tener un contenido de humedad entre el 10% y el 12%, y el almacenamiento debe mantenerse a una temperatura inferior a 19°C. En caso contrario, no se aconseja el uso de bolsas de polietileno (Deschamps *et al.*, 2008).

2.10 Tostado

La torrefacción es el proceso final que afecta directamente la calidad de la bebida del café tostado, donde se puede optimizar los aromas, la acidez y el dulzor; pero si no se

realiza adecuadamente puede degradar su la calidad sensorial (Porrás-Zúñiga *et al.*, 2019).

El proceso de torrefacción del café implica la aplicación controlada de calor a los granos de café crudos dentro del tostador. La relevancia de este proceso radica en el preciso control de la temperatura durante las fases críticas de la torrefacción, ya que la liberación de compuestos volátiles responsables de los aromas y la obtención de una coloración homogénea de los granos dependen directamente de dicha regulación térmica (Illy y Viani, 2015).

La velocidad del proceso de torrefacción ha sido clasificada por Clarke y Macrae (1987), en tres categorías: tostado rápido, que ocurre en un lapso de pocos minutos; tostado intermedio, que se desarrolla entre 5 y 8 min; y tostado convencional, que abarca de 12 a 15 min. Estas variaciones en la duración del proceso se reflejan en la coloración externa del grano, la cual se clasifica en tonos claro, medio y oscuro, respectivamente.

El proceso de torrefacción del café se divide en cinco etapas fundamentales que deben cumplirse rigurosamente en cuanto a tiempos y temperaturas para garantizar un resultado óptimo. A continuación, se describen las fases de este proceso (Vargas *et al.*, 2023):

1. **Deshidratación:** Esta etapa comienza cuando los granos verdes de café son introducidos en el tostador. Durante este proceso, la temperatura del tostador desciende a un nivel mínimo. Al final de esta fase, la temperatura interna de los granos se estabiliza, alcanzando un nivel homogéneo en todo el grano.

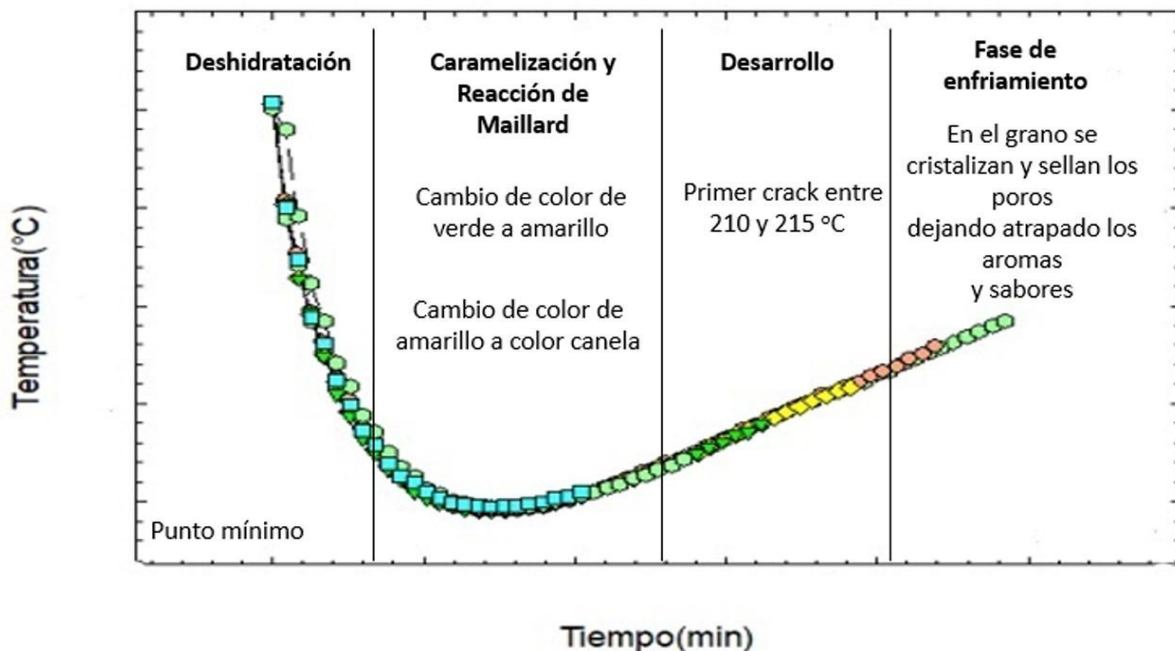
2. **Caramelización y reacción de Maillard:** Durante esta fase, el grano experimenta un cambio de coloración, pasando de verde a amarillo. En este proceso se producen dos fenómenos clave: la **caramelización** de los azúcares presentes en el grano y la **reacción de Maillard**, que contribuye al desarrollo de los sabores y aromas complejos característicos del café.

La caramelización es la oxidación térmica de azúcares, mientras que la reacción de Maillard es la reacción entre un aminoácido y un azúcar reductor, produciendo compuestos que contribuyen al color y sabor (Bolívar, 2020).

3. **Desarrollo:** En esta etapa, el grano cambia de color amarillo a un tono canela. Se produce el primer estallido (*crack*), lo que implica la expansión del grano debido a la evaporación de la humedad interna y la acumulación de presión. Este fenómeno da lugar a la formación de los aromas característicos del café. El primer *crack* ocurre entre los 210-215°C. A partir de este momento, se define el nivel de tueste del café (claro, medio u oscuro), según las preferencias deseadas.
4. **Enfriamiento:** Una vez alcanzado el nivel de tueste deseado, los granos deben enfriarse rápidamente para detener el proceso de torrefacción y evitar que sigan cocinándose. Este enfriamiento suele durar entre tres y cinco minutos, y al final de esta fase, los granos alcanzan la temperatura ambiente del lugar.
5. **Desgasificación:** Finalmente, se produce la desgasificación de los compuestos volátiles, especialmente el dióxido de carbono (CO₂) liberado durante el proceso de torrefacción. La fundición de los azúcares como la fructosa (103°C), la glucosa

(146-150°C) y la sacarosa (186°C) ocurre en esta etapa. Para garantizar la liberación adecuada del CO₂, es necesario dejar reposar el café durante al menos 24 horas antes de empaquetarlo, ya que el empaque inmediato podría dañarse debido a la acumulación de gases.

Este proceso detallado de torrefacción es crucial para obtener un café de calidad, asegurando el desarrollo adecuado de los sabores y aromas deseados.



Gráfica 1. Curva de tostado del café (Vargas et al., 2023).

2.10.1 Tipos de tostado

Tostado claro: Se obtiene al interrumpir el proceso justo después del primer *crack*, a temperaturas entre 180°C y 210°C, y se caracteriza por un color marrón claro. Los granos

de café con este tipo de tueste conservan una mayor acidez y resaltan sabores frescos, frutales y florales. El dulzor es más evidente y las notas del origen del grano, como las cítricas, se vuelven más pronunciadas. Este tipo de tostado es ideal para quienes prefieren un café delicado, ligero y con un toque de frescura (Sabora, 2024; Álvarez, 2024).

Tostado medio: Se realiza a temperaturas entre 210-220°C, logrando un equilibrio perfecto entre acidez y dulzor. En esta etapa, los granos resaltan la complejidad de sus sabores, con la liberación de aceites naturales sin llegar a un perfil amargo. Su perfil de sabor es balanceado, con notas de caramelo, nuez, chocolate y una acidez moderada, siendo el tueste más común y adecuado para la mayoría de los métodos de preparación (Sabora, 2024; Álvarez, 2024).

Tostado oscuro: Se caracteriza por llevar los granos casi al segundo *crack*, a temperaturas entre 225-240°C, dando como resultado granos más oscuros y brillantes debido a la liberación de aceites. La acidez se reduce considerablemente, y el sabor se vuelve más robusto, con notas amargas o tostadas. Su perfil de sabor es fuerte y amargo, con toques de chocolate oscuro, nuez y especias, ideal para quienes prefieren un café intenso, con menos acidez y un cuerpo más pesado (Sabora, 2024; Álvarez, 2024).



Figura 3. Tipos de tueste en el grano de café (Villarmarzo, 2020).

2.11 Calidad en café

En el café, la calidad está estrechamente relacionada con el compromiso del caficultor a lo largo de la cadena productiva, con el fin de obtener una bebida que posea atributos sensoriales excepcionales. La calidad del café se determina mediante un conjunto de características químicas, microbiológicas, físicas y sensoriales que influyen en la disposición del consumidor a pagar un precio superior por el producto, lo que a su vez genera mayores ingresos para el caficultor. La interacción de factores ambientales, como el clima y el suelo, con los factores humanos involucrados en su cultivo y procesamiento, permite la máxima expresión de las cualidades intrínsecas del café, creando las condiciones necesarias para su posicionamiento en el mercado como un producto de calidad superior (Osorio, 2021).

En el mercado, existen cafés convencionales y cafés diferenciados con valor agregado (café especial), que se distinguen por su calidad excepcional y las prácticas de producción meticulosas. En el caso de los cafés especiales, se consideran variables tanto físicas como sensoriales, tales como el tamaño, el cuerpo, el aroma y el sabor, para determinar su calidad (Reyes, 2018).

La clasificación de la calidad del café es crucial para garantizar una experiencia excepcional de consumo. Los estándares y clasificaciones no solo facilitan a los productores, distribuidores y consumidores la identificación de cafés de alta calidad, sino que también influyen en el valor comercial del producto. Los cafés de mayor calidad suelen tener un precio de venta superior, lo que resalta la importancia de una clasificación precisa (Holgado, 2023).

El café de especialidad es considerado el máximo exponente de la calidad en la industria cafetera. Estos cafés son evaluados y calificados por expertos catadores, cumpliendo con estándares extremadamente rigurosos. El café de especialidad se caracteriza por perfiles de sabor complejos y una atención detallada en cada etapa del proceso de producción, desde el cultivo hasta el tueste, lo que resulta en una experiencia sensorial única para el consumidor (Holgado, 2023).

2.12 Análisis sensorial

El análisis sensorial es el examen de las propiedades sensoriales de un producto realizable con los sentidos humanos. Dicho de otro modo, es la evaluación de la

aparición, olor, aroma, textura y sabor de un alimento o materia prima. Este tipo de análisis comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los potenciales efectos de desviación que la identidad de la marca y otras informaciones pueden ejercer sobre el juicio del consumidor (García, 2023).

Existen principalmente dos tipos de análisis sensorial; el subjetivo y el objetivo (Figura 4). En el primero se evalúa la aceptación de un producto de acuerdo con las preferencias del consumidor, el cual no tiene conocimiento de las características a evaluar, y más bien, es evaluado según la experiencia y vivencia de vida de la persona. Mientras que, el análisis objetivo es realizado por jueces entrenados, que conocen los diferentes atributos a evaluar, así como la escala de valoración (Osorio, 2021).

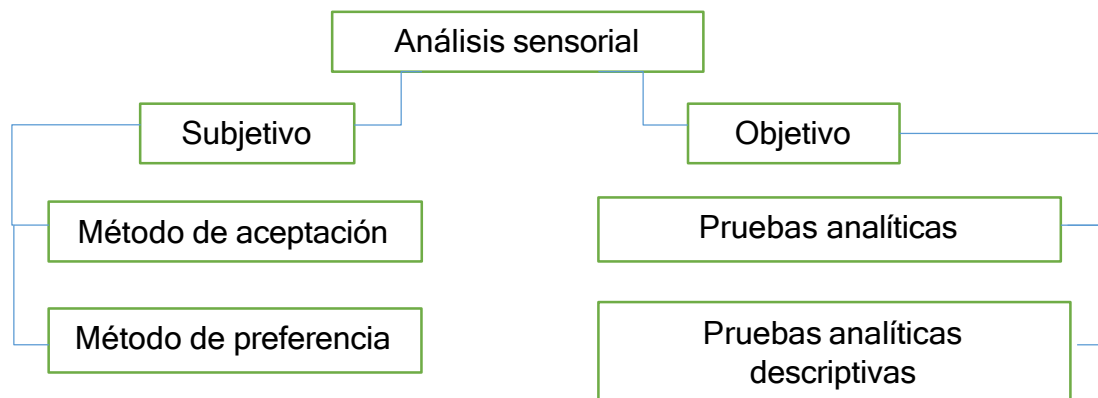


Figura 4. Tipos de análisis sensoriales.

En el análisis sensorial del café las pruebas analíticas discriminativas son ampliamente usadas para el entrenamiento de catadores y para la generación del perfil de los atributos

del café es utilizada la prueba analítica descriptiva QDA o perfil del gusto, esta prueba tiene como objetivo evaluar la percepción sensorial y se puede realizar de forma cuantitativa (Osorio, 2021).

2.12.1 Cata de café

La cata es la técnica sensorial más usada en la cadena productiva del café, y sirve para detectar defectos en la bebida, medir la intensidad de una característica sensorial como la acidez, el dulzor, el cuerpo, aroma, impresión global e incluso para describir el perfil aromático del café (Puerta, 2019).

Existen muchas escalas y protocolos para la valoración de la calidad sensorial del café, pero uno de los procedimientos más difundidos es el desarrollado por la *Specialty Coffee Association* (SCA). El formato de registro provee los medios para registrar 10 atributos del café: Fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, defectos y puntaje catador. Para la metodología SCA los atributos de dulzor, taza limpia y uniformidad se evalúan de manera discriminante, es decir, si existen o no en las tazas evaluadas. El dulzor se refiere a una plenitud agradable del sabor, taza limpia a la ausencia de defectos sensoriales y la uniformidad se refiere a la consistencia del sabor entre las tazas de la muestra, si las tazas tienen sabores diferentes, la calificación de este aspecto no será alta. Se muestra la clasificación del café dentro de diferentes rangos de especialidad en función de su puntaje total (SCA, 2023).

2.13 Actividad antioxidante

El grano de café contiene una variedad de compuestos bioactivos naturales, de los cuales se han identificado aproximadamente 1000 fitoquímicos. Estos compuestos ejercen sus efectos biológicos en función de su estructura química, particularmente en la eliminación de radicales libres (Jeszka-Skowron *et al.*, 2015). Además, el café es una fuente rica en diversos componentes biológicos, entre los cuales se incluyen el ácido clorogénico y sus derivados, las metilxantinas (como la cafeína, la teofilina y la teobromina), los diterpenos, el ácido nicotínico (vitamina B3), así como precursores de la trigonelina, magnesio y potasio (Gómez-Ruiz *et al.*, 2007). Muchos de estos compuestos han demostrado tener propiedades antioxidantes, anticancerígenas y antimutagénicas, lo que subraya su relevancia para la salud humana (Shang *et al.*, 2017).

El papel de los antioxidantes en el café es especialmente importante, ya que también influye en las características sensoriales del producto, como el aroma, el sabor y el color (Lazcano-Sánchez *et al.*, 2015). Los ácidos clorogénicos, polifenoles y otras moléculas bioactivas, que están presentes en el café, influyen en el aroma y sabor del café debido a sus interacciones complejas durante el proceso de tueste y la preparación de la bebida (Farah y Donangelo, 2006). Algunas razones clave, de por qué los antioxidantes contribuyen a las características sensoriales del café son (Clarke y Macre, 1987; Farah y Donanfelo, 2006; Toci, 2015):

1. **Reacciones de Maillard:** Durante el tueste del café, los antioxidantes y otros compuestos reaccionan en una serie de procesos químicos, entre ellos las reacciones de Maillard. Estas reacciones ocurren entre los aminoácidos y los

azúcares reductores, formando compuestos aromáticos que aportan sabores y aromas característicos, como los de nuez, tostado y caramelo. Las sustancias antioxidantes, como los ácidos clorogénicos, también se descomponen parcialmente en este proceso, generando compuestos volátiles que son percibidos como aromas agradables.

2. **Descomposición de ácidos clorogénicos:** Los ácidos clorogénicos son un tipo de antioxidante abundante en el café verde. Durante el tueste, estos ácidos se descomponen en una variedad de productos, como el ácido quínico y el ácido cafeico, que contribuyen al sabor amargo y ácido del café. Esta descomposición también genera compuestos aromáticos que añaden complejidad al perfil olfativo y gustativo del café.
3. **Liberación de compuestos volátiles:** Los antioxidantes en el café son precursores de compuestos volátiles que, al calentarse durante el proceso de preparación, se liberan en forma de olores que el sentido del olfato puede percibir. Estos compuestos volátiles, como los aldehídos, ésteres y cetonas, son responsables de los diversos aromas del café, que pueden variar desde notas afrutadas y florales hasta notas más terrosas o ahumadas, dependiendo del tipo de grano y del proceso de tueste.
4. **Interacciones con otros compuestos:** Los antioxidantes también interactúan con otros compuestos presentes en el café, como los lípidos, los azúcares y las proteínas, lo que puede influir en la textura y el cuerpo del café, además de afectar su perfil de sabor. Esta interacción compleja puede resultar en una experiencia

sensorial más rica y equilibrada, donde los antioxidantes contribuyen tanto al sabor como al aroma.

Tanto las propiedades antioxidantes como el perfil aromático del café dependen de factores como la variedad, la región de origen, las condiciones ambientales, el manejo del cultivo, el tipo de fermentación, el tamaño de molienda y el grado de tostado (Naranjo *et al.*, 2011). En resumen, los antioxidantes no solo tienen propiedades beneficiosas para la salud, sino que juegan un papel crucial en la creación del sabor y aroma del café a través de reacciones químicas durante el tueste y la preparación (Farah y Donangelo, 2006).

2.13.1 Fenoles

Los compuestos fenólicos son un grupo de moléculas caracterizadas por la presencia de uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un anillo aromático. Junto con las vitaminas, estos compuestos son reconocidos por sus propiedades antioxidantes, desempeñando un papel crucial en la neutralización de especies reactivas de oxígeno. En las plantas, los compuestos fenólicos tienen diversas funciones metabólicas, participando en procesos como el crecimiento, la reproducción, y la defensa contra factores bióticos, como patógenos, y abióticos, como el estrés inducido por radiación ultravioleta y herbívoros (Peñarrieta *et al.*, 2014).

La concentración y estabilidad de los compuestos fenólicos están determinadas por varios factores, entre los que se incluyen los métodos de secado del material vegetal y

las condiciones de almacenamiento de los extractos obtenidos. Las altas temperaturas empleadas en el proceso de secado y en la preparación de extractos en solución pueden inducir una degradación de estos compuestos, lo que resulta en una reducción de su contenido (Yamassaki *et al.*, 2017).

La relevancia de los compuestos fenólicos radica en su capacidad para proporcionar soporte estructural a las plantas, participar en la coloración de flores y frutos, y desempeñar un papel crucial en la defensa contra patógenos y herbívoros. Además, estos compuestos son altamente efectivos en la protección de los tejidos vegetales frente a la radiación ultravioleta. Desde el punto de vista de la salud humana, los compuestos fenólicos poseen propiedades antioxidantes, lo que contribuye a su potencial como agentes beneficiosos para la prevención de diversas enfermedades (Pérez-Pérez *et al.*, 2014).

2.13.2 Fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu

El ensayo de Folin-Ciocalteu es un método utilizado para determinar el contenido total de compuestos fenólicos en productos vegetales. Este ensayo se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu en condiciones de pH básico. El reactivo, que contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico disueltos en ácido fosfórico, interactúa con los fenoles presentes en la muestra. En su estado inicial, el reactivo tiene un color amarillo debido a la formación de ácido fosfomolibdotúngstico. Cuando los grupos fenólicos reducen este compuesto, se forma un complejo de color azul

intenso. La intensidad de este color azul es proporcional al contenido de compuestos fenólicos en la muestra, y se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 765 nm para evaluar su concentración (García *et al.*, 2015).

3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el café mexiquense ha experimentado un notable repunte tanto en términos de producción como de demanda (SECAMPO, 2021). Sin embargo, a pesar de su creciente relevancia en el mercado, aún no existen estudios específicos en el Estado de México sobre la estandarización del proceso de secado del grano de café antes de su tostado. Esta situación resalta la necesidad urgente de investigar y estandarizar este proceso, ya que el secado adecuado del grano es crucial para determinar la humedad óptima que debe tener el café antes de someterlo al tueste, lo cual influye directamente en las características de calidad del producto final, tales como el perfil sensorial en taza y los niveles de compuestos antioxidantes.

La humedad del café es un factor determinante durante todas las fases de su producción, almacenamiento y procesamiento. Un contenido de humedad adecuado no solo preserva los sabores y aromas característicos del grano, sino que también garantiza la estabilidad y la vida útil del producto. Si la humedad no es controlada correctamente, el grano puede verse afectado negativamente, alterando sus propiedades sensoriales y comprometiendo su calidad. En este contexto, controlar la humedad del café resulta esencial para asegurar una experiencia óptima para los consumidores y maximizar el potencial del producto.

Dada la importancia que tiene el proceso de secado en la calidad final del café, es imprescindible generar investigaciones que permitan obtener información más precisa sobre las mejores prácticas en el secado del grano. Este conocimiento contribuiría a perfeccionar las técnicas de procesamiento, especialmente el tostado, que es el proceso clave para desarrollar los sabores y aromas que definen al café de calidad. Además, una

estandarización en el secado del café podría representar una ventaja competitiva significativa para los productores mexiquenses, brindándoles la oportunidad de mejorar la calidad de su producto y, por ende, obtener mayores beneficios económicos en el mercado.

En resumen, la investigación sobre el efecto de la humedad del grano de café en el proceso de tostado y las características de calidad es fundamental para el fortalecimiento de la industria cafetera del Estado de México. Esta investigación no solo contribuiría a optimizar los procesos productivos, sino que también permitiría posicionar al café mexiquense como un referente de calidad en el mercado nacional e internacional.

4. HIPÓTESIS

La humedad del grano de café (*Coffea arabica* L.) del Estado de México, después del secado, determina las características del tostado, reflejadas en los atributos de calidad (antioxidantes y perfil en taza).

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la humedad del grano de café (*Coffea arabica* L.) del Estado de México, después del secado, sobre el proceso de tostado; reflejadas en características de calidad (antioxidantes y perfil en taza).

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la humedad del grano de café que permita obtener las mejores características de tostado.
- Analizar el efecto de la humedad sobre los antioxidantes del grano de café después del tostado.
- Analizar el efecto de la humedad sobre el perfil en taza del grano de café.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Sitio experimental

La torrefacción y análisis sensorial del café, se realizó en la casa tostadora “Pare de Dormir” Ciudad de México.

Los análisis de fenoles totales se llevaron a cabo en el laboratorio de “Calidad de los Productos Agropecuarios”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx.

6.2 Diseño experimental

Mediante un diseño completamente al azar, se formaron 5 tratamientos con tres repeticiones, en donde las variables de estudio fueron los niveles de humedad de 10, 11, 12, 13 y 14%, y las variables respuesta fue la evaluación sensorial (fragancia/aroma; sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance; dulzura, uniformidad y limpieza) y cantidad de fenoles totales. Para todos los resultados, se realizó un ANOVA ($p \leq 0,05$), y cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, se aplicó una prueba de comparación de medias no paramétrica de Kruskal Wallis.

6.3 Materiales

6.3.1 Beneficio natural

En el año 2023, se realizó la cosecha de café cereza (*Coffea arábica* L. variedad Caturra rojo), en Temascaltepec, Estado de México. Después de la recolección, las cerezas de

café fueron sometidas a una separación manual para eliminar impurezas, como ramas, hojas y tierra. Posteriormente, se realizó el proceso de flotación, que consiste en sumergir los frutos en una tina con agua para separar los granos defectuosos, tales como los “bofos” o “huecos”, que flotan en la superficie.

Una vez completada la flotación, los frutos se secaron al sol empleando camas africanas, estructuras construidas con madera y malla galvanizada, elevadas a un metro sobre el suelo para optimizar la aireación (Figura 5). El proceso de secado continuó hasta alcanzar cinco niveles de humedad diferentes (10, 11, 12, 13 y 14%), los cuales fueron determinados utilizando un higrómetro (Agratronix MT-PRO) (Figura 6), con tres repeticiones para cada tratamiento. Una vez seco el material, se procedió a realizar el proceso de torrefacción.



Figura 5. Secado del fruto del café en camas africanas.



Figura 6. Acondicionamiento de la humedad en café verde.

6.3.2 Torrefacción

Según la SCA (2023), el proceso de torrefacción debe durar entre 8 y 12 minutos. Además, el perfil de tostado debe ser de claro a claro-medio, medido utilizando la escala M-Básica de AGTRON (Gourmet) (Figura 7). En esta escala, el valor ideal para el grano entero es de aproximadamente 58 AGTRON, y para el café molido, es de 63 AGTRON, con una variación de 1 punto.

Los granos de café verde se tostaron durante 10 minutos a una temperatura de $190^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, con un nivel de tueste medio, utilizando un tostador tradicional de tambor (AZTK 2,5 kg/ciclo) en la casa tostadora “Pare de Dormir” en la Ciudad de México. Una vez finalizado el proceso de torrefacción, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente ($22\text{-}24^{\circ}\text{C}$) y se almacenaron en bolsas herméticas en un lugar oscuro y fresco para evitar

la exposición al aire y prevenir la contaminación (Figura 8). Posteriormente, se realizó la catación del café.



Figura 7. Escala Agron de la SCA (SCA, 2023).



Figura 8. Tostado y almacenamiento del café.

6.3.3 Análisis sensorial

Para el análisis sensorial o cata del café, se usó la metodología y el formato propuesto por la SCA (2023) con catadores *Q grader*, personas altamente calificadas y con licencia del *Coffee Quality Institute* (CQI) que determinan si un café es de especialidad (Figura 9). Las variables evaluadas, de acuerdo con el formato de la asociación, incluyen: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzura, uniformidad y limpieza.




Figura 9. Cata de café realizada por catadores *Q graders*.

De acuerdo a la SCA, (2023) los pasos que se siguieron en la cata fueron:

Primero, el café se muele y se cubre con una tapa plástica libre de olores para preservar sus características aromáticas. A continuación, se evalúa la fragancia del café molido. El

tamaño de las partículas debe ser grueso, de modo que entre el 70 y el 75% de las partículas pasen a través de una malla estándar No. 20 de los EE.UU. Posteriormente, se vierte agua a una temperatura comprendida entre 92,2 y 94,4°C sobre el café molido y se deja reposar durante al menos tres minutos, que es el tiempo estándar antes de proceder a "romper la taza", que consiste en retirar la espuma de la superficie de los vasos utilizando una o dos cucharas. Luego, se permite que el café se enfríe, se sorbe y se expectora. Finalmente, se registran las notas y puntuaciones en la hoja de evaluación (Figura 10).

Las muestras de café se califican en una escala de 100 puntos con rangos de calidad definidos: <79,99 = debajo de especial, 80-84,99 = especial, 85-89,99 = origen especial, >90 = especialidad rara.



Asociación de Cafés Especiales
Formulario de catación de Arabica

Nombre: _____

Fecha: _____

Mesa #: _____

Clasificación

6.00 - BUENO	7.00 - MUY BUENO	8.00 - EXCELENTE	9.00 - EXTRAORDINARIO
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Muestra #	El Nivel de tueste	Fragancia/Aroma	Total	Sabor	Total	Acidez	Total	Cuerpo	Total	Uniformidad	Total	Taza Limpia	Total	Puntaje Catador	Total	Total Score																												
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Seco</td> <td style="width: 33%;">Cualidades</td> <td style="width: 33%;">Espuma</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Seco	Cualidades	Espuma					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">Sabor Residual</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Sabor Residual			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Intensidad Alta</td> <td style="width: 50%;">Intensidad Baja</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Intensidad Alta	Intensidad Baja				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Intensidad Alta</td> <td style="width: 50%;">Intensidad Baja</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Intensidad Alta	Intensidad Baja				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">Balance</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Balance			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">Dulzura</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Dulzura			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">Defectos (subtract)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Defectos (subtract)			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ligero - 2</td> <td style="width: 50%;">Rechazo - 4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	Ligero - 2	Rechazo - 4				
Seco	Cualidades	Espuma																																										
Sabor Residual																																												
Intensidad Alta	Intensidad Baja																																											
Intensidad Alta	Intensidad Baja																																											
Balance																																												
Dulzura																																												
Defectos (subtract)																																												
Ligero - 2	Rechazo - 4																																											
Notas:														Puntaje Final																														

Figura 10. Formato de evaluación sensorial de la SCA, 2023.

La forma de evaluar con el formato de la Figura 10, se describe a continuación:

Para algunas variables de calidad, hay dos escalas para marcar. Las escalas verticales (de arriba hacia abajo) se utilizan para ubicar la intensidad de la variable sensorial respectiva, y se marcan para que sean utilizadas por el evaluador. Las escalas horizontales (de izquierda a derecha) se utilizan para calificar la preferencia del panelista por la variable particular basado sobre su opinión de la muestra y de la comprensión experimental de la calidad. El puntaje del atributo se registra en la casilla prevista en el formato de registro de la catación (SCA, 2023).

Fragancia/aroma: Se pesa el café en función del volumen de la taza, utilizando 5,5-6 gramos ($\pm 0,1$) de café por cada 100 ml de agua. El café se muele para las diferentes muestras a preparar y se cubre con una tapa plástica libre de olores. La evaluación de la fragancia se realiza levantando la tapa y olfateando los granos secos molidos dentro de un lapso de 15 min después de la molienda. El aroma se evalúa vertiendo agua a una temperatura de 92,2-94,4°C sobre el café seco. Tras la infusión, la corteza (capa superior del sólido) debe permanecer intacta durante al menos tres minutos, pero no más de cinco. La *ruptura de la taza* se lleva a cabo revolviendo tres veces y permitiendo que la espuma se deslice hacia abajo por la parte posterior de la cuchara mientras se huele suavemente. La calificación de la fragancia y el aroma se realiza tanto en base seca como húmeda (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Sabor y sabor residual: Cuando la muestra se ha enfriado a 71°C (160°F), aproximadamente 8-10 minutos después de la preparación de la infusión, debe iniciarse la evaluación de la bebida. Esta se aspira en la boca procurando cubrir la mayor área

posible, especialmente la lengua y el paladar superior. Dado que los vapores retro-nasales están en su intensidad máxima a estas temperaturas elevadas, el sabor y el sabor residual se califican en este momento. La puntuación otorgada al sabor debe reflejar la intensidad, la calidad y la complejidad del sabor y el aroma combinados, experimentados al sorber el café vigorosamente para involucrar todo el paladar en la evaluación. El sabor residual se define por la duración de los atributos positivos del sabor (sabor y aroma) que permanecen en la parte posterior del paladar después de que el café es expectorado o tragado. Un sabor residual breve o desagradable recibirá una puntuación más baja (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Acidez, cuerpo y balance: Estos atributos se califican cuando la muestra se ha enfriado a 60°C (140°F). La acidez contribuye a la vivacidad del café, a la dulzura y al carácter de fruta fresca, siendo casi inmediatamente perceptible cuando el café se ha sorbido en la boca. La calidad del cuerpo se basa en la sensación táctil del líquido en la cavidad bucal, particularmente entre la lengua y el paladar. El balance se refiere al juicio de los catadores sobre la interacción sinérgica entre el sabor residual, la acidez y el cuerpo (SCA, 2023; Osorio, 2021).

De acuerdo con su preferencia, los catadores evalúan las diferentes características (dos o tres veces) a medida que las muestras se enfrían. Para calificar la muestra utilizando una escala de 16 puntuaciones, que varía desde 6.0 (bueno) hasta 9.75 (extraordinario), se selecciona la puntuación correspondiente marcando el formato de registro con un círculo. Si se observa un cambio en la calidad percibida de la muestra debido a los

cambios de temperatura, se debe trazar una línea horizontal en la escala y dibujar una flecha para indicar la dirección de la calificación final (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Dulzura, uniformidad y taza limpia: Cuando la infusión llega a 37°C (100°F), se evalúan estos atributos. Para evaluar estas cualidades, el catador califica cada taza de forma individual, asignando hasta 2 puntos por taza para cada característica (dulzura, uniformidad y taza limpia) que lo justifique, con un máximo de 10 puntos posibles por cada cualidad evaluada. La evaluación de la bebida debe completarse cuando la muestra alcanza 21°C (70°F). Los catadores determinan la calificación total sumando los puntos otorgados a la muestra basados en todas las cualidades evaluadas. La dulzura se refiere a una sensación agradable y rica en sabor, así como a cualquier dulzura evidente, percibida como resultado de la presencia de ciertos carbohidratos. La uniformidad se refiere a la consistencia del sabor a través de las diferentes tazas de la muestra evaluada. La taza limpia se refiere a la ausencia de impresiones negativas que interfieran a lo largo de la cata, desde la primera ingestión hasta el sabor residual final, reflejando la transparencia de la taza (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Registro: Después de la evaluación de las muestras, se suman todas las calificaciones. Este puntaje refleja el grado de integración holística de la muestra tal como lo percibe el panelista individual. Una muestra con aspectos altamente agradables, pero que no cumple completamente con los estándares esperados, recibirá un puntaje más bajo. En contraste, un café que cumpla con las expectativas en cuanto a su carácter y las cualidades específicas del sabor característico del origen recibirá un puntaje alto (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Puntaje total	Descripción de la especialidad	Clasificación
90-100	Excepcional	Especialidad rara
85-89,99	Excelente	Origen especial
80-84,99	Muy bueno	Especial
<80.0	Debajo de la calidad especial	Debajo de especial

Cuadro 1. Puntaje, descripción del grado de la especialidad y clasificación.

El puntaje total se registra en la parte superior de la casilla en el extremo derecho. Las deducciones por "contaminaciones" (-2 puntos por taza) o por faltas (-4 puntos por taza) se calculan y se restan de la puntuación total. El resultado, que es el puntaje final, se escribe en la parte inferior de la casilla en el extremo derecho (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Los defectos son los sabores negativos o pobres que restan mérito a la calidad del café. Estos se clasifican de 2 maneras:

Contaminante: Es un sabor no deseado que, aunque no es muy prominente, es perceptible y generalmente se manifiesta en las características aromáticas, como, por ejemplo, notas de humo, desinfectantes o cloro. Una "contaminación" se clasifica con una intensidad de dos (SCA, 2023; Osorio, 2021).

Falta: Es un sabor negativo, que se encuentra generalmente en los aspectos "linguales", y que es muy notorio o hace que la muestra sea desagradable, recibiendo una puntuación de intensidad de "cuatro". El defecto debe clasificarse inicialmente (como contaminación

o falta), luego debe describirse (por ejemplo, como "amargo", "parecido a goma", "fermento", "fenólico"), y esta descripción debe ser anotada. A continuación, se registra el número de tazas en las cuales se detectó el defecto, y la intensidad del defecto se clasifica como dos o cuatro (SCA, 2023; Osorio, 2021).

6.3.4 Fenoles Totales

La extracción de fenoles totales se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Archundia *et al.*, 2019; López, 2022), que consta de tres etapas: a) Preparación de soluciones patrón de ácido gálico; b) Preparación de las muestras; y c) Determinación de fenoles en las muestras y en las soluciones patrón de ácido gálico, mismas que a continuación se describen:

a) Preparación de disoluciones patrón de ácido gálico

1. Se preparó una solución de ácido gálico con una concentración de 0,1 mg/mL (p/v). A partir de esta solución madre, se prepararon 11 soluciones diluidas con concentraciones crecientes de ácido gálico, según lo detallado en la Tabla 1.

Reactivos	Relación de la curva patrón de ácido gálico y agua destilada										
Ácido gálico (mL)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Agua (mL)	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0

Tabla 1. Preparación de la curva patrón de ácido gálico.

2. En celdas de plástico de 2,5 mL se agregó: 75 μL de Folin-Ciocalteu, 120 μL de las mezclas anteriores, 1,005 μL de agua destilada y 300 μL de carbonato de sodio.
3. Dejar reposar por dos horas en la oscuridad.
4. Tomar lecturas en el espectrofotómetro a 765 nm.
5. A partir de los valores obtenidos de absorbancia de cada concentración de ácido gálico, realizar una gráfica correspondiente a la recta de calibrado, donde el eje vertical (eje adyacente) corresponde a las absorbancias y el eje horizontal (eje de abscisas) las disoluciones de ácido gálico.

b) Preparación de la muestra

Para la preparación de los extractos de café, se usó un tratamiento de 50% etanol (25 mL) y 50% agua (25 mL) + 0,05 gramos de café molido (López, 2022). Se añadieron los mililitros de etanol, los mililitros de agua y los gramos de café molido en un matraz de 125 mL. Luego, se colocó el matraz a baño María y se mantuvo en agitación durante una hora (Figura 11).

1. Utilizar 120 μL de extracto de café y mezclar con 10 μL de agua destilada
2. Mezclar 120 μL de la muestra con 75 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu y 300 μL de una solución de Na_2CO_3 al 15% en un tubo de 1.5 mL
3. Incubar a temperatura ambiente (22-24°C) durante 15 minutos
4. Agregar 1080 μL de agua destilada, mezclar y reposar 2 horas en la oscuridad.
5. Mediar la absorbancia a 765 nm (Figura 12).



Figura 11. Preparación de extractos de café.

c) Determinación de Fenoles Totales en la muestra y en los patrones de ácido gálico

Con la ecuación de la recta de calibrado de la curva patrón, sustituir el valor de la absorbancia de la muestra en el valor “y”, y despejar “x” que corresponde a la concentración de ácido gálico de la muestra, el resultado se reportó como mg GAE/mL de la muestra seca.



Figura 12. Lectura y cuantificación de fenoles totales.

Análisis estadísticos

Los resultados fueron analizados estadísticamente en el programa *Statgraphics Centurion*. Cuando los resultados presentaron diferencias significativas, se realizó una comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,5$).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Determinación de fenoles totales

En la tabla 2, se muestran las absorbancias obtenidas para la determinación de la curva patrón, utilizando ácido gálico como estándar. En este tipo de ensayo, el ácido gálico se emplea como una sustancia de referencia porque contiene compuestos fenólicos que reaccionan de manera similar a los de la muestra que se está evaluando. La tabla muestra cómo la concentración de ácido gálico (expresada en mg/mL) se relaciona con la absorbancia medida a una longitud de onda de 765 nm (λ), que es la longitud de onda donde se forma el complejo azul.

A continuación, se explica en detalle la relación entre los datos:

1. **Concentración y absorbancia:** En la tabla 2, la primera columna muestra diferentes concentraciones de ácido gálico en mg/mL (desde 0 hasta 1). La segunda columna presenta los valores de absorbancia (Abs) correspondientes a cada concentración. La absorbancia mide la cantidad de luz absorbida por la solución, lo que está directamente relacionado con la concentración de compuestos fenólicos presentes.
2. **Relación lineal:** A medida que aumenta la concentración de ácido gálico, también aumenta la absorbancia medida. Este patrón es esperado, ya que los compuestos fenólicos (en este caso, el ácido gálico) reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu para formar el complejo azul, cuyo color es proporcional a la cantidad de fenoles presentes en la muestra.

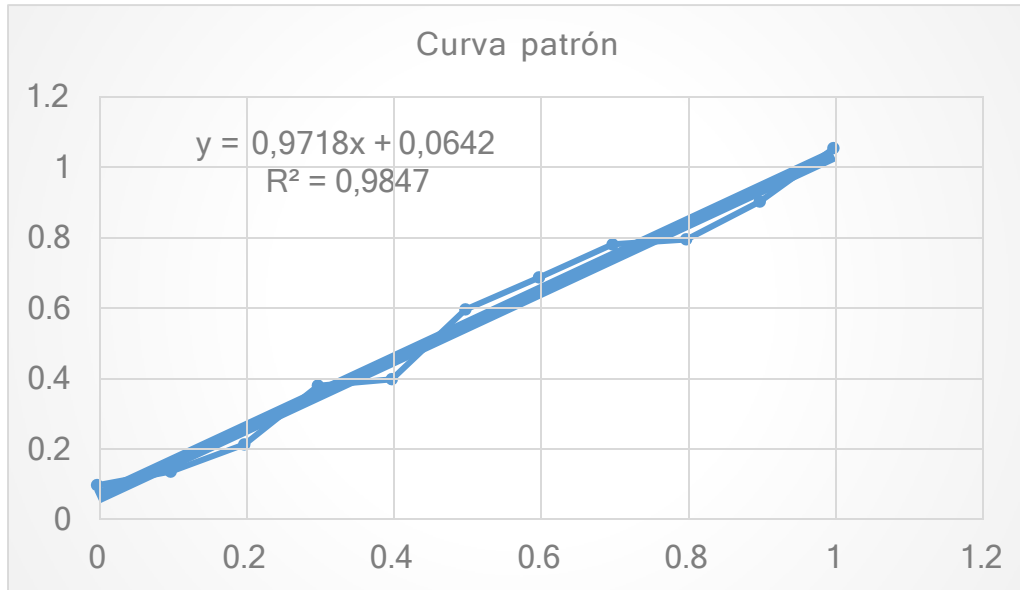
Concentración de Ácido gálico (mg/mL)	Abs (λ)
0	0,098
0,1	0,137
0,2	0,214
0,3	0,381
0,4	0,399
0,5	0,597
0,6	0,688
0,7	0,782
0,8	0,796
0,9	0,904
1	1,1055

Tabla 2. Curva patrón de ácido gálico a partir de una solución concentrada.

En la gráfica 2, se representan los datos de la tabla previamente descrita. En el eje **X** se encuentra la concentración de ácido gálico (mg/mL), mientras que en el eje **Y** se muestra la absorbancia medida a una longitud de onda de 765 nm (λ). Cada punto de la gráfica corresponde a una concentración específica de ácido gálico y su absorbancia asociada.

A medida que se aumenta la concentración de ácido gálico, la absorbancia también aumenta, lo que refleja la formación del complejo azul, directamente relacionado con la cantidad de compuestos fenólicos presentes en la muestra. La gráfica presentó una relación lineal entre la concentración de ácido gálico y la absorbancia en el rango de concentraciones analizado. Esta tendencia lineal es característica de los ensayos basados en el método de Folin-Ciocalteu y permite la creación de una curva estándar para la cuantificación de fenoles totales en muestras desconocidas.

La curva generada fue utilizada para calcular la concentración de fenoles en una muestra desconocida, comparando su absorbancia con los valores de la gráfica.



Gráfica 2. Curva patrón de ácido gálico.

Por último, con la ecuación de la recta de calibrado de la curva patrón, se sustituyeron los valores de la absorbancia de la muestra en el valor “y”, y se despejó “x” que corresponde a la concentración de ácido gálico de la muestra. El resultado se reportó como mg GAE/mL de la muestra seca (Tabla 3).

En la tabla 3 se presentan los resultados del ANOVA $p \leq 0,5$ de fenoles totales. El rango de valores obtenido va de 62,13 a 64,20 mg GAE/mL MS. El análisis estadístico indicó que los tratamientos presentan diferencias significativas y al realizar la comparación de medias, el resultado indicó que existieron 2 grupos diferentes estadísticamente significativos (Gráfica 3).

Tratamiento de humedad (%)	\bar{X}_1 (nm)	\bar{X}_2 (nm)	\bar{X} $(\bar{X}_1 + \bar{X}_2)/2$	Fenoles totales mg GAE/mL MS
10	0,640	0,644	0,642	64,20±0,14a
11	0,642	0,641	0,641	64,15±0,0a
12	0,641	0,638	0,640	64,08±0,14a
13	0,635	0,637	0,636	63,67±0,14b
14	0,623	0,619	0,621	62,13±0,14b

\bar{X}_1 = media de tres lecturas

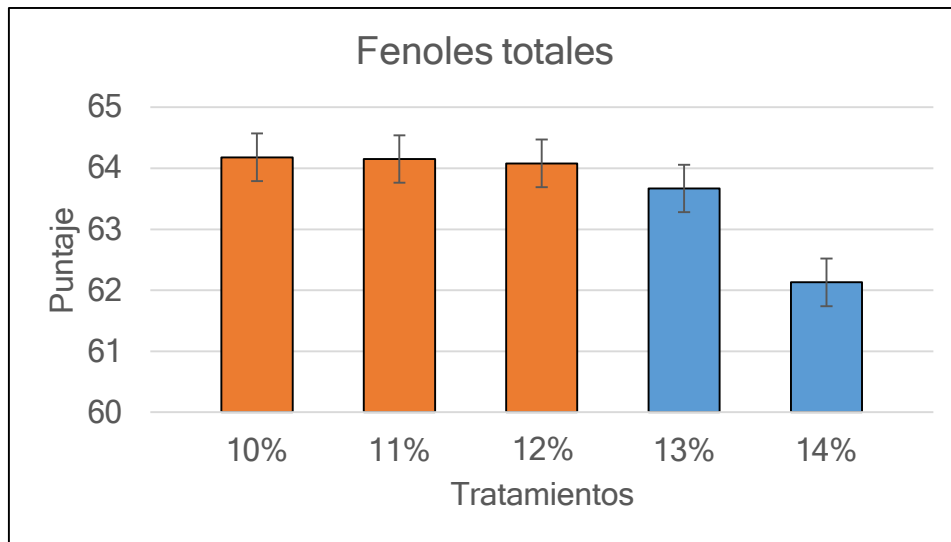
\bar{X}_2 = media de tres lecturas

\bar{X} = media de medias

Tabla 3. Resultados de fenoles totales en cada nivel de humedad.

Nota 1: Los valores expresan la media y la desviación estándar ($X \pm DE$). Los valores con letras (a y b) diferentes en superíndice dentro de la misma columna muestran diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos.

En la gráfica 3, se presentan los grupos estadísticos arrojados por la comparación de medias. El resultado indicó que existieron 2 grupos diferentes estadísticamente significativos; el primer grupo y con media más alta, la tiene el tratamiento con 10, 11 y 12% de humedad, y la media más baja es la del grupo de los tratamientos de 13 y 14% de humedad.



Gráfica 3. Resultados de fenoles totales.

Nota 2: El color naranja indica el grupo estadístico con media más alta, y el color azul es el segundo grupo con media más baja.

En el estudio realizado por Atavillos-Dominguez *et al.* (2020) en Leoncio Prado, Perú, se analizaron los fenoles totales en café procesado mediante el método natural, correspondiente a la variedad Caturra, cultivado a 660 msnm y con un contenido de humedad del 12%. Los resultados mostraron una concentración de 26,76 mg GAE/mL MS. Por otro lado, Samporn (2021) llevó a cabo un análisis similar en Santander, Colombia, en un café procesado también por el método natural, pero de la variedad Bourbon, cultivado a 1230 msnm y con una humedad del 12%, y obtuvo una concentración de 24,98 mg GAE/mL MS.

La calificación obtenida para los tratamientos evaluados en esta investigación, que oscila entre 62,13 a 64,20 mg GAE/mL MS en el beneficio natural a una altitud de 2100 msnm, es superior a los valores reportados por Atavillos-Dominguez *et al.* (2020), quienes documentaron una puntuación 26,76 mg GAE/mL MS, así como a los valores obtenidos por Samporn (2021), con una puntuación de 24,98 mg GAE/mL MS. El contenido de fenoles en el grano de café de esta investigación fue casi tres veces superior al observado en estudios previos, lo que se sugiere podría atribuirse a un proceso de adaptación de la planta de café frente a los efectos del cambio climático, entre otras cosas.

La acumulación de fenoles en las plantas es una respuesta defensiva que ocurre como resultado de la exposición a condiciones climáticas extremas o como mecanismo de protección contra plagas (García-Pérez *et al.* 2016). Esta relación puede ser respaldada al comparar las variaciones de temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa en Temascaltepec, Estado de México durante los últimos dos años (Cuadro 2) donde el cambio climático, se sugiere, ha inducido una mayor producción de fenoles en la planta, como parte de su estrategia de supervivencia.

En el cuadro 2 se presentan datos climáticos para tres lugares diferentes, con información de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y humedad relativa durante los años 2023 y 2024. Los tres lugares son Temascaltepec (Estado de México, México), Perú y Colombia.

Lugar	Año	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)
Temascaltepec	2023	27	8,7	1,800	56
	2024	27,4	9	1,787	57
Perú		25	8	2,500	64
Colombia	2024	25	8	3,179	77

Cuadro 2. Comparación de temperatura máxima, mínima, precipitación y humedad relativa en Temascaltepec, Edo. Méx.

Temascaltepec presenta un clima más cálido y seco en comparación con Perú y Colombia. Mientras que Perú y Colombia tienen temperaturas más frescas, especialmente las mínimas, y un ambiente mucho más húmedo, con precipitaciones significativamente mayores. Temascaltepec, por su parte, tiene un clima más templado, con temperaturas más altas y menor humedad relativa y precipitaciones en comparación con estos dos países sudamericanos.

El cambio climático tiene efectos significativos sobre el clima de las regiones y, a su vez, puede influir en las plantas, tanto en su desarrollo como en la concentración de compuestos bioactivos, como los antioxidantes. Al relacionar los datos climáticos de Temascaltepec, Perú y Colombia con los posibles efectos del cambio climático, es posible

observar cómo estos factores pueden afectar la capacidad de las plantas para producir antioxidantes y, por ende, su supervivencia.

Efectos del cambio climático en el clima local:

- **Temperaturas más altas:** El aumento de las temperaturas, como el observado en Temascaltepec, puede estar relacionado con el cambio climático global. Las temperaturas más altas pueden estresar a las plantas, afectando sus procesos metabólicos. En plantas como el café o aquellas que producen antioxidantes, este estrés térmico puede aumentar la producción de compuestos fenólicos, ya que las plantas responden al estrés ambiental generando más antioxidantes para protegerse de los daños causados por el calor excesivo y la radiación ultravioleta (UV). Sin embargo, un exceso de calor también puede reducir la capacidad de las plantas para realizar fotosíntesis de manera eficiente, afectando su crecimiento y, potencialmente, su capacidad para producir antioxidantes en cantidades óptimas.
- **Temperaturas mínimas más altas:** El leve aumento en las temperaturas mínimas (como en el caso de Temascaltepec de 2023 a 2024) podría alterar los ciclos de crecimiento de las plantas, ya que las temperaturas nocturnas más cálidas pueden interferir con procesos importantes como la respiración y la acumulación de energía durante la noche. Esto también podría influir en la producción de antioxidantes, ya que la planta podría no tener suficiente tiempo de descanso para reparar daños y sintetizar compuestos protectores.

Precipitación y humedad relativa:

- **Reducción de la precipitación:** El cambio climático también está alterando los patrones de precipitación. En Temascaltepec, donde la precipitación es más baja que en Perú y Colombia, la menor disponibilidad de agua puede ser un factor limitante. La sequía o las lluvias irregulares aumentan el estrés hídrico, lo que obliga a las plantas a producir más antioxidantes como mecanismo de defensa. Sin embargo, si el estrés hídrico es demasiado severo, las plantas pueden sufrir deshidratación y morir, reduciendo su capacidad para producir estos compuestos.
- **Humedad relativa más baja:** En regiones más secas, como Temascaltepec, donde la humedad relativa es más baja (57% en 2024), el cambio climático podría generar un entorno menos favorable para algunas plantas. La falta de humedad en el aire puede afectar la transpiración y la fotosíntesis de las plantas, lo que reduce la eficiencia en la producción de antioxidantes. Además, la baja humedad podría exponer a las plantas a mayores riesgos de enfermedades, lo que las obligaría a aumentar la producción de antioxidantes como una forma de defensa.

7.2 Producto de investigación

7.2.1 Efecto de la humedad del grano de café (*Coffea arabica* L.) del Estado de México, sobre el tostado y características sensoriales

A continuación, se presenta el correo con la evidencia del envío de un artículo (Figura 16) que lleva por nombre “EFECTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ (*COFFEA*

ARABICA L.) DEL ESTADO DE MÉXICO, SOBRE EL TOSTADO Y CARACTERÍSTICAS SENSORIALES”, el cual se envió a **Coffee Science**, una revista de acceso abierto, que tiene por misión publicar investigaciones de alta calidad en todas las áreas científicas del café. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la humedad del grano de café del Estado de México sobre el proceso de tostado y el perfil en taza.

La revista está indexada, por mencionar algunos, en los siguientes listados de publicaciones técnico-científicas: SCOPUS - Elsevier, DOAJ - Directory of Open Access Journals, AGRIS-FAO - Sistema Internacional de Información para las Ciencias y Tecnología Agropecuarias (Italia), LATINDEX (Sistema regional de información en línea para publicaciones científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).



Figura 16. Correo de recepción del artículo científico por parte de la revista *Coffee Science*.

EFECTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DEL ESTADO DE MÉXICO, SOBRE EL TOSTADO Y CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

¹Daniel Alejandro Aristeo Ortega

^{2*}María Dolores Mariezcurrena Berasain

³Jesús Castillo Nonato

⁴Guillermo Asdrúbal Vargas Elías

⁵Omar Roberto Vargas Flores

⁶José Alfredo Moreno Jiménez

¹Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100-MZ 035, Centro, 50000 Toluca de Lerdo, Méx. Tel. 7228638346. ^{2*356}Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo” Toluca, México. El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 14.5. CP. 50200. Tel. 7222965529. ⁴Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones para Granos y Semillas (CIGRAS). (506) 2511 8820.

¹E-mail: daristeoo001@alumno.uaemex.mx

^{2*}E-mail: mdmariecurrenab@uaemex.mx (autor de correspondencia)

³E-mail: jcastillono@uaemex.mx

⁴E-mail: guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr

⁵E-mail: ovargasf002@alumno.uaemex.mx

⁶E-mail: jmorenoji@uaemex.mx

RESUMEN

Los municipios mexiquenses productores de café, producen este fruto en una altitud que va de los 1700 a 2100 msnm, lo que le confiere un distintivo particular; es un café de altura. Incluso se ha posicionado como un “café de calidad”, prueba de ello, son los premios obtenidos en el concurso nacional “Taza de Excelencia México”, en los que el café del Estado de México ha destacado durante los últimos años. Para ratificar científicamente estas afirmaciones, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la humedad del grano de café del Estado de México sobre el proceso de tostado y el perfil en taza. En el año 2023, se cosechó café (*Coffea arabica* L. variedad Caturra rojo) y se procesó mediante un beneficio natural hasta llegar a los diferentes porcentajes de humedad (10, 11, 12, 13 y 14%) y posteriormente, se tostó de acuerdo con el protocolo de la *Specialty Coffee Association*, 2023. El café tostado se evaluó mediante un análisis sensorial a partir del protocolo de la misma asociación, en donde se evaluaron 10 atributos sensoriales. La catación indicó que el mejor tratamiento fue con 13% de humedad, mismo que presentó notas en fragancia media-alta, dulce y frutal, y notas dulces de azúcar morena, no obstante, es un valor peligroso para el desarrollo de microorganismos que pueden dañar al grano. Todas las muestras obtuvieron puntuaciones de calidad sensorial ≥ 80 , lo que los clasifica como “café de especialidad”.

Palabras clave: cafés de especialidad, evaluación sensorial y humedad.

INTRODUCCIÓN

El café es un producto agrícola importante, y es una de las bebidas más populares en el mundo (Gutiérrez-Calle *et al.*, 2021). A nivel global, la tendencia es la producción de dos especies de café, la primera es café arábica (*Coffea arabica* L.); con casi dos tercios de la producción mundial, y la segunda es la especie café robusta (*Coffea canephora*); con un tercio (Vega y Reyes, 2017). Después del agua, el café es la bebida más consumida en el mundo, y es la principal fuente de antioxidantes en la dieta alimentaria humana, pues a pesar de que existen otros alimentos con cantidades más altas; este se consume con mayor frecuencia y volumen (Rodríguez, 2021).

Brasil ocupa el primer lugar mundial en la producción de café, seguido por Vietnam, mientras que México se encuentra en la décima posición con una superficie sembrada de 710,417 ha (SIAP, 2023). El 100% de la producción de café en México proviene de 14 estados, que incluyen Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, Estado de México, Morelos, Querétaro y Tabasco (SIACON-SADER, 2022).

El Estado de México ocupa el undécimo lugar a nivel nacional en producción de café, con una superficie cultivada de 539 ha y una producción de 623 t (Leguizamo *et al.*, 2023). Los factores climáticos juegan un papel crucial en la calidad del café, siendo determinantes la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura (SADER, 2015). En comparación con los cafetales en Chiapas, situados a altitudes que varían entre 900 y 1800 msnm y con una temperatura media anual de 24 °C, los cafetales en el Estado de México alcanzan altitudes de hasta 2100 msnm y presentan una temperatura media anual de 14,7°C. Estas condiciones permiten una maduración lenta pero adecuada del fruto, favoreciendo la obtención de semillas de alta densidad y excelente calidad (SIACON-SADER, 2022).

La densidad del café se define como la masa de un grano de café en relación con su volumen. Los granos densos contienen niveles más altos de azúcar, lo que resulta en perfiles de taza más complejos y dulces, motivo por el cual estos granos son altamente valorados en la actualidad (Castellano, 2021). En virtud de las características del café del Estado de México, este se ha destacado como un café de calidad (SECAMPO, 2021).

Un grano de café maduro y sin procesar, contiene aproximadamente entre 45 y 65% de humedad tras la cosecha. Posteriormente, durante el beneficio, la humedad desciende hasta un rango de 10 a 12% (Pashley, 2017). Según Puerta (1999), el proceso de secado puede realizarse al sol, en patios, sobre techos, en rendijas o en secadores eléctricos. Tras el secado, se obtiene café pergamino, que posteriormente se trilla para convertirse en café verde. El café pergamino es el café que conserva su cáscara protectora, denominada endocarpio o pergamino. Esta cáscara se elimina mediante el uso de trilladoras, resultando en café verde (Pérez, 2020).

Con una humedad inferior al 10%, los granos de café experimentan una pérdida de peso y se vuelven quebradizos, lo que compromete tanto su calidad como su sabor, por otra parte, en una humedad superior al 12%, se puede crear un ambiente propicio para el crecimiento de bacterias, hongos y moho, lo que origina que el café se vuelva rancio, y afecte su sabor y aroma (Juárez, 2019).

La catación es la técnica sensorial predominante en la cadena productiva del café, empleada para identificar atributos y defectos en la bebida, cuantificar la intensidad de las características sensoriales y describir su perfil aromático. Las características sensoriales del café abarcan aroma, acidez, amargor, cuerpo, sabor y la impresión general de la bebida. El perfil aromático se refiere a las notas olfativas y fragancias emitidas por el café, que pueden variar desde sutiles matices florales

hasta intensos aromas frutales y especiados. La calidad del café se determina en función de la intensidad y el equilibrio de estas características y el perfil aromático (Puerta, 2013). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la humedad del grano de café del Estado de México sobre el proceso de tostado y el perfil en taza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Beneficio natural

En el año 2023, se realizó la cosecha de café cereza (*Coffea arábica* L. variedad Caturra rojo), en Temascaltepec, Estado de México. Después de la recolección, las cerezas de café fueron sometidas a una separación manual para eliminar impurezas, como ramas, hojas y tierra. Posteriormente, se realizó el proceso de flotación, que consiste en sumergir los frutos en una tina con agua para separar los granos defectuosos, tales como los “bofos” o “huecos”, que flotan en la superficie.

Una vez completada la flotación, los frutos se secaron al sol empleando camas africanas, estructuras construidas con madera y malla galvanizada, elevadas a un metro sobre el suelo para optimizar la aireación. El proceso de secado continuó hasta alcanzar cinco niveles de humedad diferentes (10, 11, 12, 13 y 14%), los cuales fueron determinados utilizando un higrómetro (Agratronix MT-PRO), con tres repeticiones para cada tratamiento. Una vez seco el material, se procedió a realizar el proceso de torrefacción.

Torrefacción

Según la SCA (2023), la torrefacción debe llevarse a cabo entre 8 y 12 minutos, y el perfil de la tostación debe ser claro a claro-medio, medido vía la escala (Gourmet) M-Básica de AGTRON, que es aproximadamente 58 agtron en grano entero y 63 agtron en el café molido +/- 1 punto.

Los granos de café verde se tostaron durante 10 min a $190^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ en tueste con grado medio, utilizando un tostador tradicional de tambor (AZTK 2.5 kg/ciclo) en la casa tostadora “Pare de dormir”, Ciudad de México, México. Una vez completado el proceso de torrefacción, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente ($22\text{-}24^{\circ}\text{C}$) y se almacenaron en bolsas herméticas en un lugar oscuro y fresco para minimizar la exposición al aire y prevenir la contaminación. Posteriormente, se llevó a cabo la catación del café.

Análisis sensorial

Para el análisis sensorial o cata del café, se usó la metodología y el formato propuesto por la SCA (2023) (Figura 1) con catadores *Q grader*; personas altamente calificadas y con licencia del *Coffee Quality Institute* (CQI) que determinan si un café es de especialidad. Las variables evaluadas, de acuerdo con el formato de la asociación, incluyen: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzura, uniformidad y limpieza.



**Asociación de Cafés Especiales
Formulario de catación de Arabica**

Nombre: _____

Fecha: _____

Mesa #: _____

Clasificación			
6.00 - BUENO	7.00 - MUY BUENO	8.00 - EXCELENTE	9.00 - EXTRAORDINARIO
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Muestra #	El Nivel de tueste	Fragancia/Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Puntaje Catador	Total Score
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		Seco	Sabor Residual	Intensidad	Intensidad	Balance	Dulzura	Defectos (subtract)	
		Cualidades		Alta	Alta			Ligero - 2	
		Espuma		Baja	Baja			Rechazo - 4	
								# tazas	
								intensidad	
								X	
								=	
Notas:									Puntaje Final

Figura No. 1 Formato de evaluación sensorial de la SCA, 2023

DISEÑO EXPERIMENTAL

Mediante un diseño completamente al azar, se formaron 5 tratamientos con tres repeticiones, en donde las variables de estudio fueron los niveles de humedad de 10, 11, 12, 13 y 14%, y las variables respuesta para el sensorial fueron fragancia/aroma; sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance; dulzura, uniformidad y limpieza. Para todos los resultados, se realizó un ANOVA ($p \leq 0,05$), y cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, se aplicó una prueba de comparación de medias no paramétrica de Kruskal Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla No. 2 se presentan los resultados del promedio de los atributos: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance de la evaluación sensorial, de los 5 tratamientos evaluados por tres catadores *Q grader*.

Tratamiento de humedad (%)	Fragancia/ aroma $\bar{x}\pm DE$	Sabor $\bar{x}\pm DE$	Sabor residual $\bar{x}\pm DE$	Acidez $\bar{x}\pm DE$	Cuerpo $\bar{x}\pm DE$	Balance $\bar{x}\pm DE$
10	7,66±0,14a	7,41±0,14a	7,41±0,14b	7,5±0,0b	7,58±0,14b	7,33±0,14b
11	7,75±0,0a	7,75±0,0a	7,41±0,14b	7,58±0,14b	7,41±0,14b	7,58±0,14a
12	7,58±0,14a	7,66±0,14a	7,85±0,13a	7,75±0,0a	7,66±0,14b	7,58±0,14a
13	7,08±0,14b	7,66±0,14a	8,00±0,0a	7,75±0,0a	8,00±0,0a	7,75±0,0a
14	7,16±0,14b	7,58±0,14a	7,18±0,16b	7,5±0,0b	7,58±0,14b	7,33±0,14b

Tabla No. 2 Resultados de fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance de las muestras evaluadas

Nota 1: Los valores expresan la media \pm desviación estándar ($X\pm DE$). Los valores con letras (a, b, y c) diferentes en superíndice dentro de la misma columna muestran diferencia significativa ($p\leq 0,05$) entre los tratamientos.

En la Tabla No. 3 se presentan los resultados del promedio de los atributos: uniformidad, dulzor, taza limpia y puntaje final de los 5 tratamientos evaluados por tres catadores *Q grader*.

Tratamiento de humedad (%)	Uniformidad $\bar{x}\pm DE$	Dulzor $\bar{x}\pm DE$	Taza limpia $\bar{x}\pm DE$	Puntaje final $\bar{x}\pm DE$
10	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	82,02 \pm 0,14b
11	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	82,93 \pm 0,14b
12	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	83,46 \pm 0,14b
13	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	84,03 \pm 0,0a
14	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	10 \pm 0,0a	81,66 \pm 0,14b

Tabla No. 3 Resultados de uniformidad, dulzor, taza limpia y puntaje final de las muestras evaluadas

Nota 2: Los valores expresan la media \pm desviación estándar ($X\pm DE$). Los valores con letras (a, b, y c) diferentes en superíndice dentro de la misma columna muestran diferencia significativa ($p\leq 0,05$) entre los tratamientos.

Evaluación sensorial

La clasificación de cada variable (*muy bueno, excelente y sobresaliente*) es según a la SCA, 2023.

Fragancia/aroma

El rango de valores obtenido para la variable fragancia/aroma va de 7,08 a 7,75 considerado como *muy bueno*. Estos atributos son la percepción olfativa del café. Los componentes volátiles se engloban bajo la fragancia, la cual se define como el olor característico del café de la muestra molida en estado seco, mientras que los componentes aromáticos se consideran dentro del aroma, que se refiere al olor del café cuando se mezcla con agua caliente (Osorio, 2021; SCA, 2023).

En Guerrero, México, Juárez *et al.* (2021) evaluaron un café de la variedad Caturra de porte bajo a una altitud de 1420 msnm, con un contenido de humedad del 12%. La puntuación obtenida en el presente parámetro para el beneficio natural fue de 7,25, para *honey* de 7,17, y para lavado de 7,50. Por otro lado, en Chiapas, México, González y Alcántara (2022) evaluaron un café Typica-Bourbon y Bourbon a una altitud de 919 msnm, con un contenido de humedad del 12%, y obtuvieron puntuaciones de 7,33 y 7,58, respectivamente, en un proceso lavado.

La calificación obtenida para los tratamientos evaluados en esta investigación, que oscila entre 7,08 y 7,75 en el beneficio natural a una altitud de 2100 msnm, es superior a los valores reportados por Juárez *et al.* (2021), quienes documentaron puntuaciones de 7,25 para el beneficio natural, 7,17 para *honey* y 7,50 para lavado, así como a los valores obtenidos por González y Alcántara (2022), con puntuaciones de 7,33 y 7,58 para lavado. Este resultado sugiere que el café evaluado en la presente investigación exhibe una calidad superior en los atributos mencionados.

Sabor

Para esta variable, el rango de valores obtenido va de 7,41 a 7,75 considerado como *muy bueno*. El atributo sabor representa una impresión integrada de todas las sensaciones (proporcionadas por

las papilas gustativas) y los aromas retronasales que se trasladan de la cavidad bucal a la nariz. El puntaje asignado al sabor debe reflejar la intensidad, la calidad y la complejidad del sabor y aroma combinados, experimentados cuando el café es sorbido vigorosamente para que se active la totalidad del paladar durante la evaluación (SCA, 2023).

Juárez *et al.* (2021) obtuvieron valores en el atributo sabor de 7,3 para natural, 7,1 para *honey* y 7,5 para lavado, mientras que González y Alcántara (2022) reportaron puntuaciones de 7,42 y 7,5 en un proceso lavado. Las calificaciones obtenidas en esta investigación, que varían entre 7,41 y 7,75 para el beneficio natural, superan las reportadas por los autores anteriores.

A mayores altitudes, las cerezas de café maduran a un ritmo más lento, lo que resulta en granos de mayor densidad, esto les da niveles elevados de azúcar, contribuyendo a perfiles de taza más complejos y dulces, por lo cual son más buscados (Castellano, 2021). Este fenómeno se confirma en el presente experimento, en el cual el café, cosechado a una altitud de 2100 msnm, exhibió un perfil de taza superior en comparación con los resultados obtenidos en los estudios de Juárez *et al.* (2021) y González y Alcántara (2022), donde el café fue cosechado a altitudes de 1420 y 919 msnm, respectivamente.

Sabor residual

Este atributo obtuvo rangos de entre 7,18 a 8,0, este último *excelente*. El sabor residual se define como la duración de los atributos positivos del sabor (sabor y aroma) que persisten en la parte posterior del paladar después de la expectoración o deglución del café. Un sabor residual breve o desagradable recibirá una puntuación más baja (SCA, 2023).

Juárez *et al.* (2021) evaluaron el sabor residual para el beneficio natural con un valor de 7,3, para *honey* con 7,1, y para lavado con 7,5. Por otro lado, González y Alcántara (2022) obtuvieron puntuaciones de 7,17 y 7,5. Los resultados obtenidos en esta investigación son superiores a los reportados por los autores anteriores, siendo incluso catalogados como *excelentes*.

Acidez

Este rubro se compone de valores de entre 7,5 a 7,75, considerado como *muy bueno*. La acidez se caracteriza frecuentemente como brillo cuando es favorable o agrio cuando es desfavorable. En su manifestación óptima, la acidez aporta vivacidad al café, acentúa la dulzura y confiere un carácter de fruta fresca, siendo percibida casi de inmediato tras la ingestión del café. Una acidez excesivamente intensa o dominante puede resultar desagradable; sin embargo, un exceso de acidez puede no ser congruente con el perfil de sabor deseado para la muestra (SCA, 2023).

La altitud y el método de beneficio seleccionado tienen una influencia significativa en la acidez del café. Los cafés cultivados a mayores altitudes tienden a presentar una acidez más brillante. Esto se debe a las temperaturas más frescas y a una mayor exposición solar, que permiten una maduración más lenta de los granos. Por otro lado, el método de beneficio natural, que consiste en secar los granos de café con la pulpa intacta, tiende a producir cafés con perfiles más dulces y menos ácidos. En contraste, el beneficio lavado, que implica la eliminación de la pulpa y la fermentación del café antes del secado, generalmente da lugar a cafés con mayor acidez y características más limpias (Hernández, 2023).

Este fenómeno se confirma en el presente experimento, en el cual la combinación de un café cosechado a una altitud elevada y el método de beneficio seleccionado (natural), resultó en una

acidez superior en comparación a lo reportado por Juárez *et al.* (2021) quienes registraron valores de 7,4 para el proceso natural, 7,4 para *honey* y 7,6 para lavado, y de González y Alcántara (2022) quienes obtuvieron puntuaciones de 7,33 y 7,42 en lavado.

Cuerpo

En esta variable se obtuvieron valores que van de 7,41 a 8,0, este último *excelente*. La calidad del cuerpo se basa en la sensación táctil del líquido en la cavidad bucal, particularmente en la interacción entre la lengua y el paladar. La mayoría de las muestras con un cuerpo más denso suelen recibir puntuaciones altas en términos de calidad, debido a la presencia de coloides en la infusión. No obstante, algunas muestras con un cuerpo más ligero pueden igualmente proporcionar una sensación placentera en la boca (SCA, 2023).

Cada café presenta un perfil de cuerpo distintivo, que está influenciado por factores como la variedad del café, el grado de tueste y el método de extracción utilizado durante la preparación. Además, el cuerpo del café también está determinado por su origen y las condiciones específicas del cultivo. Las altitudes más elevadas están asociadas con una mayor presencia de cuerpo en el café en comparación con las variedades cultivadas a altitudes inferiores (Barrantes, 2024).

Esto es comprobable en este estudio, ya que los valores obtenidos en la presente investigación son superiores a los reportados por Juárez *et al.* (2021) pues registraron valores de 7,1 para el proceso natural, 7,0 para *honey* y 7,4 para lavado, mientras que González y Alcántara (2022) obtuvieron puntuaciones de 7,33 y 7,42 en lavado.

Balance

Este atributo reporta rangos que van de 7,33 a 7,75, considerado como *muy bueno*. El balance refleja la interacción entre los distintos atributos, como el sabor, el sabor residual, la acidez y el cuerpo, y cómo estos se complementan o contrastan entre sí. Si la muestra presenta deficiencias en ciertas cualidades aromáticas o de sabor, o si algunas características dominan excesivamente, el puntaje del balance se verá afectado negativamente (SCA, 2023).

Juárez *et al.*, (2021) reportaron valores de 7,3 para el natural, 7,0 para *honey*, y 7,5 para lavado. Por su parte, González y Alcántara (2022) asignaron calificaciones de 7,33 y 7,50 para lavado. Los valores obtenidos por Juárez *et al.* (2021) y González y Alcántara (2022) sugieren que el balance del café evaluado en estos estudios es comparable al de la presente investigación.

Uniformidad, dulzor y taza limpia

En cada una de estas variables, se registraron valores de 10, considerado como *sobresaliente*. Dichos registros fueron igual a lo que reporta Juárez *et al.* (2021) para los tres beneficios (natural, *honey* y lavado), e igual a González y Alcántara (2022) en lavado. Esto sugiere que el café evaluado por dichos autores, presenta una uniformidad, dulzor y taza limpia similares a los observados en la presente investigación.

Los evaluadores terminaron el ejercicio concluyendo con las notas de fragancia, aroma y sabor percibidas en el café analizado, mismas que se describen en el Cuadro No. 4.

Tratamiento de humedad (%)	Notas de fragancia	Notas de aroma	Notas de sabor
10	Notas dulces de chocolate, ciruelas y azúcar morena.	Dulce, floral, ligeras notas de madera.	Frutal cítrico, ligera madera seca, limón.
11	Notas dulces, floral y ligeras notas de madera y ciruelas.	Dulce, notas de madera.	Frutal cítrico, ciruelas, manzana amarilla.
12	Piloncillo, ciruela y azúcar morena.	Dulce y floral, mantiene la nota de azúcar morena.	Frutal cítrico, frutos amarillos, manzana y azúcar morena.
13	Notas dulces y frutal.	Notas dulces de azúcar morena.	Azúcar morena, ciruela y frutos amarillos
14	Frutos secos y semillas tostadas.	Poco frutal.	Frutal cítrico con notas marcadas a chocolate oscuro, poco seco.

Cuadro No. 4 Notas de fragancia, aroma y sabor de café

La composición del café incluye una gran variedad de compuestos que contribuyen de manera significativa a su perfil aromático. Los aromas del café a caramelo incluyen principalmente ácidos y furanos; los tostados están conformados por aldehídos, cetonas, furanos y pirazinas; los frutales y dulces son aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes y ácidos; los florales son principalmente

alcoholes; los olores ahumados corresponden en su mayoría a fenoles; los asados a pirazinas; los olores a grasa y rancio están compuestos de alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres; los terrosos y mohosos son fenoles, pirroles, alcoholes, hidrocarburos; los olores a solvente corresponden a hidrocarburos y cetonas principalmente, y los aromas a podrido son en su mayoría compuestos nitrogenados y azufrados como aminas, piridina, tioles y tiofenos (Puerta, 2013).

Para las notas de fragancia y aroma, se observaron diferencias con respecto a lo reportado por Juárez *et al.* (2021) para el beneficio natural, quienes identificaron notas de nuez, caramelo, almendra y macadamia. González y Alcántara (2022), en un beneficio lavado, reportaron notas de pimienta, chocolate, especias y caramelo, lo que indica diferencias con las notas del café evaluado en la presente investigación.

En cuanto a las notas de sabor, Juárez *et al.* (2021) para el beneficio natural identificaron notas similares a las de la presente investigación, en particular manzana y chocolate. En contraste, González y Alcántara (2022) para el beneficio lavado reportaron notas de sabor herbal, nuez, piña, chocolate y maple, las cuales difieren de las notas encontradas en la presente investigación.

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 (Melo-Pereira *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

Los catadores *Q grader* indicaron que la muestra mejor evaluada numéricamente fue el tratamiento con 13% de humedad (84 puntos), y presentó notas en fragancia media-alta, dulce y frutal, notas dulces de azúcar morena y sabor a azúcar morena, ciruela y frutos amarillos. De acuerdo a los resultados obtenidos, la humedad tiene un efecto significativo sobre las notas de fragancia, aroma y sabor del café evaluado. Es importante considerar que, si se desea comercializar un café con un porcentaje de humedad mayor al 12%, se debe tener cuidado en su manejo, pues es un nivel de humedad en el cual se pueden presentar hongos, como la Ocratoxina A, que puede deteriorar al producto. En la evaluación sensorial, todas las muestras obtuvieron puntuaciones de calidad sensorial ≥ 80 , lo que los clasifica como “café de especialidad”.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Idea conceptual Mariezcurrena, M. D.; Vargas, G. A; y Aristeo, D. A.; Diseño experimental Mariezcurrena, M. D.; Vargas, G. A; y Aristeo, D. A.; Colección de datos Aristeo, D. A.; Análisis de datos e interpretación: Mariezcurrena, M. D.; Moreno, J. A.; y Aristeo, D. A.; Edición y escritura Aristeo, D. A.; Mariezcurrena, M. D.; Vargas, O. R.; Vargas, G. A; Castillo, J.; y Moreno, J. A.

REFERENCIAS

BARRANTES, P. El cuerpo del café: qué es y qué aporta a la bebida. Doctor Cafetera. 2024. Available in: <<https://doctorcafetera.com/el-cuerpo-del-cafe-que-es-y-que-aporta-a-la-bebida/>>. Accessed on: 13 sep. 2024.

CASTELLANO, N. Entendiendo la densidad del grano de café. 2021. Available in: <<https://perfectdailygrind.com/es/2021/08/17/entendiendo-la-densidad-del-grano-de-cafe/>>.

Accessed on: 25 jun. 2024.

GONZÁLEZ VÁZQUEZ, A.; ALCÁNTARA SÁNCHEZ, D. Calidad organoléptica de variedades tradicionales élite de *coffea arabica* L. en Chiapas, México. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 6, p. 5218–5231, 2022.

GUTIÉRREZ-CALLE, S. A.; SÁNCHEZ-DÍAZ, R. A.; DELGADO-SILVA, Y. B.; MONTENEGRO, J. D.; GUTIÉRREZ, D. L.; MAICELO-QUINTANA, J. L.; GUERRERO-ABAD, J. C. Capillary electrophoresis as a tool for genotyping SH3 mediated coffee leaf rust resistance. **Scientia agropecuaria**, v. 12, n. 1, p. 91–99, 2021.

HERNÁNDEZ, T. ¿De qué depende la acidez del café? Factores influyentes. 2023. Available in: <<http://cafeyarmonia.com/de-que-depende-la-acidez-del-cafe-factores-influyentes/>>. Accessed on: 13 sep. 2024.

JUÁREZ, G.; TIBURCIO, M.; YANIK, I.; MATEOS, G.; SUCRE, R.; OCTAVIO, M.; FITZ, Á.; SALAZAR, P. Caracterización fisicoquímica y sensorial de café de la montaña de Guerrero. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 12, n. 6, p. 1057–1069, 2021.

JUÁREZ, P. Humedad del café. *Revista Fórum Café*. 2019. Available in: <<https://www.revistaforumcafe.com/humedad/>>. Accessed on: 25 jun. 2024.

LEGUIZAMO, S.; RUBÍ, M.; SALGADO, M.; RAMÍREZ, J. Panorama de la cafecultura en el contexto internacional, nacional y en el Estado de México. **Café mexiquense Producción**,

mercado y política pública. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). p. 21–45, 2023.

MELO-PEREIRA, D.; CARVALHO NETO, G. V.; MAGALHÃES JÚNIOR, D. P.; VÁSQUEZ, A. I.; MEDEIROS, Z. S.; VANDENBERGHE, A. B. P.; SOCCOL, L. P. S. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans a review. **Food Chem**, v. 272, p. 441–452, 2018.

OSORIO, V. La calidad del Café. Guía más agronomía, más productividad, más calidad. Cenicafé, 2021. p. 219–234.

PASHLEY, T. ¿Por qué es importante el contenido de humedad del grano verde? 2017. Available in: <<https://perfectdailygrind.com/es/2017/09/07/por-que-es-importante-el-contenido-de-humedad-del-grano-verde/>>. Accessed on: 23 jun. 2024.

PÉREZ, P. Diferencias entre café pergamino y café verde. 2020. Available in: <<https://primerocafe.com.mx/caficultura/diferencias-cafe-pergamino-cafe-verde/>>. Accessed on: 25 jun. 2024.

POLTRONIERI, P.; ROSSI, F. Challenges in specialty coffee processing and quality assurance. **Challenges**, v. 7, n. 2, p. 19, 2016.

PUERTA, G. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. **Revista Cenicafé**, v. 50, p. 78–88, 1999.

PUERTA, G. I. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, **Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. v. 3, p. 81–110, 2013.

RODRÍGUEZ, L. Café: todo sobre la bebida más consumida del mundo después del agua. 2021. Available in: <<https://www.lavanguardia.com/comer/20210527/7484165/cafe-todo-sobre-bebida-mas-consumida-mundo-agua-esi.html/>>. Accessed on: 25 jun. 2024.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL - SADER. Estudio de las necesidades de innovación productiva para los caficultores del estado de Tabasco. 2015. Available in: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346976/Cafeticultores_Detallado.pdf/>. Accessed on: 25 jun. 2024.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION – SCA. Protocols. Cupping specialty coffee. 2023. Available in: <<https://sca.coffee/research/protocols-best-practices/>>. Accessed on: 22 may. 2024.

SECRETARÍA DEL CAMPO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECAMPO. Calidad del café mexiquense rumbo al reconocimiento internacional. 2021. Available in:<<https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/calidad-del-cafe-mexiquense-rumbo-al-reconocimiento-internacional/>>. Accessed on: 25 jun. 2024.

SIACON-SADER. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2022. Available in: <<https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/Nt0tHGfxl21vk15/>>. Accessed on: 25 jun. 2024.

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA - SIAP. Escenario mensual de productos agroalimentarios. 2023. Available in: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/703570/Escenario_cafe_ene23.pdf/>. Accessed on: 25 jun. 2024.

VEGA, J; REYES, S. Determinación del contenido de polifenoles totales, flavonoides y su actividad antioxidante de 34 cafés comerciales de Panamá. **Información tecnológica**, v. 28, n. 4, p. 29-28, 2017.

8. CONCLUSIONES

Respecto al perfil de taza, los catadores *Q grader* indicaron que la muestra mejor evaluada numéricamente fue el tratamiento con 13% de humedad (84 puntos), y presentó notas en fragancia media-alta, dulce y frutal, notas dulces de azúcar morena y sabor a azúcar morena, ciruela y frutos amarillos. De acuerdo a los resultados obtenidos, la humedad tiene un efecto significativo sobre las notas de fragancia, aroma y sabor del café evaluado. Es importante considerar que, si se desea comercializar un café con un porcentaje de humedad mayor al 12%, se debe de tener cuidado en su manejo, pues es un nivel de humedad en el cual se pueden presentar hongos, como la Ocratoxina A, que puede deteriorar al producto. En la evaluación sensorial, todas las muestras obtuvieron puntuaciones de calidad sensorial ≥ 80 , lo que los clasifica como “café de especialidad”.

En cuanto al contenido de fenoles totales, los tratamientos con 10, 11 y 12% de humedad registraron concentraciones más altas, alcanzando valores de 64,20, 64,15 y 64,08 mg GAE/mL MS, respectivamente. Estos valores superan significativamente los resultados reportados en estudios previos (26,76 y 24,98 mg GAE/mL MS). Aunque un aumento en los niveles de fenoles puede ser benéfico desde el punto de vista de la resistencia de la planta, y desde luego para los seres humanos, desde una perspectiva ambiental, este fenómeno podría señalar un desequilibrio ecológico, pues año con año el cambio climático avanza de manera significativa.

Por otro lado, diferencias como la altitud y la variedad de café pueden influir en la composición fenólica, lo que tiene implicaciones tanto en el perfil sensorial como en los

potenciales beneficios antioxidantes del café. Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar las condiciones de cultivo y el proceso de beneficio en la calidad nutricional y sensorial del café. Se espera que este trabajo se tome a consideración por parte de los productores, y pueda contribuir a una mejor toma de decisiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, S. (2024). 4 tipos de Tostado de café que debes conocer. Recuperado el 25 de marzo de 2025, de Café de Colombia <https://cafesdecolombia.co/4-tipos-de-tostado-de-café/>

Amaro-Rosales, M, y Gortari-Rabiela, R. (2016). Innovación Inclusiva en el sector agrícola mexicano Gortari. *Economía Informa*, pp. 87-104.

Archundia, E. D.; Pinzón, D. L. y Salem, A. Z. M. (2019). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tres residuos agroindustriales como alimento para animales. *Sistema Agroforestal* 94, 1393-1402. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00343-7>

Arcila, P. J. J.; Farfán, V. F.; Moreno, B. A. M.; Salazar, G. L. F. y Hincapié, G. E. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Cenicafé*, 21-60.

Atavillos-Dominguez, C.; Reátegui, D. y Ordoñez, E. (2020). Fenoles totales, actividad antioxidante y evaluación sensorial del café tostado. *Agroindustrial Science*, 10(13), 241-248. doi: <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.04>

Bolívar, G. (2020). Caramelización. Recuperado el 27 de marzo de 2025, de Liferder <https://www.liferder.com/caramelizacion/>

Bonilla Medina, J. (2017). Los Beneficios Del Consumo de Café. *Revista Facultad Ciencias de La Salud: Universidad Del Cauca*, vol. 19, no. 2 pp. 47-48.

Caféfranco. (2024). Variedades de Café: Arábica, Robusta, Libérica y Excelsa. Recuperado el 24 de marzo de 2025, de CaféCafeteras <https://www.cafecafeteras.com/guia-variedades-de-café/>

Cafés Bernal. (2021). La materia prima del café – Cafés Bernal. Recuperado el 24 de marzo de 2025, de Cafés Bernal <https://www.cafesbernal.es/materia-prima-del-cafe/>

Carril, P. (2022). Planta del café o cafeto: características y cultivo. Recuperado el 24 de febrero de 2025, de Hogarmania <https://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/arbustos/planta-del-cafe-cafeto-caracteristicas-cultivo.html>

Castellano, N. (2021). Entendiendo la densidad del grano de café. Recuperado el 25 de junio de 2024 de <https://perfectdailygrind.com/es/2021/08/17/entendiendo-la-densidad-del-grano-de-cafe/>.

CEDRSSA. Soberanía Alimentaria. (2023). Producción y mercado del café en el mundo y en México. Recuperado el 26 de febrero de 2025, de Gob.mx <https://www.cedrssa.gob.mx/>.

Clarke, R. y Macrae, R. (1987). Coffee, Technology. Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, Vol. 2.

Deschamps Solórzano L.; Wilde Gallardo, R. y Robledo Martínez, J. D. (2008) Buenas Prácticas Agrícolas para el Cultivo del Café: In: Serie Cafeticultura Manual del Técnico Cafetalero. COFUPRO (eds.). SAGARPA & INCA Rural. Ciudad de México, México: pp. 1-80.

Didier, N. (2018). *Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFE)* (Vol. 103). Huatusco, Ver. México.

Duicela, L. A. (2011). *Manejo Sostenible de Fincas Cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábigo y gestión de la calidad en las organizaciones de productores*. Portoviejo, Ecuador.

Farah, A., y Donangelo, C. M. (2006). "Café: Química del aroma." *Food Research International*, 39(7), 780-785.

Farfán, F. (2021). *Introducción al Café: Variedades, Cosecha y Procesamiento*. Recuperado el 27 de febrero de 2025, de Un Cafecito <https://uncafeci.to/introduccion-cafe-variedades-cosecha-procesamiento/>

García, A. M. (2023). Análisis sensorial de alimentos. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de Edu.mx <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n3/m1.html>

García-Pérez, L.; Gómez-Rodríguez, O.; y González-Chavira, M. (2016). Respuesta anatómica del xilema de plantas de aguacate a la infección de *Phytophthora cinnamomi*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 279-291.

García, E.; Fernández, S. I.; y Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Gélvez, J. (2023). El cafeto: partes y características de la planta de café. Recuperado el 24 de febrero de 2025, de Mundo Cafeto <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>

Gómez-Ruiz, J.A.; Leake, D. S.; y Ames, J. (2007). *In vitro* antioxidant activity of coffee compounds and their metabolites. *J. Agric. Food Chem*, 55: 6962-6969

Gutiérrez-Calle, S. A.; Sánchez-Díaz, R. A.; Delgado-Silva, Y. B.; Montenegro, J. D.; Gutiérrez, D. L.; Maicelo-Quintana, J. L.; Guerrero-Abad, J. C. (2021). Capillary electrophoresis as a tool for genotyping SH3 mediated coffee leaf rust resistance. *Scientia agropecuaria*, v. 12, n. 1, p. 91-99.

Hardy, J. (2016). "Difusión de Resultados de Cafés Especiales". Impreso por Escorpio M.P S.A.C.

Holgado, C. (2023). Clasificación de la calidad del café: todo lo que necesitas saber. Recuperado el 25 de febrero de 2025, de La Taza de Café <https://latazadecafe.com/clasificacion-de-la-calidad-del-cafe-todo-lo-que-necesitas-saber/>

Illy, A., y Viani, R. (2015). *Espresso Coffee": The Science of quality*. San Diego, California, USA: Elsevier Academic Press.

Jaramillo, J. (2021). World Coffee Research. Recuperado el 26 de febrero de 2025, de World Coffee Research <https://worldcoffeeresearch.org/>

Jeszka-Skowron, M.; Zgoła-Grzeskowiak, A.; y Grzes´kowiak, T. (2015). Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. *Eur Food Res Technol* 240:19-31

Juárez P. (2019). Humedad del café. *Revista Fórum Café*. Recuperado el 25 de junio de 2024 de <https://www.revistaforumcafe.com/humedad/>.

Lazcano-Sánchez, E; Trejo-Márquez, Ma. A.; Vargas-Martínez, Ma. G.; y Pascual-Bustamante, S. (2015). Contenido de fenoles, cafeína y capacidad antioxidante de granos de café verdes y tostados de diferentes estados de México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 16, núm. 2, 2015, pp. 293-298

Leguizamo, S.; Rubí, M.; Salgado, M.; y Ramírez, J. (2023). Panorama de la cafeticultura en el contexto internacional, nacional y en el Estado de México. *Café mexiquense Producción, mercado y política pública*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). p. 21-45.

López, J. (2022). Determinación de la concentración de fenoles totales en café (*Coffea arábica*) tostado de la zona sur del Estado de México (Estadía profesional). Universidad Politécnica del Valle de Toluca

Mendieta, R. (2023). Etiopía: el lugar de nacimiento del café y su impacto en el mundo.

Recuperado el 24 de febrero de 2025, de Cafecafecafe.cafe website:
<https://cafecafecafe.cafe/etiopia-el-lugar-de-nacimiento-del-cafe-y-su-impacto-en-el-mundo/>

Naranjo, M.; Vélez, L. T; y Rojano, B. A. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(2), pp. 164-173.

NORMA MEXICANA NMX-F-187-SCFI-2012. (2012). Recuperado el 4 de marzo de 2025, de Gob.mx website: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-187-scfi-2012.pdf>

Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 219-234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12

Pashley, T. (2020). ¿Por qué es importante el contenido de humedad del grano verde? 2017. Recuperado el 23 de junio de 2024 de <https://perfectdailygrind.com/es/2017/09/07/por-que-es-importante-el-contenido-de-humedad-del-grano-verde>.

Peñarrieta, J.; Tejeda, L; Mollinedo, P; Vila, J.; Bravo, J. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos *Revista Boliviana de Química*, vol. 31, núm. 2, pp. 68-81

Pérez, P. (2020). Diferencias entre café pergamino y café verde. Recuperado el 25 de junio de 2024 de <https://primerocafe.com.mx/caficultura/diferencias-cafe-pergamino-cafe-verde/>.

Pérez-Pérez, G.; Ettiene, M.; Marín, A.; Casassa-Padron, N.; Silva, y Medina, D. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides totales en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2014, 31: 60-77

Porras-Zúñiga, M. C.; Vargas-Elías, G.; Araúz- Madrid, L.; y Abarca-Alpizar, Y. N. (2019). Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(XIII CLIA), 20-27. doi:10.18845/tm.v32i7.4255

Puerta, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Revista Cenicafé*, v. 50, p. 78-88

Puerta, G. (2013). En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. v. 3, p. 81-110, 2013.

Ramírez, V. H. (2014). La fenología del café. Recuperado el 26 de febrero de 2025, de Cenicafe.org website: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0441.pdf>

Reyes, W. M. (2018). Evaluación física y calidad de taza de dos variedades de café en dos condiciones de almacenamiento. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de Zamorano.edu

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5cdb0574-228e-488e-a389-9c93bfefa04f/content>

Rodríguez, L. (2021). Café: todo sobre la bebida más consumida del mundo después del agua. Recuperado el 25 de junio del 2024 de <https://www.lavanguardia.com/comer/20210527/7484165/cafe-todo-sobre-bebida-mas-consumida-mundo-agua-esi.html/>.

Sabora, C. (2024). ¿Qué es el tueste del café y por qué es tan importante para obtener una taza perfecta? Recuperado el 25 de marzo de 2025, de Cafesabora.com <https://cafesabora.com/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-tueste-del-caf%C3%A9-y-por-qu%C3%A9-es-tan-importante-para-obtener-una-taza-perfecta>

SADER. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Estudio de las necesidades de innovación productiva para los caficultores del estado de Tabasco. Recuperado el 25 de junio de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346976/Cafeticultores_Detallado.pdf.

SCA. SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. (2023). Protocols. Cupping specialty coffee. Recuperado el 22 de mayo del 2024 de <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices/>.

SECAMPO. Secretaría del Campo del Estado de México. (2021). Calidad del café mexiquense rumbo al reconocimiento internacional. Consultado el 25 de junio de

2024 de <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/calidad-del-cafe-mexiquense-rumbo-al-reconocimiento-internacional/>

Shang, Y. F.; Xu, J. L.; Lee, W. J.; Um, B. H. (2017). Antioxidative poly phenolics obtained from spent coffee grounds by pressurized liquid extraction. *South African Journal of Botany* 109: 75-80.

SIACON-SADER. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. (2023). Recuperado el 20 de diciembre 2024, de <https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/Nt0tHGfxI21vkI5/>.

SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Producción del café mexiquense. Recuperado el 22 de marzo de 2025, de <https://www.gob.mx/agricultura%7Cedomex/articulos/procafe-para-incrementar-la-productividad-del-aromatico-en-el-estado-de-mexico>

SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Consulta de datos estadísticos para el ciclo de producción. Recuperado el 20 de diciembre 2024, de www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430

Taza de Excelencia. (2023). Recuperado el 20 de diciembre 2024, de <https://www.tazadeexcelenciamexico.org/que-es-taza-de-excelencia/>

Toci, A. T. (2015). Aroma y sabor del café: Mecanismos e impacto del tueste. *Food Research International*, 74, 18-27.

Vargas, O.; Rubí, M.; Mariezcurrena, M.; Ramírez, J.; Vargas, G. (2023). El arte del tostado y su relación con la calidad en el café (*Coffea arabica* L.) del Estado de México. *Café mexiquense Producción, mercado y política pública*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). p. 235-247.

Vega, A. y Reyes, S. M. (2017). Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá. *CIT Informacion Tecnologica*, 28(4), 29-38. doi:10.4067/s0718-07642017000400005

Villarmarzo, P. (2020). Café de Perú: Mejores Marcas y Cafeterías del País. Recuperado el 22 de marzo de 2025, de *Cafemalist* <https://cafemalist.com/cafe-de-peru/>

Yamassaki, F.; Luciano, H.; Zawadzki-Baggio, G. y Baron, J. (2017). Hojas de aguacate: Influencia del proceso de secado, la incubación térmica y las condiciones de almacenamiento en la conservación de los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante. *Revista Internacional de Propiedades Alimentarias*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1369105>