

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

**POSTGRADO EN MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN
AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ DEL ESTADO DE
CHIAPAS**

MARIELA CORTÉS FLORES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2020

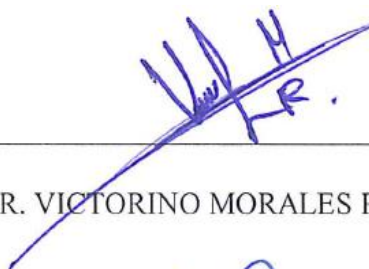
La presente tesis, titulada: **Caracterización fisicoquímica y sensorial del café del estado de Chiapas**, realizada por la alumna: **Mariela Cortés Flores**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

MAESTRÍA A EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
SUSTENTABLE

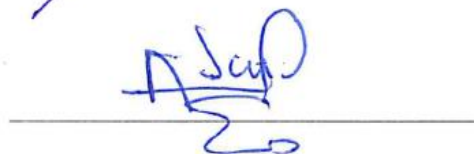
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



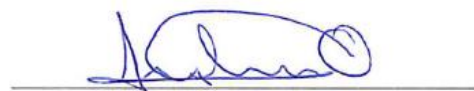
DR. VICTORINO MORALES RAMOS

ASESOR:



DR. JUAN ANTONIO PÉREZ SATO

ASESOR:



DR. ANSELMO OSORIO MIRÓN

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, **Febrero, 2020.**

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ DEL ESTADO DE CHIAPAS

Mariela Cortés Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020.

Chiapas es el principal estado productor de café en México, aportando alrededor del 40% de la producción nacional en 2018 (SIAP, 2019). El estado cuenta con 13 regiones productoras con diversas características ambientales, técnicas y socioculturales que influyen en la producción del grano, por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades físico-químicas del grano y evaluar su efecto en los atributos sensoriales de la bebida. Se obtuvieron 139 muestras de 12 kilogramos de café cereza, procesadas por la vía húmeda, al café pergamino resultante se le realizó: análisis físico-químico y sensorial de acuerdo con los protocolos de la SCA para cada muestra. Los resultados mostraron que la forma del grano no afectó el Puntaje Total en taza, pero sí en atributos como el aroma y cuerpo. Mientras que el tamaño de los granos no tuvo un efecto significativo en casi todos los atributos sensoriales de la bebida; solo en aroma, los granos de café medianos y pequeños obtuvieron puntajes más altos que los granos más grandes. La concentración de cafeína y trigonelina en el grano tuvo una correlación negativa con todos los atributos de calidad de la taza, contrario a lo encontrado para el ácido clorogénico (5-CQA), que mejoró todos los atributos, especialmente la acidez. Además, se encontró que 11 de las 13 regiones presentan un puntaje total promedio en taza de 80 puntos o más, destacando Bochil, Pichucalco y Motozintla. En conclusión, las propiedades físicoquímicas y del grano pueden modular los atributos de calidad de la taza de la bebida en muestras de café de Chiapas, México.

Palabras Clave: Cafeína, Ácido Clorogénico, Altura, Café de especialidad, Análisis sensorial.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ DEL ESTADO DE CHIAPAS

Mariela Cortés Flores, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2020.

Chiapas is the main coffee producing state in Mexico, contributing around 40% of national production in 2018 (SIAP, 2019). The state has 13 producing regions with various environmental, technical and socio-cultural characteristics that influence the production of the grain, therefore, the objective of this work was to study the physical-chemical properties of the grain and evaluate its effect on the sensory attributes of the drink. 139 samples of 12 kilograms of cherry coffee, processed by the wet route, were obtained from the resulting parchment coffee: physical-chemical and sensory analysis was performed according to the SCA protocols for each sample. The results showed that the shape of the grain did not affect the Total Cup Score, but in attributes such as aroma and body. While the size of the beans did not have a significant effect on almost all the sensory attributes of the beverage; only in aroma, medium and small coffee beans scored higher than larger beans. The concentration of caffeine and trigonellin in the grain had a negative correlation with all cup quality attributes, contrary to that found for chlorogenic acid (5-CQA), which improved all attributes, especially acidity. In addition, 11 of the 13 regions were found to have an average total cup score of 80 points or more, highlighting Bochil, Pichucalco and Motozintla. In conclusion, the physicochemical and grain properties can modulate the quality attributes of the beverage cup in coffee samples from Chiapas, Mexico.

Keywords: Caffeine, Chlorogenic Acid, Height, Specialty coffee, Sensory analysis.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por darme la oportunidad de conocer este camino, aprender nuevas cosas, conocer personas diferentes, pero sobre todo por haberme permitido concluir otra faceta de mi vida.

Gracias a mis padres, que siempre entendieron cada una de mis decisiones y sin cuestionamientos estuvieron ahí para apoyarme en todo momento. Por darme esas palabras de motivación que solo ellos saben decir.

Gracias a toda mi familia por el apoyo y cariño incondicional que me dan. Mi hermana, mis tías, tíos y mis queridísimos primos que siempre han estado ahí para motivarme.

Gracias a mi novio, por su paciencia, su tiempo y ayuda para poder realizar este proyecto. Gracias por aguantar cada uno de mis arranques y estar ahí en las buenas y en las malas, eres muy especial para mí.

Gracias a los amigos que fui conociendo en el camino, sin duda, todos son personitas que te enseñan que todo esfuerzo vale la pena.

Gracias a mi consejo particular por colaborar en esta investigación, por sus comentarios, observaciones y cada una de sus sugerencias para el mejoramiento y conclusión.

Gracias al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el financiamiento, a través del Proyecto 2016-01-277838 denominado “Agregación de valor al café mexicano a través de la generación y validación de innovaciones tecnológicas y desarrollo de estrategias de comercialización y mercadeo”, que ha hecho posible la realización de este trabajo de investigación de tesis.

CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------------|------------|
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| IV. OBJETIVOS | 5 |
| 4.1 General..... | 5 |
| 4.2 Específicos..... | 5 |
| V. HIPÓTESIS..... | 5 |
| VI. ESTADO DEL ARTE | 6 |
| 6.1 Origen del Café..... | 6 |
| 6.2 Procesamiento de Café..... | 7 |
| 6.3 Producción Nacional Cafetalera..... | 9 |
| 6.4 Producción Cafetalera en Chiapas..... | 10 |
| 6.5 Características físicas..... | 12 |
| 6.6 Composición química..... | 20 |
| 6.6.1 Composición No Volátil..... | 21 |
| 6.6.1.1 Agua..... | 21 |
| 6.6.1.2 Carbohidratos..... | 21 |
| 6.6.1.3 Proteínas..... | 21 |
| 6.6.1.4 Lípidos..... | 21 |
| 6.6.1.5 Compuestos Nitrogenados..... | 22 |
| 6.6.1.5.1 Cafeína..... | 22 |
| 6.6.1.5.2 Trigonelina..... | 22 |

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| 6.6.1.6 Ácidos Clorogénicos..... | 23 |
| 6.6.1.7 Otros..... | 24 |
| 6.6.2 Composición Volátil..... | 24 |
| 6.7 Características Sensoriales..... | 25 |
| 6.8 Factores que determinan la calidad del café..... | 27 |
| 6.8.1 Factores Climáticos..... | 27 |
| 6.8.2 Factores Ambientales..... | 27 |
| 6.8.3 Variedad y Genotipo..... | 28 |
| 6.8.4 Manejo Pos-cosecha..... | 28 |
| 6.8.5 Tostado..... | 29 |
| 6.9 Técnicas Analíticas Instrumentales..... | 29 |
| VII. METODOLOGIA..... | 30 |
| VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 38 |
| IX. CONCLUSIÓN..... | 46 |
| X. LITERATURA CITADA..... | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1 Procesamiento de Café: Vía Húmeda, Semi-seca y Seca..... | 8 |
| Figura 2 Producción Nacional de Café Cereza 2018 en porcentaje por estado (SIAP, 2019)..... | 10 |
| Figura 3 Regiones cafetaleras del estado de Chiapas | 11 |
| Figura 4 Despulpadora manual de disco..... | 30 |
| Figura 5 Almacenamiento de las muestras de café pergamino..... | 31 |
| Figura 6 Morteadora de Café Pergamino..... | 31 |
| Figura 7 Juego de Zarandas | 32 |
| Figura 8 Separación por forma de los granos de café verde | 33 |
| Figura 9 Separación por formas y defectos..... | 33 |
| Figura 10 Cromatógrafo Líquido de Ultra-Alta Resolución (UPLC) acoplado a Espectrómetro de Masas (MS)..... | 34 |
| Figura 11 Tostador de Café..... | 36 |
| Figura 12 Molino de Café Mahlkonig | 37 |

LISTA DE CUADROS

| | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Cuadro 1. Formas (%) del grano verde de las regiones cafetaleras del estado de Chiapas | 38 |
| Cuadro 2. Tamaño del grano (%) de café del estado de Chiapas por región | 39 |
| Cuadro 3. Defectos (No.) de café de Chiapas por región | 39 |
| Cuadro 4. Efecto de la región en el contenido de compuestos no volátiles en café verde | 40 |
| Cuadro 5. Características sensoriales de la bebida de café de Chiapas por región..... | 42 |
| Cuadro 6. Efecto de la región sobre el puntaje total del café de Chiapas..... | 43 |
| Cuadro 7. Correlación entre las características físicas y sensoriales | 44 |
| Cuadro 8. Correlación entre los compuestos no volátiles y los atributos sensoriales..... | 45 |

I. INTRODUCCIÓN

La producción de café en México se distribuye en 14 estados, destacando Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, con poco más del 88% de la producción total en 2018 (SIAP, 2019). Chiapas produce alrededor del 40% del volumen nacional, dividido en trece regiones cafetaleras: Ángel A. Corzo, Bochil, Comitán, Copainalá, Mapastepec, Motozintla, Ocosingo, Ocozocoautla, Palenque, Pichucalco, San Cristóbal de las Casas, Tapachula y Yajalón (INEGI, 2017), las que, debido a sus contrastes ambientales y manejo de las plantaciones, producen café con diferentes atributos de calidad.

La calidad del café puede verse afectada por diversos factores, entre ellos, los ambientales (Ramos et al., 2016), genéticos (López-García et al., 2016) y de procesamiento (Worku et al., 2018). Dicha calidad es evaluada desde el punto de vista físico, químico y sensorial. El análisis físico consiste en la valoración de los atributos del grano, entre ellos: forma, tamaño y defectos que pueden sufrir alteraciones en la etapa del cultivo y/o proceso (Tolessa et al., 2017). El análisis químico se fundamenta en la identificación y cuantificación de diversos compuestos: alcaloides, azúcares, esteroides, ácidos (grasos, fenólicos, clorogénicos), proteínas, aminoácidos libres, vitaminas y minerales (Ashihara, 2015). Algunos de estos compuestos, como la cafeína, trigonelina y ácido clorogénico, funcionan como precursores para la formación de compuestos volátiles en el proceso de tostado. Finalmente, la evaluación sensorial de la bebida es realizada por personas especializadas llamadas “catadores”. En esta evaluación se aprecian los atributos del café tostado y molido mediante los sentidos del olfato, gusto y sensaciones generales que produce la bebida en la boca, asignando puntuaciones cuantitativas a las características evaluadas y una descripción cualitativa de las notas aromáticas y de sabor encontradas (Rosas et al., 2008).

La composición química de los granos de café, se caracteriza por la presencia de cafeína (mateína y guaranina) como principal ingrediente activo, su contenido varía según la variedad y especie (Burdan, 2015); puede alcanzar el 3% y 5% en *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, respectivamente (Bicho et al., 2013). La trigonelina o ácido N-metilnicotínico, es un derivado de la piridina que contribuye al amargor de la bebida, el cual, al igual que la cafeína, es precursor de compuestos volátiles en el café tostado como furanos, alquilpiridinas y pirroles (Perrone et al., 2008). Parvatam et al. (2013) señalan que el contenido de trigonelina en los granos de café verde están dentro del rango de 0.88 a 1.77% en la variedad arabica, 0.75 a 1.24% en la variedad robusta. Los ácidos clorogénicos (CGA) son una familia de ésteres formados entre uno y más derivados de ácido fenólico y ácido quínico (Dawidowicz y Typek, 2011). Los tres subgrupos principales de CGA son: ácidos cafeoilquínicos (CQA; 5-CQA incluido), ácidos di-cafeoilquínicos (3-diCQA) y ácidos feruloilquínicos (FQA), representan aproximadamente 67%, 20% y 13% del total de CGA en Robusta y 80%, 15% y 5% en Arábica, respectivamente (Ky et al., 2001); el contenido de estos ácidos en los granos de café verde varía según la especie, clima, suelo y el grado de madurez (Narita y Inouye, 2015).

El objetivo de esta investigación es evaluar las propiedades físico-químicas del grano y su efecto en los atributos sensoriales de la bebida de café que procede de las 13 regiones cafetaleras del estado de Chiapas para reconocer el café de mejor calidad.

II. JUSTIFICACIÓN

El mercado mexicano del aromático es estimado en 1.6 millones de dólares anuales por la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A. C. (AMECAFE), alcanzando los 4.2 millones de sacos por ciclo cafetalero, de los cuales, un 35% podrían alcanzar mejores precios de venta con la incorporación de criterios de calidad en la cadena productiva (AMECAFE, 2012).

La cafecultura en Chiapas destaca por su relevancia social, económica, cultural y ecológica, representando una importante fuente de divisas, además permite la integración de cadenas productivas y la subsistencia de pequeños productores (Escamilla et al., 2005) para el estado. La superficie cultivada en este territorio es alrededor de 253 mil hectáreas, distribuidas en 13 regiones cafetaleras (INEGI, 2019), algunas con condiciones idóneas para la producción de cafés de excelente calidad, no solo por las variables agroecológicas, sino por la vocación de producción de cafés de sombra y orgánicos, por lo que realizar la caracterización fisicoquímica y sensorial del aromático producido en las trece regiones cafetaleras, resaltarán los granos con atributos de especialidad, facilitando el acceso a mercados de cafés diferenciados.

III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El estado cuenta con alrededor de 119 municipios cafetaleros y alcanza una producción anual de 1.8 millones de sacos, lo que da trabajo a alrededor de 175 mil productores (Plan maestro de renovación de cafetales en Chiapas, 2015). A pesar de la importancia del grano, Chiapas no escapa de la problemática que afecta la cafecultura nacional: bajos rendimientos, bajos precios y enfermedades que recientemente han afectado la producción como la roya o plagas como la broca. El café posee sabores básicos cuya intensidad depende de factores como la zona de cultivo, el suelo, la recolección del fruto, procesamiento y nivel de tostado. La evaluación sensorial de la bebida permite valorar las características que definen su calidad, ya que es el resultado de una serie de procesos por los que pasa el grano, interviniendo un complejo número de componentes químicos. Algunos autores como Wei y Tanokura (2015), señalan como principales precursores del sabor y aroma a la cafeína, la trigonelina y el 5-CQA, sin embargo, las concentraciones de estos varían según la región de procedencia. En México estos estudios apenas comienzan, por lo que no se tiene registro de las cantidades de estos compuestos en los granos de café verde cultivado en el estado.

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar las propiedades físico-químicas del grano y su efecto en los atributos sensoriales de la bebida de café que procede de las 13 regiones cafetaleras del estado de Chiapas para reconocer el café de mejor calidad.

4.2 Específicos

4.2.1 Determinar las características físicas del café verde, utilizando los protocolos establecidos por la Speciality Coffee Association (SCA) y las normas mexicanas, para determinar forma, tamaño y defectos.

4.2.2 Cuantificar las concentraciones de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico (5-cafeoilquinico) en café verde, mediante UPLC-MS, para determinar su relación con las características de la bebida.

4.2.3 Analizar los atributos sensoriales de la infusión de café, con el apoyo de panelistas entrenados, para resaltar el grano de mejor calidad.

V. HIPÓTESIS

La calidad del café de las 13 regiones del estado de Chiapas es diferente entre ellas y está relacionada con las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del grano.

VI. ESTADO DEL ARTE

6.1 Origen del Café

El café pertenece al género *Coffea* dentro de la familia de las Rubiaceae, que está integrada por 500 géneros y más de 6,000 especies (Mussatto, 2013). Entre estas especies, solo dos, *Coffea canephora* y *Coffea arabica*, representando el 20% y 80% de la producción mundial, respectivamente (Hamon et al., 2015), se diferencian claramente por su aroma y sabor (Murugan y Al-Sohaibani, 2012; Bicho et al., 2013). Otras especies cultivadas, aunque de menor importancia, son *Coffea liberica*, con apenas el 1% y *Coffea excelsa*, que solo representa 2% (Herrera y Lambot, 2017).

El café *arabica* es originario de Etiopía (Hagos et al., 2018) y se considera un grano de mayor calidad, apreciado por su aroma complejo, sabor más intenso y contiene mayor cantidad de sólidos solubles, antioxidantes y cafeína (Ludwig et al., 2014) y, por lo general, es el más caro del mercado mundial. Es un arbusto que alcanza una altura de 8 a 10 m cuando crece libremente, y de 2 a 2.50 m cuando es podado en plantación para facilitar su mantenimiento y recolección de los frutos. Las hojas son relativamente pequeñas, pero varían en anchura promediando de 12-15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica, acumuladas, cortas, agudas en la base, algunas veces un tanto onduladas (Hernández et al., 2015).

El café *canephora* se produce principalmente en Vietnam, Indonesia y Costa de Marfil. Sus árboles crecen a bajas elevaciones y climas más cálidos y tienen mayor resistencia a enfermedades (Farah y Ferreira dos Santos, 2015); se caracteriza por ser un café neutral con un sabor débil y, ocasionalmente, tiene un amargor fuerte y pronunciado (Ashihara, 2015). Es un pequeño árbol robusto que puede crecer hasta alcanzar 10 m de altura y tiene una raíz poco profunda. El fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar; la semilla es de forma alargada y más pequeña que

la del *C. arabica*. Los árboles tienen hojas mucho más largas y corrugadas, y pueden cultivarse entre los 100-700 msnm y una temperatura ambiente entre 24-30°C. Para que su fruto madure puede tardar entre 9-11 meses después de la floración. En general son plantas más resistentes a enfermedades, plagas y condiciones climatológicas adversas (Hernández et al., 2015).

6.2 Procesamiento de Café

Existen tres vías diferentes de manejo post-cosecha para los granos de café cereza en función del tipo de café que se pretende obtener (Fig. 1); al producto de café procesado por la vía húmeda se le llama café lavado, al café que pasa por la vía semi-seca es conocido como amielado o honey y por último al café obtenido por la vía seca se le conoce como café natural.

- Vía Húmeda: método por el que se obtienen los cafés lavados o suaves.

Se comienza con el corte del café cereza (granos maduros), posteriormente se llevan al beneficio húmedo donde se eliminan las impurezas, se despulpan para separar las almendras del pericarpio que las cubre y se fermentan durante 20 o 24 horas. Cumpliendo el tiempo establecido, se lavan y se llevan al área de secado (Kleinwächter et al., 2015).

- Vía Semi-seca: método por el que se obtiene el café conocido como honey.

El café cosechado es despulpado y puesto a secar sin remover el mucílago; el café verde se obtiene descascarillando el pergamino junto con el mucílago adherido; este proceso es utilizado en Brasil y Burundi (Gole y Abeba, 2015).

- Vía Seca: método por el que se obtienen los cafés naturales o no lavados.

Las cerezas que se hayan recolectado se clasifican y limpian, para separar las cerezas que no están maduras de las que están demasiado maduras y de las que están dañadas, así como para quitar la suciedad, tierra, ramas y hojas. Las cerezas de café se extienden al sol, o bien, en patios grandes de cemento o ladrillo (Schwan et al., 2012).

En las tres vías se realiza el trillado y/o morteadado de los granos, para desprender la cascarilla (pajilla) y obtener café verde u oro. Posteriormente, el café es clasificado por peso-densidad, tamaño-forma y color (Mussatto y Teixeira, 2013).

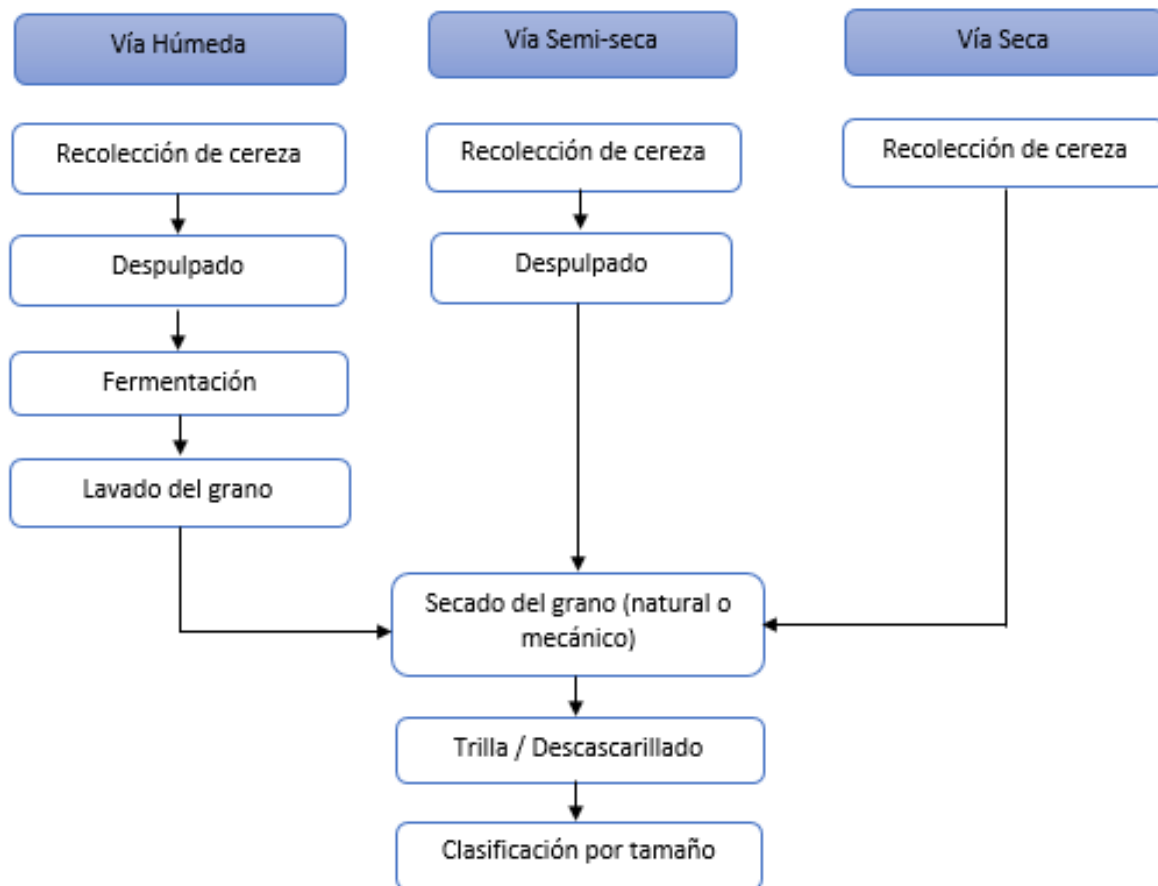


Figura 1 Procesamiento de Café: Vía Húmeda, Semi-seca y Seca

En el secado se elimina parte del agua del producto hasta niveles que permitan disminuir la actividad del agua, para reducir el crecimiento de hongos y bacterias y permitir su almacenamiento por largos periodos, conservando la calidad física y organoléptica (Noguera y Lucy, 2015). En cualquiera de los procesos del café es necesario determinar la humedad, para su catación, en un rango de 10-12%.

Los granos procesados por la vía húmeda tienen una composición química diferente a los granos procesados por la vía seca, debido a que el tipo de procesamiento influye en el metabolismo de las semillas (Knopp et al., 2006). Los granos de café verde procesados por la vía húmeda destacan por mayor contenido de ácidos clorogénicos y trigonelina y menor contenido de sacarosa que los granos procesados por la vía semi-seca (Duarte et al., 2010). En taza, los cafés naturales presentan mayor cuerpo y menor acidez que los lavados (Schwan et al., 2012).

6.3 Producción Nacional Cafetalera

El café se ha convertido en una de las bebidas más consumidas en todo el mundo después del petróleo, debido a su agradable sabor, aroma, efecto estimulante y beneficios para la salud (Hagos et al., 2018) y su calidad es característica clave en el mercado internacional (Jeszka-Skowron et al., 2015).

En México, este cultivo permite la integración de cadenas productivas, generación de divisas y la subsistencia de pequeños productores y grupos indígenas. Los ingresos de los cafeticultores a partir de la venta de café, dependen de rendimientos por hectárea y precio, el cual es estimado por el mercado internacional del aromático, fijado en las bolsas agropecuarias de Nueva York y Londres (Benítez, 2014).

En la última década, los niveles de producción se han mantenido en un promedio de 3.6 a 4 millones de sacos de 60 Kg (González-Ríos et al., 2018), situando a México en el noveno lugar a nivel internacional en 2017 (SIAP, 2019). El cultivo de café en el país está distribuido en 14 entidades federativas, con una superficie de más de 700 mil hectáreas, distribuidas en 483 municipios (Barbosa et al., 2019), cada una con características propias y condiciones adecuadas para la generación de café de calidad destacando Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, concentrando más del 87% y el resto de los estados cafetaleros el 10 % del volumen total (Fig. 2).

Del total de café mexicano cultivado, el 97 % corresponde a las variedades arábicas y un 3 % a las canephoras, estas últimas ocupadas para la industria de los solubles (González-Ríos et al., 2012) estas últimas también llamadas robustas.

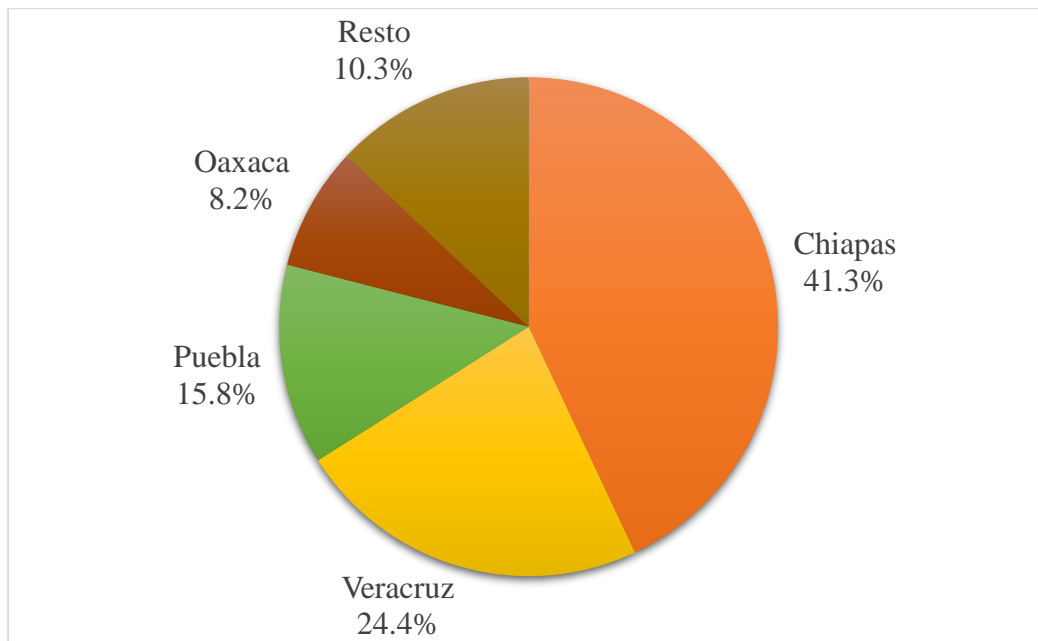


Figura 2 Producción Nacional de Café Cereza 2018 en porcentaje por estado (SIAP, 2019)

6.4 Producción Cafetalera en Chiapas

Chiapas cuenta con 118 municipios representando el 3.74% del territorio nacional. Su clima presenta dos grandes sistemas climáticos: el cálido húmedo en zonas bajas, valles y mesetas de altura media y el templado húmedo en sierras altas y mesetas montañosas, su altitud máxima alcanza hasta los 4000 msnm.

El estado produce alrededor del 40% del volumen nacional, alcanzando una producción total de 1.8 millones de sacos anuales y se divide en trece regiones cafetaleras (Fig. 3) con características ambientales, técnicas y socioculturales diferentes, que influyen en la producción del grano.

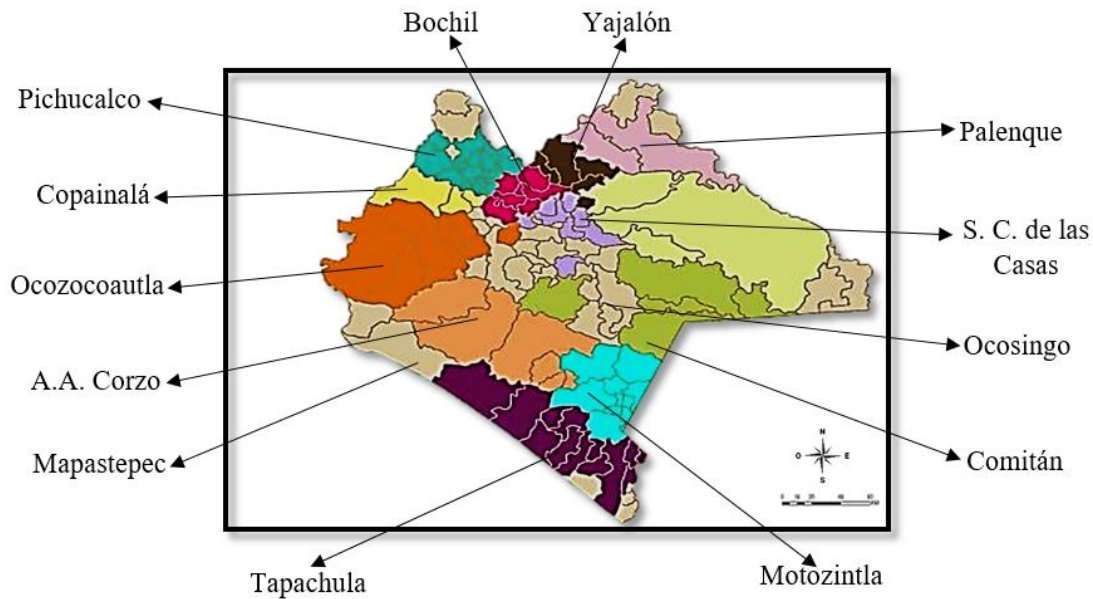


Figura 3 Regiones cafetaleras del estado de Chiapas

De acuerdo con el Plan maestro de renovación de cafetales en Chiapas (2015), un total de más de 180 mil productores y alrededor de un millón de personas obtienen ingresos de la cadena productiva del café y el sistema de producción de café predominante bajo sombra, y principalmente se cultivan tres variedades diferentes *Arabica*, *Canephora* y *Borbon* (López, 2016).

Actualmente, en Chiapas el café orgánico ha tomado importancia para el desarrollo y crecimiento económico de pequeñas y medianas regiones, lo que es completamente factible para cafés de excelencia y/o de especialidad, ya que el estado cuenta con extensas superficies con gran potencial productivo y es líder mundial en producción orgánica. *Café Chiapas* ” es la denominación que se le otorga al café verde, tostado/molido de la especie *C. arabica*, que es producido en diversas zonas cafetaleras del estado, en atención a las óptimas condiciones geográficas y de cultivo que este posee, contando con ricos suelos volcánicos, climas aptos, que se caracterizan por tener una buena humedad durante todo el año y una gran diversidad de excelentes temperaturas; características que de manera conjunta permiten que se dé un producto con una alta acidez, aroma intenso sabor

agradable y apreciable cuerpo, alcanzando así una excelente calidad, sin dejar de lado los adecuados procesos de producción y transformación/industrialización que realizan los cafecultores chiapanecos, quienes cumplen con estrictas condiciones de calidad y toman en cuenta la tradición de cultivo que ha caracterizado al estado de Chiapas (Ruiz-Nájera et al., 2016). La zona de producción de “*Café Chiapas*” constituye las 13 regiones mencionadas anteriormente y cumplen con la Norma Oficial Mexicana (NOM-169-SCFI-2007), *Café Chiapas-Especificaciones y métodos de prueba*, establece las características, especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir el *Café Chiapas*, que se produce en la zona protegida por la Denominación de Origen expedida para tal efecto.

6.5 Características físicas

La calidad de la bebida es influenciada por características físicas (Luna González et al., 2019), humedad y defectos del grano (Puerta-Quintero, 2016); así como por diversos factores, como son los climáticos (Bertrand et al., 2012), genéticos (López et al., 2016), agroindustriales (Worku et al., 2018), ambientales (Ramos et al., 2016), manejo pre-cosecha y pos-cosecha (Guambi, 2017) y que son reflejadas en el rendimiento del café (Tolessa et al., 2017).

El mal manejo en la cosecha y/o durante el procesamiento de las cerezas de café, propicia la generación de granos defectuosos: negros, agrios, inmaduros, dañado por hongo o insectos, entre otros y representan alrededor del 15-20 % de la producción de café en peso; sabores indeseables, son efectos negativos en la calidad del café (Wei y Tanokura, 2015) y tienen un impacto significativo en el aroma (Lee et al., 2015). Diversos autores tales como Schwan et al. (2012) han encontrado que los granos tratados por la vía húmeda producen un café suave y de mejor calidad en comparación con las otras condiciones de procesamiento; mientras que, el café procesado por

la vía seca y el grano secado con muscílago presentan un olor a fermento, considerado como un defecto.

La evaluación física consiste en la valoración de las características físicas de los granos de café, principalmente: color, uniformidad, tamaño, forma, defectos y humedad de los granos de café verde. Para ello, se utilizan los procedimientos descritos en las normas mexicanas: NMX-F-162-SCFI-2008, NMX-F-191-SCFI-2013, NMX-F-192-SCFI-2014, NMX-F-194-SCFI-2016 y NMX-F-597-SCFI-2016.

Según Noguera and Lucy (2015) los defectos del café se generan por un inadecuado procesamiento e inmadurez en el momento que se cosecharon las cerezas de café. Otros factores que determinan la cantidad de defectos encontrados son las temperaturas mayores a 55°C durante el secado, estrés hídrico, falta de nutrientes, sobrefermentación, almacenamiento y trillado de café húmedo (SCA, 2009). Los defectos en los granos de café verde, de acuerdo con el manual de defectos de la SCA (2013), se clasifican en primarios y secundarios. Los defectos primarios afectan directamente la calidad de la bebida en taza y esto se refleja en el precio del café, por lo que se consideran graves, entre ellos están granos totalmente negros o agrios. Por otra parte, entre los defectos secundarios se encuentran: granos quebrados, secos, parcialmente negros o agrios, blanqueados, entre otros. Se considera que cinco o más defectos secundarios forman un defecto primario (SCA, 2013). En base al Manual de Defectos de la SCA y NMX-F-162-SCFI-2008, los defectos físicos del café son:

- **Materia Extraña:** materia extraña no originada de la fruta del café, por ejemplo: partículas de plástico/metálicas, partículas de costal, partículas de cordón, piedras, ramas.



- **Grano agrío:** los granos agríos se reconocen por su color amarillo pálido, amarillo intenso, o rojizo. Si el grano se raspa o corta, libera un olor agrío similar al vinagre. Una vez tostado y molido, un solo grano agrío puede contaminar la bebida de café.



- **Grano quebrado:** los granos quebrados pueden considerarse como granos partidos, mordidos o cortados, generalmente presentan una coloración rojiza oscura, debida a daños mecánicos durante el proceso de beneficio húmedo. Esta lesión puede ser inicio de actividad bacteriana, fermentaciones y crecimiento de hongos, resultando en una amplia gama de sabores defectuosos en taza. Los granos partidos o cortados por la máquina trilladora son fragmentos de granos limpios.



- Grano inmaduro: los granos inmaduros se reconocen por su tamaño pequeño, de baja densidad, de forma cóncava y con bordes afilados. La tradicional película plateada o tegumento es generalmente de color pálido amarillento o verdoso y firmemente adherida al grano.



- Grano picado/brocado: este grano se distingue por las pequeñas y oscuras perforaciones de 0.3 a 0.5 mm de diámetro. El daño puede verse en cualquier ángulo, incluso longitudinal. Algunos granos presentan ataques severos con más de tres perforaciones.



- Grano negro: se distingue por su color opaco.



- Grano elefante: son granos de café más grande de lo normal para su variedad, debido a que una de las semillas tiene un desarrollo mayor que la otra.
- Grano triángulo. granos con dos lados planos y uno convexo.
- Daño por hongo: los granos afectados por hongos se reconocen por las manchas de color amarillo-rojizo recubiertas de un polvillo, que van creciendo en tamaño hasta cubrir completamente el grano. El grano afectado por hongos libera esporas que pueden contaminar otros granos.



- Blanqueado: grano con decoloración de la superficie debido a bacterias del género Coccus durante el almacenamiento o transporte, asociado con cultivo viejo.



- Cáscara y pulpa: la cáscara o la pulpa son fragmentos secos de cereza, de color rojizo oscuro a marrón.



- Cereza seca: la cereza seca generalmente cubre parte o todo el pergamino, algunas veces con la presencia de manchas blancas o residuo, que son signo de formación de hongos que afectan la taza y el aspecto del café.



- Pergamino: son granos cubiertos parcial o totalmente por el pergamino, que es una gruesa cáscara compuesta principalmente de celulosa.



- Flotador: los granos flotadores tienen un particular color blanco y decolorado, dando al lote de café verde una apariencia dispareja. Particularmente se recomienda vigilar y controlar este defecto por su posible asociación con la presencia de toxinas producidas por microorganismos.



- Concha: es la parte externa y separada del grano comúnmente llamado elefante, el cual está formado por dos partes unidas, la externa con forma de concha de mar y la interna con forma aplastada, redondeada y alargada (similar a una oreja). Si el grano elefante se encuentra unido no se considera un defecto.

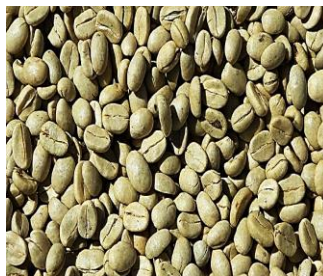


- Caracolillo: esta semilla crece en todas direcciones por igual y por lo tanto no aparece esa parte más plana que tienen los demás granos, es decir, estos granos adoptan una forma más o menos esférica y otras veces casi se empiezan a enroscar sobre si mismos adoptando la forma que da nombre al “caracolillo”.



Escamilla-Prado et al. (2015) señalan que los granos caracoles no son rechazados en el mercado e incluso son preferidos por algunos tostadores y consumidores; sin embargo, una proporción alta de caracol indica reducción en la producción, ya que se debe a la ausencia de una semilla en el fruto.

- Planchuela: tiene una forma plana y ligeramente convexa, apariencia fina y recortada. Está cubierta por una capa fina de epidermis conocida como película plateada y una cascarilla similar al papel, que llamamos pergamino (técnicamente el endocarpio).



Esta forma de grano es considerada la de mejores características para las preparaciones europea y americana, según la NMX-F-597-SCFI-2016.

En la determinación del tamaño del grano, un factor clave en la calidad del aromático es la altitud, a mayor altura sobre el nivel del mar se incrementa la densidad y dureza de los granos, así como grado de acidez, aroma, sabor, fineza y cuerpo; estos últimos son atributos apreciados en las bebidas (Rosado, 2007).

En México, de acuerdo con la Norma Oficial NMX-F-597-SCFI-2016, la clasificación de calidades se basa en la altitud: estrictamente altura (más de 1200 msnm), altura (entre 900 msnm y 1200 msnm), extra prima lavado (entre 800 msnm y 900 msnm) y prima lavado (a menos de 800 msnm). Respecto de la altitud, ANACAFÉ (2015), indicó que es un factor determinante en la calidad de taza, independientemente de la variedad; el cuerpo, aroma y fineza se acentúan a medida que se incrementa la altitud, mientras que la acidez se manifiesta de manera discreta. Suárez-Salazar et al. (2015) indican que las mejores calificaciones sensoriales se obtienen a mayores altitudes. Bosselmann et al. (2009), informaron que a mayor altitud, el aroma no tuvo un efecto significativo en los atributos de calidad en taza.

6.6 Composición química

La composición química del café verde es muy compleja y está integrada por carbohidratos (polisacáridos y/o monosacáridos), esteroides, ácidos grasos, ácidos fenólicos, polifenoles, compuestos nitrogenados (alcaloides), proteínas, aminoácidos libres, vitaminas y minerales entre otros (Campos-Vega et al., 2015). La especie, madurez, fermentación, secado, almacenamiento, tostado y el método de preparación de la bebida influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo, amargor, dulzor y aromas de una taza de café (CENICAFÉ, 2011).

6.6.1 Composición No Volátil

La fracción no volátil del grano de café verde está compuesta principalmente de agua, carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales, alcaloides (cafeína y trigonelina), ácidos orgánicos y ácidos clorogénicos (Farah, 2012).

6.6.1.1 Agua

El contenido de agua del grano influye en la germinación, crecimiento, fermentación, secado, almacenamiento y tostado. El café pergamino debe secarse de un 10-12% de humedad, con el fin de mantener su estabilidad química y microbiológica durante el almacenamiento y así obtener buenas características sensoriales en el tostado.

6.6.1.2 Carbohidratos

Los principales precursores del aroma son los carbohidratos insolubles (celulosa y hemicelulosa), carbohidratos solubles (arabinosa, fructosa, galactosa, glucosa, sacarosa y rafinosa) (Parvatam, 2013). Los carbohidratos de bajo peso molecular, como la sacarosa, glucosa y fructosa, contribuyen a la formación de ácidos y otros compuestos volátiles durante el tostado mediante las reacciones de Maillard (Rosa et al., 2016).

6.6.1.3 Proteínas

El perfil proteico del café cambia durante el tostado, se forman melanoidinas y compuestos volátiles (Montavon et al., 2003), péptidos y aminoácidos libres que constituyen hasta el 1.5% del café verde (Campos-Vega et al., 2015).

6.6.1.4 Lípidos

Los lípidos contribuyen a la formación de aroma durante el proceso de tostado debido a las reacciones de descomposición y auto-oxidación (Koskei et al., 2015). Estos compuestos se

encuentran principalmente en el endospermo de los granos de café verde y solo una pequeña cantidad se encuentra en la capa externa del grano (Esquivel y Jiménez, 2012).

6.6.1.5 Compuestos Nitrogenados

Los compuestos nitrogenados (aminoácidos libres, péptidos, alcaloides) contribuyen considerablemente al desarrollo del sabor y la calidad del café durante el tostado (Campos-Vega et al., 2015).

6.6.1.5.1 Cafeína

La cafeína es una metilxantina y es el principal ingrediente activo del café y contribuye al amargor de la bebida; su contenido varía según la variedad y cultivo (Burdan, 2015), puede alcanzar el 3% y 5% en *C. arabica* y *C. canephora*, respectivamente (Bicho et al., 2013).

Este alcaloide se sintetiza principalmente a través de tres pasos de metilación (S-adenosil-metionina-SAM) y un paso de nucleosidasa (eliminación de ribosa) catalizada por un gen específico que codifican enzimas. La cafeína se acumula rápidamente en los frutos del café y la síntesis disminuye notablemente antes de la etapa de madurez (Cheng et al., 2016).

Hoy en día, la cafeína es la droga de comportamiento activo más conocida y se consume principalmente a través del café. En los seres humanos, el consumo moderado se ha informado de una mayor disponibilidad de energía, estado de alerta y concentración, disminución de fatiga y aumento del rendimiento físico, sin embargo, el exceso de cafeína puede provocar efectos no deseados, como enfermedades cardiovasculares, depresión e incluso adicción (Wei y Tanokura, 2015).

6.6.1.5.2 Trigonelina

La trigonelina o ácido N-metilnicotínico, es un derivado de la piridina que contribuye al amargor de la bebida y, al igual que la cafeína, es precursor de compuestos volátiles en el café tostado como

furanos, alquilpiridinas y pirroles (Perrone et al., 2008). Parvatam et al. (2013) señalan que el contenido de trigonelina en los granos de café verde están dentro del rango de 0.88 a 1.77% en *C. arabica*, 0.75 a 1.24% en café *C. canephora*.

Durante el proceso de degradación de la trigonelina, genera una vitamina B (soluble en agua), es decir, ácido nicotínico, que está biodisponible en las bebidas de café en comparación con otras fuentes naturales de obtención. El consumo diario recomendado (CDR) de café es 3.5 tazas por día y representa un tercio del requerimiento mínimo de ácido nicotínico en la dieta para un adulto. Por lo tanto, el café es una fuente dietética importante de ácido nicotínico (Perrone et al., 2008). Autores como Farah, et al. (2006) reportan que el contenido de trigonelina está fuertemente correlacionado con la calidad, contribuye al sabor de la bebida.

6.6.1.6 Ácidos Clorogénicos

Los ácidos clorogénicos (CGA) son una familia de ésteres formados entre uno y más derivados de ácido fenólico y ácido quínico (Dawidowicz y Typek, 2011). Los tres subgrupos principales de CGA son: ácidos cafeoilquínicos (CQA), 5-CQA incluido, ácidos di-cafeoilquínicos (3-diCQA) y ácidos feruloilquínicos (FQA), los cuales representan aproximadamente 67%, 20% y 13% del total de CGA en *C. canephora* y 80%, 15% y 5% en *C. arabica*, respectivamente (Ky et al., 2001); el contenido de estos ácidos en los granos de café verde varía según la especie, clima, suelo y el grado de madurez (Narita y Inouye, 2015). En los granos de café se han hallado más de 40 ácidos clorogénicos, en especial ésteres del ácido quínico como CQA, di-CQA y FQA; el clorogénico o cafeoilquínico (CQA) es el más abundante en el café (Jaiswal y Kuhnert, 2010).

Los granos de café inmaduros contienen generalmente más di-CQA que los maduros y los granos sanos mayor cantidad de ácidos clorogénicos. El promedio del contenido de ácidos clorogénicos del café maduro *C. arabica* varía entre 5.24% a 7.61% y difiere de *C. canephora* que varía entre

7.45% y 10.59% (Sánchez, 2011). Solís (2005), sostiene que la cantidad de ácidos clorogénicos varía con el grado de maduración, la especie y otros factores asociados a la calidad del café, tal como la altura y la presencia o ausencia de sombra e inclusive se les relaciona con la resistencia a algunas enfermedades. Estos ácidos son precursores del sabor y de los pigmentos del café tostado. La composición bioquímica de los granos de café verdes es decisiva para la calidad sensorial mediante reacciones químicas generadas por el tostado.

6.6.1.7 Otros

Existen otros compuestos presentes, en menos cantidad, como fenólicos, tioles y minerales. Los compuestos fenólicos más importantes en el café son el ácido cafeoilquínico (CQA), el ácido feruloilquínico (FQA) y el ácido dicaffeoilquínico (diCQA) por su actividad antioxidante y diversas propiedades beneficiosas en la salud humana. Los tioles son compuestos responsables de notas distintivas de olor a café y tostado (Dulsat-Serra et al., 2016). La composición mineral de los granos de café verde está relacionada con la composición química del suelo, así como con factores ambientales (altitud, humedad, temperatura y sombreado) durante la formación de los frutos del café (De Carvalho Neto et al., 2017).

6.6.2 Composición Volátil

Se han determinado más de 900 componentes en café (Mendizabal et al., 2013); además, se detectan cientos de otras sustancias que se forman en las diversas reacciones, mediante el calor, durante el tostado (Smrke et al., 2015). Los compuestos volátiles comprenden: hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, pirazinas, pirroles, piridinas, compuestos de azufre, furanos, furanonas, fenoles, oxazoles, entre otros (Sunarharum et al., 2014); el grupo predominante son los furanos, los cuales tienen olores a caramelo, ya que resultan de la pirólisis de los azúcares (Batista y Chalfoun, 2014). El aroma del café está profundamente

relacionado con la composición química de los granos de café verde, debido a que sufren numerosas transformaciones durante el tostado, generando una extensa variedad de compuestos volátiles.

En el proceso de tostado, los lípidos son los menos afectados ya que son importantes en la retención del aroma y la estabilidad de la espuma; las proteínas, involucradas en las reacciones de Maillard con azúcares reductores, se asocian con la producción de melanoidinas y compuestos de sabor/aroma; por otro lado, la degradación de la sacarosa y polisacáridos aumenta el contenido de algunos ácidos orgánicos, lo que repercute en la calidad en taza, liberando el ácido cafeico y los derivados de fenol responsables de la astringencia y el amargor (Jaiswal, 2016), mientras que la cafeína permanece estable durante el tostado, lo que contribuye al amargor y cuerpo de la infusión (Farah, 2012; Sunarharum et al., 2014). Por lo tanto, los granos con un grado de tueste diferente pueden llevar a la elaboración de cafés con diferentes características sensoriales y aceptación por parte del consumidor (Monteiro et al., 2010).

6.7 Características Sensoriales

La evaluación sensorial del café permite encontrar y valorar todas las características que definen su calidad en taza, ya que es el resultado de una serie de procesos por los que pasa el grano y tiene ciertas características derivadas de un complejo número de componentes químicos; características intrínsecas como consecuencia del origen: especie y variedad, ubicación geográfica, clima y suelo, además de comprobar si dichas propiedades se mantuvieron inalterables o sufrieron cambios durante el manejo del cultivo, la recolección y/o procesamiento (ANACAFÉ, 2015).

La evaluación sensorial del café es realizada por personas entrenadas con métodos científicos para desarrollar su capacidad de degustación, llamadas “catadores”. En esta evaluación los catadores aprecian el café con los sentidos de olfato, gusto y sensaciones generales que produce la bebida en

la boca, asignando características descriptivas y valores cuantitativos a los atributos evaluados (Rosas et al., 2008). Dicha prueba utiliza descriptores cualitativos y cuantitativos, los cualitativos se encuentra el buqué, integrado por: fragancia, aroma, nariz y resabio; mientras que los cuantitativos se determinan mediante la intensidad del aroma, la acidez y el cuerpo de la bebida. A continuación, se describen brevemente algunos atributos sensoriales que se aprecian en esta evaluación (NMX-F-599-SCFI-2016, SCA, 2015).

- Fragancia. Es el olor del café molido cuando aún está seco.
- Aroma. Es el olor del café molido cuando se mezcla con agua caliente (infusión).
- Sabor. Son las primeras impresiones dadas por el aroma, acidez y resabio de la infusión. Es una impresión combinada de las sensaciones gustativas y aromas retronasales que van de la boca a la nariz.
- Resabio. Se refiere a la duración de los atributos positivos del sabor (gusto y aroma), que se quedan en el paladar después de que el café se expectora o se traga.
- Acidez. Es el sabor primario resultante de la disolución de ácidos orgánicos, y percibido en las regiones laterales de la lengua.
- Dulzura. Se refiere a una rica y agradable sensación de sabor, producida por una dulzura obvia y su percepción es el resultado de la presencia de ciertos carbohidratos.
- Cuerpo. Es la sensación táctil del líquido en la boca, especialmente cuando se percibe entre la lengua y el paladar superior.

Para Sunarharum et al. (2014), el sabor del café es extremadamente complejo y surge de numerosas influencias químicas, biológicas y físicas del cultivar; además, de la madurez de la cereza del café, lugar geográfico de cultivo, producción, el procesamiento post-cosecha, tostado y/o preparación de la bebida.

6.8 Factores que determinan la calidad del café

Ofrecer café de calidad se presenta no solo como una estrategia para vender a mayores precios, sino como un medio para posicionarse en los nuevos mercados y/o mantenerse en los actuales, dentro de un contexto de fuerte competencia entre diversos países productores de café (Santoyo et al., 2016).

6.8.1 Factores Climáticos

Los cafés producidos en regiones con un clima frío (más elevado) son más ácidos, tienen una mejor calidad de aroma y muestran menos defectos de sabor que los producidos en regiones más cálidas (menos elevadas). Por el contrario, los cafés cultivados en las condiciones de temperatura más altas tienen menor acidez, menor calidad aromática, así como la presencia de sabores desagradables verdes y terrosos (Bertrand et al., 2012).

6.8.2 Factores Ambientales

En nuestro país el café ha sido un cultivo que ofrece una gama importante de servicios ambientales como son: la captura de agua, la conservación del suelo, la captura de carbono, así como la conservación y protección de diversos grupos biológicos como son plantas, aves e insectos, principalmente (Anta, 2006).

La altitud es el factor más frecuente al que se le atribuyen efectos del origen del grano; el café cultivado en altitudes mayores se obtiene un mejor precio que el que se cultiva en zonas bajas (Bertrand et al., 2012). Las clasificaciones por calidad del café suave lavado están asociadas a la altitud sobre el nivel del mar al que este se produce, por ejemplo, Costa Rica, Honduras y México establecen sus clasificaciones con base a la altura del cultivo. Estas clasificaciones obedecen a que las variedades cultivadas a mayor altitud suelen desarrollar más acidez y aroma y, por lo tanto, su sabor es mejor y su valor más alto (Santoyo et al., 2016).

Por otro lado, la sombra también juega un papel importante en las características de los granos de café, debido a que favorece la producción de café de alta calidad, especialmente en condiciones donde las temperaturas son más altas que las óptimas. Autores como Läderach et al. (2011), indicaron que la sombra reduce el estrés por temperatura en el ambiente y alarga el período de maduración de los granos de café, además informaron que los puntajes de calidad del café aumentan con el nivel de sombreado.

6.8.3 Variedad y Genotipo

Los factores genéticos de la planta de café determinan características como el tamaño, forma, color y composición química de los granos; así como las características organolépticas de la bebida. En cuanto a especies, *C. canephora* presenta un contenido más alto de sólidos solubles y mayor rendimiento que la especie *C. arabica* después del proceso del tostado, por ello es ampliamente utilizada en la industria de los solubles, además también es utilizada en mezclas con arábica, con el objetivo de mejorar la competitividad del producto final en el mercado.

6.8.4 Manejo Pos-cosecha

El café se cultiva bajo diversos sistemas de producción; se pueden identificar cinco tipos: 1) Rústico, en el que el café se siembra bajo la sombra de los árboles originales de la región; 2) Policultivo tradicional, donde el grano se siembra bajo el bosque original, con otro tipo de cultivos de frutas y maderas; 3) Policultivo comercial, sistema en el que los árboles de la región son reemplazados por otras especies más útiles como sombra; 4) Sombra de una especie, donde se usan árboles de especies leguminosas, y; 5) Monocultivo sin sombra, sistema intensivo sin sombra que requiere de más insumos y fertilizantes (Rojas et al., 2012). El manejo de los granos de café después de la cosecha es un factor importante que tiene un impacto significativo en el aroma del café (Lee et al., 2015).

6.8.5 Tostado

Durante el proceso de tostado, además de los cambios físicos que ocurren, también se desarrollan una serie de transformaciones químicas en los granos de café, debido a la temperatura a la que son sometidos, dando lugar a la formación de compuestos volátiles de gran importancia para los atributos de la bebida. Algunos de los compuestos no volátiles presentes en café verde, tales como la cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos, lípidos, polisacáridos y proteínas, considerados como precursores de compuestos volátiles, contribuyen directamente al amargor, astringencia y dulzor de la bebida (Toledo et al., 2016).

6.9 Técnicas Analíticas Instrumentales

Se conocen diferentes técnicas analíticas, para distinguir rápidamente el café *Arabica* del *Canephora* (de acuerdo a sus perfiles químicos), como: Espectrometría de Absorción Atómica (AAS, por sus siglas en inglés), Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE), Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) y Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (UPLC) acoplada a Espectrometría de Masas (MS). Por lo general, estos métodos se basan en análisis cualitativos y cuantitativos de marcadores químicos, como cafeína, trigonelina y ácidos clorogénicos, ácidos grasos, azúcares y alcoholes y, aunque proporcionan resultados confiables, los pasos previos al tratamiento y las metodologías elaboradas son pieza clave para la obtención de un análisis verídico y útil.

VII. METODOLOGIA

7.1 Obtención y procesamiento de muestras

Utilizando la base de datos del INEGI (2017), se identificaron los municipios de las 13 regiones cafetaleras del estado de Chiapas. Se tomaron 10 muestras de 12 kg de café cereza por región, considerando los municipios con mayor producción.

Fueron procesadas *In situ* por la vía húmeda (se utilizó una despulpadora manual de disco (Promor, México) (Fig. 4).



Figura 4 Despulpadora manual de disco

Se dejó fermentar en una cubeta con capacidad de 20 L durante 24 horas, se lavó y secó a la luz del sol. Se obtuvieron de 1.5-2 kg de café pergamino con 11-12% de humedad.

Las muestras fueron trasladadas, en bolsas de papel, cubiertas por una bolsa de plástico completamente identificadas (Fig. 5), al laboratorio de Ciencia y Tecnología del Café del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba para su evaluación.



Figura 5 Almacenamiento de las muestras de café pergamino

7.2 Análisis Físico

Las características físicas de las muestras se determinaron utilizando los procedimientos descritos en las normas mexicanas NMX-F-191-SCFI-2013, NMX-F-194-SCFI-2016 y el manual de defectos de café arábica de la Specialty Coffee Association of America (SCA, 2013). Se tomaron 500 g de café pergamino, la cascarilla se eliminó en una morteadora (Fig. 6) de laboratorio (Promor, México).



Figura 6 Morteadora de Café Pergamino

7.2.1 Tamaño

Del café obtenido de la muestra descascarillada, se tomaron 350 g para determinar el tamaño del grano, para lo cual se utilizó un juego de zarandas con orificios circulares de 19/64 (Z19) a 15/64 (Z15) de pulgada y una charola de fondo (Z0) donde quedó el grano de tamaño menor o igual a 14/64 de pulgada (Fig. 7). Los granos retenidos en cada zaranda fueron pesados, formando los siguientes grupos de clasificación: grande (Z19-Z17), mediano (Z16 y Z15) y pequeño (\leq Z14).



Figura 7 Juego de Zarandas

7.2.2 Forma

Para determinar las formas se utilizaron 350 g, separando manualmente la planchuela, triángulos, elefantes y caracol; los resultados se expresaron en peso de cada grupo (Fig. 8).



Figura 8 Separación por forma de los granos de café verde

7.2.3 Defectos

Para la clasificación de defectos por tipo de imperfección: negro, agrio, brocado severo, negro parcial, agrio parcial y defectos totales, se utilizaron 350 g. Los defectos totales se retiraron de la muestra y el grano verde restante, posteriormente se utilizó para el análisis sensorial (Fig. 9).

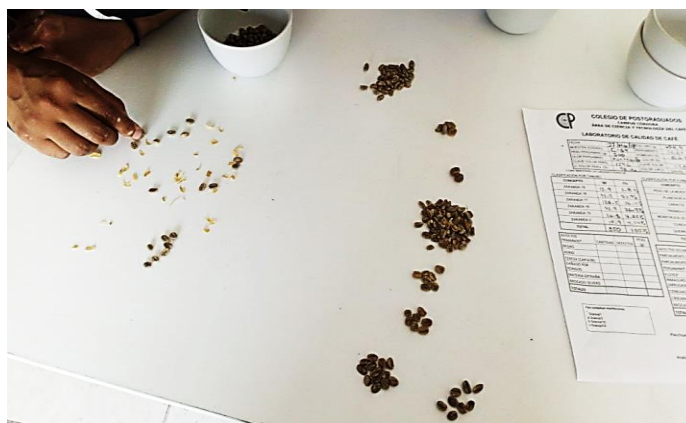


Figura 9 Separación por formas y defectos

7.3 Análisis Químico

La identificación y cuantificación de compuestos no volátiles: cafeína, trigonelina y ácido clorogénico (5-cafeoilquínico) en café verde, se realizó adaptando la metodología descrita por

Malta y Chagas (2009). Se utilizó un cromatógrafo de ultra alta resolución marca ACQUITY I CLASS acoplado a un espectrómetro de masas Xevo G2-XS QToF (WATERS, USA) (Fig. 10).



Figura 10 Cromatógrafo Líquido de Ultra-Alta Resolución (UPLC) acoplado a Espectrómetro de Masas (MS)

Se prepararon tres curvas de calibración ($r^2 = 0.999$), utilizando estándares y agua Tipo I con 18.2 Ω de resistividad Milli Q Reference, Merck, USA.

7.3.1 Preparación de la muestra

Se pesaron 5 g de café verde y se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, posteriormente se pulverizaron utilizando un molino de cuchillas marca KRUPS. Siguiendo la metodología de Malta y Chagas (2009), se pesaron 0.5 g de café verde molido y se vertieron en 50 mL de agua hirviendo ($96\text{ }^{\circ}\text{C}$)

por 3 minutos, el extracto se hizo pasar a través de papel filtro convencional (Whatman No. 1), se tomó una alícuota de 5 mL y se centrifugó por 10 minutos a 4500 rpm en una centrifuga Modelo DM0412S (Sciencie MED, USA), finalmente se pasó por un filtro de membrana de 0.22 μm .

7.3.2 UPLC-MS

El sistema de cromatografía estuvo integrado por una columna C18 (ACQUITY UPLC BEH, 1.7 μm , WATERS, USA) a 30°C, fase móvil: agua/ácido fórmico (eluyente A)/ACN (eluyente B) (89.9:0.1:10) a un flujo de 0.40 mL/min, volumen de inyección 5 μL , tiempo de corrida 2 minutos, aproximadamente. Las muestras se corrieron por triplicado. La fuente de ionización por electrospray (ESI) del espectrómetro de masas, fue operada en modo positivo para cafeína y trigonelina, mientras que para el 5-cafeoilquinico fue negativo.

7.4 Análisis Sensorial

La calidad sensorial de la bebida se evaluó por seis catadores especializados, siguiendo la metodología descrita por la SCA (2015) y la NMX-F-129-SCFI-2008, el análisis se dividió en dos etapas: tostado de las muestras de café verde y, valoración de las características sensoriales de café tostado y taza.

- El tostado de las muestras se realizó 24 horas antes de la catación. En un tostador marca PROMOR (Fig. 11), siguiendo el protocolo descrito en la NMX-F-129-SCFI-2008. Se pesaron 150 g de café verde, se tostaron a una temperatura de precalentamiento de 200°C y una temperatura promedio final de 180°C; el tiempo aproximado de tostado fue entre 8 y 12 minutos. Se obtuvo un tostado claro y se registraron: el aumento de volumen, pérdida de masa y tiempo de tostado.



Figura 11 Tostador de Café

- La valoración de las características sensoriales de la bebida inicio pesando 8.25 g de café tostado de cada muestra y se molieron en un molino Mahlkonig de 500 G/Bach (Honduras) (Fig. 12). Después de haber molido las muestras, se colocó una tapa en cada taza para evitar intercambio de olores con el ambiente o con otras muestras, en una mesa se colocaron cinco tazas de cada muestra, para evaluar uniformidad. Se agregaron 150 ml de agua en la taza a 92.2-94.4 °C. Se dejaron pasar de tres a cinco minutos y luego se limpió la taza de café (se removió la nata del café) con la parte posterior de una cuchara. Cada catador inhalaba suavemente para evaluar el aroma del café. Se esperaron ocho minutos aproximadamente, para que la temperatura disminuyera y así poder evaluar los atributos restantes. Para la evaluación se utilizó una escala de 1-10 (1 para el valor más bajo y 10 para el valor más

alto) y se procedió a calificar cada muestra posteriormente se obtuvo un puntaje total por muestra, sumando los puntajes de los 10 atributos evaluados.



Figura 12 Molino de Café Mahlkonig

7.5 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados en el software IBM SPSS Statistics 22, donde se realizó un análisis de correlaciones, análisis de componentes principales (PCA) y análisis de varianza, seguido de una comparación de medias por Tukey (0.05).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Análisis Físico

La forma del grano de café producido en la mayoría de las regiones cafetaleras del estado no difiere significativamente (Cuadro 1). Las regiones que presentan mayor cantidad de planchuela son Mapastepec y Ocozocoautla. Santoyo et al. (2016) mencionan que esta es la forma característica del grano de café, sin embargo, se pueden presentar algunas deformaciones o anomalías que son de tipo genético y ambiental (Puerta-Quintero, 2016), estos granos son llamados “caracoles, triángulos, vanos y elefantes (monstruos) y considerados defectos a nivel comercial.

Cuadro 1. Formas (%) del grano verde de las regiones cafetaleras del estado de Chiapas

| Región | Planchuela* | Triángulos* | Elefantes* | Caracol* |
|---------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| A. A. Corzo | 87.47±6.3 ab | 2.54±1.5 bc | 0.22±0.4 ab | 8.47±6.3 ab |
| Bochil | 89.34±4.9 a | 4.54±4.6 ab | 0.51±0.7 ab | 6.98±5.4 b |
| Comitán | 84.86±4.4 b | 4.13±1.8 b | 0.66±0.8 ab | 9.15±4 ab |
| Copainalá | 89.03±5.8 ab | 2.54±1.7 bc | 0.62±0.8 ab | 6.46±3.5 b |
| Mapastepec | 90.86±3.2 a | 2.52±0.7 bc | 0.33±0.4 ab | 6.04±3 b |
| Motozintla | 88.51±3.4 ab | 2.59±1 bc | 0.4±0.6 ab | 7.66±2.8 ab |
| Ocosingo | 86.64±6.6 ab | 3.73±2.3 b | 0.9±1.7 a | 7.28±4.9 b |
| Ocozocoautla | 90.59±1.7 a | 1.53±0.7 c | 0.19±0.2 ab | 7.42±1.6 ab |
| Palenque | 86.02±2.7 ab | 4.7±3.4 ab | 1.08±1.4 a | 13.07±10.6 a |
| Pichucalco | 86±4.7 ab | 3.61±1.6 bc | 0.24±0.3 ab | 9.73±5.7 ab |
| S. C. de las Casas | 85.05±7.4 b | 4.36±3 b | 0.8±1 ab | 12.59±10.6 a |
| Tapachula | 88.44±6.2 ab | 3.24±1.5 bc | 0.08±0.3 ab | 6.82±7.2 b |
| Yajalón | 85.05±5.7 b | 6±3.1 a | 0.62±0.7 ab | 10.11±6.7 ab |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En tamaños del grano, la región con mayor cantidad de grano pequeño fue Pichucalco, con más de 20 % de grano en la zaranda Z14 o menor, contrario a Comitán en donde se encontró la mayor

cantidad de café grande por arriba de la zaranda 17. Algunos autores reportan que estas diferencias están relacionadas con factores medioambientales como la altitud (Scholz et al., 2018).

Cuadro 2. Tamaño del grano (%) de café del estado de Chiapas por región

| Región | Pequeño* | Mediano* | Grande* |
|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| A. A. Corzo | 12.26±10 abc | 45.73±16.4 ab | 42.02±22.7 bc |
| Bochil | 9.33±6.6 bc | 51.19±13 ab | 39.48±17.1 bc |
| Comitán | 8.17±4.6 c | 33.39±13.5 c | 58.44±17.3 a |
| Copainalá | 11.4±1.4 abc | 52.19±14.4 ab | 36.41±13.7 c |
| Mapastepec | 11.7±3.3 abc | 56.59±7.7 a | 31.7±9 c |
| Motozintla | 8.26±4.8 c | 39.16±13.9 bc | 52.58±17.6 ab |
| Ocosingo | 12.25±9 abc | 46.16±15.4 ab | 41.58±21.5 bc |
| Ocozacoautla | 15.98±10.3 a | 51.21±9.3 ab | 32.81±18.5 c |
| Palenque | 10.19±6.8 abc | 38.03±21.5 bc | 51.78±27.8 abc |
| Pichucalco | 13.01±4.8 abc | 59.76±10 a | 27.23±12.8 c |
| S. C. de las Casas | 13.38±9.5 ab | 48.24±18.8 ab | 38.37±23.4 c |
| Tapachula | 13.27±9.7 abc | 48.66±12.7 ab | 38.07±10.8 c |
| Yajalón | 12.77±7.6 abc | 44.35±11.9 ab | 42.89±18.3 bc |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

*Grande (Z19, Z18 y Z17), Mediano (Z16 y Z15) y Pequeño (\leq Z14).

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de la región sobre el número de defectos (negro, agrio, dañado por hongo, brocado severo, negro parcial, agrio parcial y el total de defectos).

Cuadro 3. Defectos (No.) de café de Chiapas por región

| Región | Negro* | Agrio* | Brocado severo* | Negro parcial* | Agrio parcial* | Defectos totales* |
|--------------------|---------------|---------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| A. A. Corzo | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.09±0.28 a | 1.09±1.25 a | 23.18±13.07 ab |
| Bochil | 0.14±0.35 a | 0.00±0.00 a | 0.14±0.35 a | 0.00±0.00 a | 1.10±1.22 a | 11.48±9.52 a |
| Comitán | 0.13±0.40 a | 0.05±0.22 a | 0.03±0.16 a | 0.36±2.08 a | 1.67±2.53 a | 37.03±21.81 ab |
| Copainalá | 18.67±23.02 b | 6.67±10.55 c | 0.11±0.33 a | 13.22±14.92 b | 9.89±7.59 b | 180.22±106.55 c |

| | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Mapastepec | 0.33±0.81 a | 0.13±0.35 a | 0.00±0.00 a | 0.07±0.25 a | 0.47±0.74 a | 21.07±13.45 ab |
| Motozintla | 0.13±0.40 a | 0.18±0.68 a | 0.09±0.28 a | 0.27±0.78 a | 2.29±3.69 a | 30.33±25.63 ab |
| Ocosingo | 0.12±0.42 a | 0.26±0.79 a | 0.20±0.89 a | 0.40±1.88 a | 1.47±2.68 a | 20.23±28.12 ab |
| Ocozocoautla | 0.00±0.00 a | 0.04±0.19 a | 0.00±0.00 a | 0.81±1.44 a | 1.11±1.39 a | 10.44±5.54 a |
| Palenque | 0.44±0.52 a | 2.00±3.20 b | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 8.33±11.31 b | 44.89±49.81 b |
| Pichucalco | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.41±0.97 a | 1.26±2.03 a | 34.59±27.45 ab |
| S. C. de las Casas | 0.06±0.23 a | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 1.00±1.13 a | 21.17±13.15 ab |
| Tapachula | 0.00±0.00 a | 0.00±0.00 a | 0.22±0.73 a | 1.39±3.23 a | 1.00±1.32 a | 29.44±15.36 ab |
| Yajalón | 0.30±0.70 a | 0.20±0.61 a | 0.13±0.34 a | 0.67±1.47 a | 0.93±1.23 a | 25.43±14.86 ab |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

8.2 Análisis Químico

Los tiempos de retención para cafeína, trigonelina y 5-cafeoilquinico fueron: 1.08, 0.33 y 1.0 minutos respectivamente, para las muestras coincidiendo con los tiempos establecidos en las curvas de calibración de los estándares. Los resultados obtenidos de cada una de las regiones con respecto a cada compuesto se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Efecto de la región en el contenido de compuestos no volátiles en café verde

| Región | Cafeína* | Trigonelina* | 5-cafeoilquinico (5-CQA)* |
|---------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| A. A. Corzo | 1.14±0.4 c | 0.94±0.2 e | 3.87±1 cd |
| Bochil | 1.65±0.4 ab | 1.19±0.3 abcd | 4.33±0.6 abc |
| Comitán | 1.35±0.5 bc | 1.12±0.3 cde | 4.88±1.2 ab |
| Copainalá | 1.98±0.2 a | 1.47±0.1 a | 5.68±0.4 a |
| Mapastepec | 1.9±0.2 a | 1.2±0.2 abcd | 3.82±0.7 cd |
| Motozintla | 1.87±0.4 a | 1.04±0.2 de | 3.46±0.8 d |
| Ocosingo | 1.71±0.6 ab | 1.26±0.2 abc | 4.14±1.3 c |
| Ocozocoautla | 1.81±0.4 a | 1.14±0.1 bcde | 4.29±0.9 bc |

| | | | |
|---------------------------|-------------|----------------|-------------|
| Palenque | 1.78±0.4 ab | 1.15±0.4 abcde | 3.91±1.3 cd |
| Pichucalco | 1.76±0.2 ab | 0.99±0.1 de | 3.66±0.7 cd |
| S. C. de las Casas | 1.64±0.4 ab | 1.3±0.3 ab | 3.84±1.3 cd |
| Tapachula | 1.98±0.5 a | 1.2±0.3 abcd | 4.12±1.2 cd |
| Yajalón | 1.65±0.4 ab | 1.04±0.3 de | 3.2±1.2 d |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En las muestras de Chiapas, el contenido de cafeína fue más alto que el promedio normal, (0.8-1.3%) reportado en *C. arabica*, con un porcentaje promedio de 1.65±0.5, mostrando diferencias significativas entre regiones. El contenido promedio de trigonelina en las muestras analizadas (1.16±0.3) estuvieron dentro del rango informado por Parvatam et al. (2013) para *C. arabica*.

Finalmente, la concentración de ácido clorogénico (5-CQA) se mantuvo en el rango de 3-5%, con un contenido promedio de (4.0±1.2), dicho valor está dentro del rango reportado por Cheng et al. (2016). La concentración más alta se encontró en Copainalá con 5.68±0.4, por el contrario, la cantidad más baja se obtuvo en la región de Yajalón con 3.2±1.2. Esta variación está influenciada por las condiciones ambientales de cada región (Tolessa et al., 2017), a mayor altitud menor concentración de ácido clorogénico (Worku et al., 2018).

8.3 Análisis Sensorial

Los atributos sensoriales de la bebida de café en taza obtenidos de las muestras de Chiapas se muestran en el Cuadro 5. La región de Yajalón, que se encuentra entre 800-900 msnm, obtuvo los puntajes más bajos en al menos 6 de los 8 atributos evaluados, mientras que Pichucalco alcanzó los puntajes más altos en aroma, sabor, sabor residual y balance 8.4±0.3, 8.31±0.5, 8.13±0.5 y 8.33±0.2, respectivamente. Farah (2012), señala que el sabor del café de alta calidad puede variar considerablemente entre muestras de la misma especie y variedad cultivadas en diferentes zonas, porque los compuestos químicos pueden producir cambios considerables en los atributos

sensoriales de la bebida, mientras Liu et al. (2019) reportan que el aroma del café está directamente relacionado con la composición química de los granos de café verde.

Cuadro 5. Características sensoriales de la bebida de café de Chiapas por región

| Región | Aroma* | Sabor* | Sabor Residual* | Acidez* | Cuerpo* | Balance* | Dulzor* | Apreciación Global* |
|---------------------------|------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|---------------------|
| A. A. Corzo | 8.17±0.3ab | 8.05±0.5a | 7.83±0.5ab | 6.7±1.9 bc | 8.14±0.3 a | 7.82±0.6 a | 6.89±1.69abc | 7.99±0.6 a |
| Bochil | 8.31±0.5a | 8.22±0.5a | 8.08±0.5a | 7.4±1.3 ab | 8.29±0.5 a | 8.02±0.5 a | 7.79±0.99c | 8.2±0.6 a |
| Comitán | 8.04±0.3ab | 8.05±0.4a | 7.75±0.4ab | 7.7±0.8 a | 8±0.3 ab | 7.86±0.4 a | 7.63±0.73bc | 8.02±0.4 a |
| Copainalá | 8.19±0.1ab | 7.81±0.3ab | 7.53±0.4bc | 6.53±0.8 bc | 8±0.2 ab | 7.56±0.4 ab | 6.67±1.11abc | 7.81±0.3 ab |
| Mapastepec | 8.18±0.2ab | 8±0.3ab | 7.74±0.4abc | 6.4±2.1 bc | 8.13±0.2 ab | 7.68±0.5 ab | 6.89±1.41abc | 7.9±0.4 ab |
| Motozintla | 8.22±0.3a | 8.16±0.3a | 7.88±0.4ab | 7.7±0.6 a | 8.07±0.3 ab | 7.89±0.4 a | 7.38±1.0bc | 8.05±0.4 a |
| Ocosingo | 8.11±0.3ab | 8.04±0.3a | 7.75±0.3ab | 7.1±1 ab | 8.02±0.3 ab | 7.74±0.4 a | 7.36±0.82bc | 7.93±0.4 a |
| Ocozacoautla | 8.32±0.3a | 8.15±0.3a | 7.88±0.3ab | 7.06±1.6 ab | 8.17±0.3 a | 7.78±0.4 a | 6.97±1.57bc | 7.97±0.5 a |
| Palenque | 7.92±0.4b | 8±0.4ab | 7.69±0.4abc | 7.64±0.6 ab | 7.89±0.3 b | 7.73±0.4 ab | 7.08±1.78bc | 7.91±0.6 ab |
| Pichucalco | 8.4±0.3a | 8.31±0.5a | 8.13±0.5a | 6.96±1.8 abc | 8.33±0.2 a | 7.96±0.5 a | 7.58±1.20bc | 8.17±0.5 a |
| S. C. de las Casas | 8.07±0.5ab | 8.03±0.5a | 7.79±0.5ab | 7.2±1.3 ab | 7.93±0.4 b | 7.72±0.5 ab | 6.56±1.88ab | 7.92±0.5 a |
| Tapachula | 8.01±0.3ab | 8±0.3ab | 7.63±0.3abc | 6.61±1.3 bc | 7.91±0.3 b | 7.67±0.3 ab | 7.11±1.15bc | 7.82±0.4 ab |
| Yajalón | 7.94±0.3b | 7.69±0.4b | 7.37±0.3c | 5.88±1.9 c | 7.84±0.3 b | 7.37±0.4 b | 5.74±1.44a | 7.47±0.5 b |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El café de Chiapas se puede considerar como de especialidad, ya que 11 de las 13 regiones cafetaleras del estado de Chiapas producen cafés con 80 puntos o más en la escala de la SCA, sobresaliendo en puntaje promedio Bochil (84.6 ± 3.9), que presenta diferencias significativas con Copainalá (79.92 ± 2.9), Tapachula (80.62 ± 3.3) y Yajalón (78.15 ± 5). Puerta-Quintero (2016) reporta que la calidad de la bebida de café está influenciada por las características físicas del grano, humedad y los defectos. Esto es una evidencia más de que el puntaje total no depende de un solo factor, como la altitud, en concordancia con la conclusión de Silva et al. (2016).

Cuadro 6. Efecto de la región sobre el puntaje total del café de Chiapas

| Región | Puntaje Total |
|---------------------------|----------------------|
| A. A. Corzo | 81.62±5.9 ab |
| Bochil | 84.6±3.9 a |
| Comitán | 83.06±2.9 ab |
| Copainalá | 79.92±2.9 bc |
| Mapastepec | 80.94±4.5 abc |
| Motozintla | 83.45±2.6 ab |
| Ocosingo | 81.99±3.1 ab |
| Ocozocoautla | 82.13±4.2 ab |
| Palenque | 82.92±1.9 ab |
| Pichucalco | 83.6±5.6 ab |
| S. C. de las Casas | 82.55±4.4 ab |
| Tapachula | 80.62±3.3 bc |
| Yajalón | 78.15±5 c |

*Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

8.4 Correlación Físico-Sensorial

Se analizaron las correlaciones entre las variables físicas del grano de café verde con los atributos sensoriales del café en taza, los resultados se observan en el Cuadro 7. Se encontró una correlación positiva (0.127) entre la forma de grano caracol con el aroma, también hubo relación de los

tamaños grande y mediano con la acidez. Se encontró relación entre sabor y los granos planchuela, caracol y agrio. Finalmente, el puntaje total estuvo correlacionado con la planchuela, ya que este grano es considerado el de mejores características para las preparaciones europea y americana, según la NMX-F-158-SCFI-2008. Farah (2012), afirma que los granos defectuosos (inmaduros, negros, negros inmaduros o dañado por hongo) son considerados los más influyentes para la calidad de la taza.

Cuadro 7. Correlación entre las características físicas y sensoriales

| | Aroma | Sabor | Sabor residual | Cuerpo | Acidez | Puntaje total |
|-------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|----------------------|
| Planchuela | -.047 | -.120* | -.061 | .007 | -.100* | -.104* |
| Caracol | .127** | .110* | .059 | -.011 | .065 | .085 |
| Negro | -.011 | -.001 | .002 | -.020 | .031 | .020 |
| Agrio/vinagre | -.013 | -.104* | -.059 | -.026 | -.050 | -.078 |
| Defectos totales (no.) | -.052 | -.042 | -.007 | -.068 | .015 | -.013 |
| Tamaño grande | -.101* | -.030 | .002 | .042 | .186** | .089 |
| Tamaño mediano | .094 | .007 | .012 | -.038 | -.183** | -.084 |
| Tamaño pequeño | .061 | .061 | -.026 | -.038 | -.123* | -.065 |

** . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas)

* . La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

8.5 Correlación Químico-Sensorial

También se efectuó el análisis de correlación entre las variables químicas y los atributos sensoriales (Cuadro 8). Los resultados muestran una mayor correlación del sabor y sabor residual con la cafeína y el 5-CQA en los granos de café verde, además del puntaje total con la cafeína y la trigonelina.

Cuadro 8. Correlación entre los compuestos no volátiles y los atributos sensoriales

| | Aroma | Sabor | Sabor residual | Acidez | Cuerpo | Puntaje total |
|---------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|----------------------|
| Cafeína | -0.091 | -0.121** | -0.135** | -0.139** | -0.091 | -0.172** |
| Trigonelina | -0.071 | -0.024 | -0.071 | -0.059 | -0.082 | -0.147** |
| 5-cafeoilquínico (5-CQA) | .089 | .138** | .140** | .080 | .081 | .109* |

** . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

Farah (2012) señala que el sabor del café de alta calidad puede variar considerablemente entre muestras de la misma especie y variedad cultivadas en diferentes zonas. El clima y la composición del suelo (incluida la microbiota) son relevantes porque los compuestos químicos pueden producir cambios considerables en los atributos sensoriales de la bebida. Otros autores como Liu et al. (2019), reportan que el aroma del café está directamente relacionado con la composición química de los granos de café verde.

IX. CONCLUSIÓN

Las trece regiones cafetaleras del estado de Chiapas presentaron diferencias entre ellas en las variables físicas y químicas del grano de café; así como en los atributos sensoriales de la bebida. La forma, tamaño y defectos del grano de café vario entre regiones, Mapastepec y Ocozocoautla tuvieron mayor cantidad de grano planchuela, que es considerado por expertos como el grano de mejor calidad. Las regiones de Ocozocoautla y Bochil tuvieron el menor número de defectos totales; y en la región de Comitán se encontró la mayor cantidad de grano grande. Mediante UPLC-MS se logró la cuantificación de cafeína, trigonelina y ACG. Las mayores concentraciones de ACG (5-cafeoilquinico) fueron en la región de Copainalá; asimismo, la región de Tapachula obtuvo el mayor contenido de cafeína; y el contenido más alto de trigonelina se presentó en la región de Copainalá. La calidad sensorial de la bebida varió entre regiones. Once de las trece regiones productoras tuvieron un promedio de más de 80 puntos, destacando las regiones de Bochil y Pichucalco con un puntaje total de 84.6 y 83.6, respectivamente. Dentro de las variables físicas, el grano planchuela estuvo correlacionado con el puntaje total. Además, se encontró correlación entre el contenido de ACG con la acidez, sabor y sabor residual; mientras que, la cafeína se correlacionó con el sabor y sabor residual. Por su parte, la trigonelina tuvo relación con el puntaje total en taza de la bebida.

X. LITERATURA CITADA

- Anta, S. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, 80, 19–31.
- Ashihara, H. (2015). Plant Biochemistry. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 19-28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00003-6>.
- Barbosa, J. N., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., & Alves, H. M. R. (2012). Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 4(5). <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>.
- Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food Chemistry*, 135(4), 2575-2583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>.
- Bicho, N. C., Leitão, A. E., Ramalho, J. C., de Alvarenga, N. B., & Lidon, F. C. (2013). Impact of roasting time on the sensory profile of Arabica and Robusta coffee. *Ecology of Food and Nutrition*, 52(2), 163–177, <http://dx.doi.org/10.1080/03670244.2012.706061>.
- Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A., & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(1–3), 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.004>.
- Burdan, F. (2015). Caffeine in Coffee. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 201-207). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00022-X>.
- Campos, R., Loarca-Piña, G., Vergara, H.A., Oomah, B.D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* 45, 24–36. doi:10.1016/j.tifs.2015.04.012.
- CENICAFE. (2011). COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA TAZA DE CAFÉ. Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica. Fondo Nacional del Café. ISSN - 0120 – 0178. Colombia.
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science and Technology*, 57(Part A): 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003> 257.
- Dawidowicz, A. L., & Typek, R. (2011). The influence of pH on the thermal stability of 5-O-caffeoylquinic acids in aqueous solutions. *European Food Research and Technology*, 233(2): 223-232. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00217-011-1513-x> 260.

- Dulsat-Serra, N., Quintanilla-Casas, B., & Vichi, S. (2016). Volatile thiols in coffee: A review on their formation, degradation, assessment and influence on coffee sensory quality. *Food Research International*, 89, 982-988. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.008>.
- Escamilla, E., Ruiz, O., Díaz, P., Landeros, C., Platas, R., Zamarripa, C., González, H. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica) 76, 5–16.
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373–380.
- Farah. (2012). Coffee Constituents. In Yi-Fang Chu (Ed.), *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention* (First Edition). John Wiley & Sons.
- Farah, A., & Ferreira dos Santos, T. (2015). The Coffee Plant and Beans. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 5-10). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>.
- González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Winkler, R., & Ramírez, A. K. (2018). *Caracterización química en grano verde y tostado de una nueva variedad de coffea arabica l. Cosechado en 2016 en Huatusco, Veracruz—México*. 12.
- Guambi, L. A. D. (2017). *Calidad Organoléptica de Cafés Arábigos en Relación a las Variedades y Altitudes de las Zonas de Cultivo, Ecuador*. 18, 12.
- Hagos, M., Redi-Abshiro, M., S. Chandravanshi, B., Ele, E., M. Mohammed, A., & Mamo, H. (2018). Correlation between caffeine contents of green coffee beans and altitudes of the coffee plants grown in southwest Ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 32(1), 13. <https://doi.org/10.4314/bcse.v32i1.2>.
- Hamon, P., Hamon, S., Razafinarivo, N. J., Guyot, R., Siljak-Yakovlev, S., Couturon, E., Crouzillat, D., Rigoreau, M., Akaffou, S., Rakotomalala, J.-J., & de Kochko, A. (2015). Coffea Genome Organization and Evolution. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 29-37). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00004-8>.
- Herrera, J. C., & Lambot, C. (2017). The Coffee Tree — Genetic Diversity and Origin. In B. Folmer (Ed.), *The Craft and Science of Coffee* (pp. 1–16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00001-3>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Marco Geoestadístico. Fecha de Consulta: 07 de Mayo de 2019. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/chismpioscolor.pdf

- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grzeškowiak, A., y Grzeškowiak, T. (2015). Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. *European Food Research and Technology*, 240(1), 19-31. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2356-z>.
- Kleinwächter, M., G. Bytof & D. Selmar. (2015). Coffee Beans and Processing. *In: Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier, pp. 73-81.
- Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., Noirot, M., (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food chemistry* 75, 223–230.
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. *Food Chemistry*, 185, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>.
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 39(3), 297–304.
- Ludwig, I. A., Clifford, M. N., Lean, M. E. J., Ashihara, H., & Crozier, A. (2014). *Food & Function Accepted Manuscript*. 77.
- Luna González, A., Macías Lopez, A., Taboada Gaytán, O. R., & Morales Ramos, V. (2019). Cup quality attributes of Catimors as affected by size and shape of coffee bean (*Coffea arabica* L.). *International Journal of Food Properties*, 22(1), 758-767. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1603997>.
- Malta, M.R., Chagas, S.J.D.R., 2009. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Agronomy* 31. doi:10.4025/actasciagron.v31i1.6629.
- Mendizabal de Montenegro, A.L., Samayoa, C. & Roiz, C. (2013). Diferenciación del café de Guatemala por medio de la composición química del aroma. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 25, p.18.
- Murugan, K., & Al-Sohaibani, S. (2012). Coffee, Tea, and Cocoa. In M. Chandrasekaran (Ed.), *Valorization of Food Processing By-Products*. 455 -488. CRC Press. ISBN 9781439848852.
- Mussatto, S. I., & Teixeira, J. A. (2013). Coffee. In A. J. Teixeira; A. A. Vicente (Eds.), *Engineering Aspects of Food Biotechnology* (pp. 413–428). Boca Raton, Florida: CRC Press. Recuperado de <http://www.crcnetbase.com/doi/pdf/10.1201/b15426-19>.
- Narita, Y., & Inouye, K. (2015). Chlorogenic Acids from Coffee. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 189-199). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00021-8>.

- NMX-F-129-SCFI-2008. Norma Mexicana. Café verde - Preparación de las muestras para su uso en análisis sensorial.
- NMX-F-158-SCFI-2008. Norma Mexicana. Café Verde - Inspección Olfativa y Visual - Determinación de Defectos y Materia Extraña.
- NMX - F-162-SCFI-2008. Norma Mexicana. Café Verde - Tabla de Referencia de Defectos
- NOM-169-SCFI-2007. Norma Mexicana. Café Chiapas-Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-F-191-SCFI-2013. Norma Mexicana. Café verde o café crudo - Análisis de tamaño - Tamiz manual y por máquina.
- NMX-F-192-SCFI-2014. Norma Mexicana. Café Verde - Determinación del Contenido de Humedad - Método de Referencia Básico
- NMX-F-194-SCFI-2016. Norma Mexicana. Café verde - Inspección olfativa y visual - Determinación de defectos.
- NMX-F-597-SCFI-2016. Norma Mexicana. Café Verde – Especificaciones, Preparaciones y Evaluación Sensorial.
- Noguera, D., & Lucy, A. (2015). *Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (Coffea arabica) del occidente de Honduras*. 51.
- Perrone, D., Donangelo, C. M., Farah, A. (2008). Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography–mass spectrometry. *Food Chemistry*, 110(4): 1030-1035. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.012> 294.
- Puerta-Quintero, G. I. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. *Cenicafé*, 67(1):7-40.
- Ramos, M. F., Ribeiro, D. E., Cirillo, M. Â., & Borém, F. M. (2016). Discrimination of the sensory quality of the *Coffea arabica* L. (cv. Yellow Bourbon) produced in different altitudes using decision trees obtained by the CHAID method: Discrimination of the sensory quality of the *Coffea arabica* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(10), 3543-3551. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7539>.
- Rojas, S. A., Hartman, U. K. & Almonacid, M. R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo XVI* (30); 93-104.
- Rosas, A. J., Escamilla, P. E., & Ruiz, R. O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 375–384.

- Ruiz-Nájera, R. E., Medina-Meléndez, J. A., Gómez-Castañeda, J. C., Sánchez-Yáñez, J. M., Gómez-Alfaro, G., & Pinto-Molina, O. (2016). Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *CienciaUAT*, *10*(2), 33. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v10i2.550>.
- Sánchez, S., Escamilla, E., & Mendoza, M. (2018). Calidad del café en dos sistemas Agroforestales en el centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*, *11*(4), 80–86.
- Santoyo, C. V. H., Díaz, C. S., Escamilla, P. E. & Robledo, M. J. D. (2016). *Factores agronómicos y calidad del café* (3ª edición). Xalapa, Veracruz, México: Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café.
- Schwan, R., Silva, C. & Batista, L., (2012). Coffee Fermentation. In Y. H. Hui, E. Ö. Evranuz (Eds.), *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology* (Second Edition), pp. 677–690. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b12055-49>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Fecha de Consulta: 24 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Smrke, S., Kroslovakova, I., Gloess, A.N., Yeretizian, C. (2015). Differentiation of degrees of ripeness of Catuai and Tipica green coffee by chromatographical and statistical techniques. *Food Chemistry* *174*, 637–642. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.060.
- Specialty Coffee Association (SCA). (2009). Protocols. Grading Green Coffee. Fecha de Consulta: 18 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.scaa.org/PDF/resources/grading-green-coffee.pdf>
- Specialty Coffee Association (SCA). (2013). Manual de Defectos de Café Arábica. Fecha de Consulta: 23 de Septiembre de 2018. Disponible en: https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2019/09/SCA_The-Arabica-Green-Coffee-Defect-Guide_Spanish_updated.pdf
- Specialty Coffee Association (SCA). (2015). Protocols. Cupping Specialty Coffee. Fecha de Consulta: 27 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
- Suárez-Salazar, J. C., Rodríguez Burgos, E., & Duran Bautista, E. H. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*, *64*(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.44641>.
- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, *62*, 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>.

Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9): 2849-2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>.

Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Organic Compounds in Green Coffee Beans. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 149-162). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00017-6>.

Worku M., B. de Meulenaer., L. Duchateau and P. Boeckx. (2018). Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. *Food Research International*. 105:278-285.