

EFFECTO DE LOS CAMBIOS DEL PERICARPIO GENERADOS POR LOS GRADOS DE MADUREZ, EL ALMACENAMIENTO Y LA FERMENTACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ

VALENTINA OSORIO PÉREZ
Ingeniera de Alimentos

Tesis de investigación para optar al título de Doctora en Ingeniería

Directora CRISTINA INÉS ÁLVAREZ BARRETO
Ingeniera de Alimentos, Doctora en Ingeniería

Co-Director LUIS GERÓNIMO MATALLANA PERÉZ
Ingeniero Químico, Doctor en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DOCTORADO EN INGENIERÍA
MANIZALES COLOMBIA 2022



EFFECTO DE LOS CAMBIOS DEL PERICARPIO GENERADOS POR LOS GRADOS DE MADUREZ, EL ALMACENAMIENTO Y LA FERMENTACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA CALIDAD SENSORIAL DEL CAFÉ

VALENTINA OSORIO PÉREZ
Ingeniera de Alimentos

Directora CRISTINA INÉS ÁLVAREZ BARRETO
Ingeniera de Alimentos, Doctora en Ingeniería

Co-Director LUIS GERÓNIMO MATALLANA PERÉZ
Ingeniero Químico, Doctor en Ingeniería Química

EVALUADORES-ASESORES

Doctor MARIO FERNÁNDEZ ALDUENDA
Technical Director at Specialty Coffee Association

Doctor JOSÉ RICARDO ACUÑA ZORNOSA
Líder Disciplina Fisiología Vegetal - Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé

UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DOCTORADO EN INGENIERÍA
MANIZALES COLOMBIA 2022



AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su amor, paciencia y entusiasmo durante el proceso.

A los caficultores colombianos, por ser la razón de la investigación.

A la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Dr. Hernando Duque Orrego y Dr. Álvaro Gaitán León, por la oportunidad de continuar con mi crecimiento profesional.

A la disciplina de calidad de Cenicafé, a mis compañeros por su apoyo y compromiso con la investigación.

A las disciplinas de biometría, experimentación, poscosecha y a la unidad administrativa y financiera de Cenicafé por disponer sus recursos para el logro de los objetivos.

Al Doctorado de Ingeniería de la Universidad de Caldas, Dr. Óscar Julián Sánchez Toro, y a los directores de tesis Dra. Cristina Inés Álvarez Barreto y Dr. Luis Gerónimo Matallana Pérez, por su acompañamiento.

A los asesores de la tesis Dr. José Ricardo Acuña Zornosa y Dr. Mario Roberto Fernández Alduenda, por compartir sus conocimientos y experiencia.

Al Dr. Gabriel Keith Harris y al Dr. Andrés Giraldo Toro por favorecer el desarrollo de nuevas experiencias académicas.

RESUMEN

El proceso de poscosecha del café se inicia con la selección del estado óptimo de madurez del fruto, y finaliza con el secado de la semilla, donde cada etapa tiene efecto sobre las características intrínsecas del grano. En Colombia, tradicionalmente la poscosecha para obtener granos de café a partir de los frutos maduros se realiza en las fincas a través del método húmedo, dando lugar a los cafés conocidos como lavados, el cual involucra una rápida eliminación de la cáscara y del mucílago del café (exocarpio y mesocarpio), como también un lavado con agua antes de secar el grano. Aunque este método contempla un mayor número de etapas, implica un menor tiempo de proceso y riesgo en la generación de defectos sensoriales. Esta investigación analizó cómo el exocarpio y el mesocarpio durante la etapa de madurez, almacenamiento del fruto y la fermentación prolongada, interactúan con el grano modificando su composición química y su calidad sensorial.

Para lograr lo anterior, se definieron tres etapas en la investigación. En la primera etapa se realizó una evaluación de las características químicas y sensoriales del café en tres diferentes estados de madurez del fruto. En la segunda, se determinó el efecto del almacenamiento (reserva) en estos frutos con distintos grados de madurez sobre la composición química y la calidad sensorial del grano. En esta etapa se evaluaron cuatro tratamientos compuestos por dos temperaturas y dos tiempos de reserva antes del procesamiento del café por vía húmeda. En la tercera etapa se estableció la influencia de dos variables del proceso de fermentación prolongada sobre diferentes compuestos químicos, atributos sensoriales del fruto maduro y en la transferencia de masa al interior del grano. El café despulpado fue sometido a cuatro tratamientos, dos tiempos de prolongación y dos temperaturas externas; durante el proceso se monitorearon los comportamientos de los principales ácidos orgánicos y azúcares generados por la degradación del mesocarpio a través del tiempo y los cambios al interior del grano.

En la primera etapa, los grados de madurez evaluados (EM1, EM2 y EM3), no presentaron diferencias en los ácidos orgánicos, ácidos grasos libres, lípidos, ácidos clorogénicos totales, proteína cruda, alcaloides y sacarosa. De los azúcares evaluados, la fructosa y glucosa presentaron diferencias con mayores valores asociados a estados de madurez más avanzados. El análisis de varianza no presentó efecto significativo en los atributos sensoriales ni en la calidad sensorial expresada como puntaje total SCA (Specialty Coffee Association). La coordenada cromática a^* de la escala CIEL*a*b*, alcanzó un valor máximo de 25,16 en el estado de madurez EM1 y los estados evaluados son diferentes entre ellos.

En la segunda etapa, asociada a la reserva del fruto previo a su procesamiento, el estado de madurez EM1 presentó efecto en los ácidos málico y quínico por la interacción de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, mientras que el EM3 en la glucosa y la fructosa. El estado de madurez EM2 presentó efecto

del tiempo de almacenamiento en los mismos compuestos de los estados EM1 y EM3, además en el contenido de pasilla y sacarosa. Bajo las condiciones evaluadas, la reserva del fruto no presentó efecto en la calidad sensorial.

En las fermentaciones prolongadas del mucílago del café, se evidenció el efecto del tiempo de prolongación para los ácidos oxálico, quínico, cítrico, glucosa y fructosa en los grados de madurez EM1 y EM2. La interacción de las condiciones del proceso aumentó el contenido de fructosa y glucosa en uno de los estados, siendo más evidente a 20°C. Los tratamientos asociados al estado de madurez más avanzado (EM3) y con mayor temperatura disminuyen los puntajes de cinco atributos sensoriales.

ABSTRACT

The coffee post-harvest process begins with the selection of the optimum state of maturity of the fruit, and ends with drying, each one of these processes has an effect on the characteristics of the bean. In Colombia, traditionally the post-harvest to produce coffee beans from ripe fruits is obtained in the farms through the wet method, giving rise to coffees known as washed, which involves a rapid elimination of the skin and the mucilage of the coffee (exocarp and mesocarp), as it also involves a washing with water before drying the bean. This method contemplates a greater number of stages, but implies reduced processing time and lower risk in the generation of sensory defects. This research analyzed how the exocarp and mesocarp during the maturity stage and their interaction with the bean during later stages, fruit storage and prolonged fermentation, modify its chemical composition and sensory quality.

To comply the objective, three phases were defined in the research. In the first phase an evaluation of the chemical and sensory characteristics of coffee at three different stages of maturity of the fruit was carried out. In the second phase, the effect of storage (reserve) on the chemical composition and sensory quality of the bean was determined for these fruits at different degrees of maturity. In this stage, four treatments composed of two temperatures and two reserve times were evaluated prior to wet processing of the coffee. In the third phase, the influence of two variables of the prolonged fermentation process on different chemical compounds, sensory attributes of the ripe fruit, and on the transfer of mass to the interior of the bean was established. The depulped coffee was subjected to four treatments, two prolongation times and two external temperatures. During the process the behavior of the main organic acids and sugars generated by the degradation of the mesocarp over time and the changes inside the bean were monitored.

The maturity grades evaluated (EM1, EM2 and EM3), in the first stage, showed no differences in organic acids, free fatty acids, lipids, total chlorogenic acids, crude protein, alkaloids and sucrose. Of the sugars evaluated, fructose and glucose showed differences with higher values associated with more advanced stages of maturity. The analysis of variance showed no significant effect on sensory attributes or sensory quality expressed as total SCA (Specialty Coffee Association) score. The chromatic coordinate a^* of the CIEL^{*} a^*b^* scale reached a maximum value of 25.16 at maturity stage EM1 and the stages evaluated are different from each other.

In the second stage associated with fruit storage prior to processing, maturity stage EM1 had an effect on malic and quinic acids due to the interaction of temperature and time of storage. The maturity stage EM2 showed an effect of storage time on the same compounds of stages EM1 and EM3, as well as on physical defects and sucrose content. Fruit storage under the conditions evaluated had no effect on sensory quality.

In the prolonged fermentations of coffee mucilage, the effect of the prolongation time was evidenced for oxalic, quinic, citric, glucose and fructose acids at maturity stages EM1 and EM2. The interaction of process conditions

increased fructose and glucose content at one of the stages, being more evident at 20°C. Treatments associated with the most advanced maturity stage (EM3) and with higher temperature decreased the scores of five sensory attributes.

CONTENIDO

Agradecimientos.....	3
Resumen	4
Lista de tablas.....	111
1. Introducción.....	122
1.2. Campo temático.....	144
1.3. Planteamiento del problema	155
1.4. Justificación.....	177
1.5. Objetivos	188
Objetivo general	188
Objetivos específicos.....	188
1.6. Estructura del documento.....	199
2. Revisión bibliográfica	222
2.1 Estructura del fruto.....	222
2.2 Grados de maduración del fruto	233
2.2.1 Mediciones de color del exocarpio del fruto	255
2.2.2 Cambios químicos del grano de café durante la maduración del fruto en el árbol.....	266
2.3 Beneficio del café y la calidad.....	288
2.3.1. Despulpado.....	300
2.3.2. Remoción del mucílago.....	300
2.3.3. Lavado del café	366
2.3.4. Secado	377
2.4 Calidad química y relación con la calidad sensorial de café	388
2.4.1. Carbohidratos	399
2.4.2. Componentes nitrogenados	400
2.4.3. Ácidos Clorogénicos	411
2.4.4. Lípidos.....	411
2.4.5. Ácidos Carboxílicos	422
2.5 Transferencia de masa.....	422

3.	Composición química y calidad sensorial de frutos de café con diferentes estados de madurez.....	¡Error! Marcador no definido.0
3.1.	Resumen.....	50
3.2.	Palabras clave.....	¡Error! Marcador no definido.0
3.3.	Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.0
4.	Impacto de las condiciones de reserva del fruto del café en la composición química y la calidad.....	544
4.1.	Resumen.....	54
4.2.	Palabras clave.....	54
4.3.	Introducción.....	54
5.	Effect of prolonged fermentations of coffee mucilage with different stages of maturity on the quality and chemical composition of the bean.....	58
3.1.	Abstract.....	58
3.2.	Keywords.....	58
3.3.	Introduction.....	58
6.	Cinética de formación de ácidos orgánicos y azúcares en las fermentaciones prolongadas del mucílago de café.....	62
6.1.	Resumen.....	62
6.3.	Palabras clave.....	62
6.4.	Introducción.....	62
7.	Conclusiones.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Partes del fruto de café.....	23
Figura 2-2. Desarrollo de los frutos de café.....	25

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Modelos de medición del color.....	26
Tabla 2-2. Promedios de los contenidos de ácidos clorogénicos en granos de <i>C. arabica</i> y <i>C. canephora</i> de frutos maduros.....	28
Tabla 2-3. Cultivos iniciadores utilizados en la fermentación del mucílago del café.....	35
Tabla 2-4. Rango de valores de los principales compuestos químicos en café verde.....	40

1. INTRODUCCIÓN

El café se cultiva en aproximadamente 72 países y su producción es una fuente importante de empleo en las zonas rurales. Según la Organización Internacional del Café (OIC, 2021), más de 125 millones de personas obtienen parte de sus ingresos del cultivo del café, puesto que, a diferencia de otros cultivos, éste es producido en su gran mayoría por pequeños caficultores (O. Ocampo y Álvarez, 2017; OIC, 2021). La producción mundial de café está constituida principalmente por dos especies: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. Para el año 2021 esta producción fue de 167,17 millones de sacos, lo que representa una disminución del 2,1% con respecto a los 170,83 millones de sacos del año 2020. El precio promedio mensual de los suaves colombianos en abril de 2022 fue de 292,64 centavos de dólar por libra, en contraste con los 199,02 centavos en mayo de 2021, lo que muestra un incremento del 47% (OIC, 2022). Aún bajo las actuales condiciones de precios favorables y la globalización, el productor continúa en la búsqueda de mercados diferenciados que le permitan acceder a primas adicionales sobre el precio internacional, mejorando la rentabilidad del negocio cafetero especialmente en momentos de mayores producciones mundiales (Echavarría et al., 2015; FNC, 2017; Ocampo & Álvarez, 2017).

La combinación de las características genéticas del grano y ambientales de la zona (clima y suelo) (DaMatta et al., 2008) y los factores humanos, permiten la máxima expresión de las cualidades intrínsecas del café, generando los elementos necesarios para lograr su posicionamiento en el mercado de calidad superior (FNC, 2017; OIC, 2021). La calidad del café se determina por el conjunto de características químicas, físicas y sensoriales que pueden motivar a un comprador a pagar un precio mayor por el producto (Coradi et al., 2015). Desde 2010, como parte del programa de microlotes de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), se han exportado más de 20.000 sacos de café de 60 kg con destino a 25 países, oferta concentrada en clientes que hacen parte del nicho de mercado más especializado y exigente en términos de calidad. Durante el 2018, la dinámica comercial de este canal de negocio entregó reliquidaciones directas a los productores que superan los \$1.327 millones. Y desde entonces, el programa ha reliquidado \$6.338 millones (Vélez, 2018). Dicha calidad, depende de numerosos factores entre los cuales se destacan los siguientes: la especie, variedad cultivada, las condiciones ambientales, las prácticas agronómicas en los cafetales, el método de beneficio empleado, las condiciones de almacenamiento del grano, el procesamiento industrial y la preparación de la bebida (Liu *et al.*, 2019).

Los granos de café o semillas están contenidos en los frutos, los cuales en su estado maduro reciben el nombre de cerezas (Arcila et al., 2007; Velásquez et al., 2019). Estas cerezas por su alto contenido de agua son altamente perecederas y por tal motivo son sometidas a un proceso denominado beneficio. En el caso del café procesado vía húmeda este se define como el conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café cereza en

café pergamino seco (Rodríguez et al., 2015), conservando la calidad exigida por las normas de comercialización y evitando pérdidas del producto (Duque & Aristizábal, 2005). En el mundo se reconocen básicamente tres tipos de beneficio: seco, semi-seco y húmedo. El método seco implica un secado del fruto completo, el semiseco una eliminación de la cascara para posteriormente iniciar el secado y el método húmedo da lugar a los cafés conocidos como lavados, e implica la eliminación de la cascara y del mucílago del café, así como también un lavado antes de que sea sometido al proceso de secado (Clifford & Willson, 1985; Wintgens, 2008). Aunque está bien establecido que estos métodos producen distintos perfiles sensoriales, no hay una explicación completa de por qué estos perfiles de sabor son diferentes (Shuler, 2017). La elección del método de procesamiento de los frutos de café tiene influencia en la composición química del grano, así como en las características sensoriales de la bebida de café (Clarke & Vitzthum, 2001). Esta investigación profundizó en el efecto de la interacción entre las partes constitutivas del fruto (exocarpio y mesocarpio) en diferentes etapas del proceso de beneficio húmedo y los cambios que se generaron en diferentes compuestos químicos precursores del aroma y del sabor.

En el desarrollo del presente trabajo de tesis doctoral se identificaron cómo tres etapas del beneficio húmedo del café, que implican el contacto del grano con el exocarpio y el mesocarpio y los cambios en las diferentes variables de operación, incidieron en la composición química final del grano y en la calidad sensorial expresada como puntaje total SCA, así como la determinación de la influencia en la transferencia de masa que explica estos cambios. Además, se identificó cómo estos procesos pueden agregar valor al café a través de la modificación de los atributos sensoriales o disminuirlo mediante la generación de defectos, permitiendo de esta manera que los caficultores colombianos sigan avanzando en la diferenciación del café de calidad superior en el mundo.

1.2. CAMPO TEMÁTICO

Esta investigación hace parte de los proyectos realizados en el Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé) en la disciplina de calidad, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento de los factores, parámetros, prácticas y controles de procesos que tienen un impacto en la calidad del café, apoyando de esta manera el mejoramiento de la competitividad de los caficultores mediante la optimización del café producido en la finca. Esta investigación estuvo enmarcada en el subprograma potenciar la calidad, el cual tiene como propósito generar estrategias que permitan incrementar el desempeño de las diferentes variables con las que se evalúa la calidad. El trabajo definió el comportamiento de distintas variables asociadas a la caracterización del fruto de café utilizado en el proceso de beneficio húmedo, ampliando la definición de estado de madurez y su desempeño en procesos poscosecha como el almacenamiento o reserva del fruto antes de su procesamiento, así como en las fermentaciones prolongadas con diferentes temperaturas de proceso.

Los cambios dados por las características de la materia prima y las diferentes condiciones del proceso de poscosecha, se determinaron en la calidad física del café pergamino seco, en la composición química del grano y en la calidad sensorial de la bebida de café. Esta investigación se pudo evaluar información desde el punto de vista composicional, pues para realizar la cuantificación de los cambios en la composición química se realizaron análisis de los ácidos orgánicos, azúcares, ácidos grasos libres y ácidos clorogénicos totales entre otros, con técnicas analíticas primarias. Para el análisis sensorial las muestras fueron evaluadas por el panel de catación de Cenicafé, conformado por catadores certificados por el CQI (*Coffee Quality Institute*), quienes evaluaron bajo el protocolo SCA (*Specialty Coffee Association*) los atributos sensoriales del café.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La globalización del negocio cafetero implica una apertura a diferentes mercados, en los que prevalecen productos con bajos costos de producción o aquellos que pueden llegar a proporcionar un mayor valor agregado al consumidor final (Vélez, 2018). La comercialización de café en el mundo se encuentra en permanente cambio, reconociendo primas adicionales al café ya sea por su origen, proceso de cultivo, beneficio o las condiciones bajo las cuales fue producido y en especial por sus características físicas y sensoriales. Todo lo anterior, tiene el objetivo de captar consumidores y generar fidelidad a través de productos que proporcionan mayor información y trazabilidad sobre los aspectos de su producción (Echavarría et al., 2015; Giovannucci et al., 2008).

El posicionamiento de la marca Café de Colombia tiene una larga trayectoria y ha logrado la diferenciación de origen a través de un elemento clave como la calidad. Lo anterior ha generado una cultura colectiva de más de medio millón de familias productoras de café comprometidas con el cultivo. La recolección selectiva del grano y un cuidadoso trabajo de procesamiento de poscosecha permiten que los caficultores logren acceso a primas adicionales de precio por calidad en comparación con otros países productores (FNC, 2017). Lo más importante de esta prima sobre el precio internacional es su reflejo en el incremento de los precios internos del grano y, por tanto, en mejores ingresos para los caficultores y sus familias.

En el 2021, el precio del café en la bolsa de Nueva York presentó un comportamiento volátil y una tendencia ascendente, principalmente como consecuencia de los eventos climáticos en Brasil que generaron restricción en la oferta. Brasil es el mayor productor de café a nivel mundial. La cotización del café en la bolsa de Nueva York inició el año en US\$ 126,15/ lb (OAGAC, 2021) y cerró en US\$ 226,10 /lb, un incremento de un 79%. El precio diferencial del café suave colombiano presentó una tendencia al alza, pasando de US\$ 49/lb a principios del año a US\$ 54/lb cierre del mismo (OAGAC, 2021).

Contribuir a la rentabilidad del caficultor se puede hacer bajo dos vías: aumento de la productividad o aumento del precio. El aumento de precio se puede lograr bajo el enfoque del posicionamiento y diferenciación de cafés de alta calidad en nichos de mercado diferenciados de alto valor. Si bien en términos de volumen la participación de los microlotes es baja en comparación con el total de exportaciones de café, estos volúmenes están presentando una dinámica de crecimiento consolidando a Colombia como origen de producción de café de calidad superior a nivel mundial (Vélez, 2018).

La calidad del café es el resultado de la combinación de múltiples factores que incluyen la especie, la variedad, las condiciones del ambiente, el cultivo y especialmente los procesos de poscosecha. Durante muchos años, la investigación asociada a los procesos de poscosecha en café estuvo enfocada en el desarrollo de equipos,

optimizaciones operacionales y controles para evitar la aparición de defectos. Hoy en día, estos procesos tienen una perspectiva adicional y etapas como la maduración del fruto, la remoción del mucílago, el lavado y el secado, toman cada vez más importancia en el sentido que pueden llegar a generar cambios en la composición química del café y finalmente reflejarse en la calidad sensorial, logrando una máxima expresión de la misma.

La mayoría de los estudios químicos sobre los cambios de los frutos de café durante la maduración se han centrado en los marcadores de granos defectuosos y su efecto en la calidad (Smrke et al., 2015). Las investigaciones que evalúan toda la escala de maduración del fruto, incluyendo verdes, pintones y sobremaduros, encuentran diferencias en la calidad sensorial con el fruto maduro. Pero dentro del rango en el que puede catalogarse el fruto de café como maduro, existe una amplia gama de tonalidades y no se habían establecido las características que permitieran determinar el nivel máximo de maduración, donde el fruto conserva la máxima calidad sensorial, sin que inicie su etapa de senescencia.

Los estudios sobre el efecto del almacenamiento o demoras en el procesamiento del fruto, previo procesamiento vía húmeda, bajo diferentes condiciones reportan efectos negativos en la calidad sensorial. Mientras que las condiciones evaluadas en esta investigación, en la reserva del fruto con diferentes estados de madurez, no presentaron este mismo comportamiento, pero tampoco la definió como una etapa diferenciadora en los descriptores sensoriales de la bebida de café.

Dentro de los factores que contribuyen a la formación de compuestos volátiles en el café están los metabolitos microbianos generados durante la fermentación y la composición intrínseca de los granos (Ribeiro et al., 2017). La fermentación tradicionalmente se ha realizado en café despulpado y con el objetivo de degradar el mucílago para facilitar el proceso de lavado del café y aunque existe investigación asociada a la identificación de microorganismos nativos y uso de cultivos iniciadores en la fermentación del mucílago (De Melo *et al.*, 2016; Iamanaka *et al.*, 2014), la relación entre los productos del proceso, el crecimiento microbiano y la calidad final de los granos, no se ha dilucidado completamente. En esta investigación se incluyó el estado de madurez del fruto como una condición determinante en el desempeño de la calidad.

Considerando lo expuesto anteriormente y los estudios existentes, esta investigación abordó el desempeño de frutos de diferentes estados de madurez en procesos poscosecha no tradicionales, lo que permitió determinar el efecto diferencial del exocarpio y del mesocarpio en la composición química y calidad sensorial del café, considerando su interacción con el grano en los diferentes grados de madurez, el almacenamiento del fruto maduro y la fermentación prolongada en el beneficio húmedo, estableciendo los cambios del grano y el grado en que estos afectan la calidad sensorial de la bebida. Lo anterior contribuyó al conocimiento de los procesos más idóneos para lograr la máxima expresión de los atributos y consistencia en la calidad final del café en el procesamiento del fruto de café.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo evaluó el impacto de los cambios del exocarpio y el mesocarpio, en la composición química y la calidad sensorial del café durante diferentes etapas del beneficio húmedo e identificó la influencia de las condiciones del proceso de fermentación en la transferencia de masa al interior del grano. Actualmente, existen estudios donde se evidencia la correlación entre la composición química del café con la calidad final de la bebida y en éstos se demuestra que la presencia de contenidos más elevados de ciertos componentes concede como resultado mejores calificaciones en los diferentes atributos sensoriales. Las etapas del beneficio húmedo tienen una correlación con la composición química final del grano de café y su correspondiente incidencia en la calidad sensorial. Esta tesis apoya el avance en el conocimiento de los impactos de los procesos de cosecha y poscosecha en la obtención del máximo potencial de calidad del café desde la finca cafetera.

La calidad sensorial del café motiva a un comprador a pagar un precio mayor por el producto, lo que representa un mejor ingreso y mayor rentabilidad para el caficultor. Actualmente se genera un incremento del valor del café cuando éste tiene un perfil sensorial superior y diferenciado (Vélez, 2018). La marca Café de Colombia logró la diferenciación de origen del café a través de la calidad del grano consiguiendo diferenciales superiores de precio en comparación con otros países productores. Por este motivo, es necesario continuar en el camino de generar conocimiento técnico del proceso que le permita a los caficultores el mejoramiento continuo de la calidad del café que producen y de esta manera continuar con el posicionamiento de Colombia como origen de café de alta calidad, lo que significará un incremento en el precio del grano y mejores ingresos para los caficultores colombianos y sus familias.

1.5. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el efecto de los cambios del pericarpio generados por los grados de madurez, el almacenamiento del fruto y la fermentación en la composición química y la calidad sensorial del café.

Objetivos específicos

- Evaluar en diferentes grados de madurez del fruto de café las características químicas y sensoriales.
- Determinar el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento de los frutos frescos de café con diferentes grados de madurez sobre las características químicas y la calidad sensorial.
- Establecer la influencia de las condiciones del proceso de fermentación prolongada sobre la composición química, la calidad sensorial de frutos con distintos grados de madurez y en la transferencia de masa al interior del grano.

1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Capítulo 1. Este capítulo es introductorio, contiene los ítems: resumen de la investigación con principales resultados, introducción, campo temático donde se desarrolló el proyecto y las áreas de conocimiento abordadas, planteamiento del problema donde se definió la temática y se estructuró la idea central de la investigación, además la justificación asociada al impacto en las actividades en el procesamiento del café en la finca cafetera, finalizando con los objetivos propuestos.

Capítulo 2. Revisión bibliográfica donde se realizó una búsqueda y síntesis de la literatura que existe sobre el tema específico de desarrollo de la propuesta, en este se investigó sobre lo planteado por diferentes autores sobre la poscosecha del café y su impacto en las características del grano.

Capítulo 3. Artículo que contiene los resultados del objetivo específico 1, asociado a la evaluación de tres diferentes estados de madurez del fruto de café y su efecto en las características químicas y la calidad física y sensorial. También se describen cualidades físicas de los estados evaluados como peso fresco, seco, composición porcentual de endospermo, mesocarpio y exocarpio y color.

Capítulo 4. Artículo que presenta los resultados del objetivo específico 2, relacionado con el desempeño de tres estados de madurez del fruto en el almacenamiento o reserva del fruto, bajo diferentes condiciones, antes de su procesamiento vía húmeda. El efecto de esta operación se verificó en diferentes variables de calidad física, sensorial y en componentes químicos del grano.

Capítulo 5. Primer artículo del objetivo específico 3, vinculado a la determinación de la influencia de las condiciones del proceso de fermentación prolongada sobre la composición química, la calidad física y sensorial de frutos con distintos grados de madurez, en este también se muestra un seguimiento a diferentes variables del proceso como la temperatura interna de la masa de café, pH, grados Brix y acidez titulable.

Capítulo 6. Segundo artículo del objetivo específico 3, donde se determinó la influencia de las condiciones del proceso de fermentación prolongada sobre la generación de ácidos orgánicos y azúcares en el mucílago del café y en el grano durante el transcurso del tiempo en el proceso, estableciendo sus cinéticas y relacionamiento. En este capítulo se evidenció la transferencia de masa desde el exterior del grano hacia el interior mediante difusión utilizando isótopo marcado del carbono.

Capítulo 7. Este capítulo se encuentran las conclusiones generales de cada uno de los objetivos planteados en la investigación determinado su efecto en las diferentes características que componen la calidad del grano de café.

1.7. BIBLIOGRAFÍA

- Arcila J., Farfán F., Moreno A., Salazar L., Hincapié E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé. 310 p.
- Clarke R. J., Macrae R. (1985). *Coffee Vol. 1*. Elsevier. 306 p.
- Clarke, R. J., & Vitzthum, O. G. (2001). *Coffee Recent Developments*.
- Clifford, M. N., & Willson, K. C. (1985). *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans an beverage* (M. N. Clifford & K. C. Willson, Eds.). AVI.
- Coradi P. C., Borém F. M., Saath R., Marques E. (2015). Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee, (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4880.7523>
- DaMatta, F., Ronchi, C., Maestri, M., & Barros, R. (2008). Ecophysiology of coffee growth and production. *Soils, Plant Growth and Crop Production*, 3(March), 10.
- Duque H., Aristizábal C. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia, 56(4): 299–318.
- Echavarría J., Esguerra P., McAllister D., Robayo C. (2015). Informe de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia, 1–122.
- FNC. (2017). Informe de la Industria Cafetera 2017. 64 p.
- Giovannucci D., Liu P., Byers A. (2008). Agregando valor: Comercio de café certificado en Norte América, 29–50.
- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, 64, 166-170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>
- Liu C., Yang Q., Linforth R., Fisk I. D., Yang N. (2019). Modifying Robusta coffee aroma by green bean chemical pre-treatment, 272(April 2018): 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.226>
- OAGAC. (2021). Informe de coyuntura cafetera Gobierno de Colombia, Ministerio de Hacienda, Oficina Asesor del Gobierno para Asuntos Cafeteros.
- Ocampo, O., & Álvarez, L. (2017). Artículo de investigación Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes Del Cenés*, 36(Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia), 139–165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- OIC. (2022). El mercado de café finalizó 2020/21 en excedente. Guatemala. 7 p.
- Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>

- Rodríguez N., Sanz J., Oliveros C., Ramírez C. (2015). Beneficio de Café en Colombia. Cenicafé. 37 p.
- Shuler J. D. (2017). Effect of the Presence of the Pericarp on the Chemical Composition and Sensorial Attributes of Arabica coffee, 64.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.060>
- Velásquez S., Peña N., Bohórquez J. C., Gutiérrez N., Sacks G. (2019). Volatile and sensory characterization of roast coffees – Effects of cherry maturity, 274: 137–145.
- Velásquez, S., Peña, N., Bohórquez, J. C., Gutiérrez, N., & Sacks, G. (2019). Volatile and sensory characterization of roast coffees – Effects of cherry maturity. *Food Chemistry*, 274, 137–145.
- Vélez R. (2018). Informe del Gerente, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Wintgens, J. (2008). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.-X., & Ristenpart, W. D. (2021). Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1-27. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>
- Yusianto, & Nugroho, D. (2014). Physical and Flavor Profiles of Arabica Coffee as Affected by Cherry Storage Before Pulping. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 30(2), 137-158. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v30i2.7>
- Zambrano D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina, *AVT* 197(197): 1–8.
- Zhang, K., Cheng, J., Hong, Q., Dong, W., Chen, X., Wu, G., & Zhang, Z. (2022). Identification of changes in the volatile compounds of robusta coffee beans during drying based on HS-SPME/GC-MS and E-nose analyses with the aid of chemometrics. *Lwt*, 161(March), 113317. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113317>
- Zhang, S. J., De Bruyn, F., Pothakos, V., Torres, J., Falconi, C., Moccand, C., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2019). Following coffee production from cherries to cup: Microbiological and metabolomic analysis of wet processing of *Coffea arabica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6), 1–22. <https://doi.org/10.1128/AEM.02635-18>

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El propósito de esta sección es realizar una revisión de los principales elementos del beneficio, procesos y prácticas desarrollados y su influencia en la calidad del café.

2.1 Estructura del fruto

El fruto de *C. arabica* L., es una drupa ovoide que contiene normalmente dos semillas y alcanza su máximo desarrollo entre los 220 y los 240 días después de anthesis, y una longitud de 10 a 15 mm. Inicialmente, su color es verde y posteriormente toma tonalidades amarillas o rojas dependiendo del genotipo (Ocampo *et al.*, 2010). Está constituido por un pericarpio bien desarrollado con tres tejidos característicos: el exocarpio, el mesocarpio y el endocarpio. El exocarpio es el tejido más externo y aparece formado por una capa continua de células parenquimatosas, compactas, isodiamétricas, que constituyen la cáscara del fruto. El mesocarpio está formado por más de 20 capas de células, de tamaño variable, generalmente mayores que las del pericarpio y de forma oval o redondeada, con paredes celulares gruesas. Éstas disminuyen notablemente con la maduración y su presencia además de los taninos asociados con agua, azúcares y gomas son los responsables de la succulencia del fruto en la madurez. El endocarpio está conformado por 3-7 capas de tejido esclerenquimatoso, de forma irregular, de menor tamaño (14-15 μm promedio) que las del mesocarpio. Este tejido constituirá más adelante, la cubierta de la semilla o pergamino (Salazar *et al.*, 1994). En la Figura 1 se ilustran las partes constituyentes del fruto de café.

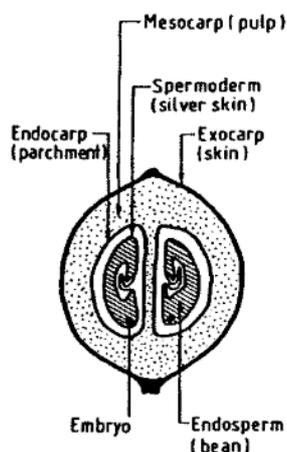


Figura 2-1. Partes del fruto de café. Tomado de (Wintgens, 2008)

El exocarpio cubre la pulpa blanda amarillenta, fibrosa y dulce o el mesocarpio externo. A esto le sigue una capa de mucílago translúcida, incolora, delgada, viscosa y altamente hidratada (también llamada capa de pectina). Finalmente, el pergamino (endocarpio), seguido de la película plateada (espermodermo) cubre cada hemisferio del grano de café (endospermo) (Esquivel & Jiménez, 2012).

Las cantidades de mucílago presente en los frutos varían con la madurez, es así como los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4%. El mucílago de café fresco es un material vegetal con alto contenido de agua, 85% a 91%. Los azúcares son los principales componentes de su materia seca, 6,2% a 7,4%, conformados por 63% de azúcares reductores. Esta composición química, así como las levaduras y bacterias naturales del mucílago, explican su característica perecedera y la ocurrencia natural de su fermentación a temperatura ambiente (Puerta & Ríos, 2011).

En cuanto al endospermo, semilla o grano de café, está formado por células de forma irregular con paredes celulares muy delgadas y en su interior se observa una gran cantidad de amiloplastos. La mayor parte del endospermo está formado por células parenquimáticas de almacenamiento las cuales acumulan materiales, tanto en el citoplasma como en las paredes. Estas paredes son gruesas, parcialmente lignificadas, no presentan espacios intercelulares, son cruzadas por muchos plasmodesmas y exhiben una estructura nudosa característica (Salazar et al., 1994). Las diferentes estructuras que componen el fruto y las relaciones existentes entre el pericarpio, y los tejidos del endospermo durante el desarrollo del fruto son cruciales para la elaboración de las características finales del grano. Aunque algunas vías bioquímicas se han dilucidado bastante bien como en el caso de la cafeína, aún no hay suficiente información desde el punto de vista bioquímico o molecular que permita un mejor conocimiento del proceso de transporte, del flujo metabólico entre los tejidos y de la acumulación dentro del endospermo, fundamental para identificar los objetivos de mejora de calidad del grano maduro (De Castro & Marraccini, 2006; Eira et al., 2006).

2.2 Grados de maduración del fruto

El crecimiento del fruto puede describirse mediante una función logística, en una curva sigmoideal (Figura 2), identificándose una etapa exponencial inicial de crecimiento lento, una lineal de crecimiento acelerado y una final de estabilización. Posteriormente, se observa una etapa de disminución, asociada con procesos degradativos y de postmaduración (Ocampo et al., 2010).

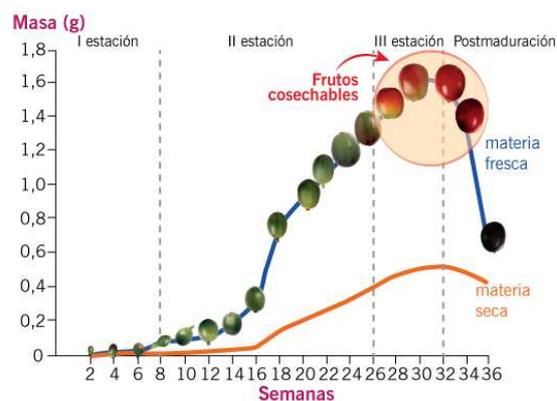


Figura 2-2. Desarrollo de los frutos de café. Tomado de Sanz et al. (2018).

La cosecha de los frutos de café se hace habitualmente con el criterio del color de la cereza y se realiza cuando el exocarpio presenta generalmente tonalidades rojizas. La recolección que se denomina selectiva es la que se realiza de forma manual seleccionando de manera oportuna frutos maduros, haciendo los pases necesarios para escoger solo frutos con el grado óptimo de maduración, evitando frutos inmaduros, sobremaduros y previniendo que no queden frutos maduros en la planta, lo que implica recolectar el café en aproximadamente de 10 a 15 pases por año bajo las condiciones de Colombia (Wallis-García et al., 2004). Esta recolección es la más utilizada en zonas montañosas (De Sousa et al., 2015; C. Silva et al., 2000). Las variaciones en las condiciones climáticas de las zonas cafeteras afectan la uniformidad de la floración, pudiéndose observar en una misma rama frutos de diferentes estados y grados de madurez, por este motivo, la observación constante de los lotes durante su maduración permite planificar la cosecha del café cereza cuando éste se encuentra en su estado óptimo de desarrollo. Cuando en la masa se encuentran frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos, cada uno de estos presenta una característica específica que finalmente afecta la cantidad y la calidad del producto final (S. M. Marín et al., 2003; Martínez et al., 2017).

Con relación a la calidad en taza, algunos estudios han determinado que los mejores atributos sensoriales de la bebida se obtienen de frutos maduros (Barboza & Amaya, 1996), mientras que los verdes y pintones pueden deteriorar la calidad debido a múltiples defectos como la astringencia, cereales y acres. De igual manera, se presenta un incremento de fermentaciones indeseables en los frutos sobremaduros y secos que originan defectos que van desde el fermento a mohos, sabores y olores extraños. Lo anterior indica la importancia que tiene la recolección para obtener una buena calidad física y sensorial del café (S. M. Marín et al., 2003). La calidad de la bebida es muy afectada por la composición de la masa recolectada, especialmente cuando el porcentaje de café verde es superior al 2,5% en peso (Ramos-Giraldo & Sanz-Uribe, 2011).

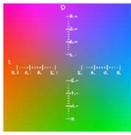
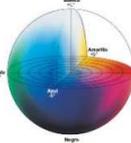
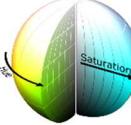
La calidad está relacionada con el estado de madurez de los frutos. A medida que aumenta el tiempo entre los pases de cosecha se espera que la masa de frutos sobremaduros aumente en el café cosechado. Los frutos de café toman en promedio 32 semanas para alcanzar el estado maduro y después de ese momento empieza un proceso acelerado de senescencia, caracterizado por pérdida de masa o humedad. Un fruto de café sobremaduro tiene en promedio un 12% menos de masa que un fruto maduro, y en condiciones normales, se obtienen los mismos dos granos. Esto generaría una mejor conversión de café cereza a pergamino seco (fruto café beneficiado con porcentaje de humedad entre el 10 al 12%). Para obtener 1,0 kg de café pergamino seco (CPS) de una masa de café en cereza con bajo porcentaje de frutos sobremaduros (4,01%) se requieren 5,01 kg, mientras que para obtener 1,0 kg de café pergamino seco de una masa de café en cereza con un mayor contenido de frutos sobremaduros (81,7%) se requiere solamente de 4,51 kg, es decir, se necesita un 10% menos de café cereza (Sanz Uribe et al., 2018).

2.2.1 Mediciones de color del exocarpio del fruto

La clasificación de los frutos de café por estados de maduración se realiza visualmente en el momento de la recolección y existe una mayor probabilidad de error debido a que existen diferentes estados de desarrollo que aparentemente comparten igual coloración sobre la epidermis. La determinación del color del fruto de café en términos cuantitativos ha sido relativamente poco investigada comparada a otros productos agrícolas (Carvajal et al., 2011). Es importante conocer la relación entre las diferentes propiedades químicas, físicas y mecánicas con el color del fruto y su calidad, y la colorimetría es un método físico no destructivo muy utilizado para este fin.

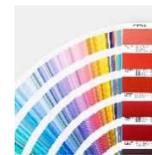
Algunos autores han medido el color de los frutos utilizando diferentes modelos y métodos de color dependiendo del estudio: carta de colores de la *Royal Horticultural Society*, carta de colores Pantone, espacios de color RGB, HSL, YIQ (Carvajal et al., 2011). En la Tabla 1 se describen los modelos, su principio y se muestra la representación de los mismos.

Tabla 2-1. Modelos de medición del color. Adaptado de Pérez *et al.*, (2008).

Tipos de modelos para la medición del color	Principio	Representación del modelo
RGB (del inglés Red-rojo, Green-verde, Blue-azul)	Modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios	
YIQ	El modelo define un espacio de color, usado antiguamente por el estándar de televisión NTSC. I significa en fase (en inglés: in-phase), mientras que Q significa cuadratura (en inglés: quadrature). La componente Y representa la información de luminancia y es el único componente utilizado por los televisores de blanco y negro. I y Q representan la información de crominancia.	
Carta de colores de la Royal Horticultural Society	La carta completa de colores contiene 884 colores diferentes. En cada tarjeta de color se presentan 4 matices, existen 4 grupos de tarjetas agrupadas en abanico: amarillo al rojo, rojo-púrpura al azul, azul-verdoso al amarillo-verdoso y grisáceos de todos los grupos de color. El color queda descrito por un número y una letra	
Escala CIEL *a*b*	Constituye un sistema tridimensional cuyos parámetros son los siguientes: L* describe la iluminación o brillo del color y varía de 0 (negro perfecto) a 100 (blanco perfecto), a* es positivo para el rojo y negativo para el verde, b* es positivo para el amarillo y negativo para el azul. A partir de estos parámetros se calcula el croma (C) y el ángulo del matiz (h).	
HSL (Hue, Saturation and Lightness)	Matiz, saturación y brillo. El matiz representa el espectro visible excepto para los colores magenta que es la combinación de rojo y azul y el violeta que presenta una λ menor que el azul. La representación es circular de 0 a 360°. La saturación se define como el porcentaje de diferencia con el gris y varía del 0 al 100%. El brillo indica la iluminación de un color a 0% es negro al 50% es puro y al 100% es blanco.	

Carta de colores
Pantone

El sistema se basa en una paleta o gama de colores, las Guías Pantone®, de manera que muchas veces es posible obtener otros por mezclas de tintas predeterminadas que proporciona el fabricante. Cada color se describe por una numeración y unas siglas en función de la superficie o material en el que se va a aplicar el color.



Utilizando la Escala CIEL $*a*b*$, la luminosidad del fruto de café varía con el estado de desarrollo alcanzando su mayor intensidad en frutos de 31 semanas de desarrollo. A través de las coordenadas cromáticas a^* y h^* y de varias longitudes de onda luminosa reflejada por la epidermis se pueden diferenciar frutos de café de 31, 32, 33 y 34 semanas de desarrollo (Carvajal et al., 2011).

A través de la cantidad de luz reflejada por la epidermis en la región límite entre el naranja y el rojo del espectro visible (640 nm) se pueden discriminar los frutos verdes de menos de 30 semanas de los frutos verde-amarillos de 31 semanas, de los pintones y maduros (32 - 33 semanas) y de los sobremaduros (34 semanas). Los frutos pintones (32 semanas) presentaron respecto a los maduros (33 semanas) diferencias en la luz reflejada para todas las longitudes de onda analizadas. Las longitudes de onda 520, 570 y 580 nm permiten discriminar significativamente nueve estados diferentes de desarrollo del fruto de café cereza (Carvajal et al., 2011).

Igualmente, en el estudio de (Carvajal et al., 2011), pudo establecerse que los frutos pintones (224 días) y maduros (231 días) presentaron entre sí diferencias estadísticas en todas las longitudes de onda evaluadas (400 – 700 nm). Además, se evidenciaron diferencias en la luz reflejada por los frutos de color verde amarillo (217 días) y los demás estados de desarrollo, excepto con los maduros y sobremaduros en las longitudes de onda 630 nm y 650 nm, respectivamente.

2.2.2 Cambios químicos del grano de café durante la maduración del fruto en el árbol

La mayoría de los estudios asociados a los cambios en la composición química de los granos durante la maduración de los frutos y su relación con la calidad final de la taza de café se ha centrado en los marcadores de los granos defectuosos (inmaduros, sobremaduros) (Smrke et al., 2015).

Los carbohidratos juegan un papel importante en el proceso de maduración de los frutos, por medio de la despolimerización que lleva a la disminución del tamaño molecular. Las principales clases de polisacáridos de la pared celular que se someten a modificaciones durante la maduración son el almidón, las pectinas, la celulosa y las hemicelulosas (Prasanna et al., 2007). La mayor parte de los azúcares presentes en el fruto se explican por la sacarosa, la fructosa y la glucosa que se encuentran en concentraciones más altas en el pericarpio de los frutos de café maduros. Los niveles más altos de sacarosa en el endospermo de la semilla están correlacionados con niveles más altos de glucosa y fructosa en el tejido del pericarpio. Los ácidos orgánicos como los ácidos cítricos y málicos dominan en el grano maduro, con concentraciones más altas en Arábica que en Robusta

(Rogers et al., 1999). Marraccini *et al.*, (2001), muestran que existen diferencias significativas en la composición de las proteínas durante la maduración.

En un estudio para granos de café arábica realizado por Marín y Puerta (2008), se reportó el mayor promedio del contenido de ácidos clorogénicos totales en granos provenientes de frutos verdes, con una disminución en el estado pintón, seguido de un aumento en el maduro y en el sobremaduro, aunque los valores máximos y mínimos absolutos se encontraron en el estado sobremaduro y verde, respectivamente. En frutos maduros el grano de café arábica presentó 6,23% de ácidos clorogénicos totales (CGAT) y el de Robusta 8,88%, contenidos que fueron estadísticamente diferentes. No encontraron diferencias estadísticas entre los contenidos de CGAT para los granos de *C. arábica*, en los diferentes estados de desarrollo del fruto. Encontraron que el contenido de los ácidos clorogénicos no permite una discriminación inequívoca entre los factores genéticos, ni de madurez del café. En la Tabla 2 se muestran los promedios de los contenidos de los principales ácidos clorogénicos para *C. arábica* y *C. canephora* para el estado maduro.

Tabla 2-2. Promedios de los contenidos de ácidos clorogénicos en granos de *C. arábica* y *C. canephora* de frutos maduros. Adaptado de Marín y Puerta, (2008).

Ácido Clorogénico	<i>C. arábica</i>			<i>C. canephora</i>
	Borbón	Caturra	Colombia	
Ácido 3- cafeoilquínico (3-CQA)	1,8767	1,5643	2,0400	3,2000
Ácido 4-cafeoilquínico (4-CQA)	0,40Fig3	0,3771	0,4914	0,3883
Ácido 5- cafeoilquínico (5-CQA)	4,6933	4,6443	4,5371	3,8850
Ácido 3,4- dicafeoilquínico (3,4-di-CQA)	0,0169	0,0179	0,0094	0,0185
Ácido 3,5- dicafeoilquínico (3,5 di-CQA)	0,0179	0,0227	0,0097	0,0222
Ácido 4,5- dicafeoilquínico (4,5- diCQA)	0,1642	0,1774	0,1633	0,2027
Ácido 4 - feruloquínico (4 -FQA)	nd	0,0328	nd	0,0317
Ácido 5 - feruloquínico (5-FQA)	0,0500	0,1043	0,0729	0,0683
Ácido cafeico	0,0300	0,0271	0,0400	0,0483
Ácido o-cumáricos	0,1133	0,0271	0,0871	0,2083
CGAT	7,3657	6,9656	7,4224	8,0787

Por su lado Koshiro *et al.* (2007), describen que el contenido de ácido clorogénico en los granos de café no procesados disminuyen con la maduración del fruto del café, y que hay una diferencia entre el fruto maduro y el fruto sobremaduro. Smrke *et al.* (2015) definen que con frutos de dos variedades de *C. arábica*, Típica y Catuai, cosechado en tres estados de madurez, el contenido de 3-CQA se incrementa y el de 5-CQA y di-CQA se disminuye para ambas variedades de café, con el aumento del grado de madurez. Para el contenido de sacarosa se observaron algunas diferencias en los diferentes grados de madurez; las muestras de Catuai inmaduras y semi-maduras obtuvieron el contenido más alto, mientras que las de Catuai maduras tuvieron el más bajo. No hubo diferencia entre los grados de madurez para el café Típica. El contenido de agua en los frutos maduros de Catuai era considerablemente más alto que en los frutos maduros de otros granos.

Velásquez *et al.* (2018), evaluaron los perfiles volátiles en diferentes etapas de maduración de frutos parcialmente maduros a demasiado maduros, los que mostraron mínimas diferencias, excluyendo las muestras de frutos inmaduros. Esto es similar a lo encontrado en la calidad sensorial, en la cual los frutos maduros, parcialmente maduros de color amarillo-verde, presentaron tazas de calidad similar a los maduros de color rojo-maduro. Finalmente, describieron que si había evidencia de la mayor varianza entre jueces para las cualidades sensoriales entre los estados de madurez, observando una varianza significativamente mayor para las puntuaciones totales del estado sobremaduro en comparación con los otros grados de maduración, así como para algunos atributos como el equilibrio. Además Veiga *et al.* (2007) encontraron que las semillas de café cosechadas en el estado de cerezas maduras tienen un mayor potencial de almacenamiento que en el estado pintón.

2.3 Beneficio del café y la calidad

Los granos de café o semillas están contenidos en el fruto, el cual en estado maduro recibe el nombre de cereza. Estas cerezas por su alto contenido de agua son altamente perecederas y por tal motivo son sometidas a un proceso denominado beneficio. El beneficio del café se define como el conjunto de operaciones que se realizan después de cosechar los frutos para transformar el café cereza en café pergamino seco o cereza seca (Rodríguez *et al.*, 2015), conservando la calidad exigida por las normas de comercialización y evitando pérdidas del producto (Duque & Aristizábal, 2005).

Dependiendo de las características de las zonas de producción, las variedades cultivadas y el sistema de producción, las cerezas de café se pueden beneficiar por tres métodos: seco, semi-seco y húmedo (Clarke & Vitzthum, 2001).

El método seco da lugar a los cafés conocidos como cafés naturales, y es el más antiguo de los métodos de transformación. Luego que el café cereza es recolectado, se realiza una clasificación para retirar los frutos defectuosos e impurezas y posteriormente es sometido al proceso de secado. Frecuentemente la primera etapa de este secado se realiza utilizando el secado solar. El café se dispone en una capa delgada en patios y es sometido a constante movimiento para mantener la temperatura y lograr un proceso homogéneo. Este proceso puede tomar desde varios días a semanas, pues depende de las temperaturas y humedades del ambiente en el cual se desarrolle. En fincas más grandes, éste es acelerado al complementarlo con secado mecánico (Wei *et al.*, 2015). Durante el proceso de secado, la fermentación microbiana natural y la fermentación enzimática conducen a la descomposición de la pulpa y el mucílago con la cereza de café intacta. Lo anterior varía dependiendo de la velocidad del secado. Después de este secado, los granos se descascarán y limpian eliminando de esta manera la pulpa seca. El método semi-seco que es un proceso intermedio entre el proceso seco y húmedo da lugar a los cafés conocidos como *honey*. En primer lugar, el café es despulpado para eliminar

la cáscara dejando expuesto el mucílago. Posteriormente es sometido al proceso de secado donde el café logra porcentajes de humedad comprendidos entre el 10 al 12% (Ribeiro et al., 2017). Comercialmente y dependiendo del color del pergamino después de secado, el café se clasifica dentro de esta categoría como *Black Honey*, *Red Honey* o *Yellow Honey*.

El método húmedo da lugar a los cafés conocidos como lavados, (Clifford & Willson, 1985; Wintgens, 2008) y es el más utilizado en Colombia. Como su nombre lo indica, este proceso involucra el uso de agua y una serie de pasos relativamente más complejos que incluyen la remoción mecánica de la pulpa del café, la degradación de la capa de mucílago mediante acción microbiana (fermentación) o mediante medios mecánicos como el desmucilagador y, finalmente, la remoción de agua mediante el secado (De Melo *et al.*, 2019). En regiones como Colombia, América Central y Hawai, se procesan cafés Arábicas a través del método húmedo. El método seco se emplea comúnmente para los cafés Robusta y Arábicas en países como Brasil y Etiopía que poseen prolongados períodos de sol (Wei et al., 2015).

La generación del sabor de la bebida de café comienza en la planta en la cual los precursores se forman en la semilla a medida que se desarrollan las cerezas de café. La complejidad de los sabores se desarrolla aún más a lo largo del procesamiento (Gonzalez-Rios et al., 2007; Sunarharum et al., 2014). El procesamiento poscosecha es una vía que produce impactos significativos en el aroma, pero que todavía no se aborda adecuadamente. Para la elección del método de procesamiento de los frutos se tiene en cuenta la influencia de la composición química del grano, así como las características sensoriales de la bebida de café (Clarke & Vitzthum, 2001). El método seco, aunque tiene menos etapas que el método húmedo, toma más tiempo cuando se compara con el mismo proceso de secado, originando cambios de los componentes químicos del grano y también transformaciones químicas que dependen de las condiciones ambientales. Por otro lado, en el método húmedo, la fermentación se puede producir en seco o en agua a temperaturas controladas, dando lugar a niveles reducidos de sabores indeseables (Amorim et al., 2009).

Pereira *et al.* (2019) describieron que los componentes volátiles de los granos de café verde (alcoholes, aldehídos y alcanos) no tienen ninguna influencia significativa en la composición final del aroma del café, ya que sólo quedan unos pocos compuestos de ese tipo en los granos después del tueste. Por otra parte, se pueden detectar compuestos de derivados microbianos producidos durante la fermentación del mucílago como, por ejemplo, ésteres, alcoholes superiores, aldehídos y cetonas. Muchos procesos posteriores a la cosecha, incluidos los de secado y almacenamiento, pueden variar los niveles de composición de los aromas del café, pero aún no se tiene certeza de los mecanismos de su influencia.

A continuación, se describen cada una de las etapas del beneficio húmedo, debido a que este proceso es el más empleado por los caficultores colombianos y en el cual se centra esta investigación doctoral.

2.3.1. Despulpado

La operación de despulpado consiste en retirar el exocarpio (cáscara) de la cereza por medio de la acción de fuerzas de fricción y de cizallamiento causadas por dos superficies, una fija y una móvil (Alvarez, 1991). El ajuste de estos componentes en relación con el tamaño y madurez del grano determina la calidad del café despulpado. Esta operación normalmente se realiza poco tiempo después que se cosechen los frutos. En este proceso los granos no deben sufrir ningún daño, ni cambio físico, es decir, deben conservar su integridad. El café despulpado debe ser clasificado en cribas o zarandas por tamaño, peso o ambos. Esta clasificación permitirá separar aquellos frutos verdes o “pintones” que no fue posible separar durante la clasificación de recolección.

La forma más utilizada para evaluar la calidad del despulpado consiste en seleccionar y clasificar los granos en los siguientes grupos de defectos: granos de café en la pulpa, granos trillados, granos mordidos y granos sin despulpar (Alvarez, 1991).

Kipkorir *et al.* (2015) compararon los efectos sobre las propiedades físico-químicas y las cualidades sensoriales del café de tres métodos de despulpado los cuales son: despulpadora de disco, despulpadora de tambor y despulpadora ecológica. Estos métodos varían su modo de funcionamiento en lo que respecta a la eliminación de la pulpa. Los métodos de procesamiento mostraron niveles similares en las puntuaciones de los atributos sensoriales, y finalmente la calidad no fue diferente entre los métodos de procesamiento y no se observaron defectos o faltas en las muestras.

2.3.2. Remoción del mucílago

El mesocarpio o mucílago es un hidrogel compuesto principalmente por agua, azúcares y sustancias pécticas (Puerta y Ríos, 2011). Este recubre o envuelve el grano despulpado de 0,4 a 2,0 mm de espesor representando aproximadamente el 22% del peso del café despulpado. La cantidad de éste depende en gran medida del grado de madurez del grano (Oliveros *et al.*, 1995). El mucílago no es una capa que se desprende del fruto inmediatamente, por lo que en el método de beneficio húmedo debe removerse mediante el proceso de fermentación espontánea o de forma mecánica al aplicar fricción por medio de un desmucilagador. La composición química del mucílago en combinación de las levaduras y bacterias presentes en el ambiente y en los equipos en los que se realiza el beneficio húmedo, explica la ocurrencia natural de la fermentación a temperatura ambiente sin recurrir a inoculaciones (Peñuela *et al.*, 2010). El mucílago es retirado del grano por las siguientes razones: facilitar el secado del café, prevenir fermentaciones posteriores en el secado al sol, o para evitar el deterioro de la calidad del café que puede ocurrir como consecuencia de fermentaciones indeseables. Este mucílago puede retirarse por diferentes métodos los cuales se enumeran a continuación:

Desmucilaginado mecánico

El mucílago que recubre el pergamino de los granos de café puede ser removido por medios mecánicos a través del uso de agitadores a alta velocidad que promueven la fricción entre los granos de café recién despulpados y las partes móviles y fijas del equipo para realizar el desprendimiento. Este proceso debe ser realizado de manera adecuada para evitar que los granos queden con restos de mucílago que podrían continuar su proceso de fermentación durante el secado y generar defectos a la calidad del café. Por el contrario, si la agitación dentro del equipo es más fuerte de la requerida, se corre el riesgo de causar daño mecánico a los granos de café. Los desmucilaginadores eliminan el mucílago, lavan y limpian el café ahorrando grandes volúmenes de agua (utilizan aproximadamente 0,6 L/kg de cps - café pergamino seco) disminuyendo la contaminación generada por el beneficio húmedo del café (Oliveros *et al.*, 1995).

El desmucilaginado mecánico permite remover rápidamente el mucílago con ventajas sobre la fermentación natural, tales como: reducción significativa del consumo de agua, reducción de la contaminación, optimización de las estructuras del secado al poder iniciar inmediatamente el proceso, además de la obtención de mayor cantidad de café seco (1 a 2%). Este último factor se da gracias a la eliminación de las pérdidas de materia seca por respiración del grano y a la recuperación de más del 50% de guayabas (grano de café seco para trilla que tiene adherida al pergamino la mitad de la cascara o más) y medias caras (café pergamino seco para trilla que tiene adherido hasta la mitad de su exocarpio) (ICONTEC, 2002, Oliveros *et al.*, 1995). El funcionamiento del desmucilaginador mecánico depende principalmente del diámetro del rotor, la velocidad de rotación, el tipo de rotor y la viscosidad de la suspensión; esta última depende de la velocidad de rotación, de la cantidad de agua utilizada por unidad de producto y de la calidad del café en baba que entra al equipo.

La calidad física del café desmucilaginado depende del equipo utilizado y principalmente, de la calidad del café cereza (contenido de cerezas verdes, secas, impurezas, etc.). Con el fin de lograr una buena calidad física se deben realizar tratamientos previos y posteriores al proceso tales como: eliminación de flotes e impurezas, separación de guayabas o media cara en el café despulpado y separación de flotes, guayabas e impurezas en el café desmucilaginado (Oliveros & Roa, 1995). La técnica del desmucilaginado mecánico permite realizar la remoción rápida del mucílago dando origen a cafés con calidad de bebida similar a la obtenida con la fermentación espontánea. Los resultados de la mayoría de los trabajos realizados en este campo permiten afirmar que la técnica utilizada en la remoción del mucílago no afecta la calidad física y organoléptica del café (Oliveros *et al.*, 1995).

Fermentación

La fermentación del mucílago de café es un proceso biológico en el cual las enzimas producidas por las levaduras y las bacterias descomponen los azúcares contenidos en éste, generando el rompimiento de la

estructura y facilitando su eliminación completa durante la etapa de lavado (Peñuela et al., 2013). Para degradar la pectina es necesario provocar reacciones químicas, entre ellas se encuentra la hidrólisis donde la estructura de la molécula se divide y los microorganismos presentes en la fermentación utilizan estos compuestos y producen ácidos orgánicos, los cuales son fácilmente retirados con el agua. Para esto, intervienen los microorganismos presentes naturalmente en el café, los cuales producen enzimas específicas que actúan sobre la pectina presente en el mucílago, en el proceso conocido como fermentación natural (Peñuela et al., 2011).

En este proceso intervienen numerosos factores biológicos, químicos y físicos, sin embargo, se han referenciado los principales factores que pueden incidir en su duración: temperatura del ambiente, uso de agua durante el despulpado, el grado de madurez asociado con la cantidad del mucílago en el grano, pero aún se desconoce específicamente el efecto de estas variables sobre el tiempo de finalización de la fermentación del mucílago. Por este motivo, anteriormente los caficultores recurrían a métodos tradicionales para determinar el punto de finalización del proceso de fermentación y el punto de lavado del café. Los métodos más utilizados han sido el orificio y del tacto. Aunque éstos son sencillos se consideran mediciones con un alto grado de error, puesto que si bien, aunque la prueba fuera positiva en la mayoría de los casos la remoción del mucílago no era completa lo que implicaba que el café debía lavarse varias veces para asegurar la eliminación completa del mucílago, aumentando el consumo específico de agua. La falta de controles que minimicen los errores en esta etapa tienen incidencia directa en la calidad del café. Peñuela *et al.* (2013) demostraron que un retraso en el tiempo de fermentación mayor a 2 horas después que el proceso ha finalizado tiene efecto directo en la aparición de defectos en taza tales como vinagres y fermentos.

Debido al alto impacto que tiene el proceso de fermentación del mucílago en la calidad sensorial del café, han surgido numerosos estudios con el objetivo de generar control y consistencia, formándose dos áreas principales de estudio. Una de éstas incluye el desarrollo de metodologías para la determinación exacta del punto final de la fermentación y la otra es la utilización de cultivos microbiológicos pertinentes para iniciar el proceso de fermentación (Wei et al., 2015). Para la primera área, Cenicafe desarrolló un dispositivo llamado Fermaestro™ y es utilizado para verificar el momento exacto de la finalización de la fermentación y lavado del café, aprovechando los cambios de densidad del grano durante el proceso. Este dispositivo es un recipiente perforado en forma de cono truncado, para mejorar la sensibilidad a los cambios ligeros de volumen, dados por el aumento de la altura del espacio vacío en la parte superior del dispositivo. Cuando se estabiliza la altura del café en el dispositivo, significa que se ha alcanzado el punto de lavado (Peñuela et al., 2013).

Los microorganismos están presentes de forma natural durante el procesamiento del café y utilizan los diversos compuestos de la pulpa y el mucílago como nutrientes durante las etapas de fermentación. Ellos secretan ácidos orgánicos y otros metabolitos que pueden afectar las características sensoriales de la bebida. La adición de

cultivos iniciadores ayuda a controlar el proceso de fermentación, asegurando así la formación de los aromas y sabores deseables, que aumentan la posibilidad de producir cafés especiales (Evangelista *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017).

Durante el procesamiento húmedo, el grupo más común son las bacterias lácticas (es decir, *Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Lactobacillus*), junto con enterobacterias y levaduras (*Pichia* y *Starmerella*). Varios de los metabolitos asociados con el metabolismo bacteriano del ácido láctico (por ejemplo, ácido láctico, ácido acético y manitol) producidos en el mucílago, también se encontraron en el endospermo. Durante el procesamiento en seco, las bacterias acéticas (es decir, *Acetobacter* y *Gluconobacter*) fueron las más abundantes, junto con las levaduras *Pichia* y no *Pichia* (*Candida*, *Starmerella* y *Saccharomycopsis*). La acumulación de metabolitos asociados (por ejemplo, ácido glucónico y alcoholes del azúcar) tuvo lugar en las capas externas de secado de las cerezas de café. Por consiguiente, tanto los métodos de procesamiento en húmedo como en seco influyen significativamente las estructuras de la comunidad microbiana y, por lo tanto, la composición final de los granos de café verde (De Bruyn *et al.*, 2016).

Varios autores han evaluado la capacidad de diferentes cultivos iniciadores para mejorar la calidad del café obtenido por fermentación en los métodos de procesamiento húmedo, seco y semi-seco, encontrando que a través de la inoculación se pueden obtener cafés con diferentes perfiles sensoriales. La prueba de taza de cafés provenientes de fermentaciones inoculadas y el control recibieron puntuaciones diferentes para varios atributos sensoriales importantes como el aroma y la acidez, mientras que atributos como sabor residual y equilibrio, recibieron puntuaciones muy similares, dando resultados muy cercanos en su calidad general. Martínez *et al.* (2017) y Vinícius *et al.* (2015), constataron que el empleo de un cultivo seleccionado para la fermentación durante el procesamiento del café mejora la calidad del aroma en comparación con los cafés producidos de la fermentación con microbiota nativa. Compuestos volátiles tales como el acetaldehído, etanol, acetato de etilo, acetato de isoamilo y atributos deseables como caramelo, frutado, mantequilla, fueron característicos del café sometido a fermentación con cultivos de levadura y esto no afectó las características esenciales del café. En este sentido no existe un consenso, aunque algunos resultados muestran que el uso de cultivos puros para el proceso de fermentación en el procesamiento del café promueven la consistencia y el control sobre el proceso de fermentación (Wei *et al.*, 2015), otros estudios demuestran lo contrario.

Numerosas especies de microorganismos han sido aisladas de la fase de fermentación del proceso húmedo, bacterias aeróbicas como *Klebsiella ozaenae*, *K. oxytoca*, *Erwinia herbicola*, *E. dissolvens*, *Hafnia spp.*, *Enterobacter aerogenes* así como bacterias acidolácticas tales como como *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*. Levaduras como *Kloeckera apis apicalata*, *Candida guilliermondii*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis*, *Cryptococcus albidus*, *C. laurentii*, *Pichia kluyveri*, *P. anomala*, *Hanseniaspora uvarum*,

Saccharomyces cerevisiae, *Debaryomyces hansenii*, *Torulospira delbrueckii* y *Rhodotorula mucilaginosa*, también fueron identificadas (Wei et al., 2015). En la Tabla 3, se muestran algunos de los estudios más recientes que utilizan cultivos iniciadores en la fermentación del mucílago.

Las actividades microbianas que ocurren durante la fermentación variarían de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas de la pulpa y el mucílago y a factores externos, tales como la temperatura y la disponibilidad de oxígeno (Silva et al., 2017). Estas condiciones pueden ser variables dependiendo de las condiciones ambientales donde se procese el café y la presencia de diferentes especies microbianas en cada región puede contribuir a las diferencias en los perfiles sensoriales del café. Para el caso del café procesado por el método seco, la flora microbiana es mucho más variada y compleja que la que se encuentra en las fermentaciones húmedas. Los géneros y especies identificadas incluyen miembros conocidos por tener todo tipo de actividades de tipo pectinasa y celulasa (C. F. Silva et al., 2000).

Tabla 2.3 Cultivos iniciadores utilizados en la fermentación del mucílago del café.

Variedad	Método de Beneficio	Especie	Referencia
Mundo Novo Ouro Amarelo Catuai	Semi – seco Húmedo	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (CCMA0200 - CCMA 0543) <i>Pichia fermentans</i> YC5.2	Silva et al. (2017) Vinícius et al. (2015)
Mundo Novo Ouro Amarelo	Semi – seco	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (CCMA 0200 -CCMA 0543) <i>Torulospira delbrueckii</i> (CCMA 0684)	Silva et al. (2017)
<i>Coffea arabica</i>	Seco Húmedo	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (UFLAYCN727, UFLAYCN724) <i>Candida parapsilosis</i> (UFLAYCN448) <i>Pichia guilliermondii</i> (UFLAYCN731)	Reis et al. (2014)
<i>Coffea arabica</i> Acaíá	Semi – seco Seco	<i>Yarrowia lipolytica</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (CCMA 0543) <i>Candida parapsilosis</i> (CCMA 0544) <i>Torulospira delbrueckii</i> (CCMA 0684)	Wie et al. (2017) Pereira et al. (2018)
Catuai Amarillo	Semi – seco	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (CCMA 0543) <i>Candida parapsilosis</i> (CCMA 0544) <i>Torulospira delbrueckii</i> (CCMA 0684)	Martinez et al. (2017)

Cambios químicos generados por la fermentación

Las enzimas extracelulares y los ácidos orgánicos producidos a partir de hongos/levadura y la fermentación ácido láctica, respectivamente, pueden potencializar la hidrólisis de macromoléculas tales como carbohidratos, proteínas y polifenoles, generando importantes precursores de aromas tales como azúcares reductores, aminoácidos y ácidos clorogénicos, metabolitos secundarios, producidos durante el curso de la fermentación podrían afectar también directa o indirectamente el aroma del café (Gonzalez-Rios et al., 2007; Wei et al., 2015). Silva et al. (2017) inocularon los granos de café de las variedades de Mundo Novo y Ouro Amarelo con *Saccharomyces cerevisiae* (CCMA0200 y CCMA 0543) durante la fermentación semi-seca del café y

compararon los cambios químicos en los granos de café con un control no inoculado. Identificaron los ácidos cítrico, málico, succínico y acético y los cuantificaron en todas las muestras analizadas. Algunos ácidos aumentaron sus concentraciones, mientras que otros disminuyeron, además, midieron los carbohidratos y los ácidos orgánicos antes y después de la fermentación, encontrando una diferencia entre las variedades, exceptuando el ácido málico. El tratamiento con *S. cerevisiae* CCMA 0543 mostró diferencia significativa entre otros tratamientos para la sacarosa y el ácido cítrico, succínico y acético. El café Ouro Amarelo inoculado con *S. cerevisiae* CCMA 0543 mostró un aumento en la concentración de azúcares y ácidos orgánicos.

De Bruyn *et al.* (2016) exploraron el impacto del procesamiento postcosecha en la microbiota y los metabolitos producidos. Para el método húmedo trabajaron dos procesos de fermentación, uno denominado estándar (SW) y otro extendido (EW). En ambos tratamientos, en el mucílago, la sacarosa se consumió completamente al final de la fermentación. Las concentraciones de fructosa y glucosa disminuyeron y esta disminución fue más intensa durante la fermentación extendida (EW). Se produjo una acumulación sustancial de metabolitos asociados con la actividad microbiana, incluyendo ácido acético, etanol, glicerol, ácido láctico y manitol. La acumulación de estos compuestos comenzó después del despulpado y las concentraciones aumentaron proporcionalmente durante la fermentación. El perfil de ácidos orgánicos del mucílago también se modificó, las concentraciones de ácido glucónico, ácido málico y ácido quínico disminuyeron. Estos hallazgos apoyan el efecto de los microorganismos en el perfil químico de los granos de café procesados en seco y podrían implicar una migración lenta pero observable de los metabolitos microbianos hacia el endospermo (Figura 1). La fermentación con ácido láctico de los granos de café es una nueva estrategia para la modulación del sabor del café al crear nuevas características aromáticas (Wang *et al.*, 2019).

Existe una mayor concentración de azúcares reductores después de la fermentación, presumiblemente por la degradación de la capa de mucílago, lo que tiene un impacto positivo en el aroma del café, puesto que los azúcares son importantes precursores del aroma para la caramelización y las reacciones de Maillard durante la tostación. Se encontró que los granos de café verde con mayor contenido de azúcares reductores después de la fermentación exhiben un mayor grado de atributos caramelizados, ricos y dulces (Wei *et al.*, 2015).

Peñuela-Martínez *et al.* (2018) modificaron los tiempos de despulpado y los métodos de fermentación, además contemplaron el uso de un biorreactor para controlar el pH y la temperatura de la masa de café durante la fermentación. La mejor calidad la obtuvieron a partir de los tratamientos que utilizaron menores tiempos y bajas temperaturas. Las concentraciones de ácidos acético, láctico y cítrico entre los tratamientos y el control fueron diferentes. También encontraron un mayor contenido de ésteres y cetonas en el café que obtuvo la más alta calidad, llegando a la conclusión que los procesos evaluados pueden mejorar la calidad del café, así como la modulación de la acidez y fragancia del producto final.

Numerosas variables influyen en la formación del aroma del café y existe una delicada relación entre el sabor y la fermentación, que en numerosos casos y con los controles adecuados mejora las cualidades organolépticas del café y esto se puede atribuir a la composición de los precursores del aroma presentes en el café verde después de la fermentación. Sin embargo, como el uso de cultivos para la fermentación no es una práctica común, normalmente este proceso se basa en la microbiota natural que existe en el ambiente, equipos y cerezas, generando problemas de inconsistencia (Wei et al., 2015).

Los dos factores que contribuyen a la formación de compuestos volátiles en el café son los metabolitos microbianos que se forman durante la fermentación y los compuestos inherentes de los granos. Estos últimos pueden ser muy variables en función de la región de producción de café y la variedad del café (Silva et al., 2017). A pesar de más de 100 años de investigación en la identificación de microorganismos y uso de cultivos iniciadores en la fermentación del mucílago del café, esta relación entre el proceso, el crecimiento microbiano y la calidad del grano, no se ha elucidado completamente (De Melo et al., 2016; Iamanaka et al., 2014).

2.3.3. Lavado del café

El lavado permite retirar totalmente el mucílago fermentado del grano evitando sobrefermentaciones posteriores que pueden afectar la calidad física y sensorial del café. El uso de agua limpia evita defectos físicos y sensoriales como el grano manchado y sabores a fermento. Éste normalmente se realiza agregando agua limpia y filtrando en repetidas ocasiones al tanque de fermentación o utilizando un canal de correteo. Lo anterior dificulta establecer un consumo específico de agua durante esta operación (Zambrano, 1993).

Para esta, Cenicafé ha desarrollado tecnologías como el tanque tina y el Ecomill® (Oliveros & Sanz, 2017) que reducen el consumo de agua contribuyendo a las prácticas sostenibles en el proceso productivo del café. El tanque consiste en una estructura rectangular con esquinas redondeadas con la capacidad para que se realice el proceso de fermentación del mucílago y un eficiente lavado y clasificación del café (Zambrano, 1993). En el lavado en el tanque tina se consumen menos de 5 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco. El lavado del café fermentado se lleva a cabo dentro del tanque tina haciendo cuatro enjuagues. En el cuarto y último se adiciona agua hasta cinco centímetros por encima de la masa de café y se agita para retirar los flotes o granos vanos, luego el drenaje final y la descarga (Rodríguez et al., 2015). Para caficultores de mayor producción puede utilizarse el canal de correteo, el canal semisumergido o el hidrociclón, dispositivo que permite disminuir el consumo de agua.

El Ecomill® es una tecnología que consiste en una serie de equipos y prácticas con las que se logra eliminar los vertimientos relacionados con el beneficio húmedo del café. Consiste en el despulpado, el transporte del café despulpado y de la pulpa sin agua, proceso de fermentación natural en tanques cilíndricos que no necesitan

agua para el vaciado del café y un sistema mecánico de lavado con mínima cantidad de agua (menos de 0,5L/kg de c.p.s.) y manejo de las aguas residuales con cero vertimientos (Rodríguez et al., 2015).

Aunque la literatura sobre el efecto de la etapa de lavado en la composición química y en la calidad del café es escasa, De Bruyn *et al.*, (2016) evidenciaron la reducción de compuestos como el etanol, la fructosa, la glucosa, el ácido glucurónico, el ácido láctico y el manitol después de 24 horas de remojo, definido como una operación opcional posterior al lavado que consistente en mantener a la masa de café sumergida en agua. Además de la disminución de las concentraciones de ácido cítrico, ácido quínico, cafeína y trigonelina. La anoxia bajo el agua desencadena la germinación del endospermo, dando lugar a una respuesta de consumo anaeróbico de carbohidratos, siendo más intensa durante la fermentación extendida. En los granos de café hubo consumo de los carbohidratos a través de la glicólisis y también se generó una disminución de la concentración de sacarosa en el endospermo. Alternativamente durante el remojo, la presión osmótica facilitó la pérdida de monosacáridos y metabolitos microbianos acumulados durante la fermentación (De Bruyn et al., 2016).

2.3.4. Secado

El secado es un proceso de eliminación de agua que logra la conservación y la estabilidad del café durante su almacenamiento y comercialización al disminuir el contenido y la actividad del agua en el café. El punto de equilibrio higroscópico corresponde a 12% de contenido de humedad; el café con humedad mayor a 12,5% (actividad de agua superior a 0,67) puede causar pérdidas a la calidad del grano al producir calentamiento de la masa y generar focos de hongos e insectos (Correa *et al.*, 2018; Oliveros *et al.*, 2009; Puerta, 2006).

Los principales factores para el crecimiento de los microorganismos son el sustrato, la disponibilidad de agua, la temperatura y el pH. Los métodos de preservación de la calidad de los alimentos se basan en principios que buscan disminuir la disponibilidad de agua, reducir la temperatura, controlar el pH o variar el potencial de óxido reducción (Puerta, 2006). El proceso de secado en café disminuye un contenido inicial de agua entre 50 – 55% hasta el 10 – 12%, aproximadamente, obteniendo el denominado café pergamino seco. El proceso de secado se efectúa de dos maneras: secado por medios naturales y secado por medios mecánicos. La producción de ocratoxina A (OTA) por *Aspergillus ochraceus* en café pergamino con actividad de agua (a_w) entre 0,78 – 0,80 no mostró producción, pero esta se incrementó a una temperatura de 25°C con a_w entre 0,84 y 0,86 (Palacios-Cabrera et al., 2004).

La temperatura del aire de secado tiene influencia significativa en la calidad del grano, temperaturas excesivamente altas ocasionan defectos como los granos cristalizados. Para establecer las temperaturas máximas utilizadas durante el proceso de secado, es necesario considerar que la temperatura del aire casi siempre es mayor que la temperatura del grano y en muchos secadores durante la última etapa de secado la

masa de granos alcanza la temperatura del aire. Los granos que van a ser utilizados como semillas deben conservar un alto porcentaje de germinación y las altas temperaturas matan el germen. Para garantizar la viabilidad de las semillas, se recomienda no dejar que la temperatura del grano sobrepase los 38°C durante el secado. Asimismo, con el fin de asegurar una buena calidad, se recomienda no secar los granos a temperaturas superiores a los 50°C (Roa *et al.*, 2000)

El secado de café por medios naturales aprovecha la energía del sol y la diferencia de humedad relativa del aire es viable para flujos de cosecha pequeños (fincas con producción anual menor a 12,5 toneladas), para producciones anuales superiores a las anteriormente mencionadas se requieren equipos que puedan acelerar el proceso con el fin de evitar el riesgo que implican las demoras del secado natural (Roa *et al.*, 2000).

El aminoácido ácido g-aminobutírico (GABA) es conocido como un metabolito del estrés vegetal y en el café su aparición es diferencial tratándose del tipo de procesamiento al cual es sometido. Su generación está asociada principalmente al proceso de secado. El primer momento es en el cual el secado provoca la respuesta al estrés y, en segundo lugar, el momento en que el contenido de agua ha disminuido tanto que todo el metabolismo se detiene en gran medida (inferior al 25%). Durante un procesamiento seco, el secado (del 50 al 12%) dura de 2 a 3 semanas, por lo que el marco de tiempo para la reacción al estrés comprende varios días y hasta una semana. El contenido de GABA de los granos de arábica naturales es notablemente superior al de los arábicas lavados (Bytof *et al.*, 2005, 2018).

2.4 Calidad química y relación con la calidad sensorial de café

El café es sin duda uno de los productos alimenticios más complejos desde el punto de vista de su composición química. No sólo porque el grano verde contiene una amplia gama de diferentes compuestos químicos, sino porque estos compuestos reaccionan e interactúan en las diferentes etapas del procesamiento del café generando una diversidad y complejidad de estructuras aún mayor (Clarke & Macrae, 1985). Existen numerosas investigaciones sobre los componentes químicos individuales o en grupos presentes en el café, la probable importancia de los componentes individuales de ciertos tipos de café, así como las propiedades sensoriales y las preferencias de los consumidores por el café, pero hay poca información disponible que vincule directamente las propiedades sensoriales percibidas del café con los componentes composicionales (Sunarharum *et al.*, 2014).

Los perfiles volátiles y, posteriormente, los perfiles aromáticos y las cualidades sensoriales del café tostado dependen en gran medida de la composición de los precursores de aromas presente en los granos de café verde antes de la tostación (Gonzalez-Rios *et al.*, 2007). Esto fue corroborado por estudios que demostraron que las diferencias en las concentraciones de precursores de aromas como las proteínas, carbohidratos y ácidos clorogénicos en los granos de café verde de la misma variedad correspondió a diferentes calidades después del

tostado (Franca, Oliveira, et al., 2005). En la Tabla 4 se muestran los rangos de valores de los principales compuestos químicos y su influencia en la calidad sensorial.

Tabla 2-4. Rango de valores de los principales compuestos químicos en café verde

Compuesto	Rango Café arábica verde (% b.s)	Influencia en los atributos sensoriales	Fuente
Sacarosa	5,3 – 9,3	Precursor del sabor, aroma, acidez y color.	Clifford & Willson (1985)
	6,25- 8,45		Clarke & Vitzthum (2001)
	8,0		Puerta, G. (2013)
Cafeína	0,6 -1,5	Amargo	Clifford y Willson (1985)
	0,9-1,2		Clarke y Macrae (1985)
	1,7±0,02		Franca <i>et al.</i> (2005)
	1,20		Puerta, G. (2013)
Trigonelina	1,0	Precursor del aroma	Clifford y Willson (1985)
	1,0-1,2		Clarke y Macrae (1985)
	0,64±0,28		Franca <i>et al.</i> (2005)
	1,34 ±0,5		Farah <i>et al.</i> (2006)
	1,0		Puerta, G. (2013)
Ácidos Clorogénicos	5,5 -8,0	Acidez, astringencia y amargo	Clarke y Macrae (1985)
	6,2 – 7,9		Clifford y Willson (1985)
	6,90		Puerta, G. (2013)
Lípidos	10-14	Precursores del sabor y cuerpo de la bebida	Clifford y Willson (1985)
	12,0-18		Clarke y Macrae (1985)
	11,13 ±0,13		Franca <i>et al.</i> (2005)
	16,2		Puerta, G. (2013)
Minerales	3,0 – 4,2	-	Clarke y Macrae (1985)

2.4.1. Carbohidratos

El café verde contiene un rango de diferentes carbohidratos, convencionalmente divisibles en los grupos de polisacáridos, y azúcares de bajo peso molecular que incluyen tri, di y monosacáridos. Estos pueden dividirse en azúcares reductores y no reductores. Sin embargo, existen informes contradictorios sobre su naturaleza y las cantidades presentes, especialmente en lo que respecta a la fracción de polisacáridos. Algunas sustancias derivadas de los carbohidratos, como las pectinas, también están presentes (Clarke & Macrae, 1985).

El principal carbohidrato o azúcar de bajo peso molecular del café verde es la sacarosa; el contenido de monosacáridos es relativamente bajo. Los valores publicados muestran mucha variación entre los tipos de granos, aunque, en general, las variedades arábicas tienden a contener aproximadamente el doble de sacarosa que las robustas. La mayoría de los valores de la literatura para la sacarosa están en el rango de aproximadamente 2% a 5% para los granos de robusta y 5% a 8,5% para los arábicas (Clifford & Willson, 1985). Incluso dentro de la especie se pueden esperar algunas diferencias en el contenido de sacarosa debido a diferencias de variedades, estado de madurez, transformación y condiciones de almacenamiento, aunque hay

poca información disponible (Clarke & Macrae, 1985). Esta se encuentra a través de todo el endospermo del fruto de café (Garrett et al., 2016).

Los extractos de café verde también han revelado a menudo la presencia de otros azúcares simples, incluyendo los azúcares reductores. Las cantidades encontradas son, sin embargo, generalmente muy pequeñas; de hecho, sólo se encuentran trazas de estaquiosa, rafinosa, arabinosa, manosa, galactosa, ribosa y ramnosa, pero se han reportado niveles algo más altos de glucosa y fructosa (Clarke & Macrae, 1985). La naturaleza y el contenido de estos azúcares serán importantes para el desarrollo del aroma del café y para la formación de pigmentos y otros productos de alto peso molecular efecto de la caramelización en el café durante el tueste. Las mayores cantidades de azúcares reductores se encontraron en los granos procesados en seco, seguidos de los cafés semi-secos y, por último, se encontraron niveles más bajos para los granos húmedos desmucilaginosos (Amorim et al., 2009).

Los polisacáridos son constituyentes importantes del café verde, presente en cantidades del 40-50% en base seca. Los polisacáridos también se conocen como glicanos, con nombres individuales a partir del componente monosacárido originario, por ejemplo, glucano, arabano, etc., a partir de glucosa o arabinosa, respectivamente (Clarke & Macrae, 1985). Aunque se han propuesto varios tipos de polisacáridos como componentes del grano de café a lo largo de los años, se ha establecido que la fracción de polisacáridos del grano de café está dominada por tres tipos de polímeros: arabinogalactán, manán (y/o galactomanano) y celulosa (Clarke & Vitzthum, 2001).

2.4.2. Componentes nitrogenados

El término "componente nitrogenado" debe aplicarse estrictamente aquellos componentes que contengan nitrógeno inorgánico u orgánico. Sin embargo, se pueden dividir en tres grupos principales de compuestos: alcaloides, trigonelina junto con ácido nicotínico y aminoácidos, y proteínas. Dentro de los alcaloides se encuentra la cafeína y su contenido en el café verde varía ampliamente, siendo las diferencias de especies el factor más importante. Sin embargo, incluso dentro de una especie hay una amplia gama de valores (Clarke & Macrae, 1985). Los cafés robusta en general tienen un contenido más alto de cafeína con un valor medio global de 2,2 % b.s., mientras que el valor para los arábicas es de aproximadamente 1,2 % b.s. La cafeína es inolora, pero tiene un marcado sabor amargo. Se han realizado varios intentos para correlacionar las características sensoriales del amargo del café con su contenido de cafeína, pero con poco éxito. De hecho, se ha demostrado que la cafeína contribuye sólo en una proporción relativamente pequeña (10%) del amargor percibido (Clarke & Macrae, 1985). Además de los alcaloides, otras bases nitrogenadas han sido reportadas como presentes en el café. Éstos se pueden clasificar en dos grupos, a saber, los que son inherentes y estables a temperaturas de tueste y los que se descomponen fácilmente dando lugar a componentes volátiles de importancia sensorial. El segundo grupo de compuestos consiste principalmente de trigonelina y amidas de serotonina. La trigonelina ha

recibido una gran atención, ya que sus productos de degradación térmica son importantes tanto desde el punto de vista sensorial como nutricional. La trigonelina tiene poca influencia directa en la calidad de la bebida de café, con un sabor amargo débil: aproximadamente una cuarta parte de la de la cafeína, sin embargo, en su degradación térmica hay productos que hacen que su presencia en el café sea importante. El nivel de trigonelina que se encuentra en el café verde depende de la especie, los cafés arábicas con un contenido aproximado de 1,0%, robustas 0,7% y libéricas 0,25 % bs (Clarke & Macrae, 1985).

El ácido nicotínico sólo se encuentra en el café verde en niveles muy bajos, a menudo en el rango de 1,6-4,4 mg por 100 g. En estos niveles bajos la vitamina tendría poca o ninguna importancia fisiológica. No obstante, al tostar se produce un aumento de los niveles presentes debido a la progresiva desmetilación de la trigonelina. La evidencia de que la trigonelina es el precursor del ácido nicotínico proviene principalmente de la proporcionalidad entre la pérdida de la primera y la de la segunda durante el proceso de tueste (Clarke & Macrae, 1985). En el caso del café verde las proteínas y los aminoácidos presentes al ser sometidos al proceso de tueste serán desnaturalizados y degradados para obtener fragmentos de un peso molecular más bajo. Adicionalmente, reaccionan con hidratos de carbono (reacción de Maillard) e incluso con compuestos fenólicos, para dar una mezcla compleja de compuestos volátiles y no volátiles. Muchos de estos volátiles son aromas importantes y, por lo tanto, los niveles de aminoácidos libres pueden tener un efecto directo en el aroma y, por lo tanto, en la calidad del café tostado (Clarke & Macrae, 1985).

2.4.3. Ácidos Clorogénicos

En los granos de café verde se encuentran pequeñas cantidades de ácido quínico libre. Un mayor la cantidad de ácido quínico se presenta como una serie de ésteres (colectivamente) generalmente conocidos como ácidos clorogénicos (CGA). Los ácidos clorogénicos son uno de los polifenoles más abundantes presentes en los alimentos vegetales y el café es una de las fuentes más ricas de ácidos clorogénicos en el mundo en comparación con otras bebidas (Clifford & Willson, 1985). Los robustas tienen generalmente un contenido de CGA significativamente mayor que los arábicas, alrededor del 7-10 % y del 5-7 % respectivamente. Los estudios sobre las propiedades organolépticas de los ácidos clorogénicos han sido escasas, algunos indican que el 5-CQA es mucho ácido que el ácido quínico libre y ligeramente amargo. Se ha usado el término 'astringente' para describir el sabor de los preparados que contienen diCQA, pero estudios objetivos basados en la precipitación de proteínas han confirmado que los diCQA son astringentes mientras que el 5-CQA no lo es (Clarke & Macrae, 1985). Los mayores contenidos de ácidos clorogénicos se encuentran en cafés procesados por vía húmeda en comparación con los cafés procesados por vía semi-seca (Duarte et al., 2010).

2.4.4. Lípidos

Los lípidos de los granos de café verde se componen de un aceite de café presente principalmente en el endospermo, y una pequeña cantidad de la llamada “cera de café” localizado en las capas externas del grano.

El aceite de café no sólo contiene triglicéridos, también una proporción considerable de otros componentes lipídicos característicos. El café arábica tiene un contenido promedio de 15% bs con una desviación estándar de 0,78%, robusta con un promedio de 10% bs y una desviación estándar de 1,41%. Los granos verdes contienen en promedio alrededor de un 13 % de material lipídico, tres cuartas partes de que éstos son triglicéridos. También hay cantidades apreciables de diterpenos, ésteres de triterpenos y esteroides, diterpenos libres, triterpenos y esteroides, y fosfátidos. La fracción no triglicérida de los lípidos del café comprende un rango de componentes presentes en cantidades variables, especialmente libres y esterificados, alcoholes diterpénicos y esteroides (Clarke & Macrae, 1985). No existen diferencias significativas entre el café arábica y el robusta en cuanto a la composición total de ácidos grasos, ni tampoco se observó un cambio en los ácidos grasos por el tostado. Los diterpenos más prominentes en la materia insaponificable del aceite del café son los alcoholes diterpenos cafestol y, en menor concentración, kahweol (Clarke & Macrae, 1985). Los lípidos de los granos de café *Coffea arabica* L. presentan la siguiente composición: triacilgliceroles (75%), ésteres de terpenos (14%), acilgliceroles parciales (5%), ácidos grasos libres (1%), esteroides libres (1,5%), ésteres de esteroides (1%) y lípidos polares (<1%) (Nikolova-Damyanova et al., 1998).

2.4.5. Ácidos Carboxílicos

La acidez percibida de la bebida de café siempre ha sido reconocida como uno de los principales atributos de su calidad. Los tipos de ácidos que se encuentran en el café son ácidos alifáticos carboxílicos, pero también algunos ácidos alicíclicos y heterocíclicos, junto con los ácidos clorogénicos. También se ha informado de la importancia del ácido fosfórico. El café verde de arábica contiene ácidos no volátiles, incluido el 0,5 % de ácido cítrico, el 0,5 % de ácido málico, el 0,2 % de ácido oxálico y el 0,4 % de ácido tartárico (Clarke & Macrae, 1985).

Los ácidos cítrico, málico, acético, láctico y pirúvico son los más reportados por la mayoría de trabajos, puesto que están presentes en cantidades significativas. (Clarke & Vitzthum, 2001). La formación de los diferentes ácidos alifáticos, pequeños en cantidad, del orden del 1,5-2,5 %, dependen del nivel de tueste y probablemente de la mezcla, y se asocia necesariamente con cambios de la composición. La sacarosa es el principal precursor en los granos verdes de los ácidos acético, fórmico, láctico, glicólico y otros derivados de los carbohidratos. El ácido cítrico y el ácido málico, ya están presentes en los granos de café verde en una diversa gama de concentraciones y varían principalmente en función de la variedad botánica (Clarke & Vitzthum, 2001).

2.5 Transferencia de masa

La transferencia de masa es una de las fenomenologías clave para el estudio de transporte de componentes de un medio a otro. Existen diferentes mecanismos de transferencia de masa donde se ven involucradas fuerzas impulsoras, una de ellos es el efecto difusivo, el cual se presenta por la diferencia de concentraciones desde

una región de concentración elevada, hacia otra de baja concentración. Otro mecanismo corresponde al convectivo, en el cual la transferencia de materia se presenta entre un medio en fase sólida y un fluido en movimiento (o entre dos fluidos en movimiento), allí se verifica el transporte de materia debido a un desplazamiento global de la masa de fluido.

La transferencia de masa a nivel molecular busca una comprensión fundamental del mecanismo de transferencia de materia, esto se realiza en términos de la estructura molecular y las fuerzas intermoleculares, implicando el estudio de moléculas complejas, intervalos de temperatura o sistemas químicamente reactivos, entre otros. Los problemas en el nivel molecular contemplan el flujo de mezclas de fluidos de composición variable, haciendo énfasis en el transporte difusivo y convectivo de la materia. No obstante, hay otros tipos de difusión: la difusión térmica, que resulta de un gradiente de temperatura; la difusión de presión, que resulta de un gradiente de presión; y la difusión forzada, que es provocada por fuerzas externas desiguales que actúan sobre las especies químicas (Bird *et al.*, 2006).

En los procesos fermentativos en fase sólida, el mecanismo base donde se presenta la transferencia de masa es la difusión, puesto que no existe un movimiento del fluido circundante que permita la transferencia de masa por convección.

La difusión, como un mecanismo para la transferencia de masa se define específicamente como la transferencia (o desplazamiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas (Geankoplis, 1998).

En la investigación realizada por Martínez-Ramírez, (2013) asociada a la transferencia de masa de agua en el endospermo y el pergamino del grano de café, evidenció que el mucílago está presente en la discontinuidad natural del grano de café y también cuando este comienza a secarse. Con respecto a la transferencia de masa, el endospermo mostró un valor constante de difusividad para los contenidos de humedad superiores a 0,65, lo anterior lo explica al exponer que, en los estados iniciales de secado, el grano entero se comporta como una estructura homogénea. Por debajo de este valor, la difusividad disminuyó con el contenido de humedad y tendió a cero cuando el endospermo está seco. A medida que el secado avanza, la difusividad del agua en el pergamino disminuye por dos razones: La contracción de la estructura celular que va acompañada de una reducción del flujo de agua y esta al mismo tiempo genera el aumento o la aparición de espacios macroscópicos llenos de aire; la segunda está asociada al aumento de la unión entre el agua y la matriz sólida. La difusividad disminuye con el contenido de humedad hasta llegar a cero.

2.6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar Á., Jurado J. M., Martín M. J., Pablos F., González A. G. (2005). Enzymatic-spectrophotometric determination of sucrose in coffee beans, *67*(4): 760–766. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.04.005>
- Alvarez J. (1991). Despulpado de café sin agua, *AVT 164*(164): 1–7. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Amorim A. C. L., Hovell A. M. C., Pinto A. C., Eberlin M. N., Arruda N. P., Pereira E. J., ... Rezende C. M. (2009). Green and Roasted Arabica Coffees Differentiated by Ripeness, Process and Cup Quality, *20*(2): 313–321.
- Arcila J., Farfán F., Moreno A., Salazar L., Hincapié E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafé. 310 p. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Barboza C. A., Amaya F. L. (1995). Análisis de la calidad del grano y de la bebida del café var. caturra en función de la maduración y tiempo de fermentación, 1–15.
- Bytof G., Knopp S., Kramer D., Breitenstein B., Bergervoet J. H. W. (2018). Transient Occurrence of Seed Germination Processes during Coffee Post-harvest Treatment, *100*(1): 61–66.
- Bytof G., Peter S. K. (2005). Influence of processing on the generation of g -aminobutyric acid in green coffee beans, 245–250. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1033-z>
- Carvajal J. J., Aristizábal I. D., Oliveros C. E., Mejía J. W. (2011). Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L .) Durante su Desarrollo y Maduración, *64*(2): 6229–6240.
- Clarke R. J., Macrae R. (1985). *Coffee Vol. 1*. Elsevier. 306 p.
- Clarke R. J., Vitzthum O. G. (2001). *Coffee Recent Developments*. 266 p.
- Clifford M. N., Willson K. C. (1985). *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans an beverage*. AVI. 439 p.
- Coradi P. C., Borém F. M., Saath R., Marques E. (2015). Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee, (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4880.7523>
- Correa P. C., Botelho F. M., Botelho S. de C., Goneli A. L. (2018). Sorption isotherms of fruits of *Coffea canephora*, 1–10.
- De Bruyn F., Jiyuan Zhang S., Pothakos V., Torres J., Lambot C., Moroni A., ... De Vuyst L. (2016). Exploring the impact of post-harvest processing on the microbiota and metabolite profiles during a case of green coffee bean production, (October). <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- De Castro R. D., Marraccini P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- De Melo G., Neto D. P. D. C., Júnior A. I. M., Vásquez Z. S., Medeiros A. B. P., Vandenberghe L. P. S., Soccol C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review, *272*(August 2018): 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- De Melo G. V., Neto E., Soccol V. T., Medeiros A. B. P., Woiciechowski A. L., Soccol C. R. (2015). Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects, *75*: 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>

- De Melo G. V., Soccol V. T., Soccol C. R. (2016). Current state of research on cocoa and coffee fermentations, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.001>
- De Sousa G. R., Duarte Vieira H., Pereira Rodrigues W. (2015). Comparison between manual and semi-mechanical harvest of coffee fruit in mountainous areas, 10(28): 2724–2730. <https://doi.org/10.5897/ajar2014.9356>
- Duarte G. S., Pereira A. A., Farah A. (2010). Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods, 118(3): 851–855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.042>
- Duque H., Aristizábal C. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia, 56(4): 299–318.
- Echavarría J., Esguerra P., McAllister D., Robayo C. (2013). Informe de la misión de estudios para la competitividad de la caficultura en Colombia, 1–122.
- Eira M. T. S., Amaral Da Silva E. A., De Castro R. D., Dussert S., Walters C., Bewley J. D., Hilhorst H. W. M. (2006). Coffee seed physiology. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>
- Esquivel P., Jiménez V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products, 46(2012): 488–495.
- Evangelista S., Da Cruz Pedrozo M. G., Ferreira Silva C., Marques Pinheiro A. C., Freitas Schwan R. (2015). Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation, 210: 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.008>
- Farah A., Monteiro M., Cavallo V., Franca A. S., Trugo L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee, 98: 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>
- Fernandez-Alduenda M., Lusk K., Silcock P., Birch J. (2014). Descriptive Cupping – a Rapid Coffee Flavour Profiling Method Using the Specialty Coffee Association of America (SCAA) Cupping Protocol pp. p42–49.
- FNC. (2017). Informe de la Industria Cafetera 2017. 64 p.
- Franca A. S., Mendonca J. C. F., Oliveira S. D. (2005). Composition of green and roasted coffees of different cup qualities, 38: 709–715. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.014>
- Franca A. S., Oliveira L. S., Mendonca J. C. F., Silva X. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans, 90: 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>
- Garrett R., Rezende C. M., Ifa D. R. (2016). Revealing the spatial distribution of chlorogenic acids and sucrose across coffee bean endosperm by desorption electrospray ionization-mass spectrometry imaging, 65: 711–717. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.062>
- Geankoplis C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias.
- Giovannucci D., Liu P., Byers A. (2008). Agregando valor: Comercio de café certificado en Norte América, 29–50.
- Gonzalez-Rios O., Suarez-Quiroz M. L., Boulanger R., Barel M., Guyot B., Guiraud J.-P., Schorr-Galindo S. (2007). Impact of ““ ecological ”” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans : I . Green coffee, 20: 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.009>
- Iamanaka B. T., Teixeira A. A., Teixeira A. R. R., Vicente E., Frisvad J. C., Taniwaki M. H., Bragagnolo N. (2014). Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage, 64: 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>

- Kipkorir R. K., Muliro P., Muhoho S. (2015). Effects of coffee processing technologies on physico-chemical properties and sensory qualities of coffee, 9(4): 230–236. <https://doi.org/10.5897/ajfs2014.1221>
- Koshiro Y., Jackson M. C., Katahira R., Wang M. L., Nagai C., Ashihara H. (2007). Biosynthesis of chlorogenic acids in growing and ripening fruits of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* plants, 62(9–10): 731–742. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1017>
- Liu C., Yang Q., Linforth R., Fisk I. D., Yang N. (2019). Modifying Robusta coffee aroma by green bean chemical pre-treatment, 272(April 2018): 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.226>
- Marín C., Puerta G. I. (2008). Cotenido de ácidos clorogénicos en frutos de *Coffea arabica* y *C. canephora*, según el desarrollo del fruto, 59(1): 7–28.
- Marín S. M., Arcila Pulgarín J., Montoya Restrepo E. C., Oliveros-Tascón C. E. (2003). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia), 54(3): 208–225.
- Marraccini P., Allard C., Andre M., Courjault C., Gaborit C., Lacoste N., ... Deshayes A. (2001). Update on coffee biochemical compounds, protein and gene expression during bean maturation and in other tissues., 1–12.
- Martinez Ramirez A. (2013). Internal structure and water transport in endosperm and parchment of coffee bean, 114: 375–383.
- Martinez S. J., Pereira Bressani A. P., Da Cruz Pedrozo M. G., Ribeiro Dias D., Freitas Schwan R. (2017). Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures, 102(September): 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>
- Martínez V. M., Aristizábal Torres I. D., Moreno E. L. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink, 24(1): 47–58.
- Nikolova-Damyanova B., Velikova R., Jham G. N. (1998). Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species in crude coffee beans harvested in Brazil, 31(6–7): 479–486. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00016-2)
- Ocampo Agudelo D. M., Riaño Herrera N. M., López Ruiz J. C., López Forero Y. (2010). Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del cafeto, 61(4): 327–343.
- Ocampo D. M., Riaño Herrera N. M., López Ruiz J. C., López Forero Y. (2010). Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del cafeto, 61(4): 327–343.
- Ocampo O., Álvarez L. (2017). Artículo de investigación Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia, 36(Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia): 139–165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- OIC. (2018). El mercado de café finalizó 2017/18 en excedente. Guatemala. 7 p.
- Oliveros C. E., Peñuela Martinez A. E., Jurado Chana J. M. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método gravimet. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Oliveros C. E., Roa G. (1995). El desmucilaginado mecánico del café. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Oliveros C. E., Sanz J. R. (2017). Tecnología para el lavado del café en fincas de pequeños productores Ecomill @ LH300, (9): 1–8. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.

- Oliveros Tascón C. E., Sanz Uribe J. R., Ramírez Gómez C. A., Alvarez Hernández J. R., Roa Mejía G., Alvarez Gallo J. (1995). Desmucilaginosos mecánicos de café. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Palacios-Cabrera H., Taniwaki M. H., Menezes H. C., Iamanaka B. T. (2004). The production of ochratoxin A by *Aspergillus ochraceus* in raw coffee at different equilibrium relative humidity and under alternating temperatures, 15: 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.08.006>
- Pedroza E., Meira Borém F., Damasceno de Oliveira P., Cambuy Siqueira V., Euripedes Alves G. (2018). Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process, 1–8.
- Peñuela-Martínez A. E., Zapata-Zapata A. D., Durango-Restrepo D. L. (2018). Performance of different fermentation methods and the effect on quality coffee (*Coffea arabica* L.), 13(4): 465. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1486>
- Peñuela A. E., Oliveros Tascón C. E., Sanz Uribe J. R. (2010). Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural, 61(2): 159–173. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Peñuela A. E., Pabón Usaquén J. P., Oliveros Tascón C. E. (2011). Enzimas: una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago del café, (4). Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Peñuela A. E., Pabón Usaquén J. P., Sanz Uribe J. R. (2013). Método Fermaestro: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Pereira Bressani A. P., Martinez S. J., Reis Evangelista S., Ribeiro Dias D., Freitas Schwan R. (2018). Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods, 92(February): 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>
- Pérez M., Jiménez S., Ebrahimzadeh A., Verdejo M. M., Chaves L. A., Lao M. T. (2008). Propuesta de una metodología para la determinación del color del tejido vegetal pp. p237–242.
- Pohlan H. a J., Janssesn M. J. J. (2008). Growth and Production of Coffee, 19(4): 485–510.
- Prasanna V., Prabha T. N., Tharanathan R. N. (2007). Fruit ripening phenomena-an overview, 47(1): 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Puerta G. I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café.
- Puerta G. I. (2011). Composición química de una taza de café, AVT 414(414): 1–12. Disponible en http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/publicaciones_avt0414comp osicion_quimica_de_una_taza_de_cafe. . Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Puerta G. I., Ríos S. (2011). Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración, 62(1999): 23–40. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Ramos-Giraldo P. J., Sanz-Uribe J. R. (2011). Sistema opto-electrónico para la identificación de frutos de café por estados de maduración, 62(1): 87–99. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Reis S., Ferreira C., Gabriela M., Miguel C., Souza C. De, Carla A., Pinheiro M., Ferreira W., Freitas R. (2014). Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process, 61: 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>
- Roa G., Oliveros Tascón C. E., Ramírez Gómez C. A. (2000). Utilice la energía solar para secar correctamente el café. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.
- Roa Mejía G., Oliveros Tascón C. E., Parra Coronado A., Ramírez G C. A. (2000). El secado mecánico del café. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.

- Rodríguez N., Sanz J., Oliveros C., Ramírez C. (2015). Beneficio de Café en Colombia. *Cenicafé*. 37 p.
- Rogers W. J., Bastin M., Bucheli P. (1999). Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. arabica*) coffees, 149: 115–123.
- Salazar M. R., Riaño Herrera N. M., Arcila Pulgarín J., Ponce C. A. (1994). Estudio morfológico anatómico y ultraestructural del fruto de café *Coffea arabica* L., 45(3): 93–105. Centro Nacional de Investigaciones del café. *Cenicafé*.
- Sanz Uribe J. R., Oliveros Tascón C. E., Duque Orrego H., Mejía Mejía C. G., Benavides Machado P., Medina Rivera R. D. (2018). Retención de pases: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. Centro Nacional de Investigaciones del café. *Cenicafé*.
- SCA. (2000). Cupping Protocols. Disponible en <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Shuler J. D. (2017). Effect of the Presence of the Pericarp on the Chemical Composition and Sensorial Attributes of Arabica coffee, 64.
- Silva C. F., Schwan R. F., Dias S., Wheals A. E. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil, 60: 251–260.
- Silva C., Schwan R., Sousa Dias E., Wheals A. E. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil Vol. 60, pp. p251–260. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9)
- Silva L., Egídio Ribeiro D., Reis Evangelista S., Da Cruz Pedrozo M. G., Marques Pinheiro A. C., Meira Borém F., Freitas Schwan R. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures : A sensory perspective, 82: 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>
- Silva L., Miguel M. G. da C. P., Evangelista S. R., Martins P. M. M., van Mullem J., Belizario M. H., Schwan R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage, 92: 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- Smrke S., Kroslovakova I., Gloess A. N., Yeretian C. (2015). Differentiation of degrees of ripeness of Catuai and Tipica green coffee by chromatographical and statistical techniques, 174: 637–642. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.060>
- Sunarharum W. B., Williams D. J., Smyth H. E. (2014). Complexity of coffee flavor : A compositional and sensory perspective, 62: 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>
- Suppavorasatit I., Lopetcharat K., Kulapichitr F., Borompichaichartkul C., Boonbumrung S., Pratontep S. (2017). Differences in volatile compounds and antioxidant activity of ripe and unripe green coffee beans (*Coffea arabica* L. ‘Catimor’), 51(1179): 261–268. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2017.1179.41>
- Toci A. T., Farah A. (2008). Food Chemistry Volatile compounds as potential defective coffee beans ’ markers, 108: 1133–1141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.064>
- Veiga A., Mendes R., Dellyzete S., Vilela E., De Castro L., Veiga A. (2007). Armazenabilidade de sementes de cafeeiro colhidas em diferentes estádios de maturação e submetidas a diferentes métodos de secagem, 29(1): 83–91. <https://doi.org/10.1590/s0101-31222007000100012>
- Velásquez S., Peña N., Bohórquez J. C., Gutiérrez N., Sacks G. (2019). Volatile and sensory characterization of roast coffees – Effects of cherry maturity, 274: 137–145.
- Vélez R. (2018). Informe del Gerente, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Wallis-García J. A., Montoya Restrepo E. C., Vélez Zape J. C., Oliveros Tascón C. E. (2004). Calidad y eficacia de dos métodos no selectivos de recolección manual de café (*Coffea arabica*), 55(1): 45–51.

Wang C., Sun J., Lassabliere B., Yu B., Zhao F., Zhao F., Chen Y., Liu S. Q. (2019). Potential of lactic acid bacteria to modulate coffee volatiles and effect of glucose supplementation: fermentation of green coffee beans and impact of coffee roasting, 99(1): 409–420. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9202>

Wei L., Wai Cheong M., Curran P., Yu B., Quan Liu S. (2015). Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship, 185: 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>

Wie L., Yu Tay G., Wai Cheong M., Curran P., Yu B., Quan Liu S. (2017). Modulation of the volatile and non volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica* II. Roasted coffee_Wei_2017.pdf.

Wintgens J. (2008). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Wiley-VCH Verlag GmbH. 928 p. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>

Zambrano D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina, AVT 197(197): 1–8. Centro Nacional de Investigaciones del café. Cenicafé.

3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD SENSORIAL DE FRUTOS DE CAFÉ CON DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ

3.1. Resumen

La configuración de la calidad sensorial del café se inicia en el árbol, donde precursores químicos se depositan y se forman en las semillas a medida que desarrollan los frutos. Dentro del rango en el que se clasifica el fruto como maduro existe una amplia gama de propiedades. Este estudio evaluó tres grados de madurez estableciendo sus características químicas y sensoriales mediante técnicas analíticas como cromatografía líquida y de gases. Los estados evaluados no presentaron diferencias en los ácidos orgánicos, ácidos grasos libres, lípidos, ácidos clorogénicos totales, proteínas, alcaloides y sacarosa. La fructosa y glucosa presentaron diferencias por el grado de madurez con mayores valores asociados a estados más desarrollados. El análisis de varianza no presentó efecto significativo en los atributos sensoriales ni en la calidad sensorial. La coordenada cromática a^* de la escala CIEL*a*b*, alcanza un valor máximo de 25,16 y los estados evaluados son diferentes entre ellos.

3.2. Palabras clave

Café, calidad, madurez, glucosa, fructosa, sensorial.

3.3. Introducción

El fruto de *C. arabica* L., es una drupoide y alcanza su máximo desarrollo entre los 220 y los 240 días después de anthesis, inicialmente, su color es verde y posteriormente toma tonalidades amarillas o rojas dependiendo del genotipo (Ocampo *et al.*, 2010). Está constituido por un pericarpio o corteza bien desarrollado con tres tejidos característicos: el exocarpio, el mesocarpio y el endocarpio (Esquivel & Jiménez, 2012; Salazar *et al.*, 1994). El endospermo, está formado por células de forma irregular con paredes celulares muy delgadas y en su interior se observan una gran cantidad de amiloplastos. La mayor parte está formado por células parenquimáticas de almacenamiento las cuales acumulan materiales, tanto en el citoplasma como en las paredes (Salazar *et al.*, 1994). El conocimiento de las diferentes estructuras que componen el fruto, las relaciones y algunas vías bioquímicas del flujo metabólico entre los tejidos y de la acumulación dentro del endospermo es fundamental para identificar los objetivos de mejora de calidad del grano maduro (De Castro & Marraccini, 2006; Eira *et al.*, 2006).

El crecimiento del fruto puede describirse mediante una función logística, en una curva sigmoideal, identificándose una etapa exponencial inicial de crecimiento lento, una lineal de crecimiento acelerado y una final de estabilización. Posteriormente, se observa una etapa de disminución, asociada con procesos degradativos y de postmaduración (Ocampo *et al.*, 2010).

3.4. BIBLIOGRAFÍA

- Amorim, A. C. L., Hovell, A. M. C., Pinto, A. C., Eberlin, M. N., Arruda, N. P., Pereira, E. J., Bizzo, H. R., Catharino, R. R., Filho, Z. B., & Rezende, C. M. (2009). Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(2), 313–321. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000200017>
- Carvajal, J. J., Aristizábal, I. D., & Oliveros, C. E. (2012). Physical and mechanical properties evaluation of coffee fruit (*Coffea Arabica* L. var. Colombia) during its development and maturation. *DYNA*, 79(173), 116–124. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25965>
- Barboza, C. A., & Amaya, F. L. (1996). Quality analysis of coffee var. Caturra beans and beverage as a function of berry ripeness and vean fermentation time. *Agronomía Tropical*, 46(3), 289–311.
- Batali, M. E., Frost, S. C., Lebrilla, C. B., Ristenpart, W. D., & Guinard, J. (2020). Sensory and monosaccharide analysis of drip brew coffee fractions versus brewing time. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 2953–2962. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10323>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Coffee, Tea, Cocoa. In *Food Chemistry* (pp. 938–970). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7_22
- Carvajal, J. J., Aristizábal, I. D., Oliveros, C. E., & Mejía, J. W. (2011). Coffee Fruit (*Coffea arabica* L.) Colorimetry During its Development and Maturation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2), 6229–6240. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29414>
- De Castro, R. D., & Marraccini, P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175–199. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- Eira, M. T. S., Silva, E. A. A. da, De Castro, R. D., Dussert, S., Walters, C., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. M. (2006). Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 149–163. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>
- 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>
- Geromel, C., Ferreira, L. P., Bottcher, A., Pot, D., Pereira, L. F. P., Leroy, T., Vieira, L. G. E., Mazzafera, P., & Marraccini, P. (2008). Sucrose metabolism during fruit development in *Coffea racemosa*. *Annals of Applied Biology*, 152(2), 179–187. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00199.x>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). NTC 2324: Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.htm>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2003). ISO 6673:2003 Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6673:ed-2:v1:en>
- Koshiro, Y., Jackson, M. C., Katahira, R., Wang, M.-L., Nagai, C., & Ashihara, H. (2007). Biosynthesis of Chlorogenic Acids in Growing and Ripening Fruits of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* Plants. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 62(9–10), 731–742. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1017>

- Koshiro, Y., Jackson, M. C., Nagai, C., & Ashihara, H. (2022). Changes in the content of sugars and organic acids during ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *European Chemical Bulletin*, 4(8), 378–378. <https://www.eurchembull.com/?mno=66742>
- Marín, C., & Puerta, G. I. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *Coffea arabica* L. y *C. canephora*, según el desarrollo del fruto. *Revista Cenicafé*, 59(1), 7–28. <http://hdl.handle.net/10778/60>
- Marín, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Revista Cenicafé*, 54(3), 208–225. <http://hdl.handle.net/10778/265>
- Marraccini, P., Allard, C., Andre, M., Courjault, C., Gaborit, C., Lacoste, N., Meunier, A., Michaux, S., Petit, V., Priyono, P., Rogers, J., & Deshayes, A. (2001). Update on coffee biochemical compounds, protein and gene expression during bean maturation and in other tissues. *Proceedings of 19th International Scientific Colloquium on Coffee*, Trieste, Italy. <https://www.asic-cafe.org/conference/19th-international-scientific-colloquium-coffee>
- Martinez, V. M., Aristizábal, I. D., & Moreno, E. L. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink. *Vitae*, 24(1), 47–58. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a06>
- Montavon, P., Duruz, E., Rumo, G., & Pratz, G. (2003). Evolution of Green Coffee Protein Profiles with Maturation and Relationship to Coffee Cup Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2328–2334. <https://doi.org/10.1021/jf020831j>
- Koshiro, Y., Zheng, X.-Q., Wang, M.-L., Nagai, C., & Ashihara, H. (2006). Changes in content and biosynthetic activity of caffeine and trigonelline during growth and ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *Plant Science*, 171(2), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.03.017>
- Ocampo, D. M., Riaño, N. M., López, J. C., & López, Y. (2010). Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del cafeto. *Revista Cenicafé*, 61(4), 327–343. <http://hdl.handle.net/10778/507>
- Ortolá, M. D., Gutiérrez, C. L., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Kinetic study of lipid oxidation in roasted coffee. *Food Science and Technology International*, 4(1), 67–73. <https://doi.org/10.1177/108201329800400109>
- Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit Ripening Phenomena—An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Puerta, G. I., & Rios-Arias, S. (2011). Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Revista Cenicafé*, 62(2), 23–40. <http://hdl.handle.net/10778/478>
- Rogers, W. J., Michaux, S., Bastin, M., & Bucheli, P. (1999). Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. arabica*) coffees. *Plant Science*, 149(2), 115–123. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00147-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00147-8)
- Salazar, M. R., Riaño-Herrera, N. M., Arcila Pulgarín, J., & Ponce, C. A. (1994). Estudio morfológico anatómico y ultraestructural del fruto de café *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 45(3), 93–105. <http://hdl.handle.net/10778/795>

Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4218>

Smrke, S., Kroslovakova, I., Gloess, A. N., & Yeretian, C. (2015). Differentiation of degrees of ripeness of Catuai and Tipica green coffee by chromatographical and statistical techniques. *Food Chemistry*, 174, 637–642. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.060>

Veiga, A. D., Guimarães, R. M., Rosa, S. D. V. F., Von Pinho, É. V., Silva, L. H., & Veiga, A. D. (2007). Storability of coffee seeds harvested at different maturation stages and submitted to different drying methods. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(1), 83–91. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100012>

Velásquez, S., Peña, N., Bohórquez, J. C., Gutierrez, N., & Sacks, G. L. (2019). Volatile and sensory characterization of roast coffees – Effects of cherry maturity. *Food Chemistry*, 274, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.127>

Wallis-García, J. A., Montoya, E. C., Vélez-Zape, J. C., & Oliveros, C. E. (2004). Calidad y eficacia de dos métodos no selectivos de recolección manual de café *Coffea arabica*. *Revista Cenicafé*, 55(1), 45–51. <http://hdl.handle.net/10778/113>

4. IMPACTO DE LAS CONDICIONES DE RESERVA DEL FRUTO DEL CAFÉ EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA CALIDAD

4.1. Resumen

Los cambios en las diferentes etapas del procesamiento del fruto se están convirtiendo en un factor diferenciador de la calidad del café. Actualmente generar demoras en el procesamiento del fruto, es decir reservar, es una práctica que puede llegar a modificar el perfil sensorial de la bebida. En esta investigación se reservó el fruto en tres estados de madurez, dos temperaturas (15° y 20 °C) y dos tiempos (24 y 48 h). El estado de madurez EM1 presentó efecto en los ácidos málico y quínico por la interacción de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, mientras que el EM3 en la glucosa y la fructosa. El estado de madurez EM2 presentó efecto del tiempo de almacenamiento en los mismos compuestos de los estados EM1 y EM3, además en el contenido de pasilla y sacarosa. La reserva del fruto bajo las condiciones evaluadas no presentó efecto en la calidad sensorial.

4.2. Abstract

The changes in the different stages of the processing of the fruit are becoming a differential factor in the quality of coffee. Currently delays the moment in the processing of the fruit, meaning to reserve it, is a practice that could modify the sensory profile of the beverage. In this research the fruit was reserved at three stages of maturity, two temperatures (15° and 20 °C) and two times (24 and 48 h). Maturity stage EM1 presented an effect on malic and quinic acids due to the interaction of temperature and storage time, while EM3 on glucose and fructose. Maturity stage EM2 showed an effect of storage time on the same compounds of stages EM1 and EM3, as well as on physical defects and sucrose content. Fruit storage under the conditions evaluated had no effect on sensory quality.

4.3. Palabras clave

Fruto, almacenamiento, calidad, madurez, azúcares, ácidos orgánicos.

4.4. Introducción

La semilla de café es un producto de una alta complejidad desde el punto de vista de su estructura química, debido a la variabilidad de la constitución del grano verde (Ribeiro et al., 2017) y estos compuestos reaccionan e interactúan en las diferentes etapas del procesamiento generando una diversidad y complejidad sensorial adicional (Clarke & Vitzthum, 2001). Los perfiles volátiles y las cualidades sensoriales del café tostado dependen en gran medida de la composición química de los precursores de aromas presentes en los granos antes de la tostación (de Melo Pereira et al., 2019; Franca, Oliveira, Mendonca, Silva, et al., 2005; Gonzalez-Rios et al., 2007a), y de la necesaria información que vincule directamente los atributos sensoriales percibidos en la bebida con su composición química.

4.5. BIBLIOGRAFÍA

- Amorim, A. C. L., Hovell, A. M. C., Pinto, A. C., Eberlin, M. N., Arruda, N. P., Pereira, E. J., Bizzo, H. R., Catharino, R. R., Morais Filho, Z. B., & Rezende, C. M. (2009). Green and roasted Arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(2), 313-321. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000200017>
- Brioschi, D., Guarconi, R. C., de Cassia Soares da Silva, M., Reis Veloso, T. G., Megumi Kasuya, M. C., da Silva Oliveira, E. C., Rodrigues da Luz, J. M., Moreira, T. R., Debona, D. G., & Pereira, L. L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *En FOOD CHEMISTRY* (Vol. 342). ELSEVIER SCI LTD. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>
- Bruyn, F. D., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., Vuyst, L. D., & Björkroth, J. (2017). Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and Metabolite Profiles during Green Coffee Bean Production. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1), e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- Caixeta, I. F., Mendes Guimarães, R., & Malta, M. R. (2013). Quality of coffee seeds after retardment of post-harvest processing. *Coffee Science*, 8(3), 249-255. <https://doi.org/10.25186/cs.v8i3.425>
- Clarke, R. J., & Vitzthum, O. G. (2001). *Coffee Recent Developments*.
- Clifford, M. N., & Willson, K. C. (1985). *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans an beverage* (M. N. Clifford & K. C. Willson, Eds.). AVI.
- De Melo, G. V., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2016). Current state of research on cocoa and coffee fermentations. *Food Science*, 7, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.001>
- de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *En Food Chemistry* (Vol. 272, Número August 2018, pp. 441-452). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonca, J. C. F., & Silva, X. (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry*, 90, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonca, J. C. F., Silva, X., Dias, R. C. E., Benassi, M. D. T., Luca, S. De, Filippis, M. De, Bucci, R., Magrì, A. L. A. D., Magrì, A. L. A. D., Marini, F., Wang, X., Lim, L., Sorane, C., Kitzberger, G., Brígida, M., Toledo, M. De, Maria, C. A. B. De, ... Andrade, F. M. (2005). Discrimination between Arabica and Robusta Coffees Using Hydrosoluble Compounds: Is the Efficiency of the Parameters Dependent on the Roast Degree? *Food Chemistry*, 90(3), 127-139. <https://doi.org/10.3390/beverages1030127>
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007a). Impact of “ ecological ” post-harvest processing on coffee aroma: II. Roasted coffee. *Food Composition an Analysis*, 20, 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.004>
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007b). Impact of “ ecological ” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. *Food Composition an Analysis*, 20, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.009>

- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, 64, 166-170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>
- Ikumi, P. W., Koskei, R. K., Njoroge, D. M., & Kathurima, C. W. (2017). Effect of Soaking Coffee (*Coffea arabica*) Cherries on Biochemical Composition and Cup Quality of Coffee Brew. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 11(06), 14-18. <https://doi.org/10.9790/2402-1106021418>
- Norma Técnica Colombiana 2324. Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos, (2002).
- López, C., Bautista, E., Moreno, E., & Dentan, E. (1989). Factors related to the formation of «overfermented coffee beans» during the wet processing method and storage of coffee. *Association Scientifique Internationale du Café, 13th International scientific colloquium on coffee, Paipa (Colombia), 21-25 August 1989*. 1990 pp.373-384 ref.24, 373-384.
- Peñuela-Martínez, A. E., Zapata-Zapata, A. D., & Durango-Restrepo, D. L. (2018). Performance of different fermentation methods and the effect on quality coffee (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 13(4), 465. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1486>
- Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., Duque Orrego, H., Mejía Mejía, C. G., Benavides Machado, P., & Medina Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café (p. Cenicafé AVT 488 1-8).
- 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>
- Takahama, U. (2004). Oxidation of vacuolar and apoplatic phenolic substrates by peroxidase: Physiological significance of the oxidation reactions. *Phytochemistry Reviews*, 3(1-2), 207-219. <https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047805.08470.e3>
- Vargas, E. A., Silva, F. B., Santos, E. A., Souza, S. M. C., Souza, S. E., Correa, T. B. S., Franca, R. C. A., Amorim, S. S., Pfenning, L. H., Batista, L. R., Pereira, R. T. G., Nogueira, M. D., Nacif, A. P., & Junior, P. C. (2005). Influence of Coffee Processing and Defects on the Incidence and Occurrence of Ochratoxin A. *International Conference on Coffee Science*, 410-417.
- Velmourougane, K., Bhat, R., Gopinandhan, T. N., & Panneerselvam, P. (2011). Impact of delay in processing on mold development, ochratoxin-A and cup quality in arabica and robusta coffee. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(8), 1809-1816. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0639-5>
- Wei, L., Wai Cheong, M., Curran, P., Yu, B., & Quan Liu, S. (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>
- Wintgens, J. (2008). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.-X., & Ristenpart, W. D. (2021). Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1-27. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>

Yusianto, & Nugroho, D. (2014). Physical and Flavor Profiles of Arabica Coffee as Affected by Cherry Storage Before Pulping. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 30(2), 137-158. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v30i2.7>

5. EFFECT OF PROLONGED FERMENTATIONS OF COFFEE MUCILAGE WITH DIFFERENT STAGES OF MATURITY ON THE QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE BEAN

Artículo publicado en revista Fermentation 7 de octubre de 2022



Article

Effect of Prolonged Fermentations of Coffee Mucilage with Different Stages of Maturity on the Quality and Chemical Composition of the Bean

Valentina Osorio Pérez ^{1,*}, Cristina Inés Álvarez-Barreto ², Luis Gerónimo Matallana ², José Ricardo Acuña ¹ , Luz Fanny Echeverri ¹  and Luis Carlos Imbachí ¹

¹ National Coffee Research Center, Planalto, km. 4, Via Antigua Chinchiná-Manizales, Manizales 170009, Colombia

² Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales 170007, Colombia

* Correspondence: valentina.osorio@cafedecolombia.com

5.1. Abstract

The sensory quality of coffee begins in the plant tree, where the characteristics of the fruits define the composition of the chemical precursors, which can be preserved or transformed in stages such as mucilage fermentation, and are the basis for the beverage attributes. This study evaluated three degrees of maturity and their comportment in fermentation under two temperatures and two-time extensions, establishing their sensory and chemical characteristics through analytical techniques such as liquid and gas chromatography. The effect of the prolongation time was evidenced for oxalic, quinic, citric acids, glucose, and fructose in two of the three degrees of maturity evaluated. The interaction of the process conditions increased the content of fructose and glucose in one of the states, being more evident at 20 °C. The treatments associated with the most advanced stage of maturity and with higher temperature decreased the scores of five sensory attributes and the fructose content increased by 48.50% and the glucose content increased by 47.31%. Advanced stages of maturity preserve quality standards, but their performance can be differential in postharvest processes, especially in those that are beyond the standards, such as those involving prolongations in different processes such as fermentation.

5.2. *Keywords:* maturity; organic acids; fructose; glucose; quality

5.3. BIBLIOGRAFÍA

1. da Mota, M.C.B.; Batista, N.N.; Rabelo, M.H.S.; Ribeiro, D.E.; Borém, F.M.; Schwan, R.F. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Res. Int.* **2020**, *136*, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>.
2. Velmourougane, K. Impact of natural fermentation on physicochemical, microbiological and cup quality characteristics of Arabica and Robusta coffee. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B Biol. Sci.* **2013**, *83*, 233–239. <https://doi.org/10.1007/s40011-012-0130-1>.
3. Pereira Bressani, A.P.; Martinez, S.J.; Reis Evangelista, S.; Ribeiro Dias, D.; Freitas Schwan, R. Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. *Food Sci. Technol.* **2018**, *92*, 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>.
4. Silva, C.F.; Vilela, D.M.; de Souza Cordeiro, C.; Duarte, W.F.; Dias, D.R.; Schwan, R.F. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **2013**, *29*, 235–247. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1175-2>.
5. Puerta, G.I.; Rios, S. Chemical composition of coffee mucilage according to fermentation and refrigeration time. *Rev. Cenicafé* **2011**, *62*, 23–40.
6. Oliveros, C.E.; Roa, G. Mechanical demucilagination of coffee. *Tech. Adv. Cenicafé* **1995**, *216*, 1–7. <https://doi.org/10.38141/10779/0216>.
7. de Oliveira Junqueira, A.C.; de Melo Pereira, G.V.; Coral Medina, J.D.; Alvear, M.C.R.; Rosero, R.; de Carvalho Neto, D.P.; Enríquez, H.G.; Soccol, C.R. First description of bacterial and fungal communities in Colombian coffee beans fermentation analysed using Illumina-based amplicon sequencing. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 8794. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45002-8>.
8. Evangelista, S.R.; Silva, C.F.; da Cruz Miguel, M.G.; de Souza Cordeiro, C.; Pinheiro, A.C.; Duarte, W.F.; Schwan, R.F. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Res. Int.* **2014**, *61*, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>.
9. Silva, C.; Schwan, R.; Sousa Dias, E.; Wheals, A.E. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *Int. J. Food Microbiol.* **2000**, *60*, 251–260. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9).
10. Wang, C.; Sun, J.; Lassabliere, B.; Yu, B.; Liu, S.Q. Coffee flavour modification through controlled fermentation of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part II. Mixed cultures with or without lactic acid bacteria. *Food Res. Int.* **2020**, *136*, 109452. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109452>.
11. Wei, L.; Wai Cheong, M.; Curran, P.; Yu, B.; Quan Liu, S. Coffee fermentation and flavor—An intricate and delicate relationship. *Food Chem.* **2015**, *185*, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>.
12. De Melo Pereira, G.V.; Neto, E.; Soccol, V.T.; Medeiros, A.B.P.; Woiciechowski, A.L.; Soccol, C.R. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *Food Res. Int.* **2015**, *75*, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>.
13. Iamanaka, B.T.; Teixeira, A.A.; Teixeira, A.R.R.; Vicente, E.; Frisvad, J.C.; Taniwaki, M.H.; Bragagnolo, N. Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Res. Int.* **2014**, *64*, 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>.
14. Martinez, S.J.; Pereira Bressani, A.P.; Da Cruz Pedrozo, M.G.; Ribeiro Dias, D.; Freitas Schwan, R. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Res. Int.* **2017**, *102*, 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>.
15. Evangelista, S.; Da Cruz Pedrozo, M.G.; Ferreira Silva, C.; Marques Pinheiro, A.C.; Freitas Schwan, R. Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *Int. J. Food Microbiol.* **2015**, *210*, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.008>.
16. Silva, L.; Egídio Ribeiro, D.; Reis Evangelista, S.; Da Cruz Pedrozo, M.G.; Marques Pinheiro, A.C.; Meira Borém, F.; Freitas Schwan, R. Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. *Food Sci. Technol.* **2017**, *82*, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>.

17. Waters, D.M.; Arendt, E.K.; Moroni, A.V. Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2017**, *57*, 259–274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.902804>.
18. de Melo Pereira, G.V.; da Silva Vale, A.; de Carvalho Neto, D.P.; Muynarsk, E.S.; Soccol, V.T.; Soccol, C.R. Lactic acid bacteria: What coffee industry should know? *Curr. Opin. Food Sci.* **2020**, *31*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.004>.
19. Ribeiro, L.S.; Miguel, M.G.; Evangelista, S.R.; Martins, P.M.; van Mullem, J.; Belizario, M.H.; Schwan, R.F. Compartment of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Res. Int.* **2017**, *92*, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>.
20. Sanz Uribe, J.R.; Oliveros, C.E.; Duque, H.; Mejía, C.G.; Benavides, P.; Medina, R.D. Pass retention: An option to improve labor productivity in coffee harvesting. *Tech. Adv. Cenicafé* **2018**, *488*, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>.
21. Peñuela-Martínez, A.E.; Pabón, J.P.; Sanz, J.R. Fermaestro method: To determine the completion of coffee mucilage fermentation. *Tech. Adv. Cenicafé* **2013**, *431*, 8. <https://doi.org/10.38141/10779/0431>.
22. Colombian Institute of Technical Standards and Certification. NTC 2324: Green coffee. Olfactory and Visual Examination and Determination of Foreign Matter and Defects. Available online: <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html> (accessed on 1 May 2020).
23. Correa, E.C.; Jiménez-Ariza, T.; Díaz-Barcos, V.; Barreiro, P.; Diezma, B.; Oteros, R.; Echeverri, C.; Arranz, F.J.; Ruiz-Altisent, M. Advanced Characterisation of a Coffee Fermenting Tank by Multi-distributed Wireless Sensors: Spatial Interpolation and Phase Space Graphs. *Food Bioprocess Technol.* **2014**, *7*, 3166–3174. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1328-4>.
24. Avallone, S.; Guiraud, J.-P.; Guyot, B.; Olguin, E.; Brillouet, J.-M. Fate of Mucilage Cell Wall Polysaccharides during Coffee Fermentation. *J. Agric. Food Chem.* **2001**, *49*, 5556–5559. <https://doi.org/10.1021/jf010510s>.
25. Peñuela-Martínez, A.E.; Zapata-Zapata, A.D.; Durango-Restrepo, D.L. Performance of different fermentation methods and the effect on quality coffee (*Coffea arabica* L.). *Coffee Sci.* **2018**, *13*, 465–476. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1486>.
26. De Bruyn, F.; Zhang, S.J.; Pothakos, V.; Torres, J.; Lambot, C.; Moroni, A.V.; Callanan, M.; Sybesma, W.; Weckx, S.; De Vuyst, L. Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and Metabolite Profiles during Green Coffee Bean Production. *Appl. Environ. Microbiol.* **2017**, *83*, e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>.
27. Elhalis, H.; Cox, J.; Frank, D.; Zhao, J. The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *Int. J. Food Microbiol.* **2020**, *333*, 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>.
28. de Carvalho Neto, D.P.; de Melo Pereira, G.V.; Finco, A.M.O.; Letti, L.A.J.; da Silva, B.J.G.; Vandenberghe, L.P.S.; Soccol, C.R. Efficient coffee beans mucilage layer removal using lactic acid fermentation in a stirred-tank bioreactor: Kinetic, metabolic and sensorial studies. *Food Biosci.* **2018**, *26*, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.10.005>.
29. Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P. *Food Chemistry*, 4th ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>.
30. Garrett, R.; Rezende, C.M.; Ifa, D.R. Revealing the spatial distribution of chlorogenic acids and sucrose across coffee bean endosperm by desorption electrospray ionization-mass spectrometry imaging. *LWT Food Sci. Technol.* **2016**, *65*, 711–717. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.062>.
31. Bressani, A.P.; Martinez, S.J.; Vilela, L.D.; Dias, D.R.; Schwan, R.F. Coffee protein profiles during fermentation using different yeast inoculation methods. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2020**, *v.55*. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01159>.
32. Zhang, S.J.; De Bruyn, F.; Pothakos, V.; Torres, J.; Falconi, C.; Moccand, C.; Weckx, S.; De Vuyst, L. Following coffee production from cherries to cup: Microbiological and metabolomic analysis of wet processing of *Coffea arabica*. *Appl. Environ. Microbiol.* **2019**, *85*, e02635-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.02635-18>.
33. Koshiro, Y.; Jackson, M.C.; Nagai, C.; Ashihara, H. Changes in the content of sugars and organic acids during ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *Eur. Chem. Bull.* **2015**, *4*, 378–383.

34. Do Carmo, K.B.; Do Carmo, J.C.B.; Krause, M.R.; Peterle, G. Sensory and physiological quality of arabic coffee under different fermentation times. *Biosci. J.* **2020**, *36*, 429–438. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-43255>.
35. Avallone, S.; Guyot, B.; Brillouet, J.M.; Olguin, E.; Guiraud, J.P. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Curr. Microbiol.* 2001, *42*, 252–256. <https://doi.org/10.1007/s002840110213>.

6. CINÉTICA DE FORMACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y AZÚCARES EN LAS FERMENTACIONES PROLONGADAS DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ

6.1. Resumen

La composición química del mucílago es dinámica durante la fermentación y permite el desarrollo e interacción de microorganismos que modifican los perfiles de ácidos orgánicos y azúcares que se asocian con la calidad del café. Con el fin de determinar la cinética de estos compuestos en el mucílago y el grano en fermentaciones prolongadas, se realizó un seguimiento a frutos de café con diferentes estados de madurez con dos temperaturas y dos tiempos de prolongación. Los ácidos: cítrico, málico, quínico y succínico dependen de la matriz evaluada, presentando mayores concentraciones en el grano, mientras que el tartárico y acético están directa e inversamente asociados al tiempo. Se marcó el mucílago con un isótopo del carbono demostrando la difusión desde el exterior al interior del grano, aunque las cinéticas de los compuestos estimados no reflejan un incremento próximo en el grano de café que conserve la tendencia observada en el mucílago.

6.2. Abstract

The chemical composition of mucilage is dynamic during fermentation and facilitates the development and interaction of microorganisms that modify the profiles of organic acids and sugars associated with coffee quality. In order to determine the kinetics of these compounds in the mucilage and the bean during prolonged fermentation, coffee fruits at different stages of maturity were monitored at two temperatures and two prolongation times. Citric, malic, quinic and succinic acids depend on the matrix evaluated, presenting higher concentrations in the bean, while tartaric and acetic acids are directly and inversely associated with time. The mucilage was labeled with a carbon isotope, demonstrating diffusion from the exterior to the interior of the bean, although the kinetics of the estimated compounds do not reflect a near increase in the coffee bean that conserves the tendency observed in the mucilage.

6.3. Palabras clave

Ácidos orgánicos, difusión, isótopo, madurez, tiempo.

6.4. Introducción

Durante la fermentación del mucílago de café, sustrato rico en azúcares simples y pectina, su estructura agregada cambia a líquida (Avallone et al., 2001) por acción de enzimas producidas por levaduras y bacterias que facilitan su eliminación durante la etapa de lavado en los cafés procesados por vía húmeda y evita fermentaciones indeseables en el secado. Las actividades microbianas que ocurren durante el proceso, varían de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas del mucílago y a factores externos, tales como la temperatura y la disponibilidad de oxígeno (Silva et al., 2017).

6.5. BIBLIOGRAFÍA

- Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J. M., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current Microbiology*, 42(4), 252–256. <https://doi.org/10.1007/s002840110213>
- Batista da Mota, M. C., Batista, N. N., Sances Rabelo, M. H., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*, 136(June). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>
- Correa, E. C., Jiménez-Ariza, T., Díaz-Barcos, V., Barreiro, P., Diezma, B., Oteros, R., Echeverri, C., Arranz, F. J., & Ruiz-Altisent, M. (2014). Advanced Characterisation of a Coffee Fermenting Tank by Multi-distributed Wireless Sensors: Spatial Interpolation and Phase Space Graphs. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3166–3174. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1328-4>
- De Bruyn, F., Jiyuan Zhang, S., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2016). Exploring the impact of post-harvest processing on the microbiota and metabolite profiles during a case of green coffee bean production. *American Society for Microbiology*, October. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- De Bruyn, F., Zhang, J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2017). Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1), 1–16.
- de Melo Pereira, G. V., da Silva Vale, A., de Carvalho Neto, D. P., Muynarsk, E. S., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2020). Lactic acid bacteria: what coffee industry should know? *Current Opinion in Food Science*, 31, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.004>
- de Oliveira Junqueira, A. C., de Melo Pereira, G. V., Coral Medina, J. D., Alvear, M. C. R., Rosero, R., de Carvalho Neto, D. P., Enríquez, H. G., & Soccol, C. R. (2019). First description of bacterial and fungal communities in Colombian coffee beans fermentation analysed using Illumina-based amplicon sequencing. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45002-8>
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333(May), 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Evangelista, S. R., Silva, C. F., Miguel, M. G. P. da C., Cordeiro, C. de S., Pinheiro, A. C. M., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*, 61, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>
- Garrett, R., Rezende, C. M., & Ifa, D. R. (2016). Revealing the spatial distribution of chlorogenic acids and sucrose across coffee bean endosperm by desorption electrospray ionization-mass spectrometry imaging. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 711–717. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.062>
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. In S. A. de C. V. Compañía Editorial Continental (Ed.), *Procesos de transporte y operaciones unitarias*.
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007). Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. *Food Composition and Analysis*, 20, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.009>

- Koshiro, Y., Jackson, M. C., Nagai, C., & Ashihara, H. (2015). Changes in the content of sugars and organic acids during ripening of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* fruits. *European Chemical Bulletin*, 4(8), 378–383. <https://doi.org/10.17628/ECB.2015.4.378>
- Martinez-Ramirez, A. (2013). Internal structure and water transport in endosperm and parchment of coffee bean (Vol. 114).
- Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Dias, D. R., Simão, J. B. P., & Schwan, R. F. (2019). Effect of bacterial and yeast starters on the formation of volatile and organic acid compounds in coffee beans and selection of flavors markers precursors during wet fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 10(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01287>
- Oliveira, G., da Silva, D. M., Alvarenga Pereira, R. G. F., Paiva, L. C., Prado, G., & Batista, L. R. (2013). Effect of different roasting levels and particle sizes on ochratoxin A concentration in coffee beans. *Food Control*, 34(2), 651–656. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.014>
- Peñuela-Martínez, A. E., Zapata-Zapata, A. D., & Durango-Restrepo, D. L. (2018). Performance of different fermentation methods and the effect on quality coffee (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 13(4), 465. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1486>
- Peñuela, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Sanz Uribe, J. R. (2013). Método Fermaestro: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café. *Cenicafé*.
- Ribeiro, L. S., da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Evangelista, S. R., Silva e Batista, C. F., & Schwan, R. F. (2020). The use of mesophilic and lactic acid bacteria strains as starter cultures for improvement of coffee beans wet fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(12), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02963-7>
- Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., Duque Orrego, H., Mejía Mejía, C. G., Benavides Machado, P., & Medina Rivera, R. D. (2018). Retención de pasas: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café (p. Cenicafé AVT 488 1-8).
- Silva, C. F., Schwan, R. F., Sousa Dias, E., & Wheals, A. E. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 60(2–3), 251–260. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9)
- Wang, C., Sun, J., Lassabliere, B., Yu, B., Zhao, F., Zhao, F., Chen, Y., & Liu, S. Q. (2019). Potential of lactic acid bacteria to modulate coffee volatiles and effect of glucose supplementation: fermentation of green coffee beans and impact of coffee roasting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), 409–420. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9202>
- Wei, L., Wai Cheong, M., Curran, P., Yu, B., & Quan Liu, S. (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>
- Wei, L., Yu Tay, G., Wai Cheong, M., Curran, P., Yu, B., & Quan Liu, S. (2017). Modulation of the volatile and non-volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica*: I. Green coffee. *Food Science and Technology*, 77, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.047>

Zhang, K., Cheng, J., Hong, Q., Dong, W., Chen, X., Wu, G., & Zhang, Z. (2022). Identification of changes in the volatile compounds of robusta coffee beans during drying based on HS-SPME/GC-MS and E-nose analyses with the aid of chemometrics. *Lwt*, 161(March), 113317. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113317>

Zhang, S. J., De Bruyn, F., Pothakos, V., Torres, J., Falconi, C., Moccand, C., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2019). Following coffee production from cherries to cup: Microbiological and metabolomic analysis of wet processing of *Coffea arabica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6), 1–22. <https://doi.org/10.1128/AEM.02635-18>

7. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este trabajo de investigación se ha generado un aporte desde lo técnico y científico en la identificación de los cambios composicionales y su incidencia en la calidad sensorial, de frutos de café en estados de madurez mayores a los manejados convencionalmente en la recolección, dando la posibilidad de un mayor aprovechamiento de las cerezas consideradas tradicionalmente como sobremaduras.
- La calidad sensorial del café está influenciada por múltiples factores que comienzan en el árbol donde los precursores químicos de los aromas y sabores se desarrollan en las semillas a medida que se forman los frutos y que alcanzan su máxima concentración en los estados maduros. Esta investigación caracterizó tres estados de madurez del fruto de café y determinó que, en los compuestos químicos evaluados, no es evidente una mayor acumulación en estados avanzados. Lo anterior implicó que los frutos evaluados, aunque físicamente pueden contrastarse, poseen una composición química que asegura la expresión de los atributos sensoriales del café sin generar diferencia entre ellos. Como la complejidad sensorial se define aún más a lo largo de los diferentes pasos del proceso poscosecha, el conocimiento de las características físicas, químicas y sensoriales de los diferentes grados de madurez de los frutos permitirá definir su uso como materia prima y determinar sus diferentes posibilidades en el procesamiento poscosecha. Cuando los frutos de café no se han desarrollado completamente pueden llegar a consolidar efectos negativos en la calidad, pero dentro del rango en el que puede catalogarse el fruto de café como maduro, existe una amplia gama de diferencias y en este estudio se establecieron las que permiten definir el nivel máximo de maduración, definiendo que en estos tres estados evaluados el fruto conserva sus características y permiten la máxima calidad sin que el fruto inicie su etapa de senescencia. Los grados de madurez evaluados no presentaron diferencias significativas en los compuestos químicos evaluados a excepción de la fructosa y la glucosa, lo que en coherencia no generó cambios en los puntajes de los atributos sensoriales ni en la calidad sensorial final expresada como puntaje total SCA. Esto indica que estados de madurez avanzados donde el fruto no ha perdido su turgencia no deben ser considerados como sobremaduros, pues esta calificación implica consideraciones negativas a la calidad, este se puede considerar un estado de madurez avanzado en el fruto de café. Definir que los diferentes estados de madurez no tuvieron diferencias y no generaron un efecto negativo en las características del grano permitirá al caficultor optimizar las labores de recolección al lograr una mayor concentración de frutos maduros y en estados avanzados de madurez, el procesamiento de una menor cantidad de café fresco al tener este un menor contenido de mucílago.

- Las tendencias de consumo de café han llevado a los caficultores a realizar variaciones en las diferentes etapas del proceso poscosecha del café. Actualmente una práctica que ha tomado fuerza es demorar el procesamiento del fruto, generando una reserva del mismo bajo diferentes condiciones que podrían afectar las características sensoriales de la bebida. Esta investigación evaluó tres diferentes estados de madurez y los sometió a 4 condiciones de almacenamiento con el mismo empaque. Lo anterior implicó cambios desde la composición química del grano que varió según el grado de madurez, pero no es recurrente el cambio de un mismo compuesto en una misma temperatura, tiempo o interacción de ambas, por esta razón los cambios evidenciados dependen de las condiciones a las que sean sometidos los frutos y de sus diferencias en la composición de los estados de madurez. A diferencia de otros autores que reportan que largas condiciones de remojo de los frutos y tiempos prolongados transcurridos entre la cosecha y el procesamiento, no tienen efecto en los compuestos bioquímicos, pero sí sobre los diferentes atributos sensoriales, las condiciones evaluadas en esta investigación determinan cambios en los ácidos orgánicos y los azúcares pero no en la calidad sensorial expresada como puntaje total SCA. Reservar el café hasta 48 horas en las temperaturas y en los grados de madurez del fruto evaluados, no generó cambios en los puntajes de los atributos sensoriales de la bebida, lo que no permitió una discriminación inequívoca de la calidad mediante el puntaje total SCA del café con este tipo de reserva. En esta etapa es importante asegurar la integridad del fruto antes de ser sometido a la reserva, pues las clasificaciones hidráulicas utilizadas para eliminar frutos de baja calidad, la eliminación de frutos deteriorados y la disminución de la temperatura inicial, evitaron fermentaciones indeseables y el crecimiento de mohos que pueden tener un efecto negativo en la calidad.
- La calidad del café es el resultado de la combinación de múltiples factores que convergen en el sistema productivo, cada uno de estos genera una expresión única de la composición química del grano que es la base para la generación de los atributos sensoriales de la bebida. Coherente con lo reportado por diferentes autores, la fermentación del mucílago genera las condiciones que propician cambios al interior del grano en los ácidos orgánicos y en azúcares como la glucosa y la fructosa. Es importante reconocer que la fuente de cambios del grano se produce bajo dos vías, existe una contribución desde los procesos externos, pero estos a su vez generan condiciones durante la fermentación que inducen respuestas del grano frente a las mismas generando exósmosis o endósmosis. La respuesta final del grano frente al perfil de su composición química y calidad también es el resultado del metabolismo endógeno del endospermo bajo condiciones de anoxia durante la fermentación y no exclusivamente de la transferencia de metabolitos microbianos al interior del grano durante la fermentación del mucílago. Esta investigación definió como variable el grado de madurez del fruto, pues este establece las condiciones iniciales del proceso con respecto a la cantidad y la composición del sustrato para las

actividades microbianas. Estados avanzados de madurez tienen una calidad que conserva los estándares de la comercialización, pero es diferente su comportamiento en las diferentes etapas de poscosecha como la fermentación, donde tiempos prolongados y altas temperaturas generaron de manera consistente afectación a los atributos sensoriales. Por esta razón es importante conocer la configuración de los estados de madurez de la masa inicial para definir de manera correcta las condiciones de los procesos de poscosecha posteriores con el fin de no generar daños a la integridad del grano.

- El mesocarpio como parte constitutiva del fruto de café es un componente que promueve cambios en el endospermo desde dos vías principalmente, la primera está asociada a los factores externos que pueden generar condiciones como anoxia y gradientes de temperatura desencadenando diferentes respuestas en el interior del grano. Estas condiciones experimentales de fermentación pueden inducir una falsa germinación de la semilla la cual puede tener implicaciones metabólicas en la formación de ácidos orgánicos distintos a los formados por la degradación del mucílago. Por otro lado, esta matriz dinámica, evidenció cambios durante el proceso de fermentación tales como la formación de ácidos orgánicos y consumo de sacarosa y con el rastreo del isótopo 13 del carbono del ácido acético se comprobó que existió una difusión desde el medio exterior hacia el interior dado por la diferencia de gradientes de concentración existentes. Se hace importante conocer la contribución de los diferentes compuestos químicos en los atributos sensoriales, sabiendo que muchos de ellos están en función de la variedad, de los orígenes de producción y del desarrollo completo y óptimo del fruto a través de las mejores prácticas agronómicas en el cultivo. El grano en los procesos de poscosecha sufrió un impacto en sus características dado por los cambios del exocarpio y el mesocarpio, influenciados, en este caso, por los diferentes grados de madurez del fruto y las condiciones del proceso de fermentación y aunque se demostró que existe una transferencia de masa, las cinéticas evidenciaron que este proceso no es inmediato y al mismo tiempo no respondió al mismo comportamiento observado en el mucílago para los compuestos evaluados. Lo anterior implicaría que los compuestos volátiles generados tienen un efecto sinérgico en las percepciones de los diferentes sabores, por lo que se debe contemplar un efecto de la fermentación en los descriptores sensoriales de la bebida de café.

