UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza

**Juliana Henao Arismendy**

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia
2015

# Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza

**Juliana Henao Arismendy**
Ing. Química, Universidad Nacional de Colombia.

Trabajo de grado para optar al título de:
**Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Director:
Héctor José Ciro Velásquez, M.Sc., Ph.D

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia
2015

# Agradecimientos

A mis padres por su confianza y apoyo incondicional.

A mi familia y amigos por tanto amor y paciencia.

A mi director de tesis, Héctor José Ciro Velásquez, por compartir sus conocimientos y experiencia en la realización de este trabajo.

A Don Marco y Alex, los administradores de las fincas donde se realizó esta investigación, por hacerme sentir como en casa durante las jornadas de trabajo en campo.

A la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín en convenio con la gobernación de Antioquia, por brindarme la posibilidad de participar en el proyecto “Antioquia: Origen de cafés especiales”.

# Resumen

La operación de secado es una de las etapas más importantes de los procesos pos-cosecha del café. Para que sea eficiente es necesario controlar y vigilar todas aquellas variables que pueden alterar la calidad del producto. Este trabajo fue realizado con el objetivo de determinar el efecto del secado solar y mecánico del café sobre las propiedades físicas, composición química y calidad sensorial en taza, para las variedades Caturra y Castillo, cultivadas en tres fincas ubicadas en los municipios de Ciudad Bolívar y Fredonia del departamento de Antioquía. El secado mecánico se llevó a cabo en secadoras tipo silo de tres mallas con capacidad para 5@ de café, se realizó un diseño factorial por bloques variando la temperatura de secado (40ºC y 50ºC) y el flujo de aire (60 y 100 m3/min/Toncps); como tratamiento contraste se realizaron secados solares en patios de cemento y en marquesina. La evaluación sensorial fue realizada por un panel de jueces "Q *Grader"*, quienes calificaron cada atributo sensorial en una escala de 0 a 10 puntos para obtener un puntaje global de cada una de las muestras. Se evaluaron propiedades físicas como actividad de agua, densidad aparente y color, y compuestos químicos como ácidos clorogénicos, ácidos grasos y cafeína; adicionalmente se correlacionaron las evaluaciones sensoriales con la composición química de los cafés, secados mecánicamente y al sol. Los resultados mostraron una disminución del tiempo de secado con el aumento de la temperatura y el flujo de aire en el secado mecánico, los secados solares fueron los más prolongados con una duración promedio de 8 días. Los mejores puntajes de taza fueron obtenidos en el café secado mecánicamente con una temperatura de 50ºC y un flujo de 100 m3/min/Toncps. No se encontraron diferencias significativas en el puntaje sensorial entre las variedades Caturra y Castillo. Una mayor acumulación de ácidos grasos se produjo con un flujo de aire de 100 m3/min/Toncps en el secado mecánico; la concentración de ácidos grasos se correlacionó positivamente con la evaluación sensorial, contribuyendo en el sabor residual de la bebida. El contenido de cafeína y ácidos clorogénicos (cafeico, cumárico, ferúlico y sinápico) permaneció inalterable durante el proceso de secado; no se

encontraron correlaciones entre la evaluación sensorial y el contenido de cafeína y ácidos clorogénicos.

**Palabras clave:** café, secado mecánico, secado solar, composición química, calidad sensorial.

# Abstract

The drying operation is one of the most important stages of post-harvest process of coffee. To be effective it is necessary to control and monitor all the variables that can affect the product quality. The objective of this study was to determine the effect of sun drying and mechanical drying of coffee on the physical properties, chemical composition and sensory quality in cup, for Caturra and Castillo varieties, grown in three farms located in the municipalities of Ciudad Bolivar and Fredonia - Antioquia. To this end, a factorial design by blocks was made, varying the drying temperature (40 and 50°C) and air flow rates (60 to 100 m3/min/Toncps) in mechanical drying, using a silo dryer of three screens with capacity of 5@ coffee, as contrast treatment, solar drying was made in cement patios and greenhouse dryers. The sensory evaluation was conducted by a panel of judges Q Grader, who rated each sensory attribute in a scale of 0-10 points for an overall score of each of the samples. Physical properties such as water activity, bulk density, color, and chemicals components as chlorogenic acids, fatty acids and caffeine were evaluated. Additionally, sensory evaluations were correlated with chemical composition obtained with the drying process. A diminishing of the drying time was observed with increasing the drying temperature and air flow in mechanical drying, solar drying was longer with an average duration of 8 days. The highest scores in cup were obtained in mechanically dried coffee with a temperature of 50°C and an air flow rate of 100 $m^3$/min/Toncps. Statistical differences in sensory score between varieties Castillo and Caturra were not found. Higher fatty acid accumulation occurred with an air flow of 100 $m^3$/min/Toncps in mechanical drying. Fatty acid concentration was positively correlated with the sensory evaluation, contributing to the residual beverage flavor. The content of caffeine and chlorogenic acids (caffeic, coumaric, ferulic and sinapic) remained almost unchanged during the drying process. No correlations between sensory evaluation and the content of caffeine and chlorogenic acids were found.

**Keywords:** coffee, mechanical drying, solar drying, chemical composition, sensory quality.

# Contenido

Pág.

**Resumen** ..... **VII**

**Lista de figuras** ..... **XIII**

**Lista de tablas** ..... **XIV**

**Introducción** ..... **1**

**1. Capítulo 1. Objetivos.** ..... **3**
1.1 Objetivo general ..... 3
1.2 Objetivos específicos ..... 3

**2. Capítulo 2. Marco teórico** ..... **5**
2.1 Cafés especiales ..... 5
2.1.1 Clasificación ..... 6
2.1.2 Producción y mercado de los cafés especiales ..... 9
2.1.3 Calidad de los cafés especiales ..... 13
2.2 Secado y calidad del café ..... 14
2.2.1 Secado mecánico ..... 15
2.2.2 Secado solar ..... 15
2.2.3 Factores que afectan la calidad durante el secado del café ..... 16
2.3 Composición química del café almendra ..... 19
2.3.1 Agua ..... 20
2.3.2 Carbohidratos ..... 20
2.3.3 Ácidos grasos ..... 20
2.3.4 Proteínas, péptidos y aminoácidos libres ..... 21
2.3.5 Alcaloides ..... 22
2.3.6 Ácidos clorogénicos ..... 22

**3. Capítulo 3. Materiales y métodos** ..... **25**
3.1 Experimentación en campo ..... 25
3.1.1 Consideraciones para el secado mecánico ..... 27
3.1.2 Consideraciones para el secado solar ..... 29
3.2 Diseño experimental y análisis estadístico ..... 29
3.3 Análisis sensorial ..... 30
3.4 Análisis físico ..... 31
3.4.1 Actividad de agua ..... 31
3.4.2 Densidad aparente ..... 31
3.4.3 Color ..... 32
3.5 Análisis químico ..... 34

3.5.1 Ácidos clorogénicos ....34
3.5.2 Ácidos grasos ....37
3.5.3 Cafeína ....41

**4. Capítulo. Resultados y discusión ....45**
4.1 Tiempos de secado ....45
4.2 Análisis sensorial ....46
4.3 Análisis físico ....50
4.3.1 Actividad de agua ....50
4.3.2 Densidad aparente ....51
4.3.3 Color ....53
4.4 Análisis químico ....55
4.4.1 Ácidos clorogénicos ....55
4.4.2 Ácidos grasos ....58
4.4.3 Cafeína ....62

**5. Conclusiones y recomendaciones ....65**
5.1 Conclusiones ....65
5.2 Recomendaciones ....66

**A. Anexo 1: Análisis de varianza ....67**

**Bibliografía ....75**

# Lista de figuras

**Pág.**
Figura 3-1: Esquema experimentación en campo. ..... 26
Figura 3-2: Representación esquemática del sistema de coordenadas para la evaluación del color. (Konica Minolta, n.d.) ..... 33
Figura 3-3: Clasificación del café según su color. (Fuente: Gail, 2005). ..... 33
Figura 3-4: Extracción y purificación de ácidos clorogénicos. ..... 35
Figura 3-5: Cromatograma ácido caféico ..... 36
Figura 3-6: Cromatograma ácido cumárico. ..... 37
Figura 3-7: Cromatograma ácido ferúlico. ..... 37
Figura 3-8: Cromatograma ácido sinápico. ..... 37
Figura 3-9: Extracción de ácidos grasos. ..... 38
Figura 3-10: Derivatización de ácidos grasos a metil ésteres. ..... 39
Figura 3-11: Extracción de cafeína ..... 42
Figura 3-12: Cromatograma estándar de cafeína. ..... 43
Figura 4-1: Puntaje sensorial medio para los tratamientos de secado según la variedad. ..... 48
Figura 4-2: Temperatura superficial de los granos de café secados a 50ºC – 100 m3/min/Toncps. ..... 49
Figura 4-3: Concentración de ácidos clorogénicos y puntaje sensorial en función de los tratamientos de secado. ..... 58
Figura 4-4: Correlación entre ácidos grasos y componentes principales. ..... 61
Figura 4-5: Puntaje sensorial y contenido de cafeína en función de los tratamientos de secado. ..... 64

# Lista de tablas

**Pág.**
Tabla 2-1: Variedades de café cultivadas en Colombia ..... 9
Tabla 3-1: Características de los lotes utilizados para la recolección del café. ..... 25
Tabla 3-2: caracterización de la masa cosechada en cada una de las fincas de trabajo. 27
Tabla 3-3: Variables independientes. ..... 30
Tabla 3-4: Tiempos de retención para ácidos grasos ..... 41
Tabla 4-1: Valores medios de los tiempos de secado en función de los tratamientos de secado. ..... 45
Tabla 4-2: Valores medios de los tiempos de secado para los tratamientos mecánicos. . 46
Tabla 4-3: Valores medios del puntaje sensorial en función de los tratamientos de secado. ..... 48
Tabla 4-4: Valores medios de la actividad de agua del café en función de los tratamientos de secado. ..... 51
Tabla 4-5: Mínima actividad de agua (aw) para el crecimiento y producción de toxinas por diferentes hongos. ..... 51
Tabla 4-6: Valores medios de la densidad aparente para las variedades Caturra y Castillo. ..... 52
Tabla 4-7: Valores medios de la densidad aparente del café en función de los tratamientos de secado. ..... 53
Tabla 4-8: Valores medios de la coordenada a* para las variedades Caturra y Castillo. . 53
Tabla 4-9: Valores medios de la coordenada a* en función de los tratamientos de secado. ..... 54
Tabla 4-10: Valores medios de la coordenada b* en función de los tratamientos de secado. ..... 55
Tabla 4-11: Valores medios de los ácidos clorogénicos analizados (mg/g café) para las variedades Caturra y Castillo. ..... 56
Tabla 4-12: Valores medios de los ácidos clorogénicos analizados (mg/g café) en función de los tratamientos de secado. ..... 56
Tabla 4-13: Valores medios de los ácidos grasos analizados (mg/g café) en función de los tratamientos de secado. ..... 59
Tabla 4-14: Pesos de los componentes principales para los ácidos grasos analizados. . 60
Tabla 4-15: Valores medios del CP1 en función del flujo de aire en el secado mecánico. ..... 62
Tabla 4-16: Coeficiente de correlación de Pearson, entre el contenido de ácidos grasos y sabor residual. ..... 62

Tabla 4-17: Valores medios de la cafeína (mg/g café) en función de los tratamientos de secado. ..... 63

# Introducción

El café es un producto de alta importancia para la economía de una gran cantidad de países; millones de personas en el mundo viven de su cultivo y mundialmente ha sido un producto generador de empleo y desarrollo.

El cultivo del café *Coffea arabica* introducido en Colombia a principios del siglo XVIII se convirtió en uno de los principales productos de la economía nacional y se consolidó como el mayor motor de la economía colombiana (Cadena, 2005)

Colombia es un país reconocido por la producción de café de alta calidad, dada su ubicación geográfica, las características de sus suelos y toda una historia y tradición en el cultivo del café que hacen de éste un referente mundial reconocido y apreciado por millones de consumidores.

La calidad del café es de gran importancia para posicionarse en el mercado y competir con países que se esfuerzan día a día por mejorarla. Los mercados que reconocen esta calidad pagan un excedente por el producto, contribuyendo así a mejorar los ingresos de los caficultores. Las características que diferencian a los cafés especiales son el producto de la combinación de diferentes factores, entre los cuales se encuentra la variedad, el suelo, el clima, las prácticas de producción, las prácticas de cosecha y poscosecha, la torrefacción, entre otras (Escarramán *et al*., 2007). Para la mayoría de variedades el aumento de la calidad está asociado con las condiciones climáticas del medio donde se cultivan. La temperatura media del ambiente durante el llenado del grano influencia en gran medida el perfil sensorial; atributos de calidad tales como la acidez y el carácter afrutado son típicos de cafés cultivados en climas fríos con alta radiación solar (Bertrand *et al*., 2012). A su vez el método de procesamiento después de la cosecha es otro de los factores determinantes, ya que con ello se establecen las diferencias típicas en cuanto a la calidad del café verde resultante. Los cafés procesados en seco se caracterizan por tener más cuerpo, mientras que en la mayoría de los territorios donde se procesa el café

por vía húmeda, los cafés tienen un mejor aroma y generalmente tienen mayor aceptación (Kleinwächter & Selmar, 2010).

El secado del café hace parte de una de las etapas del proceso de beneficio y se realiza con el fin de reducir la humedad del grano, evitar su descomposición y facilitar su comercialización y transformación agroindustrial. Puede realizarse utilizando la energía solar o la producida por medios mecánicos (convección forzada), siendo el secado al sol el método normalmente empleado en fincas pequeñas o de baja producción (Puerta, 2008).

El mecanismo de secado del café es más complicado que el de cualquier otro grano (Cruz *et al.*, 2010). Para que sea eficiente se deben conocer y controlar todas aquellas variables que influyen en el proceso con el fin de mantener la calidad del producto. Dentro de estas variables, el control de la temperatura durante el secado es fundamental, ya que se han demostrado daños estructurales en la semilla cuando se utilizan temperaturas demasiado altas lo que lleva a un deterioro de la calidad de la bebida por fugas de lípidos que pueden oxidarse y causar sabores a rancio; a su vez cuando se utilizan temperaturas demasiado bajas pueden ocurrir sobre-fermentaciones indeseadas que generan sabores a sucio y a vinagre.

Los conocimientos científicos sobre el cultivo, procesamiento y uso del café han avanzado en los últimos años, sin embargo la influencia de procesos como el secado en la composición química y el perfil organoléptico del café siguen siendo un tema significativo de investigación. Este trabajo tuvo como finalidad evaluar los sistemas tradicionales de secado de café (mecánico y solar) con relación a sus efectos sobre las propiedades físicas, composición química y calidad en taza para dos variedades de café, cultivadas en regiones antioqueñas con potencial de producción de cafés especiales.

# 1. Capítulo 1. Objetivos.

## 1.1 Objetivo general

Evaluar los sistemas tradicionales de secado de café (mecánico y solar) con relación a sus efectos sobre el tiempo de secado, las propiedades físicas, la composición química y la calidad en taza.

## 1.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de las condiciones de operación en un sistema de secado mecánico, sobre el tiempo de secado, las propiedades físicas, la composición química y la calidad en taza, para dos variedades de café.

Evaluar el efecto del secado solar (patio y marquesina), sobre el tiempo de secado, las propiedades físicas, la composición química y la calidad en taza para dos variedades de café.

Correlacionar los análisis sensoriales con la composición química para dos variedades de café, secadas mecánicamente y al sol.

# 2. Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se presenta la base teórica y revisión bibliográfica que fundamenta este trabajo de investigación.

## 2.1 Cafés especiales

La denominación de cafés especiales es relativamente nueva, nació a comienzos de la década de los sesenta, como una respuesta a los consumidores de café principalmente de los Estados Unidos, que buscaban una bebida de mayor calidad en un mercado donde el producto se encontraba homogenizado (Valencia, 2007). El término se refiere a una amplia gama de cafés que tienen características definidas por distintos grupos de consumidores, asociadas, la mayoría de ellas a objetivos sociales o ambientales (Cano *et al.*, 2012). El término ha llegado a ser tan amplio que no hay una definición universalmente aceptada, sin embargo hay organizaciones que los han definido de la siguiente manera:

La Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA) define estos tipos de café como aquellos que conservan una consistencia en sus características físicas, sensoriales, visuales, gustativas, prácticas culturales y en sus procesos finales como la tostión, molienda y preparado; características que los distinguen del común de los cafés y por las cuales los clientes están dispuestos a pagar un precio superior (SCAA, 2004).

Para la Asociación Europea de Café de Especialidad (SCAE), el café especial es una bebida artesanal a base de café que es juzgada por el consumidor por reunir cualidades únicas, sabor y personalidad diferentes, que generan una sensación superior a la que ofrecen las bebidas de café común. La bebida está basada en granos que han sido cultivados en un área definida y reúnen las más altas normas en cuanto a almacenaje y preparación (SCAE, 2014).

A su vez para la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) los cafés especiales son aquellos valorados por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles y por los cuales están dispuestos a pagar precios superiores que redunden en un mayor bienestar para los productores (FNC, 2013 a).

### 2.1.1 Clasificación

Aunque existen muchos tipos de cafés especiales y muchas formas de clasificarlos, el área encargada de los cafés especiales en la FNC, los ha clasificado de la siguiente manera:

- Cafés de origen: Cafés de alta calidad, que se venden con un sobreprecio, por el sitio en donde se producen. Provienen de una región o finca con cualidades únicas, debido a que crecen en sitios especiales y son vendidos al consumidor sin ser mezclados con cafés de otras calidades o con cafés de otros orígenes. Estos tipos de café especial se dividen a su vez en tres grupos:

  a) Café regional: Son aquellos que provienen de una región, reconocida por sus cualidades particulares. Se le ofrecen al consumidor puros, sin mezcla con productos de otros orígenes. Estos cafés exigen altos estándares de calidad.

  b) Café exótico: Cafés con características de sabor único que se cultiva en condiciones microclimáticas, agroecológicas y socioculturales delimitadas geográficamente.

  c) Café de finca o “Estate Coffee”: Son los provenientes de una finca que tenga producciones mayores a 500 sacos (de 60 kg) por año que cumplen con los más rigurosos estándares de calidad (FNC, 2011).

- Cafés sostenibles: Esta categoría de cafés especiales busca ejercer una supervisión estricta sobre los factores sociales, ambientales y económicos asociados con la producción de café, para garantizar el futuro de las personas y comunidades que lo cultivan. Estas comunidades tienen un serio compromiso con la protección del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad de sus

zonas y la promoción del llamado "mercado justo" con los países en vías de desarrollo (FNC, 2011).

Los cafés sostenibles involucran procesos de certificación y/o cumplimiento de códigos de conducta, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

a) Producción orgánica de café: La agricultura orgánica es un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente y promover relaciones justas y buena calidad de vida para todos los que participen en ella (IFOAM, 2008).

El café orgánico se produce en suelos donde no hayan aplicado sustancias prohibidas (fertilizantes sintéticos, herbicidas, pesticidas, reguladores de crecimiento, fungicidas, etc.) por un periodo de al menos 3 años antes de obtener la certificación. Tanto los productores como los procesadores deben mantener registro detallado de los métodos y materiales utilizados, así como los planes para las prácticas empleadas. Para comercializarse como ecológicos, una organización de certificación externa inspecciona los métodos y materiales utilizados durante la producción y transformación sobre una base anual; la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) es la principal organización de apoyo al movimiento orgánico (Kilian *et al.,* 2004).

b) Cafés de comercio justo: La organización de etiquetado de comercio justo (FLO), es una organización que agrupa a las 17 iniciativas de comercio justo que operan en todo el mundo. El punto de referencia para la certificación FLO son los estándares internacionales de comercio justo aplicables a más de 12 productos, como el café. Cuando los productores cumplen los requisitos mínimos, la FLO garantiza un precio justo para sus productos. Los productores, por su parte, deben invertir una parte del precio recibido en el desarrollo económico, ambiental y social (Kilian *et al.,* 2004).

c) Amigables con el medio ambiente: Estos cafés son reconocidos por su relación respetando al medio ambiente y la biodiversidad. Buscan mantener el equilibrio entre la presencia humana y los recursos naturales por medio de prácticas amistosas de cultivo (FNC, 2011). La certificación Rainforest Alliance Coffee es un proceso integral que promueve y garantiza la mejora de las prácticas agrícolas para el beneficio de las comunidades locales, los trabajadores, agricultores, consumidores y la vida silvestre. Las nomas de certificación cubren todos los aspectos de la producción, incluida la protección al medio ambiente, el bienestar humano y la vitalidad económica. La certificación de Rainforest Alliance permite cierto uso limitado y controlado de agroquímicos y se centra en dos sectores fundamentales: la conservación de la vida silvestre y el bienestar de los trabajadores (Rainforest Alliance, 2004).

d) Bueno por dentro o “Good Inside”: Los caficultores que producen este tipo de café cumplen la certificación UTZ, la cual está basada en las normas internacionales de producción y contiene criterios para las prácticas del cultivo de café, social y ambientalmente apropiadas además de una administración eficiente de la finca (Centro de Comercio Internacional, 2009).

- Cafés de preparación: Cafés con atributos específicos sensoriales y de calidad que se preparan según un protocolo que envía el cliente. Estos cafés se dividen en tres grupos (FNC, 2011):

a) Supremos: se ofrecen de acuerdo a una clasificación granulométrica.

b) Selectos**:** resultan de una cuidadosa selección realizada por solicitud del cliente, siguiendo un protocolo definido. Ejemplo de estos cafés son los solicitados por Starbucks, Dunkin Donuts.

c) Peaberry o caracoles: son cafés cultivados en zonas de altura de los cuales se seleccionan aquellos granos en forma de caracol que producen una taza única de alta acidez.

### 2.1.2 Producción y mercado de los cafés especiales

La producción de café especial depende de la integración de múltiples factores, tales como condiciones específicas de suelo, microclima, punto óptimo de maduración, procesos post-cosecha, tostado, molienda y preparación de la bebida como tal.

Existen dos especies de café que pueden distinguirse, *Coffea arábica* y *C. canephora* las cuales se conocen en el mercado como cafés Arábigos y Robustas, respectivamente. En general, el café de la especie *C. arábica* presenta aroma y acidez pronunciadas y es la especie generalmente utilizada para la obtención de cafés especiales (Ky *et al*., 2001); en la Tabla 2-1 se muestran las variedades de café Arábica que se siembran en Colombia y sus respectivas características.

**Tabla 2-1:** Variedades de café cultivadas en Colombia

| Variedad | Características |
|---|---|
| **Típica** | - Es la variedad más cultivada en el mundo. A partir de ésta variedad y por mutación genética se han originado las principales variedades de la especie *C. arábica.*<br>- De porte alto.<br>- Es susceptible a la roya.<br>- En cuanto al tamaño de los granos la variedad Típica tiene mayor porcentaje de granos grandes que Caturra y que Borbón.<br>- Posee características sensoriales muy suaves y equilibradas, con aroma y acidez baja. |
| **Borbón** | - De porte alto.<br>- Un árbol de Borbón produce 30% más que la variedad Típica pero |

| | |
|---|---|
| | sus granos son pequeños.<br>- Es susceptible a la roya.<br>- Produce una excelente calidad en la bebida con amargor equilibrado. |
| **Colombia** | - La variedad Colombia es un cultivar compuesto por la mezcla de numerosas progenies seleccionadas por atributos agronómicos sobresalientes y buena calidad de la bebida, con amplia adaptación a las condiciones de la caficultura nacional, con resistencia completa e incompleta a la roya del cafeto.<br>- La producción es igual o superior a la de la variedad Caturra.<br>- Las mejores características sensoriales de la variedad Colombia son la acidez, el cuerpo y el aroma. |
| **Castillo** | - Variedad desarrollada a partir del cruce de la variedades Caturra y el hibrido de Timor.<br>- Amplia diversidad genética favoreciendo su resistencia a la roya.<br>- De porte bajo y alta producción.<br>- La bebida presenta cuerpo y amargor suave, aroma y acidez pronunciados para grados |

| | |
|---|---|
| | medios de tostado.<br>- El tamaño de sus granos es superior a 80% de café supremo. |
| **Caturra** | - De porte bajo lo que le permite el establecimiento en altas densidades de siembra, favoreciendo la obtención de mayores producciones por unidad de superficie.<br>- Se comporta muy bien en toda la zona cafetera.<br>- Es susceptible a la roya.<br>- En la calidad sensorial predomina la acidez, el amargor, el cuerpo y el aroma. |
| **Tabí** | - Proveniente de los cruzamientos entre el hibrido de Timor y las variedades Típica y Borbón. Acumula excelentes características agronómicas y de calidad.<br>- Es una variedad de grano grande, superior al 80% de café supremo.<br>- Resistente a la roya.<br>- Sensorialmente se destaca por su aroma, amargo, acidez e impresión global. |

Fuente: (Cortina *et al*., 2012; Alvarado *et al*., 2005; Alvarado & Puerta, 2002; Moreno, 2002; Puerta, 1998; Orozco, 1986).

En Colombia después de la caída del pacto de cuotas en 1989, cuyo propósito era reducir la inestabilidad del precio internacional y controlar las exportaciones, algunos productores siguieron la estrategia de aumentar la calidad del grano como vía para

posicionar un tipo de mercado diferente, a través de la priorización de una o varias cualidades del café. Este es el mercado de los cafés especiales (Liz *et al.,* 2012).

Debido al atractivo que generan los cafés especiales al producir mayores márgenes de rentabilidad, en varios departamentos de Colombia se han implementado programas para la producción y comercialización de éstos. Los departamentos colombianos que cuentan con una mayor producción de cafés especiales son Huila (50%), seguido del Cauca (15%), Nariño (10%) y el 25% restante corresponde a los demás departamentos del país que implementan este programa (Arias *et al.*, 2011). En el departamento de Antioquia desde el año 2012, la Gobernación de Antioquia junto con las cooperativas de caficultores y el Comité Departamental de Cafeteros desarrollaron el proyecto “Antioquia: Origen de Cafés especiales”, el cual busca posicionar al departamento como líder en la producción de cafés de alta calidad (Gobernación de Antioquia, 2012).

Al cierre del año 2014 se encontraban alrededor de 196.955 fincas certificadas y/o verificadas bajo al menos un código de producción sostenible como Rainforest, UTZ o 4 C. Del total de las fincas 63% se encontraban verificadas, 19% certificadas y el 18% estaban verificadas y certificadas (FNC, 2014). Actualmente más de 87.000 fincas se encuentran verificadas bajo el protocolo 4C el cual se basa en un código de conducta con 28 principios o estándares básicos sociales, ambientales y económicos (FNC, 2013 b); a su vez alrededor de 8.747 fincas se encuentran certificadas con el sello de Rainforest el cual promueve la conservación de la vida silvestre y aboga por el bienestar de los trabajadores (Rainfores Allians, 2015)

El consumo de cafés especiales en el mundo y la demanda por un producto que brinde una satisfacción excepcional al consumidor, ha aumentado considerablemente en los últimos años (Ruiz *et al.*, 2009). Los principales destinos para la comercialización de cafés Especiales son Estados Unidos y Japón y en menor cantidad se exporta a los mercados de Bélgica, Italia, España y Reino Unido (Montoya & Montoya, 2011).

Aunque tradicionalmente el café es visto como un cultivo para exportar en países en vía de desarrollo, el consumo de esta bebida en los países productores va en aumento, incrementándose en un 3,9% entre 2004 y 2008. Varios expertos predicen que Brasil desplazará a EE.UU como el mayor mercado de consumo de café en el mundo en los próximos años (2014-16) (SCAA, 2012). En Colombia el consumo de cafés de alta

calidad ha registrado tazas de crecimiento del 11% en los últimos años, gracias a factores como la mejora de la economía, mayor oferta y variedad de productos y una mayor demanda de este tipo de cafés por parte del consumidor (Expo Especiales, 2013).

### 2.1.3 Calidad de los cafés especiales

Para el café la definición de la calidad ha evolucionado a través de los siglos, hoy en día esta definición varía a lo largo de la cadena de producción hasta el consumidor. A nivel del agricultor la calidad del café es una combinación entre el nivel de producción y precio; para los importadores la calidad del café está vinculada al tamaño del grano, la ausencia de defectos, cantidad disponible, características físicas y precio; para los tostadores la calidad del café depende del contenido de humedad, la estabilidad de las características, origen, precio, compuestos bioquímicos y calidad organoléptica; a nivel del consumidor el café es valorado por su aroma, sabor, efectos sobre la salud, procedencia geográfica y calidad organoléptica (Leroy *et al.,* 2006).

Las características organolépticas más comunes que definen la calidad del café son (SCAA, 2013):

- Fragancia/aroma: la fragancia es el olor que emanan el café tostado y molido sin que haya entrado en contacto con el agua. El aroma es el olor que libera el café una vez se agrega el agua hervida.
- Sabor: se puede identificar una vez que el catador ha probado la bebida y se refiere a la impresión general de fragancia, aroma, acidez y cuerpo.
- Sabor residual: es la sensación que se percibe inmediatamente después que el café es ingerido.
- Acidez: es una característica deseable del café que se expresa en tonos cítricos como toronja, lima, mandarina, limón.
- Cuerpo: es la expresión que se manifiesta en la densidad de la bebida debido a la presencia de aceites. Se pueden distinguir cuerpo cremoso, mantequilloso, liso, suave, delgado, medio.
- Balance: se define como los aspectos del sabor, sabor residual, cuerpo y acidez que se complementan y trabajan juntos.

- Uniformidad de taza: se refiere a la consistencia del sabor en las diferentes tazas probadas.
- Taza limpia: se refiere a la ausencia de impresión negativa en las distintas tazas a catar.
- Dulzor: es uno de los atributos del café arábica por la presencia de carbohidratos y se pueden relacionar con frutos dulces.

Estas características son evaluadas por páneles entrenados para la catación de café siguiendo protocolos determinados por las diferentes organizaciones dedicadas a los cafés especiales; la hoja de catación de la SCAA es utilizada para competencias de café, en ésta se evalúan los atributos anteriores en una escala de 0 a 10 puntos; y al final se suman los puntajes para obtener una calificación global de la calidad en taza.

## 2.2 Secado y calidad del café

El secado del café es una parte importante en el proceso de beneficio. Se realiza para evitar la germinación de la semilla, reducir el contenido de humedad, inhibir el desarrollo de hongos, evitar que el grano sufra daños en su aspecto físico, composición química y para obtener un producto estable que conserve su calidad por amplios periodos de tiempo (Cruz *et al.*, 2010).

Este proceso comprende dos etapas fundamentales: una primera etapa que se desarrolla en la parte externa del grano, donde ocurre una evaporación prácticamente constante y se logra la mayor difusión de agua en menor tiempo; en esta etapa la humedad disminuye de 55 - 60% a 20-25%. La segunda etapa se lleva a cabo en la parte interna del grano donde se reduce lentamente el contenido de humedad de 20-25% a 10-12% (Boot, 2013).

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes tecnologías para el secado del café buscando mantener un equilibrio entre eficiencia y economía. Los procesos más económicos se basan en la utilización de energía solar y movimiento de aire por diferencia de densidad, sin embargo estos métodos están sujetos a las condiciones climáticas de cada región, requieren de grandes áreas para el secado y mayor mano de obra empleada. Para dar solución a este problema se han desarrollado secadores mecánicos con los cuales se logra un mayor control en las condiciones de secado.

### 2.2.1 Secado mecánico

El secado mecánico del café se realiza en sistemas constituidos por una fuente de calor, un intercambiador de calor, un ventilador y un secador con uno o más compartimientos con piso de malla sobre el cual es depositado el grano; para el calentamiento del aire se han diseñado equipos que emplean la electricidad, el gas, el carbón y otros insumos como la cascarilla de café (Oliveros & Sanz, 2011).

En Colombia entre los años 60 y 70´s el secador mecánico más popular era el tipo Guardiola, el cual posee un gran cilindro como cuerpo que gira continuamente con los granos de café en su interior, levantándolos hasta dejarlos caer por gravedad desde la parte superior, utilizando palas metálicas empotradas desde la parte interna del cilindro. La transferencia de calor hacia los granos de café se produce cuando estos chocan con el aire caliente que entra al secador a través de un tubo perforado coaxial al eje del cilindro (Gutiérrez & Copete, 2009). A pesar de que con este tipo de secador se obtenía un producto con una distribución de humedad muy uniforme los costos de operación eran altos por lo que poco a poco se fueron sustituyendo por secadores de capa estática donde solamente se invierte la dirección del flujo de aire y los de capa móvil, donde esta se invierte al pasarla de una cámara a la siguiente, localizada en un plano inferior (Oliveros-Tascón *et al.,* 2009).

Dependiendo del tipo de secador serán las condiciones de operación más adecuadas para lograr un secado eficiente de los granos de café sin deteriorar la calidad. Parra-Coronado *et al.*, (2008) desarrollaron programas de simulación matemática para determinar las mejores condiciones de operación para el secado mecánico del café; a partir de las simulaciones realizadas estos autores recomiendan para secadores tipo silo un espesor de capa de granos de 0,4 m, un caudal de aire de 30 $m^3min^{-1}m^{-2}$ y temperatura del aire de secado de 50°C.

### 2.2.2 Secado solar

En este tipo de secado los granos de café se exponen directamente a la radiación solar y al aire ambiente hasta alcanzar la humedad establecida. De esta forma se aprovecha la radiación solar global y la entalpía del aire para el secado, el cual tiene una duración de 7 a 8 días dependiendo de las condiciones climatológicas de la región. Es el método más

difundido en países en vía de desarrollo y el más económico, debido a que el calor procedente del sol es gratuito (Fonseca *et al*., 2003).

Las instalaciones para el secado al sol se componen fundamentalmente de la superficie utilizada, que pueden ser terraza de concreto, tabla de madera, terraza móvil y lonas de plástico; los pisos de concreto presentan mejores resultados en el secado además de tener mejores características de saneamiento (Rodrigues *et al.,* 2012). Para aprovechar al máximo la energía del sol se han diseñado diferentes secadores solares que utilizan la radiación solar para calentar el aire y una cámara de secado donde el producto es deshidratado por el aire que circula. El aprovechamiento de dicha energía puede hacerse de forma indirecta, donde el aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado; en forma directa, en cuyo caso la cámara que contiene el producto cumple la función de colector recibiendo la radiación solar; y en forma mixta en la que la colección de radiación puede realizarse tanto en un colector solar previo a la cámara, como en la misma cámara (Cruz *et al.,* 2010). Dentro de estos tipos de secadoras se destacan la marquesina, los secadores solares parabólicos y secadores tipo túnel solar o paseras solares.

### 2.2.3 Factores que afectan la calidad durante el secado del café

La calidad del café depende de numerosos factores que van desde el cultivo (variedad, fertilización, suelo, clima), cosecha, pos-cosecha (prácticas aplicadas para la obtención del café pergamino seco), almacenamiento, tostión y preparación de la bebida (Lamanaka *et al.,* 2014).

El secado del café se enmarca dentro de las practicas-poscosecha, las cuales comienzan despues de la recolección del fruto. El mecanismo de secado del café es más complicado que el de cualquier otro grano (Cruz et al., 2010), para que sea eficiente se deben conocer y controlar todas aquellas variables que influyen en el proceso con el fin de mantener la calidad del producto.

La temperatura del aire durante el secado del café es una de las variables críticas a controlar. La disminución del potencial hídrico de las semillas de café durante el secado produce repuestas masivas de estrés que se asocian, en las etapas iniciales del secado, con procesos de germinación y conforme se va reduciendo el agua, en estrés de sequía

en los tejidos del embrión y endospermo (Kramer *et al.,* 2010). La resistencia del embrión a las temperaturas y velocidades de secado, está medida por sistemas de protección que previenen su daño letal (Santos *et al*., 2014), utilizando los azúcares como mecanismo de defensa contra dicho estrés (Guimarães, 2000). En diferentes investigaciones se ha determinado el daño que causa en la estructura celular del café el uso de temperaturas excesivas durante el secado. Meira *et al.,* (2006) recomiendan para secado combinado (solar y mecánico) periodos de pre-secado solar de por lo menos tres días, flujos de aire bajos en el secado mecánico (20-30 $m^3min^{-1}m^{-2}$) y temperaturas de secado de 40ºC, ya que estas condiciones contribuyen a la reducción de los valores de conductividad eléctrica y lixiviación de potasio, indicadores consistentes de la integridad de la membrana celular. Las altas temperaturas en el secado están relacionadas con la degradación de la membrana celular y como consecuencia puede haber fugas de lípidos que se oxidan afectando la estructura de los granos de café y la calidad sensorial del producto (Carteri *et al*., 2007).

A su vez, el uso de temperaturas de secado demasiado bajas genera periodos de secado largos que alteran la calidad del café, ya que cuando el contenido de humedad es alto se desarrollan microorganismos que producen compuestos no deseados como el ácido butírico y propiónico. Castoldi & Castoldi (2013) recomiendan secar los granos de café lo más rápido posible con una temperatura de secado de 50ºC para evitar sobre-fermentaciones que pueden ocurrir al comienzo del proceso de secado cuando el café tiene una humedad por encima del 40%. El uso de temperaturas altas (60ºC) al comienzo del secado cuando el grano tiene una humedad por encima del 30%, seguido de una reducción en la temperatura del aire (40º), resulta en una remoción menos intensa de la humedad favoreciendo la calidad en taza (Taveira *et al*., 2015).

El flujo de aire en el secado del café es otro de los factores críticos que puede afectar la calidad. Dependiendo del flujo el proceso será eficiente energéticamente o no, ya que éste es el encargado de suministrar la energía térmica a las capas de café para que el proceso de evaporación se inicie. Económicamente es rentable controlar el caudal de aire de secado entregado por el ventilador, pues un flujo de aire deficiente en el sistema de secado, hace que los granos resulten con altas diferencias en el contenido final de humedad, trayendo consigo granos flojos con humedad superior al 14% o granos sobresecos con humedad menor al 10%. En el caso contrario, si el caudal de aire es

mayor al recomendado, habrá exceso de energía térmica mal aprovechada, incrementando la demanda de potencia del ventilador y aumentando los costos de producción por secado (Gutiérrez & Copete, 2009).

Durante muchos años se ha difundo la idea de que el secado del café al sol es fundamental para la obtención de cafés de muy buena calidad física y en taza. Algunas fuentes mencionan el efecto beneficioso de la luz solar sobre la calidad del café, diferentes autores afirman que el color amarillento del pergamino seco se debe a los rayos UV y que las frecuencias visibles causan el color verde azulado brillante (Wintgens, 2004). Lyman *et al*., (2011) compararon el secado solar y mecánico, encontrando diferencias sensoriales significativas; siendo los cafés secados al sol los que presentaron mayor cuerpo con más intensidad en el sabor, debido a una mayor concentración de material lipídico, esteres y aldehídos. Sin embargo, pese a los resultados anteriores, debe tenerse en cuenta que las condiciones ideales de secado al sol no son constantes, de ahí que la calidad del café secado al sol bien puede ser superior si el clima es casi perfecto, pero esto no sucede todo el tiempo.

A menudo se piensa que el sobrecalentamiento de los granos de café durante el secado solo ocurre en sistemas de secado mecánico, sin embargo, se ha encontrado que las temperaturas máximas toleradas por el grano se pueden superar en el secado al sol si los granos no se revuelven con frecuencia o cuando se utilizan estructuras con cobertura plástica, sobre todo durante las horas más calurosas del día (Wintgens, 2004).

En el análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) realizado por Puerta (2008) se identifican los principales riesgos y sus repercusiones en la calidad durante el secado del café al sol y mecánicamente. Para el secado del café al sol los riesgos biológicos y químicos están relacionados con la permanencia del café con altos contenidos de humedad por largos periodos, así como la distribución del café durante el secado con una capa de granos superior a 3 cm, lo cual retarda el secado del café manteniendo los granos durante mayor tiempo con un contenido de humedad crítico; algunos de los efectos de dichos riesgos son el deterioro de la calidad física y sensorial, produciendo decoloración y defectos en taza como sabores a sucio, fenol, terroso y mohoso. En el secado mecánico los principales riesgos de deterioro en la calidad se dan por contaminación de los granos con combustibles cuando se utiliza combustión directa

para calentar el aire de secado, cuando se utilizan capas de café mayores a lo especificado en el diseño del secador y cuando se usan temperaturas excesivas y flujos de aire ineficientes, cuyas repercusiones en la calidad se mencionaron anteriormente.

Algunas prácticas preventivas recomendadas por Puerta (2008) para asegurar la calidad del café durante el secado son:

- Conocer las épocas del secado del café y las condiciones climáticas como la temperatura ambiente, el brillo solar y los días de lluvia predominantes en la región, con el fin de utilizar las tecnologías de secado más apropiadas.
- Instalar los secadores solares en lugares ventilados y alejados de cualquier fuente de contaminación. Estos secadores deben dotarse con medidores de humedad, termómetros, medidores de caudal del aire y balanzas.
- Se debe secar café libre de defectos e impurezas. Se recomienda registrar la parcela de procedencia del café, el tipo de secado utilizado, fecha de inicio del secado y la variedad.
- Controlar la contaminación externa durante el secado del café. No se debe apagar el secador mecánico cuando contiene el café todavía húmedo ya que esta práctica genera defectos como contaminado, químico y fenol.
- Controlar la humedad del grano con el fin de evitar pérdidas por sobresecado o por falta de secado. Para el secado mecánico se pueden tomar muestras cada hora después de las 12 horas de secado y la medición debe hacerse a temperatura ambiente.

## 2.3 Composición química del café almendra

El café, químicamente se compone de agua y materia seca. La materia seca de los granos de café almendra está constituida por minerales y por sustancias orgánicas como los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides, así como por ácidos carboxílicos y fenólicos y por compuestos volátiles que dan el aroma a la almendra (Puerta, 2011).

A continuación se describe la composición química de los granos de café almendra.

### 2.3.1 Agua

El contenido de agua afecta el crecimiento de microorganismos, la actividad enzimática, la estabilidad y la vida útil de los productos alimenticios (Mendonça *et al*., 2007). El contenido de humedad del café pergamino húmedo es del 53% (b.h) y debe reducirse hasta una humedad del 10-12% durante el secado, para mantener la estabilidad química, microbiológica y la calidad sensorial (Reh *et al*., 2006).

### 2.3.2 Carbohidratos

Los carbohidratos son los principales constituyentes del café y pueden representar más del 50% del peso seco. Los carbohidratos junto con los aminoácidos son precursores de la reacción de Maillar en la cual se potencializa el desarrollo del color y compuestos aromáticos (Farah, 2012).

La sacarosa es el carbohidrato predominante en el café verde con una concentración de hasta 90 mg/g en café arábica y 45 mg/g en robusta. Este contenido superior de sacarosa en la especie arábica contribuye al desarrollo de aromas y sabores de mayor aceptación comparado con robusta (Murkovic & Derler, 2006). Otros autores han reportado un aumento en la concentración de glucosa y fructosa en granos inmaduros, mientras que en granos maduros la sacarosa ha sido encontrada mayoritariamente, lo que contribuye a la dulzura del café (Oestreich-Janzen, 2010; Wasserman & Bradbury, 1993 citados por Sunarharum *et al.*, 2014).

Los polisacáridos solubles e insolubles representan aproximadamente el 44% de la materia seca de la especie *C. arábica* y el 47% en *C. canephora* (Farah, 2012). Los más representativos son Arabinogalactanos, Galactomananos y Celulosa (Fischer *et al.,* 2001); estas moléculas por ser de alto peso molecular contribuyen al fortalecimiento del cuerpo de la bebida, además son considerados compuestos bioactivos debido a su potencial como sustrato para los microorganismos probióticos en el intestino humano (Farah, 2012).

### 2.3.3 Ácidos grasos

Dentro de todos los compuestos determinantes en la calidad del café, los lípidos y los ácidos grasos constituyen dos grupos de mayor relevancia. Los lípidos tienen un efecto

benéfico sobre el aroma y el sabor de la bebida de café, ya que durante la tostión éstos se concentran en las áreas externas del grano, protegiéndolo de las posibles pérdidas de otros compuestos durante éste proceso (Villarreal *et al.*, 2012); a su vez los ácidos grasos contribuyen a la acidez del café y en las concentraciones adecuadas son beneficiosos para la salud humana ya que son precursores de eicosanoides, los cuales son biorreguladores de procesos metabólicos celulares (Dong *et al.*, 2015).

Los ácidos grasos del extracto lipídico del café se encuentran principalmente en formas combinadas ya sea esterificados por glicerol en los triglicéridos, por alcoholes diterpénicos (cafestol y kahweol) y una pequeña fracción en ésteres de esterol (Farah, 2012). Su composición y concentración en el grano de café puede ser afectada por varios factores, principalmente la variedad y las condiciones de cultivo (Villarreal *et al.*, 2012).

Los ácidos grasos que se encuentran con mayor frecuencia en el extracto lipídico del café son: mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0), eicosanoico (C20:1) y behénico (C22:0); Siendo el palmítico y linoleico los ácidos grasos mayoritarios (Martin *et al.,*2001).

### 2.3.4 Proteínas, péptidos y aminoácidos libres

Las proteínas, péptidos y aminoácidos libres son de vital importancia para la formación del aroma y el sabor del café, ellos sirven como precursores para la formación de compuestos volátiles tales como furanos, piridinas, pirazinas, pirroles, aldehídos y melanoidinas; las proteínas también contribuyen a la formación del color durante el tostado, tornándose más claro cuando hay un alto contenido de éstas (Hwang *et al.,* 2012).

Los compuestos nitrogenados totales (excluyendo la cafeína y trigonelina) representan el 9-16% de la composición química del café verde, con un contenido ligeramente más alto en *C. canephora* que en *C. arábica* (Farah, 2012). En muestras de café de diferentes orígenes el contenido de proteína cruda varía, ya que éste se ve influenciado por el clima, la altitud, el tipo de suelo y el método de procesamiento empleado (Rodrigues *et al.,* 2010).

Las proteínas mayoritarias del café son albuminas y globulinas (Puerta, 2011), Los principales aminoácidos del café verde *C. arábica* y *C. canephora* son el ácido glutámico, asparagina y ácido aspártico, en cantidades similares para ambas especies (Arnold *et al.,* 1994).

### 2.3.5 Alcaloides

Los alcaloides son compuestos orgánicos nitrogenados de carácter alcalino producidos casi exclusivamente por vegetales. En el café contribuyen al sabor amargo, son extraíbles en agua y pueden tener un efecto estimulante; los principales en el café son la cafeína y la trigonelina (Higdon & Frei, 2006).

La cafeína es un derivado de la xantina, conocida por estimular el sistema nervioso central y por lo general se asocia con mejoras en el estado de atención, la capacidad de aprendizaje y rendimiento en el ejercicio cuando se consume moderadamente (Tello *et al.,* 2011); es el alcaloide principal en granos de café y su concentración varía notablemente entre y dentro de las especies, se confirmó por HPLC que el contenido de este alcaloide es mayor en robusta que en arábica (Hečimović *et al.,* 2011). Ademas de las diferencias entre especies el contenido de cafeína se ve afectado por factores ambientales, siendo mayor su contenido en cafés cultivados a grandes alturas (Avelino *et al.*, 2005).

La trigonelina es un derivado de la piridina y contribuye directamente a la formación de productos como los furanos, pirazinas, alquilpiridinas y pirroles, que dan sabor durante el tostado del café (Flament *et al.*, 1967 citado por Farah, 2012) En contraste con el contenido de cafeína, la trigonelina se encuentra en mayor cantidad en la especie arábica que en robusta (Casal *et al.,* 2000). En estudios clínicos se ha probado el poder anti-invasivo de la trigonelina contra las células cancerígenas y se ha encontrado que puede regenerar dendritas y axones (Hirakawa *et al.,* 2005; Tohda *et al.,* 2005).

### 2.3.6 Ácidos clorogénicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas y en general están involucrados en la defensa de las mismas contra la radiación UV y agresión por patógenos (Aerts & Baumann, 1994). En la semilla de café los principales compuestos

fenólicos están presentes como una familia de ésteres formados por ácidos hidroxicinámicos (cafeico, quínico, ferúlico, cumárico, sinápico) esterificados con el ácido quínico y son conocidos como ácidos clorogénicos (Clarke & Macrae, 1989). Los principales grupos que se encuentran en los granos de café verde incluyen ácido cafeoilquínico, ácido dicafeoilquínico, ácido feruloilquínico, ácido p-cumaroilquínico y diesteres mixtos de ácidos cafeico y ferúlico como ácido quínico, cada uno de ellos con al menos tres isómeros (Farah & Donangelo, 2006).

Los ácidos clorogénicos (CGAs) pueden alcanzar hasta el 12% de la materia seca de los granos de café verde (Ky *et al*., 2001), este contenido alcanza su máxima acumulación cuando los frutos están verdes y va disminuyendo paulatinamente conforme avanza la maduración (Schwan & Fleet, 2014). Los CGAs tienen una influencia marcada en la calidad del café y juegan un papel importante en la formación del aroma y sabor del café (Farah *et al.,* 2006), ademas estos compuestos tienen varias propiedades beneficiosas para la salud como su aporte antioxidante, hipoglucémico, antiviral, hepatoprotector y antiespasmódico (Trute *et al.,* 1997; Dos Santos *et al.,* 2003; Moreira *et al.,* 2005).

# 3. Capítulo 3. Materiales y métodos

En este capítulo se describe la metodología empleada para la experimentación en campo y los métodos utilizados para la carcaterización física, química y sensorial del café.

## 3.1 Experimentación en campo

Los experimentos se realizaron en dos municipios del departamento de Antioquía, Ciudad Bolívar – finca Vuelta Bonita y Fredonia – fincas Santa Isabel y Villa sol. En la Tabla 3-1 se muestra la información de los lotes en los cuales se recolectó el café.

**Tabla 3-1:** Características de los lotes utilizados para la recolección del café.

| Finca | Lote | Área (ha) | Altitud (m) | Variedad |
|---|---|---|---|---|
| Vuelta Bonita | Lote 5 | 5,055 | 1900 | Castillo |
| Vuelta Bonita | Lote 4 | 6,861 | 1940 | Caturra |
| Santa Isabel | Bella vista | 4,11 | 1967 | Castillo |
| Santa Isabel | Bella vista | 4,11 | 1967 | Caturra |
| Villa sol | El mirador | 5,74 | 1958 | Castillo |
| Villa sol | Las aguas | 2,42 | 1958 | Caturra |

En la Figura 3-1 se muestra un esquema del procedimiento llevado a cabo en cada una de las fincas mencionadas anteriormente. Se recolectaron 500 kg de café de cada una de las variedades, los cuales fueron depositados en tanques con agua para eliminar por flotación impurezas, granos verdes, brocados y vanos; posterior a esto, la masa de café se caracterizó tomando muestras representativas en diferentes puntos y realizando un conteo de granos en los diferentes estados de maduración (verde, pintón, maduro y sobremaduro), en todas las fincas de trabajo el porcentaje de granos verdes estuvo por debajo del 2% (Tabla 3-2); después de la caracterización se procedió a despulpar y a

fermentar la masa de café utilizando el dispositivo fermaestro desarrollado por Cenicafé para controlar la fermentación (Peñuela *et al.*, 2013), dicho proceso tuvo una duración entre 12 y 19 horas dependiendo de las condiciones ambientales en cada una de las fincas; cuando el café bajó a la primera línea horizontal del cono fermaestro se procedió al lavado con agua limpia para retirar restos de mucílago y granos vanos que no pudieron ser eliminados en la flotación; el lote de café lavado y escurrido se repartió en partes iguales de 32 kg para el proceso de secado en silo de tres mallas (temperatura: 40 y 50ºC, flujo de aire: 60 y 100 $m^3$/min/Toncps), solar en patio y solar en marquesina.

**Figura 3-1:** Esquema experimentación en campo.

**Tabla 3-2:** caracterización de la masa cosechada en cada una de las fincas de trabajo.

| Finca | variedad | % verde | % pintón | % maduro | % sobremaduro |
|---|---|---|---|---|---|
| Vuelta Bonita | Caturra | 1 | 22,5 | 64,5 | 11,7 |
| | Castillo | 1,8 | 16,7 | 51 | 30,4 |
| Santa Isabel 1 | Caturra | 0,9 | 11,2 | 62,7 | 25 |
| | Castillo | 1,3 | 19,4 | 43,5 | 35,8 |
| Santa Isabel 2 | Caturra | 1,2 | 10,7 | 68,3 | 19,8 |
| | Castillo | 0,8 | 15,7 | 56,8 | 26,6 |
| Villa sol 1 | Caturra | 0,7 | 26,2 | 67,7 | 5,3 |
| | castillo | 0,5 | 25,4 | 66,9 | 7,2 |
| Villa sol 2 | Caturra | 0,5 | 23,6 | 70,4 | 5,4 |
| | Castillo | 0,7 | 22,4 | 69,6 | 7,4 |

### 3.1.1 Consideraciones para el secado mecánico

Para el secado mecánico se utilizaron cuatro secadoras de tres mallas, las cuales se cargaron con la misma cantidad de café y se operaron simultáneamente con el fin de tener un registro de los tiempos de secado y contenido de humedad.

- Control de la humedad en los granos de café: la humedad de los granos de café durante el secado mecánico se determinó utilizando un medidor de humedad para granos “Grain moisture tester PM 410”, tomando muestras en diferentes puntos de la masa de café después de 7 horas de secado cada media hora.

- Tiempo de secado: el tiempo de secado se determinó registrando la hora de inicio de secado como hora “cero” y hora de finalización cuando la masa de café alcanzó un rango de humedad del 10% al 12%.

- Control de la temperatura en el secado mecánico: para calentar el aire de secado se utilizó combustión directa con gas propano regulando la potencia de la llama de forma tal que se alcanzaran temperaturas de 40 y 50 ºC. Para determinar la temperatura del aire de secado se utilizó un termostato, colocado en la entrada de aire de la primera malla de la secadora.

- Control del flujo de aire en el secado mecánico: Las secadoras se cargaron con una altura de capa de café de 20 cm en cada una de las mallas. Las capas de café a medida que se va cargando la secadora generan una caída de presión estática a partir de la cual se calcula el caudal de aire entregado por el ventilador.

  La pérdida de presión y el caudal de aire que pasa a través de una capa de café, se relacionan de acuerdo a la ecuación semiempírica obtenida por Oliveros & Roa, (1986), la cual se muestra en la ecuación 3.1. En esta se presenta la relación entre la pérdida presión y la altura de la capa, en función del caudal de aire que pasa a través de una capa de café, del área del secador y de la humedad del grano.

$$\frac{\Delta p}{h} = \left[\frac{\frac{Q}{A}}{9{,}523 - 0{,}0476\ M}\right]^{1{,}4793} \qquad (Ecuación\ 3.1)$$

  Dónde:

  $\Delta p$: Pérdida de presión, en cm de agua.

  $h$: Altura de la capa, en m.

  $Q$: Caudal de aire que pasa a través de una capa de café, en $m^3.min^{-1}$.

  $A$: Área del secador en $m^2$.

  $M$: Humedad del grano, en porcentaje base húmeda.

  Reorganizando la ecuación 3.1 se obtiene una expresión a partir de la cual puede despejarse fácilmente el caudal de aire que atraviesa la capa de café (ecuación 3.2).

$$\frac{Q}{A} = (9{,}523 - 0{,}0476\ M)\left(\frac{\Delta p}{h}\right)^{0{,}676} \qquad (Ecuación\ 3.2)$$

  La caída de presión generada por las diferentes capas de café fue medida utilizando un tubo de Pitot, el cual se introdujo en el sentido del flujo en cada una de las mallas de las secadoras. Para regular la potencia del ventilador se utilizó

un variador de frecuencia, con el objetivo de graduar la velocidad hasta obtener la caída presión con la cual se alcanzaron flujos de aire de 100 y 60 m3/min/Toncps.

### 3.1.2 Consideraciones para el secado solar

El secado solar se llevó a cabo en patios de concreto y en marquesina. Los controles realizados en el secado solar fueron:

- El café se extendió en el patio y en la marquesina inmediatamente después del lavado.
- La capa de café no superó los 3 cm.
- El café se removió diez veces al día hasta que alcanzó un rango de humedad del 10% al 12% (b.h).
- En las noches el café se protegió para evitar rehumedecimiento por las temperaturas bajas de la noche.
- La humedad del café fue controlada utilizando un medidor de humedad para granos “Grain moisture tester PM 410”, tomando muestras en el secado solar en patio después de 2 días de secado cada media hora y en marquesina después de un día de secado cada media hora.

## 3.2 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental que se llevó a cabo fue un diseño factorial en bloques. En el experimento se evaluaron ocho tratamientos resultantes de la combinación de dos variedades (Caturra y Castillo) por cuatro condiciones de secado (dos temperaturas por dos caudales), además se realizaron dos tratamientos control (secado al sol en patios y secado al sol en marquesina). Cada una de las fincas y sus momentos de ensayo fueron tomadas como bloques (B), en las fincas Villa sol y Santa Isabel se tuvieron dos tiempos de muestreo. Las variables independientes se muestran en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Variables independientes.

| Bloques | Factores | Niveles | |
|---|---|---|---|
| Vuelta Bonita<br>Santa Isabel 1<br>Villa sol 1<br>Santa Isabel 2<br>Villa sol 2 | Tratamientos | T1 | Temperatura 40°C – Flujo de aire 60 m3/min/Toncps |
| | | T2 | Temperatura 40°C – Flujo de aire 100 m3/min/Toncps |
| | | T3 | Temperatura 50°C – Flujo de aire 60 m3/min/Toncps |
| | | T4 | Temperatura 50°C – Flujo de aire 100 m3/min/Toncps |
| | | T5 | Solar |
| | | T6 | Marquesina |
| | Variedad | V1 | Caturra |
| | | V2 | Castillo |

Las variables de respuesta que se midieron fueron: tiempo de secado, puntaje sensorial, caracterización física (actividad de agua, densidad y color) y composición química (ácidos clorogénicos, ácidos grasos y cafeína). Los resultados se procesaron y analizaron mediante comparación de medias utilizando pruebas de Fisher LSD.

## 3.3 Análisis sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo siguiendo el protocolo definido para el proyecto: “Antioquia: origen de cafés especiales”.

Muestras de 500 g de café pergamino seco (cps) fueron almacenadas en la estación forestal de Piedras Blancas de la Universidad Nacional de Colombia, localizada en el municipio de Santa Elena, a una temperatura promedio de 15ºC y humedad relativa promedio de 65%. Las muestras se mantuvieron en reposo durante dos meses antes de la evaluación sensorial.

Para el análisis, las muestras fueron codificadas con números aleatorios de cuatro dígitos para evitar sesgos y errores por parte de los jueces. El panel sensorial estuvo compuesto por un grupo de 5 jueces con certificación "*Q Grader"* que evaluaron el café de acuerdo con las siguientes características: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad de taza, taza limpia y dulzor.

Los diez atributos anteriores se calificaron en una escala de cero a diez puntos, dichos puntajes se sumaron al final para obtener un puntaje global por juez de cada una de las muestras.

## 3.4 Análisis físico

Las muestras fueron almacenadas en la estación forestal de Piedras Blancas de la Universidad Nacional de Colombia, localizada en el municipio de Santa Elena, a una temperatura promedio de 15ºC y humedad relativa promedio de 65%. Las muestras se mantuvieron en reposo durante dos meses antes de la evaluación física y todas las mediciones se realizaron por triplicado.

### 3.4.1 Actividad de agua

Para la medición de actividad de agua se utilizó un higrómetro con control de temperatura Aqualab 4TE DUO. Para tal fin se tomaron 2 g de café y se trituraron para exponer la mayor área superficial posible al sensor de punto de rocío con el que cuenta el equipo.

### 3.4.2 Densidad aparente

La densidad aparente se define como la proporción entre la masa de café verde y el volumen que ocupa después que se ha dejado pasar libremente a un recipiente de medición. Esta propiedad física fue determinada en las muestras de café, siguiendo el procedimiento descrito en la NTC 4607 de 1999, cuyo principio es dejar fluir la muestra desde un tanque alimentador a un recipiente especificado de volumen conocido. La densidad aparente bajo condiciones de flujo libre fue calculada mediante la ecuación 3.3

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (Ecuación\ 3.3)$$

Donde:

$m_1$ = es la masa, en gramos, del recipiente de medición vacío.

$m_2$ = es la masa, en gramos, del recipente de medición lleno de granos de café.

V = es la capacidad, en litros del recipiente de medición.

La capacidad en volumen del sistema de medición fue evaluada a través de un liquido de referencia de densidad conocida, en este caso fue usado alcohol con una densidad de 870 g/lt a 20°C, con el cual se obtuvo un volumen de 1,01 lt.

### 3.4.3 Color

El color de los granos de café está íntimamente relacionado con la calidad del producto. Un café de buena calidad se caracteriza por una tonalidad verde azulada, que se forma por reacciones enzimáticas. Una distribución uniforme del color en el café almendra es el resultado de un secado adecuado hasta los niveles de humedad permitidos; cuando el grano de café pergamino contiene una humedad superior 12,5% (b.h) el pergamino presenta manchas y la almendra se torna pálida y decolorada por la migración de agua hacia la superficie del grano (Puerta, 2006).

La tonalidad del café almendra varía dependiendo del valor de las coordenadas L*a*b*. La coordenada “L” está relacionada con la luminosidad del producto y corresponde a mayor o menor blanqueamiento de los granos. Su escala varía de “cero” (negro) a “cien” (blanco), por lo que valores menores de “L” indican menor blanqueamiento del café. La coordenada “a” está relacionada con las tonalidades rojas (a >) y verdes (a <), en café valores próximos a cero indican una tendencia a la coloración verde deseada. La coordenada “b” está relacionada con las tonalidades amarillas (b >) y azules (b <), por lo que valores menores de “b” indican una mayor tendencia hacia la coloración azul de los cafés clasificados como Premium (Figueiredo *et al.,* 2013). En la Figura 3-2 se muestra una representación esquemática del sistema de coordenadas de Hunter para la evaluación del color y en la Figura 3-3 una clasificación del café según sus tonalidades.

**Figura 3-2:** Representación esquemática del sistema de coordenadas para la evaluación del color. (Konica Minolta, n.d.)

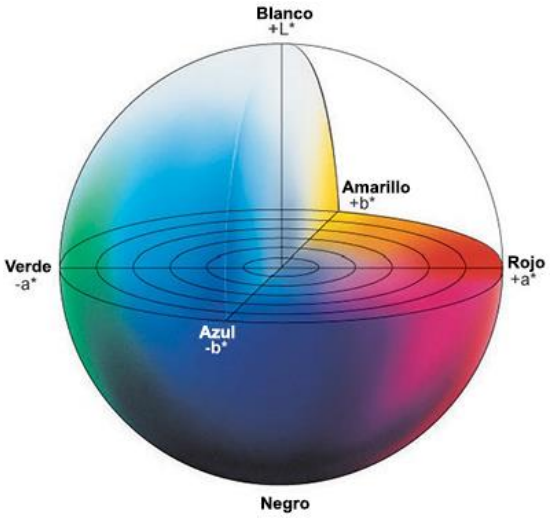
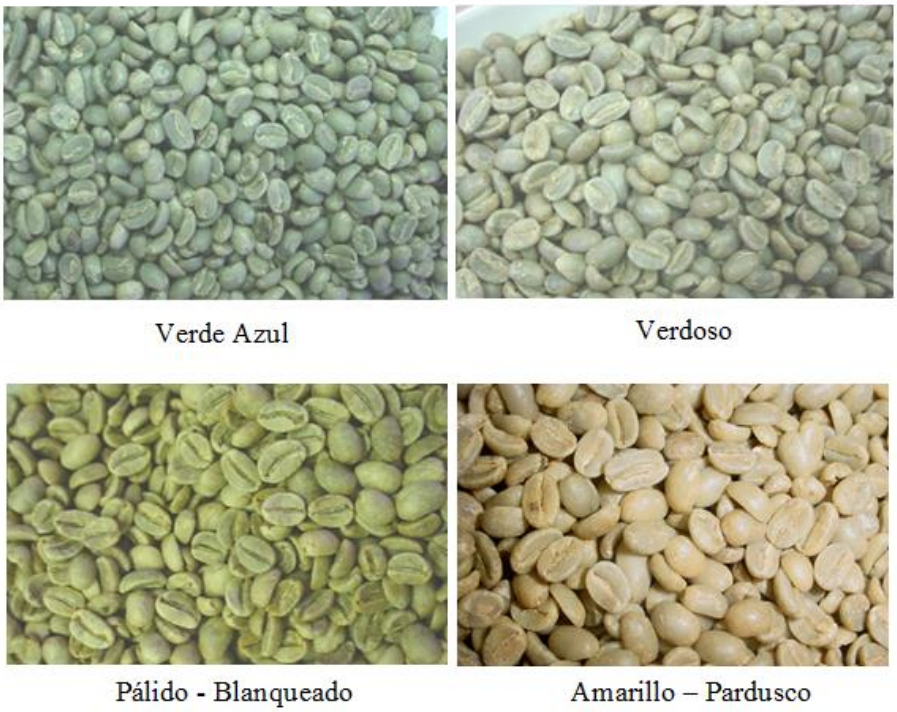



**Figura 3-3:** Clasificación del café según su color. (Fuente: Gail, 2005).



Para la medición de color se utilizó un colorímetro CR 400 Konica Minolta, con iluminante D65 en el espacio de color CIE L*a*b*, utilizando el accesorio para materiales granulados CR-A50, lleno con 50 g de café trillado. Se tomaron tres mediciones de color en puntos diferentes de la muestra, para obtener un resultado homogéneo de las coordenadas.

## 3.5 Análisis químico

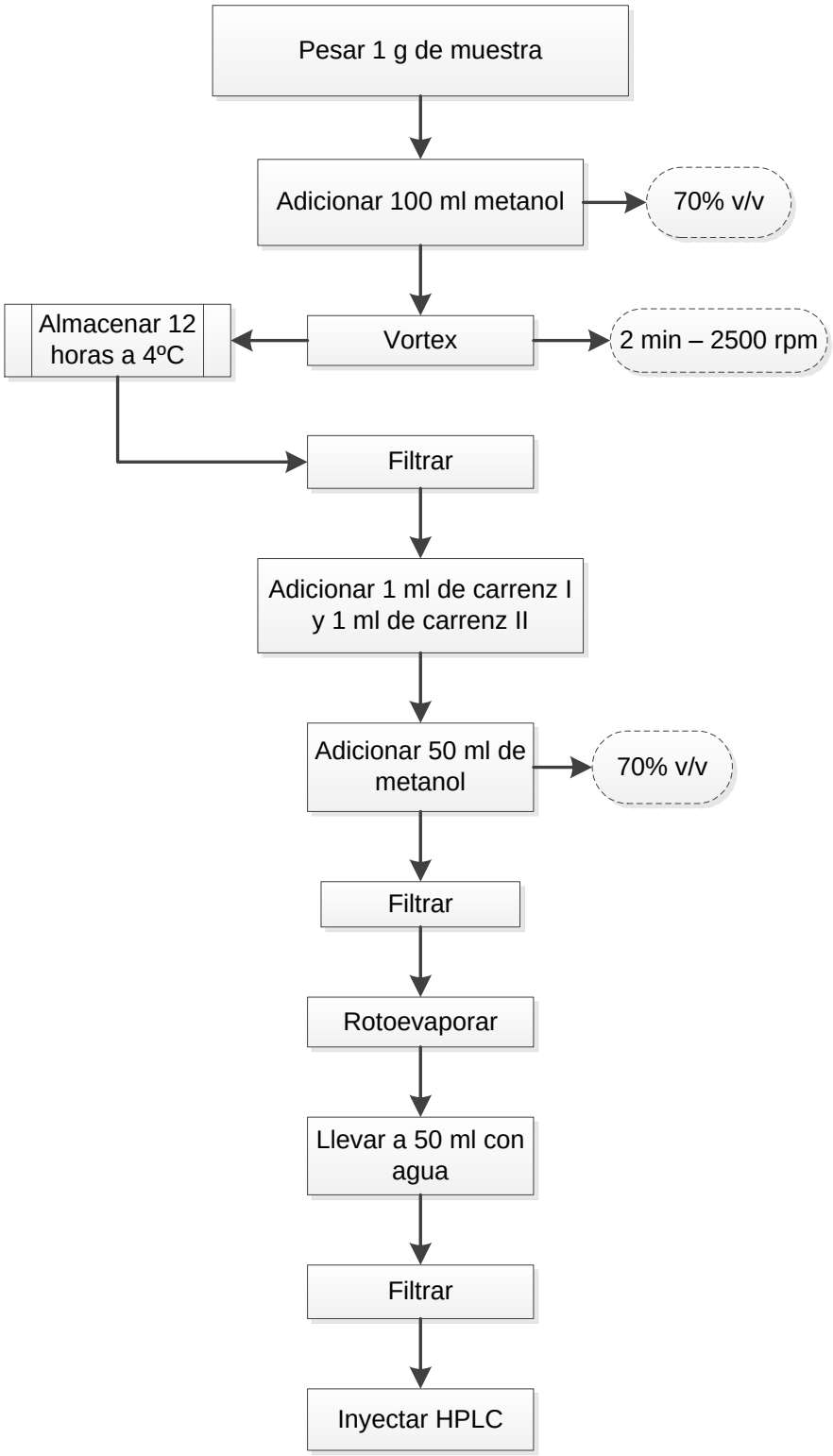
Antes del análisis químico las muestras de café fueron trilladas y molidas en el laboratorio de calidad de Cenicafé usando un molino criogénico, posterior a ello las muestras se trasladaron al laboratorio de Procesos Agrícolas de la Universidad Nacional sede Medellín, donde se almacenaron a -40ºC en ultra-congelador durante 2 meses mientras se realizaban las diferentes extracciones. Cada una de las extracciones se realizó por duplicado.

Las determinaciones cromatográficas fueron apoyadas por un profesional experto en el manejo de los cromatógrafos de gases y masas.

### 3.5.1 Ácidos clorogénicos

El procedimiento experimental para determinar la cantidad de ácidos clorogénicos comprendió cuatro etapas: extracción, purificación, separación y cuantificación de los diferentes compuestos por cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC. La metodología empleada para la extracción y purificación fue tomada de la norma “DIN 10767 ‘Coffee and coffee products - Determination of chlorogenic acids by HPLC’ (1992), cuyo procedimiento se muestra en la Figura 3-4. Para la identificación de los ácidos se empleó cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC – Shimadzu 20A) y para la cuantificación se emplearon estándares de ácido caféico, cumárico, ferúlico y sinápico. Los cromatogramas se compararon con los tiempos de retención reportados en la literatura, a longitudes de onda y sistemas cromatográficos similares.

**Figura 3-4:** Extracción y purificación de ácidos clorogénicos.



**Condiciones cromatográficas**

Columna: Zorbax Eclipse Plus C18 (4,6 x 150 mm 5-Micron).

Solventes fase móvil: Solvente A (1000 ml $H_2O$ Millli-Q + 10 ml $H_3PO_4$ al 85% de pureza) Solvente B (acetonitrilo grado HPLC).

Modo gradiente:

| Tiempo | Solvente A | Solvente B |
|---|---|---|
| 0 | 90 | 10 |
| 20 | 80 | 20 |
| 25 | 70 | 30 |
| 35 | 60 | 40 |
| 40 | 60 | 40 |
| 50 | 90 | 10 |

Flujo: 1 ml / min.

Longitud de onda: 324 nm UV (Se introduce un error de 1,0% a 1,5% ya que la absortividad molar depende de la longitud de onda, del solvente usado y del pH de la solución).

Volumen de inyección: 10 µl.

**Especificidad y selectividad**

En las Figuras 3-5, 3-6, 3-7, 3-8 se muestran los cromatogramas de los estándares de los ácidos clorogénicos determinados y sus respectivos tiempos de retención.

**Figura 3-5:** Cromatograma ácido caféico

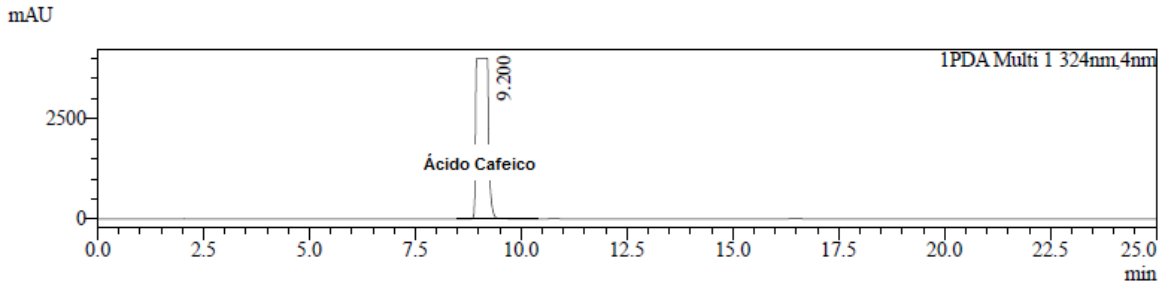


**Figura 3-6:** Cromatograma ácido cumárico.

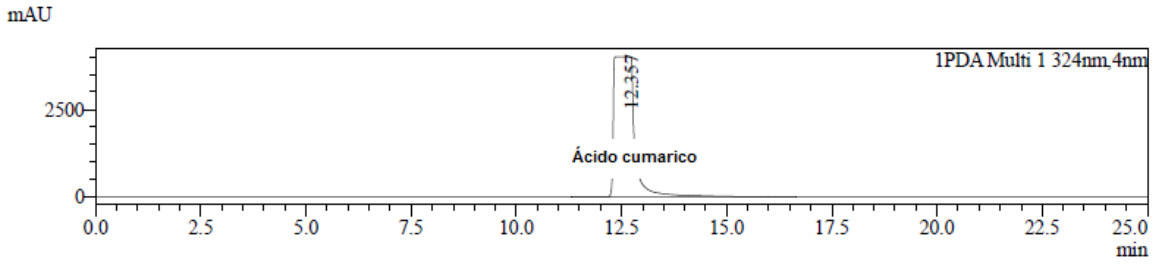



**Figura 3-7:** Cromatograma ácido ferúlico.

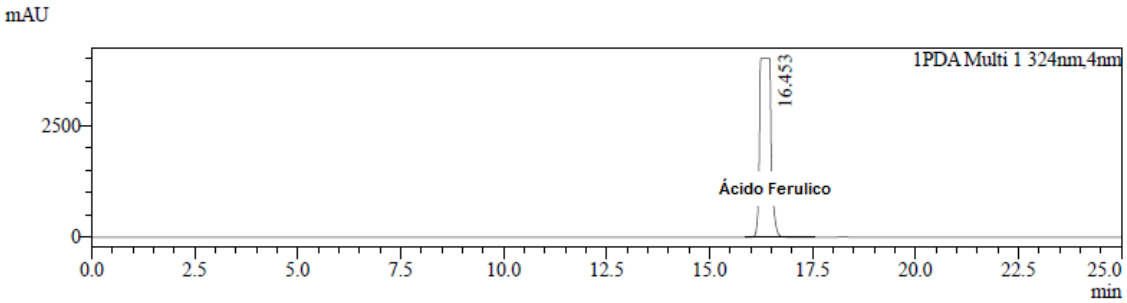
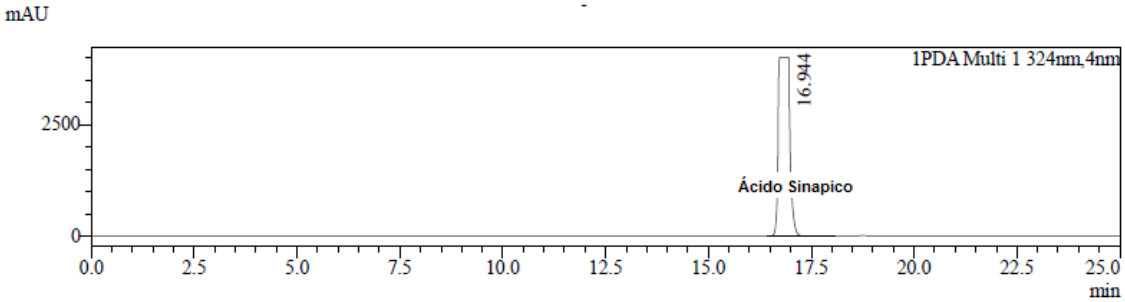



**Figura 3-8:** Cromatograma ácido sinápico.




## 3.5.2 Ácidos grasos

La extracción de ácidos grasos se realizó adaptando la metodología propuesta por Bertrand *et al*. (2008), cuyo procedimiento se muestra en las Figuras 3-9 y 3-10. Para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos se utilizó un cromatógrafo de gases acoplado a masas (GCMS-QP2010 ultra - Shimadzu) y un kit de estándares de ácidos grasos para comparar los cromatogramas y los tiempos de retención de las muestras.

**Figura 3-9:** Extracción de ácidos grasos.

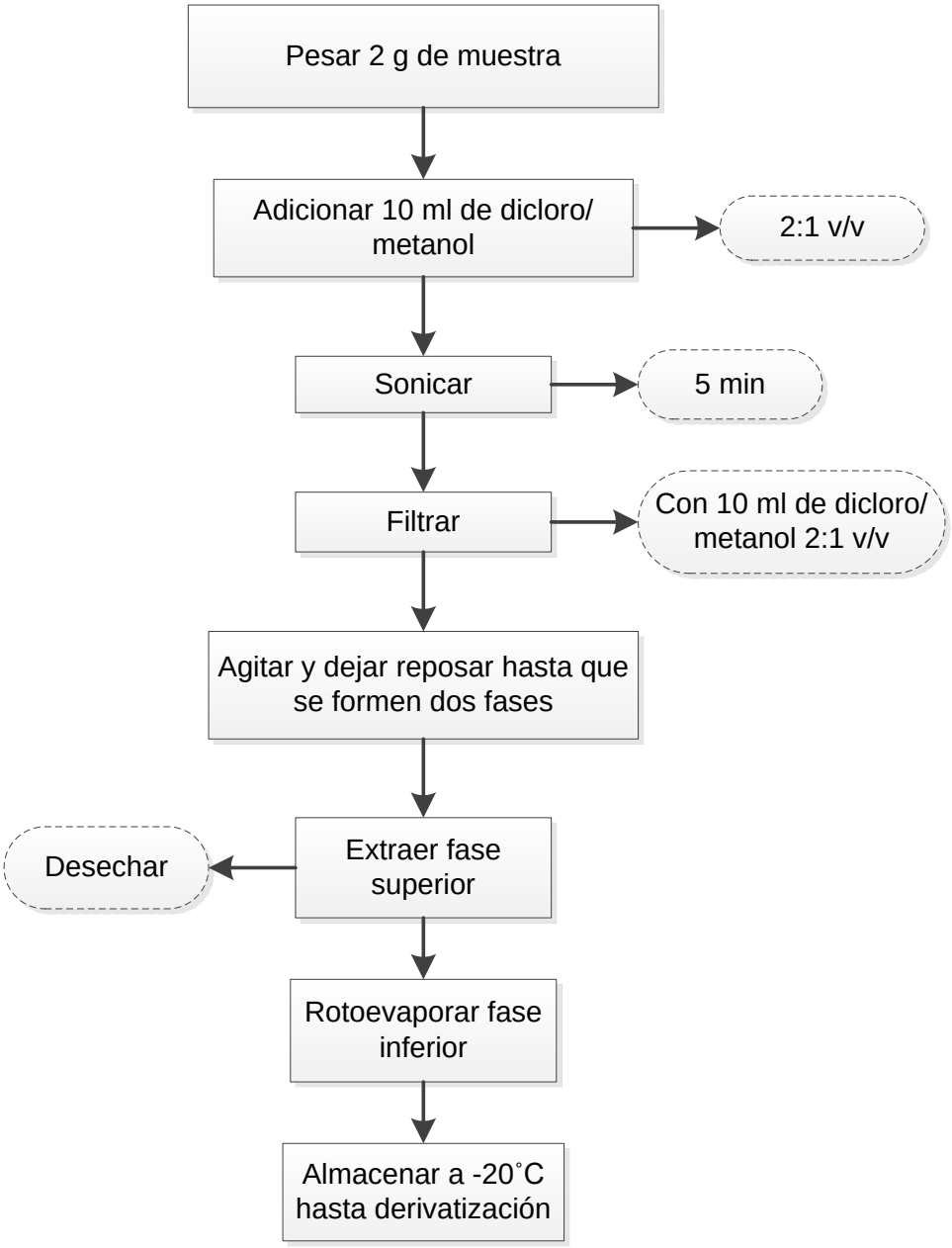
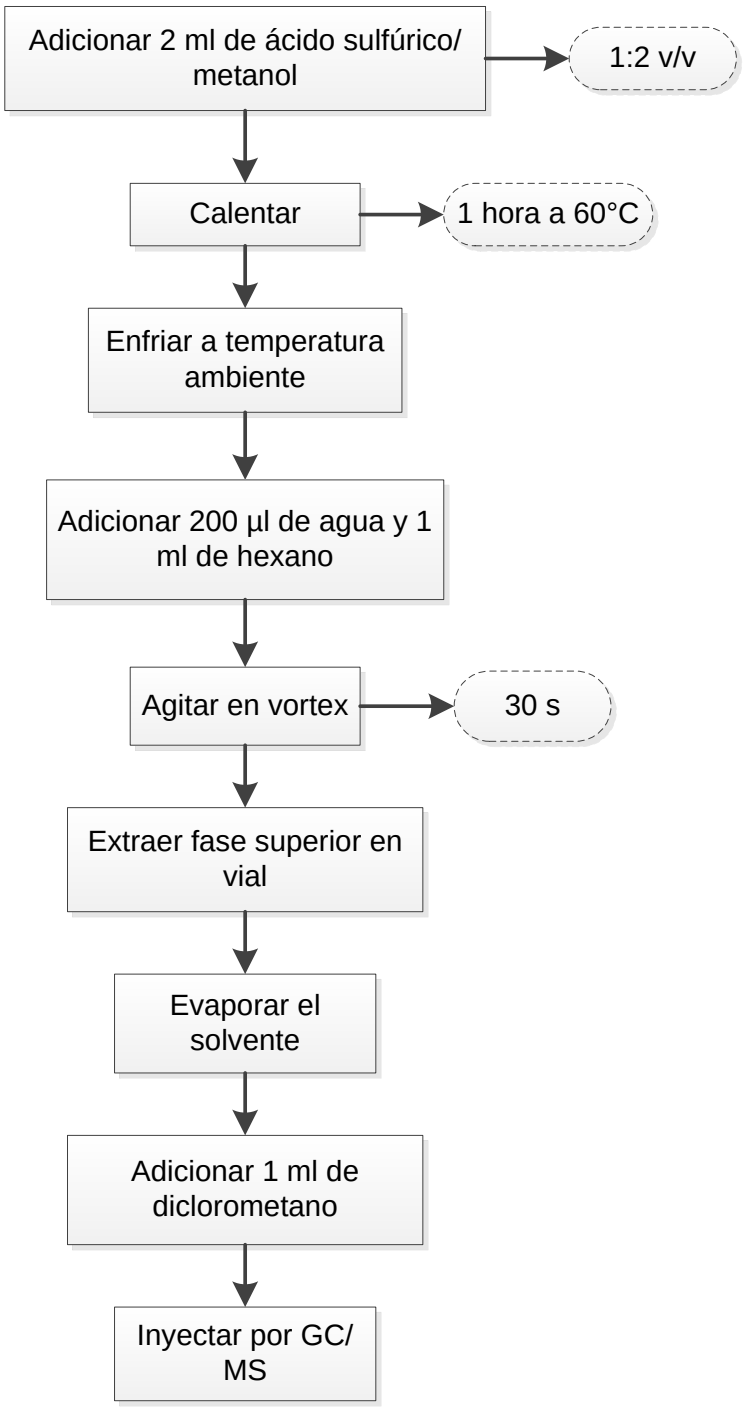


**Figura 3-10:** Derivatización de ácidos grasos a metil ésteres.



**Condiciones cromatográficas**

Inyector AOC-20i-S

Número de purgas Pre-run: 3

Número de purgas Post-run: 3

Número de purgas Con muestra: 2

Volumen de inyección: 1µL

Solvente: Diclorometano

GC

Temperatura del inyector: 225°C

Modo de inyección: Split

Columna: DB-WAX 60 m, Diámetro interno 0,320 mm y espesor de película 0,25 µm. (Temperatura máxima 250°C)

Flujo de columna: 1,2 ml/min

División Split: 20:1

Horno: 100ºC – 4min, 3°C/min - 240°C - 10 min.

MS

Temperatura de la fuente: 250°C

Temperatura de la interface: 250°C

Tiempo (s): 0,3

Modo: Scan (35 – 800 m/z)

**Especificidad y selectividad**

Para evaluar la selectividad o especificidad del método cromatográfico se realizó la inyección del Blanco de solvente, luego se inyectó el mix de los analítos para determinar sus tiempos de retención los cuales se confirmaron con el respectivo espectro de masas. En la Tabla 3-4 se muestran los tiempos de retención para ácidos grasos del kit.

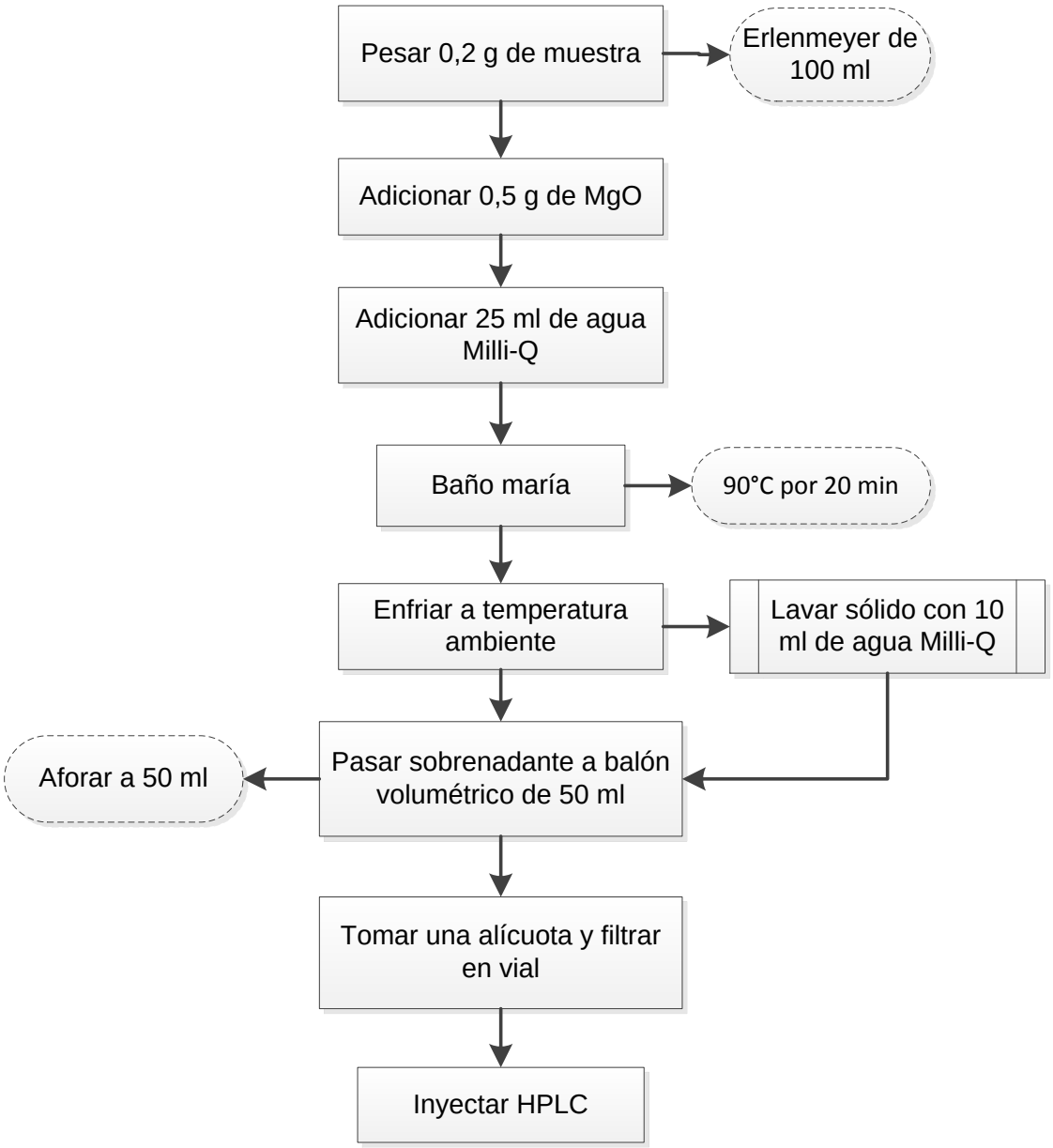
**Tabla 3-4:** Tiempos de retención para ácidos grasos

| Ácido | | Tiempo de retención (min) |
|---|---|---|
| Mirístico | C14:0 | 32,47 |
| Palmítico | C16:0 | 39,45 |
| Palmitoléico | C16:1 | 40,484 |
| Heptadecanóico | C17:0 | 42,819 |
| Esteárico | C18:0 | 45,937 |
| Oléico | C18:1 | 46,607 |
| Linoléico | C18:2 | 48,019 |
| Linolénico | C18:3 | 48,947 |
| Araquídico | C20:0 | 51,83 |
| Eicosanoico | C20:1 | 52,517 |
| Behénico | C22:0 | 58,822 |

### 3.5.3 Cafeína

Para determinar el contenido de cafeína en el café almendra, se seguió el procedimiento planteado en la NTC-ISO 20481 el cual se muestra en la Figura 3-11. Para la identificación de la cafeína en la mezcla de café se compararó el tiempo de retención y el peso molecular con el estándar del compuesto (Cafeína anhidro puro).

**Figura 3-11:** Extracción de cafeína




**Condiciones cromatográficas**

Columna: Zorbax Eclipse Plus C18 con guarda columna C18

Solvente fase móvil: MeOH al 24%

Modo: Isocrático

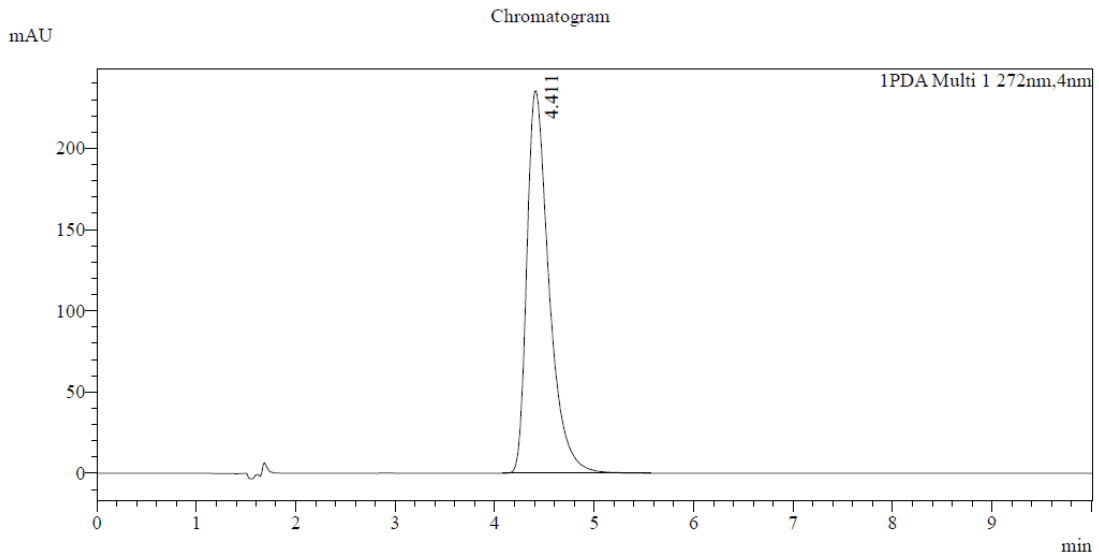
Flujo: 1 ml / min

Detector UV a 272 nm (Se introduce un error de 1,0% a 1,5% ya que la absortividad molar depende de la longitud de onda, del solvente usado y del pH de la solución).
Volumen de inyección: 10 µl
Temperatura de columna: 40 ºC
Tiempo corrido: 15 min
Tiempo de retención Cafeína: 4,443 min.

**Especificidad y selectividad**

Para evaluar la selectividad o especificidad del método cromatográfico se realizó la inyección del blanco de solvente, luego se inyectó el estándar puro para determinar su tiempo de retención (Figura 3-12).

**Figura 3-12:** Cromatograma estándar de cafeína.



# 4. Capítulo. Resultados y discusión

## 4.1 Tiempos de secado

En el análisis de varianza ANOVA (α=0,05) mostrado en el Anexo 1, se puede observar que no hay diferencias significativas entre las dos variedades estudiadas ni en la interacción variedad por tratamiento para la variable de respuesta tiempo de secado ($p$>0,05). Solo se evidencian diferencias significativas en el tiempo de secado entre tratamientos ($p$<0,05), siendo el secado al sol en patio el proceso evaporativo más lento, seguido del secado en marquesina (Tabla 4-1).

**Tabla 4-1:** Valores medios de los tiempos de secado en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | Tiempo de secado (horas) |
|---|---|
| T5 | 177,60 ± 90,54$^{A}$ |
| T6 | 122,06 ± 49,47$^{B}$ |
| T1 | 34,10 ± 1,37$^{C}$ |
| T2 | 29,80 ± 1,75$^{C}$ |
| T3 | 17,80 ± 1,23$^{C}$ |
| T4 | 16,50 ± 0,85$^{C}$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

Como las diferencias en los tiempos de secado para los tratamientos al sol fueron tan marcadas, se tomó el subgrupo con los tratamientos de secado mecánico con el fin de identificar las diferencias estadísticas entre ellos.

La temperatura y el flujo de aire en el secado mecánico tienen un efecto significativo en el tiempo de secado ($p$<0,05 Anexo 1). Como se muestra en la Tabla 4-2 los tratamientos

a 40ºC con flujos de 60 y 100 m3/min/Toncps tardan más que los secados a 50ºC con flujos de 60 y 100 m3/min/Toncps, lo anterior se debe a que con una temperatura baja del aire de secado la taza de evaporación de agua se hace más lenta haciendo que el secado sea más prolongado. Parra-coronado *et al*., 2008 determinaron mediante simulación matemática los tiempos de secado, utilizando diferentes temperaturas, flujos de aire y espesor de capa de granos de café; en este estudio se encontró que a medida que aumenta el caudal del aire y disminuye el espesor de la capa de granos los tiempos de secado se hacen menores; a su vez cuando la temperatura del aire de secado es inferior a 50ºC, el tiempo de secado aumenta.

**Tabla 4-2:** Valores medios de los tiempos de secado para los tratamientos mecánicos.

| Tratamiento de secado | Tiempo de secado (horas) |
|---|---|
| T1 | 34,10 ± 1,37$^{A}$ |
| T2 | 29,80 ± 1,75$^{B}$ |
| T3 | 17,80 ± 1,23$^{C}$ |
| T4 | 16,50 ± 0,85 $^{D}$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps.

## 4.2 Análisis sensorial

Según el análisis de varianza ANOVA mostrado en el Anexo 1 no se presentaron diferencias sensoriales significativas atribuibles a la variedad ($p$>0,05) ni a la interacción variedad por tratamiento ($p$>0,05). Este resultado está de acuerdo con el estudio “Comparación de la calidad de cafés de Nariño según variedad” cuyas conclusiones fueron presentadas en el simposio anual de la SCAA del año 2015. En dicho estudio se corroboró que los cafés de la variedad Castillo pueden producir granos de tan alta calidad y alto puntaje como los de la variedad Caturra (FNC, 2015). De manera similar Bertrand *et al.* (2006) compararon la calidad sensorial y la composición bioquímica de las variedades tradicionales cultivadas en países centroamericanos, con híbridos de arábica cultivados a diferentes alturas. Estos autores no encontraron diferencias significativas en la evaluación sensorial entre los híbridos y cultivares tradicionales. En el estudio realizado por Alvarado *et al.*, 2009 se estableció que la variedad Castillo y los testigos

tradicionales Tipica, Tabí, Borbón y Caturra tienen características semejantes en la mayoría de los atributos analizados y poseen una calidad global en taza similar.

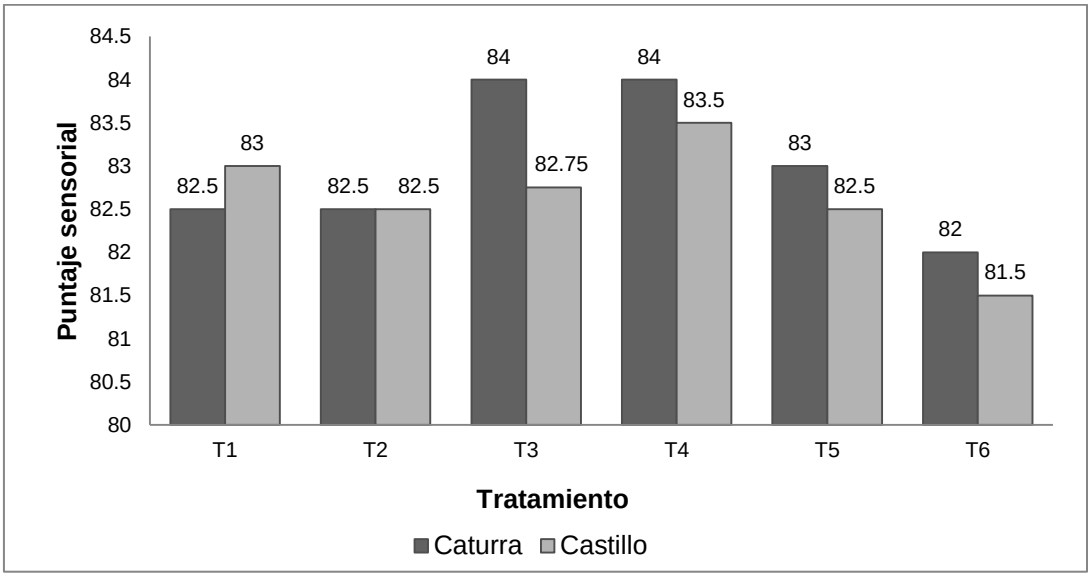
Los diferentes tratamientos evaluados para el secado del café, afectaron significativamente la variable respuesta “puntaje sensorial” ($p$<0,05 Anexo1). Los valores medios para dicha variable en función de los tratamientos aplicados se muestran en la Tabla 4-3. Los mayores puntajes de taza se obtuvieron con los tratamientos T4 y T3, lo que corresponde a una temperatura de 50ºC y flujos de aire de 100 y 60 m3/min/Toncps (Figura 4-1). En el sistema de secado mecánico evaluado a 50°C en una secadora de tres mallas con una altura de capa de café de 20 cm, el tiempo de secado fue entre 16 y 17 horas para alcanzar una humedad del 10-12% (b.h), mientras que los secados a 40ºC tardaron entre 29 y 34 horas para alcanzar el rango de humedad permitida. Este tiempo de secado prolongado que se presentó a 40ºC con una capa de café de 20 cm, podría ocasionar fermentaciones indeseadas, sobre todo al comienzo del secado cuando la humedad del café es alta, favoreciendo así la proliferación de microorganismos que producen compuestos no deseados como el ácido butírico y propiónico (Schwan & Fleet, 2014). Castoldi & Castoldi (2013) recomiendan secar los granos de café lo más rápido posible con una temperatura de secado de 50ºC. Silva *et al*. (1998) determinaron el efecto de la temperatura del aire de secado en la calidad de la bebida de café; estos autores involucraron tres niveles de temperatura del aire de secado (35, 45, 55ºC), obteniendo menor calidad en la bebida al utilizar temperaturas de secado de 35 y 45ºC. También Nilnont *et al.* (2012) realizaron una simulación del secado mecánico del café utilizando elementos finitos, estos autores obtuvieron una mayor puntuación en los atributos sensoriales para los cafés secados a 50ºC y mayores niveles de cafeína en los cafés secados con temperaturas por encima de los 40ºC.

**Tabla 4-3:** Valores medios del puntaje sensorial en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | Puntaje sensorial |
|---|---|
| T4 | 83,80 ± 1,11[A] |
| T3 | 83,27 ± 1,59[AB] |
| T1 | 82,90 ± 0,71[AB] |
| T2 | 82,20 ± 1,18[BC] |
| T5 | 82,40 ± 0,94[BC] |
| T6 | 81,54 ± 0,28[C] |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

**Figura 4-1:** Puntaje sensorial medio para los tratamientos de secado según la variedad.



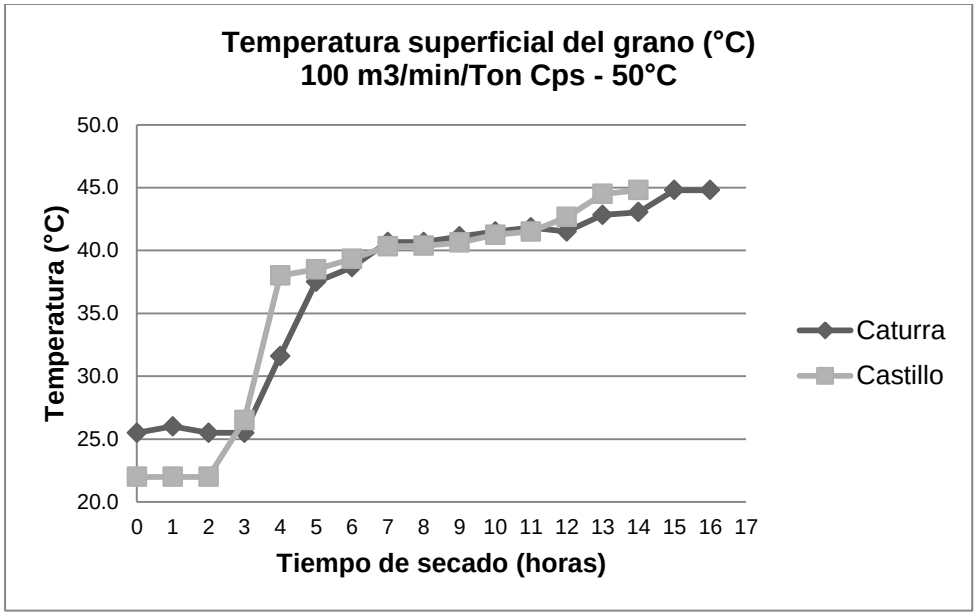

T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

En diferentes investigaciones se han reportado resultados que difieren de los encontrados en este estudio. Borém *et al.* (2008) evaluaron las alteraciones que sufre la estructura celular del café sujeto a diferentes temperaturas durante el secado (40, 50 y 60ºC), estos autores señalan que el café secado a 60ºC presenta ruptura de las vesículas y membrana celular, generando una distribución lipídica en toda la superficie

del tejido celular y afirman que estos aceites pueden causar defectos en la calidad final del café por rancidez oxidativa de los mismos. Marques (2006) evaluó la integridad de la membrana celular del café por medio de análisis de conductividad eléctrica y lixiviación de potasio, encontrando un aumento significativo en estas variables al aumentar la temperatura de secado. Pese a los resultados mostrados por los autores citados, es importante aclarar que el proceso de secado llevado a cabo por ellos fue realizado bajo condiciones de secado diferentes a las practicadas en este estudio.

En la Figura 4-2 se muestra la temperatura superficial del grano durante el secado mecánico con una temperatura del aire de 50ºC y un flujo de 100 m3/min/Toncps. Como se observa, al inicio del secado cuando la humedad es alta el café no se calienta más allá de los 30ºC; a medida que avanza el secado la temperatura alcanzada por los granos se asemeja a la temperatura del aire de secado, sin embargo, en este estudio la temperatura máxima alcanzada por los granos de café al final del proceso fue 45ºC, manteniéndose así dentro de los límites establecidos para evitar daños estructurales en la semilla.

**Figura 4-2:** Temperatura superficial de los granos de café secados a 50ºC – 100 m3/min/Toncps.




El secado solar en patio y marquesina depende de las condiciones climáticas de cada región. Cuando se realizó la experimentación en campo en los municipios de Fredonia y

Ciudad Bolívar, la predominancia del clima fue con intervalos nubosos y lluvias en casi todos los días del secado, lo que generó condiciones térmicas no ideales para llevar a cabo los procesos de secado y por consiguiente defectos en taza.

## 4.3 Análisis físico

### 4.3.1 Actividad de agua

La actividad de agua (aw) se define como la relación entre la presión parcial de vapor de agua sobre el alimento y la presión de vapor de saturación del agua pura a la misma temperatura; ésta variable está relacionada con el agua disponible en el alimento para su conservación o deterioro, en general, un alimento con actividad de agua inferior a 0,7 es estable a la mayoría de las causas de deterioro físico, químico o biológico (Puerta, 2006).

Según el análisis de varianza ANOVA ($\alpha$=0,05) mostrado en el Anexo 1, no hay efecto significativo de la variedad ni la interacción variedad por tratamiento sobre la variable de respuesta actividad de agua ($p$>0,05). Los diferentes tratamientos de secado afectaron de manera significativa la actividad de agua ($p$<0,05 Anexo 1), los valores medios para cada uno de los tratamientos se muestran en la Tabla 4-4, allí se evidencia que los secados mecánicos presentaron valores más altos de actividad agua que los secados solares, excepto el secado a 40ºC con un flujo de 100m3/min/Toncps, ya que con este tratamiento los granos de café quedaron con menor humedad comparado con los demás tratamientos mecánicos. Estos resultados están relacionados con el contenido de humedad que alcanzaron las muestras después del secado y son estadísticamente diferentes, ya que el contenido de humedad de los granos al finalizar el secado osciló entre un 10 – 12% (b.h), siendo los cafés secados mecánicamente los que presentaron una humedad entre 11- 12% (b.h). Aunque no fue posible llevar la humedad de las muestras hasta un valor fijo del 11%, la actividad de agua obtenida en todos los tratamientos se encuentra por debajo del rango de aw propuesto por Puerta (2006) para que no se desarrollen hongos ni se produzcan toxinas durante el almacenamiento del café (Tabla 4-5).

**Tabla 4-4:** Valores medios de la actividad de agua del café en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | Actividad de agua (aw) |
|---|---|
| T4 | 0,54 ± 0,03[A] |
| T3 | 0,53 ± 0,01[AB] |
| T1 | 0,53 ± 0,02[AB] |
| T6 | 0,52 ± 0,03[AB] |
| T5 | 0,50 ± 0,04[B] |
| T2 | 0,50 ± 0.02[B] |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

**Tabla 4-5:** Mínima actividad de agua (aw) para el crecimiento y producción de toxinas por diferentes hongos.

| Hongo | Mínima aw para el crecimiento del hongo | Mínima aw para la producción de toxina | Toxina |
|---|---|---|---|
| *Aspergillus ochraceus* | 0,76 - 0,83 | 0,83 – 0,87 | Ochratoxina A |
| *A. ochraceus* | 0,76 – 0,83 | 0,81 – 0,88 | A. penicílico |
| *A. clavatus* | 0,85 | 0,99 | Patulina |
| *A. flavus* | 0,78 – 0,80 | 0,83 – 0,87 | Aflatoxina |
| *A. parasiticus* | 0,78 – 0,82 | 0,87 | Aflatoxina |
| *Penicillium expansum* | 0,82 – 0,85 | 0,99 | Patulina |
| *P. verrucosum* | 0,81 – 0,83 | 0,83 – 0,9 | Ochratoxina A |

Adaptado de: (Puerta, 2006).

## 4.3.2 Densidad aparente

La densidad aparente del café almendra fue estadísticamente diferente entre las variedades y los tratamientos de secado utilizados ($p<0,05$ Anexo 1), pero no hubo efecto significativo en la interacción variedad por tratamiento ($p>0,05$ Anexo 1). Las diferencias encontradas en la densidad aparente del café de las variedades Caturra y Castillo (Tabla 4-6) hacen referencia a la forma y estructura de los granos de cada una de las variedades. El café de la variedad Castillo tiene en general unas dimensiones medias

menores que el café de la variedad Caturra; 31,36% de los granos de la variedad Castillo pasaron por una malla de tamaño 18, mientras que 26,39% de granos de la variedad Caturra pasaron por la misma malla. Lo anterior significa que para un volumen constante del recipiente de medición, los granos de Castillo ocupan menos espacio por lo que caben más granos en el recipiente, haciendo que la relación $m_2 - m_1$ ($m_2$: masa del recipiente llenos de granos de café, $m_1$: masa del recipiente vacío) planteada en la ecuación 3.3 sea mayor en la variedad Castillo y por ende mayor su densidad aparente. Escarramán *et al*. (2007) aseguran que existe un vínculo entre la granulometría del café y la calidad en taza del mismo, siendo los cafés de tamaños más grandes los que presentan una mejor calidad sensorial, sin embargo en este estudio, pese a las diferencias de densidad aparente entre las variedades, no se encontraron diferencias sensoriales significativas entre ellas.

**Tabla 4-6:** Valores medios de la densidad aparente para las variedades Caturra y Castillo.

| Variedad | Densidad aparente ($kg/m^3$) |
|---|---|
| Castillo | $790,12 \pm 17,52^A$ |
| Caturra | $783,55 \pm 16,57^B$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Como se evidencia en la Tabla 4-7, los cafés secados al sol presentaron mayor densidad aparente que los cafés secados mecánicamente. Este resultado demuestra que el café secado rápidamente, como ocurre en el secado mecánico, tiene una tasa de remoción de agua más alta y por ende una mayor tendencia a la contracción y a la pérdida de peso (cambios estructurales), comparado con un secado lento. Resultados similares fueron obtenidos por Nilnont *et al*., (2012), en cuyo estudio encontraron una mayor disminución del área superficial de los granos de café durante el secado con altas temperaturas, dando como resultado una mayor contracción en los tejidos y un menor peso en los granos, debido a la tasa de reducción de agua. Corrêa *et al.* (2010) aseguran que el café experimenta una reducción en su peso y volumen a medida que disminuye la humedad durante el secado, generando un grano más compacto y menos poroso.

**Tabla 4-7:** Valores medios de la densidad aparente del café en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | Densidad aparente (kg/m$^3$) |
|---|---|
| T5 | 813,19 ± 12,99$^A$ |
| T6 | 798,89 ± 3,95$^B$ |
| T1 | 781,41 ± 9,77$^C$ |
| T4 | 780,06 ± 14,03$^C$ |
| T3 | 779,38 ± 12,44$^C$ |
| T2 | 778,08 ± 10,48$^C$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

## 4.3.3 Color

La coordenada L* no presentó diferencias significativas entre variedades, tratamientos de secado e interacción variedad por tratamiento ($p$>0,05 Anexo 1), los valores de dicha coordenada se mantuvieron dentro del rango de luminosidad para cafés verdes no blanqueados (L*≈50).

La coordenada a* presentó diferencias significativas entre variedades y tratamientos ($p$<0,05 Anexo1), sin embargo no se encontraron diferencias significativas para esta coordenada en la interacción variedad por tratamiento. En la Tabla 4-8 se muestran los valores medios de la coordenada a* para las variedades Caturra y Castillo. La variedad Caturra presentó mayor tendencia hacia la coloración verde deseada por tener un valor de a* menor que el de la variedad Castillo, sin embargo, ambas variedades entran dentro del rango de coloración verde que caracteriza a los cafés de calidad “Premium”, según la clasificación dada por Gail (2005) (a* por debajo de 1,30).

**Tabla 4-8:** Valores medios de la coordenada a* para las variedades Caturra y Castillo.

| variedad | a* |
|---|---|
| Castillo | 0,8693 ± 0,32$^A$ |
| Caturra | 0,7530 ± 0,29$^B$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Las diferencias encontradas entre los tratamientos de secado se muestran en la Tabla 4-9; los valores de la coordenada a* difieren significativamente entre el secado mecánico y

solar, siendo el secado mecánico el que generó valores de a* más aproximados a cero, lo que se traduce en una tonalidad del café con mayor tendencia al verde. La tonalidad menos verde del café secado al sol puede deberse a la degradación de algunos pigmentos, por efecto de la luz UV que logra penetrar el pergamino y llegar hasta la almendra durante el secado. Norton (1991) afirma que la retención del color en algunos productos alimenticios altamente pigmentados, puede verse afectada cuando son expuestos directamente al sol.

**Tabla 4-9:** Valores medios de la coordenada a* en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | a* |
|---|---|
| T1 | 0,732 ± 0,24[B] |
| T2 | 0,641 ± 0,22[B] |
| T3 | 0,595 ± 0,17[B] |
| T4 | 0,708 ± 0,13[B] |
| T5 | 1,255 ± 0,16[A] |
| T6 | 1,123 ± 0,18[A] |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

La coordenada b* no presentó diferencias significativas entre las variedades estudiadas ni en la interacción variedad * tratamiento ($p$>0,05 Anexo 1), pero sí presentó diferencias significativas entre los tratamientos de secado ($p$<0,05 Anexo 1), tal como se muestra en la Tabla 4-10. En este caso, los valores de la coordenada b* del café secado mecánicamente a 40ºC son superiores a los valores de los demás tratamientos de secado, lo que quiere decir que el secado lento a temperaturas bajas genera tonalidades menos azulosas que los cafés secados a 50ºC y de forma solar. Sin embargo, los resultados obtenidos de la coordenada b* hacen parte del rango de coloración azul para cafés de categoría “Premium”, según la clasificación obtenida por Gail, (2005) (b* entre 5 y 10).

**Tabla 4-10:** Valores medios de la coordenada b* en función de los tratamientos de secado.

| Tratamiento de secado | b* |
|---|---|
| T1 | 9,008 ± 0,72[A] |
| T2 | 9,173 ± 0,37[A] |
| T3 | 8,766 ± 0,68[B] |
| T4 | 8,822 ± 0,64[B] |
| T5 | 8,415 ± 0,50[B] |
| T6 | 8,393 ± 0,31[B] |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

La mayor pérdida de color en los granos de café se da durante el almacenamiento por reacciones oxidativas y alteraciones bioquímicas. Los análisis de color realizados en este estudio se hicieron en café que se almacenó durante dos meses, por esto los resultados de las coordenadas de color se encuentran dentro de los rangos para cafés de buena calidad, sin embargo se recomienda para estudios posteriores evaluar el efecto del almacenamiento del café durante periodos largos de tiempo, sobre el color de los granos y su relación con la calidad.

## 4.4 Análisis químico

### 4.4.1 Ácidos clorogénicos

En esta investigación se analizaron los principales ácidos clorogénicos presentes en el café de forma libre: caféico, cumárico, ferúlico y sinápico. No se analizaron los demás ácidos clorogénicos formados a partir de isómeros y ésteres de los compuestos anteriores ya que no se contaba con los estándares para el análisis cromatográfico.

En el Anexo 1 se muestran los análisis de varianza para cada uno de los ácidos clorogénicos estudiados. Solo se presentaron diferencias significativas entre las variedades Caturra y Castillo para los ácidos caféico y cumárico (Tabla 4-11), siendo el ácido caféico mayoritario en la variedad Castillo y el ácido cumárico mayoritario en la variedad Caturra. Las concentraciones de los ácidos clorogénicos pueden cambiar de una variedad a otra, generalmente las variedades de la especie *C. arabica* contienen

menos concentración de ácidos clorogénicos que las variedades de la especie *C. canephora* (Marín & Puerta 2008, *Ky et al.*, 2001). Marín & Puerta (2008) determinaron la concentración de ácidos clorogénicos de las variedades Castillo, Caturra, Típica y Borbón, siendo mayor el contenido de ácido Caféico y Cumárico en la variedad Castillo y Borbón, respectivamente.

**Tabla 4-11:** Valores medios de los ácidos clorogénicos analizados (mg/g café) para las variedades Caturra y Castillo.

| Variedad | Cafeico | Cumárico | Ferúlico | Sinápico |
|---|---|---|---|---|
| Castillo | 2,35 ± 0,31$^{A}$ | 0,40 ± 0,02$^{A}$ | 0,28 ± 0,007$^{A}$ | 0,35 ± 0,01$^{A}$ |
| Caturra | 2,19 ± 0,24$^{B}$ | 0,44 ± 0,02$^{B}$ | 0,28 ± 0,007$^{A}$ | 0,35 ± 0,01$^{A}$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los ácidos clorogénicos no presentaron variaciones significativas entre los tratamientos de secado (Tabla 4-12). Algunos autores aseguran que los principales cambios en la concentración de ácidos clorogénicos ocurren en etapas anteriores al secado. Factores climáticos como la temperatura durante el desarrollo de la semilla, tiene un impacto directo sobre el contenido de ácidos clorogénicos, existiendo mayor acumulación de estos compuestos en el café cultivado en climas con temperaturas bajas (Joët *et al.*, 2010); a su vez, se ha encontrado mayor acumulación de dichos compuestos en cafés cultivados a mayor altura (Bertrand *et al.*, 2006). El método de procesamiento también tiene una influencia en la concentración de ácidos clorogénicos; Leloup *et al.*, (2005) determinaron la composición química del café procesado por vía húmeda y seca, encontrando un incremento en el contenido de dichos ácidos en los cafés procesados por vía húmeda.

**Tabla 4-12:** Valores medios de los ácidos clorogénicos analizados (mg/g café) en función de los tratamientos de secado.

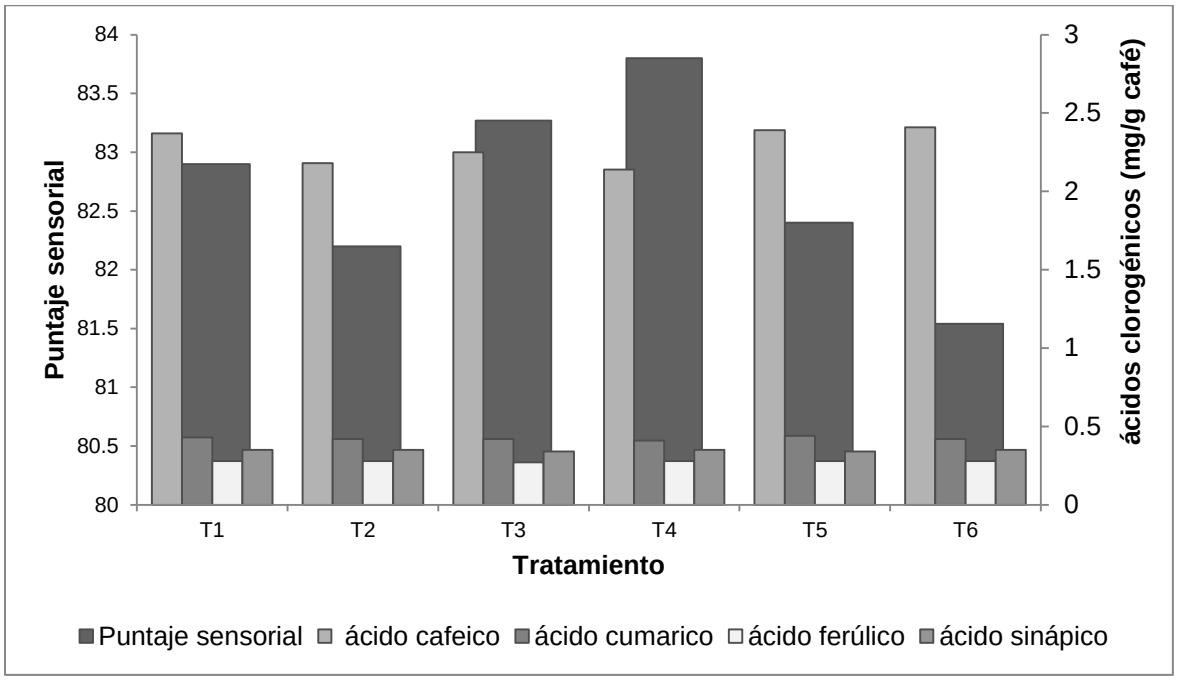
| TTO | Caféico | Cumárico | Ferúlico | Sinápico |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 2,37 ± 0,16$^{A}$ | 0,43 ± 0,02$^{A}$ | 0,28 ± 0,008$^{A}$ | 0,35 ± 0,01$^{A}$ |
| T2 | 2,18 ± 0,27$^{A}$ | 0,42 ± 0,04$^{A}$ | 0,28 ± 0,003$^{A}$ | 0,35 ± 0,007$^{A}$ |
| T3 | 2,25 ± 0,23$^{A}$ | 0,42 ± 0,02$^{A}$ | 0,27 ± 0,01$^{A}$ | 0,34 ± 0,01$^{A}$ |
| T4 | 2,14 ± 0,40$^{A}$ | 0,41 ± 0,03$^{A}$ | 0,28 ± 0,006$^{A}$ | 0,35 ± 0,008$^{A}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| T5 | 2,39 ± 0,29$^{A}$ | 0,44 ± 0,02$^{A}$ | 0,28 ± 0,007$^{A}$ | 0,34 ± 0,01$^{A}$ |
| T6 | 2,41 ± 0,23$^{A}$ | 0,42 ± 0,02$^{A}$ | 0,28 ± 0,003$^{A}$ | 0,35 ± 0,003$^{A}$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

En diferentes investigaciones se han encontrado correlaciones entre el contenido de ácidos clorogénicos y la calidad sensorial del café. En general, los hallazgos reportados en la literatura muestran que los cafés con mejor calidad sensorial presentan menores niveles en el contenido de ácidos clorogénicos (Abrahão *et al*., 2010; Ribeiro, 2013; Duarte *et al*., 2010). Duarte *et al.,* 2010, aseguran que durante la tostión del café algunos de estos ácidos forman sustancias fenólicas que contribuyen al amargor del café en la bebida. Otros autores han asociado una alta concentración de ácidos clorogénicos con una mayor astringencia y han correlacionado dichos niveles con la cantidad de frutos verdes que se incluyen en la cosecha (Ribeiro, 2013). Pese a lo reportado en la literatura, en esta investigación no se encontraron correlaciones entre el contenido de ácidos clorogénicos y la calidad sensorial de la bebida (Figura 4-3), debido a que los ácidos analizados se encuentran en bajas concentraciones en comparación con los demás isómeros como el 5CQA, 4CQA, 3CQA, cuyas concentraciones en el café pueden estar por encima del 40% (Clarke & Macrae, 1989).

**Figura 4-3:** Concentración de ácidos clorogénicos y puntaje sensorial en función de los tratamientos de secado.




T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

## 4.4.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos estudiados fueron: mirístico C14:0, palmítico C16:0, palmitoléico C16:1, heptadecanoico C17:0, esteárico C18:0, Oléico C18:1, Linoléico18:2, linolénico C18:3, araquídico C20:0, eicosanoico C20:1, behénico C22:0.

Para el conjunto de ácidos grasos estudiados no se evidencian diferencias significativas entre las variedades Caturra y Castillo ($p$>0,05 Anexo 1), ni en la interacción variedad por tratamiento ($p$>0,05 Anexo 1). Los tratamientos de secado tuvieron una influencia significativa en la concentración de algunos ácidos grasos como se muestra en la Tabla 4-13. Los resultados de las concentraciones de ácidos grasos están de acuerdo con lo reportado en la literatura, siendo mayoritarios el ácido palmítico y linoléico (Martin *et al.*, 2001).

**Tabla 4-13:** Valores medios de los ácidos grasos analizados (mg/g café) en función de los tratamientos de secado.

| TTO | C14:0 | C16:0 | C16:1 | C17:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:0 | C20:1 | C22:0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 0.10 ± 0,005$^{A}$ | 0.66 ± 0,18$^{A}$ | 0.05 ± 0,003$^{A}$ | 0.06 ± 0,004$^{A}$ | 0.23 ± 0,06$^{A}$ | 0.11 ± 0,03$^{A}$ | 0.22 ± 0,06$^{A}$ | 0.05 ± 0,003$^{A}$ | 0.18 ± 0,03$^{A}$ | 0.04 ± 0,003$^{A}$ | 0.17 ± 0,01$^{A}$ |
| T2 | 0.11 ± 0,02$^{A}$ | 0.76 ± 0,31$^{B}$ | 0.05 ± 0,008$^{A}$ | 0.06 ± 0,01$^{A}$ | 0.27 ± 0,13$^{B}$ | 0.13 ± 0,05$^{B}$ | 0.26 ± 0,12$^{B}$ | 0.05 ± 0,008$^{A}$ | 0.20 ± 0,07$^{A}$ | 0.04 ± 0,01$^{A}$ | 0.18 ± 0,03$^{A}$ |
| T3 | 0.11 ± 0,01$^{A}$ | 0.70 ± 0,21$^{A}$ | 0.05 ± 0,008$^{A}$ | 0.06 ± 0,008$^{A}$ | 0.24 ± 0,08$^{A}$ | 0.12 ± 0,03$^{A}$ | 0.23 ± 0,07$^{A}$ | 0.05 ± 0,008$^{A}$ | 0.19 ± 0,04$^{A}$ | 0.04 ± 0,006$^{A}$ | 0.17 ± 0,02$^{A}$ |
| T4 | 0.12 ± 0,02$^{A}$ | 0.80 ± 0,25$^{B}$ | 0.06 ± 0,01$^{A}$ | 0.06 ± 0,01$^{A}$ | 0.29 ± 0,11$^{B}$ | 0.13 ± 0,04$^{B}$ | 0.27 ± 0,09$^{B}$ | 0.06 ± 0,01$^{A}$ | 0.21 ± 0,06$^{B}$ | 0.05 ± 0,009$^{A}$ | 0.19 ± 0,04$^{A}$ |
| T5 | 0.10 ± 0,006$^{A}$ | 0.64 ± 0,21$^{A}$ | 0.05 ± 0,001$^{A}$ | 0.06 ± 0,004$^{A}$ | 0.22 ± 0,06$^{A}$ | 0.10 ± 0,03$^{A}$ | 0.21 ± 0,06$^{A}$ | 0.05 ± 0,0008$^{A}$ | 0.17 ± 0,03$^{AC}$ | 0.04 ± 0,001$^{A}$ | 0.16 ± 0,005$^{A}$ |
| T6 | 0.10 ± 0,002$^{A}$ | 0.68 ± 0,05$^{A}$ | 0.05 ± 0,0002$^{A}$ | 0.05 ± 0,0006$^{A}$ | 0.24 ± 0,01$^{AB}$ | 0.11 ± 0,006$^{A}$ | 0.23 ± 0,01$^{AB}$ | 0.05 ± 0,00004$^{A}$ | 0.18 ± 0,003$^{AB}$ | 0.04 ± 0,0002$^{A}$ | 0.16 ± 0,001$^{A}$ |

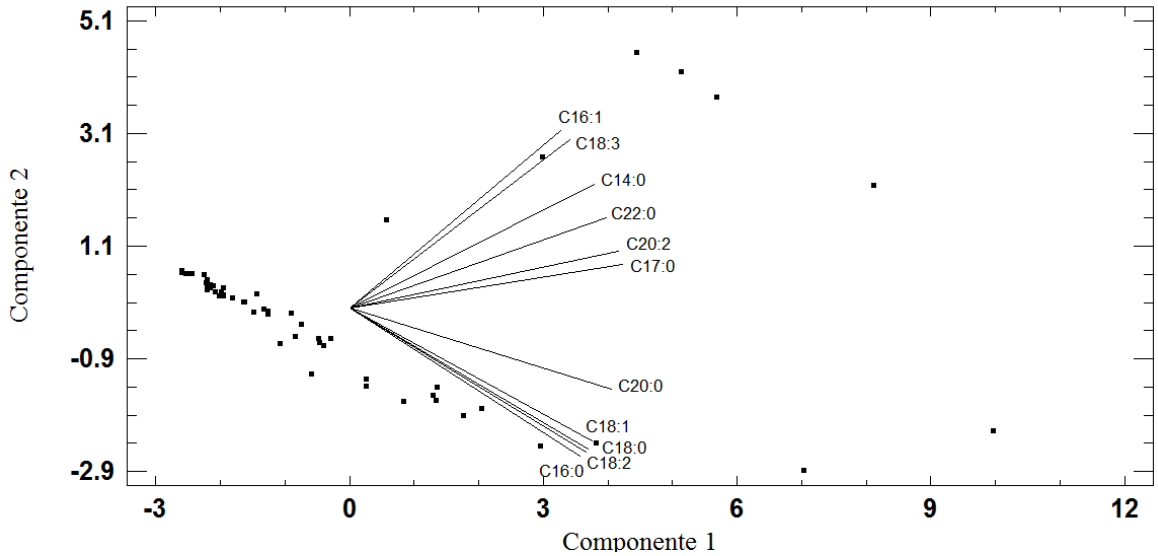
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

Como existe una alta correlación entre las concentraciones de ácidos grasos y los tratamientos de secado, se realizó un análisis de componentes principales con el fin de reducir la dimensión de las variables estudiadas y evidenciar la correlación entre éstas. Se tomaron dos componentes principales; el primero de ellos CP1 explica el 78,1% de la varianza y el segundo CP2 el 20,43%. En la Tabla 4-14 se muestran los pesos de los componentes principales y en la Figura 4-4 la correlación entre ellos. El CP1 se correlacionó positivamente con la concentración de todos los ácidos grasos estudiados mientras que el CP2 solo se correlacionó positivamente con los ácidos Mirístico (C14:0), Palmitoleico (C16:1), Heptadecanoico (C17:0), Linolénico (C18:3), Eicosanoico (C20:1) y Behénico (C22:0).

**Tabla 4-14:** Pesos de los componentes principales para los ácidos grasos analizados.

| | **CP1** | **CP2** |
|---|---|---|
| Mirístico C14:0 | 0,30 | 0,29 |
| Palmítico C16:0 | 0,28 | -0,35 |
| Palmitoléico C16:1 | 0,26 | 0,42 |
| Heptadecanoico C17:0 | 0,34 | 0,10 |
| Esteárico C18:0 | 0,29 | -0,33 |
| Oléico C18:1 | 0,29 | -0,31 |
| Linoléico C18:2 | 0,29 | -0,34 |
| Linolénico C18:3 | 0,27 | 0,40 |
| Araquídico C20:0 | 0,32 | -0,19 |
| Eicosanoico C20:1 | 0,33 | 0,13 |
| Behénico C22:0 | 0,31 | 0,21 |

**Figura 4-4:** Correlación entre ácidos grasos y componentes principales.




Para cada uno de los componentes principales se realizó un análisis de varianza ANOVA. El CP1 presentó diferencias significativas entre los tratamientos de secado (*p*<0,05 Anexo 1), la variable que más afectó la concentración total de ácidos grasos fue el flujo de aire en el secado mecánico. Como se muestra en la Tabla 4-15, existe una correlación positiva entre el flujo de aire de 100 m3/min/Toncps y la concentración total de ácidos grasos y una correlación negativa entre el flujo de aire de 60 m3/min/Toncps y el contenido total de ácidos grasos. Dichas variaciones pueden deberse a transformaciones químicas que sufren los ácidos grasos cuando el secado se hace de forma lenta con un flujo de aire bajo (60 m3/min/Toncps) disminuyendo así la concentración de éstos al final del proceso. En diferentes investigaciones se ha evaluado el efecto de las condiciones de operación en el secado mecánico del café sobre la composición de ácidos grasos (Isquierdo, 2011; Carteri, 2006; Da silva, 2009). Los estudios reportados han demostrado una gran influencia de la temperatura de secado sobre los niveles de ácidos grasos, siendo mayor su contenido cuando se usan temperaturas altas; éste aumento se atribuye a daños que ocurren en la membrana celular generando un escape del material lipídico hacia el exterior del grano exponiéndolo así a posibles oxidaciones. Otros autores han reportado un aumento en el contenido de ácidos grasos durante el tiempo de almacenamiento debido a la acción de lipasas que causan hidrólisis en el material graso; según Isquierdo (2011), durante el almacenamiento la hidrólisis del material graso inicia antes de la hidrólisis de

carbohidratos y proteínas, por lo que el contenido de ácidos grasos libres puede ser usado como un indicador del deterioro de los granos.

**Tabla 4-15:** Valores medios del CP1 en función del flujo de aire en el secado mecánico.

| Flujo (m3/min/Toncps) | CP1 |
|---|---|
| 100 | 1,41 |
| 60 | -0,41 |

La concentración total de ácidos grasos estudiados se correlacionó positivamente con el sabor residual del café (coeficiente de correlación de Pearson Tabla 4-16), demostrando así la contribución de estos ácidos en la permanencia del sabor del café después de su catación. Los ácidos grasos que tuvieron mayor influencia en el sabor residual del café fueron: Mirístico (C14:0), Palmitoléico (C16:1), Heptadecanoico (C17:0), Linolénico (C18:3), Eicosanoico (C20:1) y Behénico (C22:0). En otros estudios se han encontrado correlaciones negativas entre el contenido total de ácidos grasos y la calidad sensorial, sobre todo durante el almacenamiento; Carteri, (2006) encontró alteraciones en el sabor y olor del café debido a reacciones oxidativas de los ácidos grasos.

**Tabla 4-16:** Coeficiente de correlación de Pearson, entre el contenido de ácidos grasos y sabor residual.

| | Ácidos grasos |
|---|---|
| **Sabor residual** | 0,04 |

## 4.4.3 Cafeína

En este estudio no se encontraron diferencias significativas en el contenido de cafeína entre las variedades Caturra y Castillo ($p$>0,05 Anexo 1) ni en la interacciòn variedad por tratamiento ($p$>0,05 Anexo 1), este resultado está de acuerdo con los hallazgos reportados por otros autores (Bertrand *et al*., 2006). Las diferencias principales en el contenido de cafeína se dan dependiendo del estado de maduración de los frutos, enconcontrándose mayor concentración de este alcaloide en frutos de café inmaduros (Ramalakshmi *et al*., 2007).

En la Tabla 4-17 se muestran los valores medios del contenido de cafeína para los diferentes tratamientos de secado. El tratamiento de secado no afectó significativamente la concentración de este alcaloide ($p$>0,05 Anexo 1) sin embargo se encontró una tendencia hacia el aumento de concentración cuando se utilizan temperaturas para el secado de 50ºC y cuando se seca al sol. Nilnont *et al*., (2012) también encontraron que la concentración de cafeína es más alta para los granos de café secados a 50ºC y 60ºC comparados con los secados a 40ºC. En otros estudios no se han encontrado diferencias significativas en el contenido de cafeína para los cafés procesados por diferentes métodos (húmedo y seco), ya que por ser un compuesto termoestable permanece casi inalterable en las etapas de beneficio (Duarte *et al*., 2010). La cantidad de cafeína presente en una taza de café después de la tostión sí se ve alterada por el método utilizado para extraer esta sustancia del café molido y de la forma de realizar la infusión. La Food and Drug Administration USA calcula que una taza (150 centímetros cúbicos) de café contiene un promedio de cafeína: Café tostado y molido: – Hervido y colado 115 mg. – Filtrado (percolado) 80 mg. – Instantáneo (café soluble) 65 mg (Fálder, 2005).

**Tabla 4-17:** Valores medios de la cafeína (mg/g café) en función de los tratamientos de secado.

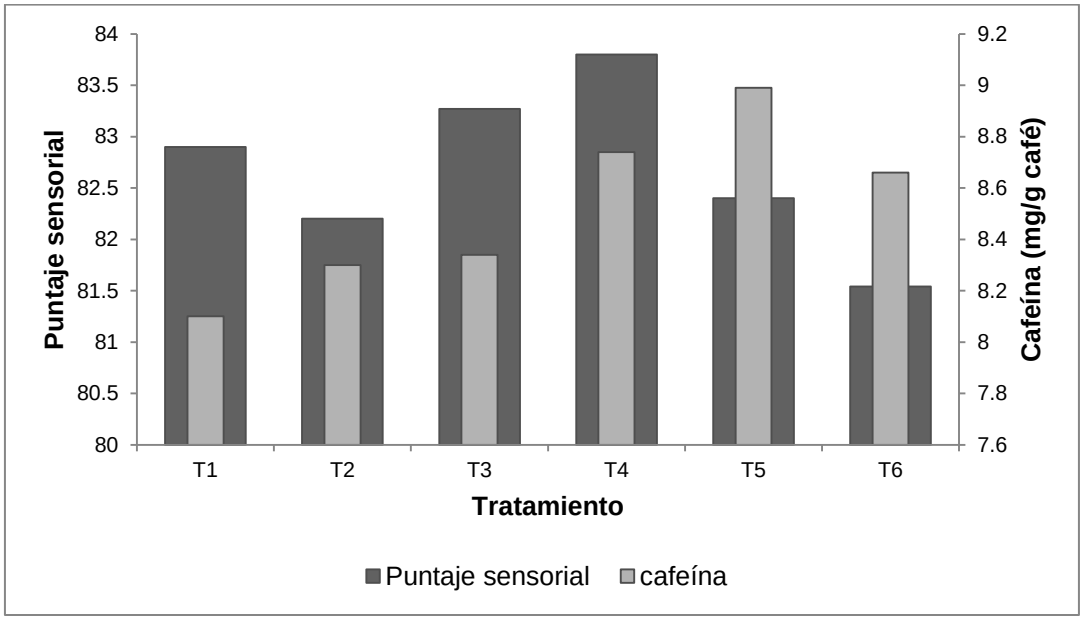
| Tratamiento de secado | Cafeína |
|---|---|
| T1 | 8,10 ± 1,07$^{A}$ |
| T2 | 8,30 ± 1,18$^{A}$ |
| T3 | 8,34 ± 0,94$^{A}$ |
| T4 | 8,74 ± 0,91$^{A}$ |
| T5 | 8,99 ± 0,69$^{A}$ |
| T6 | 8,66 ± 0,58$^{A}$ |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina.

Se han realizado diferentes estudios para correlacionar la amargura del café con el contenido de cafeína y han tenido poco éxito. De hecho se ha demostrado que la cafeína contribuye solo en un 10% a la amargura del café (Clarke & Macrae, 1989). En esta investigación se corroboró lo anterior, ya que no se encontró una correlación entre el contenido de cafeína y la evaluación sensorial. En la Figura 4-5 se muestran los resultados de la evaluación sensorial y el contenido de cafeína hallado para cada uno de los tratamientos de secado; a pesar de que los niveles de cafeína son superiores en el

secado solar y mecánico a 50ºC-100 m3/min/Toncps, no hay una relación directa entre estos niveles y la puntuación dada por el panel sensorial. Ramalakshmi *et al*., (2007) a pesar de encontrar mayores niveles de cafeína en frutos inmaduros no hallaron una correlación directa entre el contenido de éste alcaloide y la calidad de la bebida.

**Figura 4-5:** Puntaje sensorial y contenido de cafeína en función de los tratamientos de secado.




T1: 40ºC – 60 m3/min/Toncps, T2: 40ºC - 100 m3/min/Toncps, T3: 50ºC – 60 m3/min/Toncps, T4: 50ºC – 100 m3/min/Toncps, T5: solar, T6: marquesina

# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

Con una temperatura del aire de secado de 50ºC y un flujo de 60 y 100 m3/min/Toncps se obtienen cafés con una mejor calidad sensorial.

No se encontraron diferencias sensoriales significativas entre la variedad Caturra y Castillo, demostrando así que en las condiciones de cultivo y procesamiento en las que se llevó a cabo este estudio, ambas variedades producen cafés de buena calidad.

La actividad de agua (aw) del café secado al sol y mecánicamente se encontró dentro del rango de aw en el que no se desarrollan hongos ni se producen toxinas durante el almacenamiento.

En las variedades Caturra y Castillo el secado del café al sol permite obtener café verde con mayor densidad aparente, ya que la tasa de remoción de agua es más lenta, generando una menor contracción y pérdida de peso durante dicho proceso.

Los valores de la coordenada L* para el café secado mecánicamente y al sol, se mantuvieron dentro del rango de luminosidad para cafés verdes no blanqueados. Los cafés secados mecánicamente presentaron menores valores en la coordenada a*, por lo que su coloración tubo mayor tendencia al verde comparado con los secados solares. El secado lento a temperaturas bajas de 40ºC generó tonalidades menos azulosas que los cafés secados a 50ºC y al sol.

No se encontró correlación entre el contenido de ácidos clorogénicos y la calidad sensorial de la bebida, ya que los ácidos analizados se encuentran en bajas concentraciones comparados con los demás isómeros como el 5CQA, 4CQA y 3CQA.

Se presentó una correlación positiva entre el contenido de ácidos grasos y la intensidad del sabor residual, siendo los ácidos Mirístico (C14:0), Palmitoleico (C16:1), Heptadecanoico (C17:0), Linolénico (C18:3), Eicosanoico (C20:1) y Behenico (C22:0), los que tuvieron una mayor contribución en la permanencia del sabor después de su catación.

El contenido de cafeína no se alteró durante el secado del café, ya que su principal acumulación se da en etapas anteriores al secado y permanece estable hasta el momento de la preparación de la bebida. A su vez, no se encontró una correlación entre los niveles de cafeína y la evaluación sensorial ya que, a pesar de ser un compuesto amargo, en el café no contribuye notablemente a esta sensación.

## 5.2 Recomendaciones

Después del secado, el café es almacenado por diferentes periodos tiempo antes de su comercialización. Para que el café pueda ser vendido a un buen precio es necesario que se conserven las características de calidad iniciales: por lo que, para investigaciones posteriores se sugiere determinar las alteraciones físicas, químicas y sensoriales que puede sufrir el café, secado mecánicamente y al sol, durante su almacenamiento.

# A. Anexo 1: Análisis de varianza

| VARIABLE | VARIEDAD | TTO | VARIEDAD *TTO |
|---|---|---|---|
| | ***p*** | ***p*** | ***P*** |
| Tiempo de secado | 0,14 | <0,0001 | 0,25 |
| Puntaje sensorial | 0,24 | 0,007 | 0,28 |
| Actividad de agua | 0,82 | 0,03 | 0,38 |
| Densidad aparente | <0,004 | <0,0001 | 0,92 |
| **Coordenadas de color** | | | |
| L* | 0,76 | 0,12 | 0,09 |
| a* | 0,03 | <0,0001 | 0,95 |
| b* | 0,40 | 0,03 | 0,53 |
| **Ácidos clorogénicos** | | | |
| Caféico | 0,03 | 0,22 | 0,78 |
| Cumárico | <0,0001 | 0,14 | 0,33 |
| Ferúlico | 0,49 | 0,05 | 0,33 |
| Sinápico | 0,88 | 0,18 | 0,68 |
| **Ácidos grasos** | | | |
| Mirístico C14:0 | 0,26 | 0,17 | 0,45 |
| Palmítico C16:0 | 0,14 | 0,002 | 0,21 |
| Palmitoléico C16:1 | 0,47 | 0,26 | 0,55 |
| Heptadecanoico C17:0 | 0,22 | 0,10 | 0,44 |
| Esteárico C18:0 | 0,07 | 0,01 | 0,44 |
| Oléico C18:1 | 0,15 | 0,004 | 0,32 |
| Linoléico C18:2 | 0,11 | 0,009 | 0,31 |
| Linolénico C18:3 | 0,44 | 0,21 | 0,44 |
| Araquídico C20:0 | 0,11 | 0,02 | 0,33 |
| Eicosanoico C20:1 | 0,26 | 0,08 | 0,46 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Behénico C22:0 | 0,19 | 0,10 | 0,36 |
| **Componentes principales** | | | |
| CP1 | 0,15 | 0,03 | 0,55 |
| CP2 | 0,65 | 0,64 | 0,99 |
| Cafeína | 0,73 | 0,09 | 0,77 |

ANOVA para variable de respuesta tiempo de secado.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 11508,08 | 2877,02 | 2,08 | 0,10 |
| **VARIEDAD** | 1 | 3174 | 3174 | 2,29 | 0,14 |
| **TTO** | 5 | 204604,42 | 40920.88 | 29,54 | <.0001 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 9647 | 1929.40 | 1,39 | 0,25 |

ANOVA para la variable respuesta tiempo de secado, teniendo en cuenta interacción entre variedad, temperatura y flujo.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 7,4 | 1,85 | 0,99 | 0,43 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,9 | 1,85 | 0,48 | 0,49 |
| **TEMP** | 1 | 2190,4 | 1,85 | 1174,93 | <.0001 |
| **VARIEDAD*TEMP** | 1 | 3,6 | 3,6 | 1,93 | 0,17 |
| **FLUJO** | 1 | 78,4 | 78,4 | 42,05 | <.0001 |
| **VARIEDAD*FLUJO** | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,21 | 0,65 |
| **TEMP*FLUJO** | 1 | 22,5 | 22,5 | 12,07 | 0,0017 |
| **VARIEDAD*TEMP* FLUJO** | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,82 |

ANOVA para la variable respuesta puntaje sensorial.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 1,10 | 0,27 | 0,22 | 0,92 |
| **VARIEDAD** | 1 | 1,76 | 0,27 | 1,42 | 0,24 |
| **TTO** | 5 | 23,19 | 4,63 | 3,74 | 0,007 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 8,12 | 1,62 | 1,31 | 0,28 |

ANOVA para variable respuesta actividad de agua.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,007 | 0,001 | 2,64 | 0,04 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00003 | 0,00003 | 0,05 | 0,82 |
| **TTO** | 5 | 0,01 | 0,002 | 2,89 | 0,03 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,003 | 0,0007 | 1,08 | 0,38 |

ANOVA para la variable respuesta densidad aparente.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 1634,01 | 408,50 | 17,92 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 719,79 | 719,79 | 31,58 | <,004 |
| **TTO** | 5 | 6328,13 | 1265,62 | 55,53 | <,0001 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 74,67 | 14,93 | 0,66 | 0,92 |

ANOVA para la coordenada L*.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 95,04 | 23,76 | 14,96 | < ,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,76 |
| **TTO** | 5 | 14,64 | 2,92 | 1,85 | 0,12 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 16,13 | 3,22 | 2,03 | 0,09 |

ANOVA para la coordenada a*.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,12 | 0,03 | 0.80 | 0,53 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,18 | 0,18 | 4,83 | 0,03 |
| **TTO** | 5 | 3,21 | 0,64 | 17,00 | <,0001 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,04 | 0,008 | 0,21 | 0,95 |

ANOVA para la coordenada b*.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 4,18 | 1,04 | 3,67 | 0,01 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,20 | 0,20 | 0,72 | 0,40 |
| **TTO** | 5 | 3,93 | 0,78 | 2,76 | 0,03 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 1,17 | 0,23 | 0,83 | 0,53 |

ANOVA para la variable respuesta ácido cafeico.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,88 | 0,22 | 3,43 | 0,01 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,32 | 0,32 | 5,06 | 0,03 |
| **TTO** | 5 | 0,47 | 0,09 | 1,47 | 0,22 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,15 | 0,03 | 0,48 | 0,78 |

ANOVA para la variable respuesta ácido cumárico.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,003 | 0,0009 | 2,90 | 0,03 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,019 | 0,01 | 60,32 | <,0001 |
| **TTO** | 5 | 0,002 | 0,0005 | 1,75 | 0,14 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,001 | 0,0003 | 1,19 | 0,33 |

ANOVA para la variable respuesta ácido ferúlico.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,001 | 0,0003 | 15,49 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00001 | 0,00001 | 0,47 | 0,49 |
| **TTO** | 5 | 0,0003 | 0,00006 | 2,51 | 0,05 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0001 | 0,00002 | 1,18 | 0,33 |

ANOVA para la variable respuesta ácido sinápico.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,003 | 0,0009 | 17,65 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,000001 | 0,000001 | 0,02 | 0,88 |
| **TTO** | 5 | 0,0004 | 0,00008 | 1,58 | 0,18 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0001 | 0,00003 | 0,63 | 0,68 |

ANOVA para la variable respuesta ácido mirístico C14:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,0005 | 0,0001 | 0,68 | 0,60 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,0002 | 0,0002 | 1,30 | 0,26 |
| **TTO** | 5 | 0,001 | 0,0003 | 1,62 | 0,17 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0009 | 0,0001 | 0,95 | 0,45 |

ANOVA para la variable respuesta ácido palmítico C16:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 2,08 | 0,52 | 58,94 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,01 | 0,01 | 2,20 | 0,14 |
| **TTO** | 5 | 0,19 | 0,03 | 4,51 | 0,002 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,06 | 0,01 | 1,49 | 0,21 |

ANOVA para la variable respuesta ácido palmitoleico C16:1.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,00007 | 0,00001 | 0,36 | 0,83 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00002 | 0,00002 | 0,51 | 0,47 |
| **TTO** | 5 | 0,0003 | 0,00007 | 1,34 | 0,26 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0002 | 0,00004 | 0,81 | 0,55 |

ANOVA para la variable respuesta ácido heptadecanoico C17:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,0008 | 0,0002 | 3,49 | 0,01 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00009 | 0,00009 | 1,53 | 0,22 |
| **TTO** | 5 | 0,0006 | 0,0001 | 1,98 | 0,10 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0002 | 0,00005 | 0,97 | 0,44 |

ANOVA para la variable respuesta ácido esteárico C18:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,28 | 0,07 | 35,66 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,006 | 0,006 | 3,42 | 0,07 |
| **TTO** | 5 | 0,03 | 0,006 | 3,26 | 0,01 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,009 | 0,001 | 0,98 | 0,44 |

ANOVA para la variable respuesta ácido oleico C18:1.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,04 | 0,01 | 40,77 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,0006 | 0,0006 | 2,10 | 0,15 |
| **TTO** | 5 | 0,005 | 0,001 | 4,08 | 0,004 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,001 | 0,0003 | 1,21 | 0,32 |

ANOVA para la variable respuesta ácido linoleico C18:2.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,27 | 0,06 | 47,47 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,003 | 0,003 | 2,68 | 0,11 |
| **TTO** | 5 | 0,02 | 0,005 | 3,56 | 0,009 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,008 | 0,001 | 1,23 | 0,31 |

ANOVA para la variable respuesta ácido linolénico C18:3.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,00009 | 0,00002 | 0,46 | 0,76 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00003 | 0,00003 | 0,59 | 0,44 |
| **TTO** | 5 | 0,0003 | 0,00007 | 1,49 | 0,21 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0002 | 0,00005 | 0,98 | 0,44 |

ANOVA para la variable respuesta ácido araquídico C20:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,05 | 0,01 | 16,70 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,002 | 0,002 | 2,56 | 0,11 |
| **TTO** | 5 | 0,01 | 0,002 | 2,96 | 0,02 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,004 | 0,0009 | 1,18 | 0,33 |

ANOVA para la variable respuesta ácido eicosanoico C20:2.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,0003 | 0,00009 | 2,50 | 0,05 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,00004 | 0,00004 | 1,28 | 0,26 |
| **TTO** | 5 | 0,0003 | 0,00007 | 2,08 | 0,08 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,0001 | 0,00003 | 0,94 | 0,46 |

ANOVA para la variable respuesta ácido behenico C22:0.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 0,002 | 0,0007 | 1,31 | 0,28 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,0009 | 0,0009 | 1,74 | 0,19 |
| **TTO** | 5 | 0,005 | 0,001 | 1,98 | 0,10 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 0,003 | 0,0006 | 1,13 | 0,36 |

ANOVA CP1.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 119,05 | 29,76 | 4,31 | 0,007 |
| **VARIEDAD** | 1 | 14,58 | 14,58 | 2,11 | 0,15 |
| **TEMP** | 1 | 7,77 | 7,77 | 1,13 | 0,29 |
| **VARIEDAD*TEMP** | 1 | 21,84 | 21,84 | 3,17 | 0,08 |
| **FLUJO** | 1 | 32,99 | 32,99 | 4,78 | 0,03 |
| **VARIEDAD*FLUJO** | 1 | 1,39 | 1,39 | 0,20 | 0,65 |
| **TEMP*FLUJO** | 1 | 0,38 | 0,38 | 0,06 | 0,81 |
| **VARIEDAD*TEMP*FLUJO** | 1 | 2,48 | 2,48 | 0,36 | 0,55 |

ANOVA CP2.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 61,45 | 15,36 | 9,31 | <,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,34 | 0,34 | 0,21 | 0,65 |
| **TEMP** | 1 | 0,81 | 0,81 | 0,49 | 0,48 |
| **VARIEDAD*TEMP** | 1 | 2,68 | 2,68 | 1,63 | 0,21 |
| **FLUJO** | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,22 | 0,64 |
| **VARIEDAD*FLUJO** | 1 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,80 |
| **TEMP*FLUJO** | 1 | 0,24 | 0,24 | 0,15 | 0,70 |
| **VARIEDAD*TEMP*FLUJO** | 1 | 0,0001 | 0,0001 | 0.00 | 0,99 |

ANOVA para la variable respuesta cafeína.

| | GL | SC | CM | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **B** | 4 | 22.86 | 5,71 | 11,16 | >,0001 |
| **VARIEDAD** | 1 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,73 |
| **TTO** | 5 | 5,33 | 1,06 | 2,08 | 0,09 |
| **VARIEDAD*TTO** | 5 | 1,29 | 0,26 | 0,51 | 0,77 |

# Bibliografía


Abrahão, S. A., Pereira, R. G. F. A., Duarte, S. D. S., Lima, A. R., Alvarenga, D. J., & Ferreira, E. B. (2010). Compostos Bioativos e atividade antioxidante do café (coffea arabica L). *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, *34*(2), 414–420.

Aerts, R., & Baumann, T. (1994). Distribution and utilization of chlorogenic acid in Coffea seedlings. *Journal of Experimental Botany*, *45*(273), 497–503.

Alvarado, G., Moreno, E., Montoya, E. C., & Alarcón, R. (2009). Calidad física y en taza de los componentes de la variedad castillo ® y sus derivadas regionales. *Cenicafé*, *60*(3), 210–228.

Alvarado, G., Posada, H., & Cortina, H. (2005). CASTILLO: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Avances técnicos 337 - cenicafé.

Alvarado, G., & Puerta, G. I. (2002). La variedad Colombia y sus caracteristicas de calidad física y en taza. Avances Técnicos 303 - Cenicafé.

Arias, S. M., Prieto, R. N., & Gonzalez, L. F. (2011). *Relación entre la producción de cafés especiales y el nivel de vida de los productores de dicho café en el departamento de Risaralda*. Fundación Universitaria del Area Andina. Retrieved from http://biblioteca2.funandi.edu.co/bitstream/123456789/91/1/RELACION ENTRE LA PRODUCCION DE CAFES.pdf

Arnold, U., Ludwig, E., Kiihn, R., & Mschwitzer, U. (1994). Original paper Analysis of free amino acids in green coffee beans. *Lebensm Unters Forsch*, *199*, 22–25.

Avelino, J., Barboza, B., Araya, J. C., Fonseca, C., Davrieux, F., Guyot, B., & Cilas, C. (2005). Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(11), 1869–1876. doi:10.1002/jsfa.2188

Bertrand, Benoit, Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., & Charmetant, P. (2006). Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree physiology*, *26*(9), 1239–48. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16740499

Bertrand, B, Villarreal, D., Laffargue, A., Posada, H., Lashermes, P., & Dussert, S. (2008). Comparison of the Effectiveness of Fatty Acids, Chlorogenic Acids, and Elements for

the Chemometric Discrimination of Coffee (Coffea arabica L.) Varieties and Growing Origins. *Journal of agricultural and food chemistry*, *56*, 2273–2280.

Bertrand, B, Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food chemistry*, *135*(4), 2575–83. doi:10.1016/j.foodchem.2012.06.060

Boot, W. (2013). From the cherry to the green bean - post harvesting coffee processing. *coffee processing Handbook*, 173–192.

Borém, F. M., Marques, E. R., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, *99*(1), 62–66. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.09.027

Cadena, G. (2005). DESARROLLOS CIENTÍFICOS DE CENICAFÉ EN LA ÚLTIMA DÉCADA. *Revista Academica Colombiana*, *29*(110), 89–99.

Cano, C. G., Vallejo, C., Caicedo, E., Amador, J. S., & Tique, E. Y. (2012). *Borradores de Economía: El mercado mundial del café y su impacto en Colombia* (p. 57). Bogotá - Colombia.

Carteri, P. (2006). *Alterações na qualidade do café cereja natural e despolpado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento.* PósGraduação Strictu-Sensu em Engenharia Agrícola. Universidade federal de Lavras - Minas Gerais- Brasil.

Carteri, Paulo, Meira, F., Saath, R., & Marques, E. R. (2007). Efect of Drying and Storage Conditions on the Quality of Natural and Washed Coffee. *Coffee Science, Lavras*, *2*(1), 38–47.

Casal, S., Oliveira, M. B., & Ferreira, M. A. (2000). HPLC/diode-array aplied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. *Food Chemistry*, *68*, 481–485.

Castoldi, G., & Castoldi, G. (2013). Pré-processamento e secagem de café. *Revista Varia Scientia Agrárias*, *3*(2), 175–193.

Centro de Comercio Internacional. (2009). La guía del café: UTZ Certified. En: http://www.laguiadelcafe.org/guia-del-cafe/mercados-nicho-aspectos-ambientales-y-sociales/UTZ-Certified/.

Clarke, R. J., & Macrae, R. (1989). *COFFEE CHEMISTRY* (Vol. 1). Elsevier Science Publishers LTD.

Corrêa, P. C., Oliveira, G. H. H., Rodrigues, A. P. L., Campos, S. C., & Botelho, F. M. (2010). Hygroscopic equilibrium and physical properties evaluation affected by parchment presence of coffee grain. *Spanish Journal Agricultural Research*, *8*(3), 694–702.

Cortina, H., Moncada, M., & Herrera, J. (2012). Variedad Castillo, Preguntas frecuentes. Avances técnicos Cenicafé 426.

Cruz, D., Lopez, E., Pascual, L. F., & Battaglia, M. (2010). Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, *104*(3-4), 125–138.

Da silva, J. (2009). *Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade da bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem*. PósGraduação Strictu-Sensu em Ciencia dos Alimentos. Universidade federal de Lavras - Minas Gerais- Brasil.

DIN 10767 “Coffee and coffee products - Determination of chlorogenic acids by HPLC”. (1992).

Dong, W., Tan, L., Zhao, J., Hu, R., & Lu, M. (2015). Characterization of Fatty Acid, Amino Acid and Volatile Compound Compositions and Bioactive Components of Seven Coffee (Coffea robusta) Cultivars Grown in Hainan Province, China. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *20*(9), 16687–708.

Dos Santos, A., Farah, A., Trugo, L. C., & De Aquino, F. R. (2003). Distribution of quinic acid derivatives and other phenolic compounds in Brazilian propolis. *Journal of biosciences*, *58*(7-8), 590–3.

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. *Food Chemistry*, *118*(3), 851–855.

Escarramán, A., Romero, J. M., Almonte, I., Ribeyre, F., Aguilar, P., Jiménez, H., Causse, A., et al. (2007). *Determinación de los Atributos de Calidad del Café en Zonas Productoras de la República Dominicana* (p. 98). Santo Domingo.

ExpoEspeciales. (2013). La feria de cafés especiales más importante de Latinoamérica. En:http://www.feriaexpoespeciales.com.

Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, *98*(2), 373–380.

Farah, Adriana, & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Braz. J. Plant Physiol*, *18*(1), 23–36.

Farah, A. (2012). Coffee Constituents. In Y.-F. Chu (Ed.), *Coffee: Emerging health effects and disease prevention* (First.). Blackwell Publishing Ltd.

Figueiredo, G., Veiga Franco da Rosa, S., Caixeta, F., Sampaio, A., Carvalho, C., & Boas, S. V. (2013). Colorimetria em grãos de café submetidos a diferentes métodos de processamentos e armazenados em ambiente resfriado. *VIII Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil*, (2013), 1–6.

Fischer, M., Reimann, S., Trovato, V., & Redgwell, R. J. (2001). Polysaccharides of green Arabica and Robusta coffee beans. *Carbohydrate research*, *330*(1), 93–101.

Flament, I., Gautschi, F., & Winter, M. (1967). Les composants furanniques de l'arome de café: quelques aspects chimiques et spectroscopiques.. *En COLLOQUE Scientifique International sur le Café*. Paris.

FNC Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2011). Nuestros cafés especiales. En: http://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestra_propuesta_de_valor/portafolio_de_productos/nuestro_cafe_especial

FNC. (2013a). Cafés especiales: que son.En:http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/nuestro_cafe/cafes_especiales/que_son.

FNC. (2013 b). Crece el número de productores verificados bajo el sello de sostenibilidad 4C. Retrieved March 9, 2016, from http://www.cafedecolombia.com/cci-fnc-es/index.php/comments/crece el numero de productores verificados bajo el sello de sostenibilidad_/

FNC. (2014). Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana 2014. Federación Nacional de cafeteros de Colombia.

FNC. (2015). No hay diferencia significativa de calidad entre variedades Castillo y Caturra, según estudio. Retrieved from http://www.cafedecolombia.com/cci-fnc-es/index.php/comments/no_hay_diferencia_significativa_de_calidad_entre_variedades_castillo_y_catu/

Fonseca, S. F., Abdala, L., Ferrero, V., Pantoja, J., & Torres, A. (2003). Estudio comparativo del secado solar del café en plazoletas tradicionales y ennegrecidas. *Tecnología química*, *XXIII*(3), 48–54.

Fálder, A. (2005). café, té, chocolate e infusiones. Enciclopedia de los alimentos.

Gail, N. (2005). Using colorimetry as analytical technique for quality assessment of green coffee beans. XXI Latin American Coffee Industry symposium.

Gobernación de Antioquía. (2012). Programa "Antioquia: Origen de cafés especiales. En: https://www.antioquia.gov.co/antioquiav1/PDF/Antioquia_origen_de_cafes_especiales.pdf.

Guimarães, R. M. (2000). Tolerância à dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (Coffea arabica, L.). *Ciência e Agrotecnologia, 26(1),* 128-139.

Gutiérrez, J. M., & Copete, H. (2009). Hacia la Mejora del Secado Mecánico del Café en Colombia. *Revista TECNOLÓGICAS*, *23*, 109–132.

Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, *129*(3), 991–1000.

Higdon, J. V, & Frei, B. (2006). Coffee and health: a review of recent human research. *Critical reviews in food science and nutrition*, *46*(2), 101–23.

Hirakawa, N., Okauchi, R., Miura, Y., & Yagasaki, K. (2005). Anti-invasive activity of niacin and trigonelline against cancer cells. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, *69*(3), 653–8.

Hwang, C.-F., Chen, C.-C., & Ho, C.-T. (2012). Contribution of coffee proteins to roasted coffee volatiles in a model system. *International Journal of Food Science & Technology*, *47*(10), 2117–2126.

IFOAM - International Federation of Organic Agriculture Movements. (2008). Definition of organic Agriculture. En: http://infohub.ifoam.org/sites/default/files/page/files/doa_spanish.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). (1999). NTC 4607 Café verde y tostado. Determinación de la densidad a granel por caída libre de los granos enteros (Método de rutina). Retrieved September 24, 2015, from http://tienda.icontec.org/brief/NTC4607.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2010). NTC-ISO 20481. Bogotá - Colombia.

Isquierdo, E. P. (2011). *Cinética de secagem de café natural e suas relaçoes com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar*. Universidad Federal de Lavras.

Joët, T., Laffargue, A., Descroix, F., Doulbeau, S., Bertrand, B., De kochko, A., & Dussert, S. (2010). Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chemistry*, (118), 693–701.

Kilian, B., Lawrence, P., Jones, C., & Villalobos, A. (2004). Can the Private Sector be Competitive and Contribute to Development through Sustainable Agricultural Business? A Case Study of Coffee in Latin America. *International Food Agribusiness Management Review*, *7*(3), 21–45.

Kleinwächter, M., & Selmar, D. (2010). Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. *Food Chemistry*, *119*(2), 500–504. doi:10.1016/j.foodchem.2009.06.048

Konica Minolta. (n.d.). Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B*. Retrieved from http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/

Kramer, D., Breitenstein, B., Kleinwächter, M., & Selmar, D. (2010). Stress metabolism in green coffee beans (Coffea arabica L.): expression of dehydrins and accumulation of GABA during drying. *Plant & cell physiology*, *51*(4), 546–53. doi:10.1093/pcp/pcq019

Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., & Noirot, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild Coffea arabica L. and C. canephora P. accessions. *Food Chemistry*, *75*(2), 223–230. doi:10.1016/S0308-8146(01)00204-7

Lamanaka, B. T., Teixeira, a. a., Teixeira, a. R. R., Copetti, M. V., Bragagnolo, N., & Taniwaki, M. H. (2014). The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food Research International*, *62*, 353–358. doi:10.1016/j.foodres.2014.02.033.

Leloup, V., Gancel, C., Liardon, R., Rytz, A., Pithon, A., & Café, A. S. I. du. (2005). Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. *nternational Conference on Coffee Science, Bangalore* (pp. 93–101). Association Scientifique Internationale du Café (ASIC).

Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Marraccini, P., & Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Braz.J.Plant Physiol*, *18*(1), 229–242.

Liz, J. P., Campo, J. A., & Herrera, J. P. (2012). *Estudios de Mercado. Estudio sobre el sector del café en Colombia*. Retrieved from http://emarketservices.icex.es/staticFiles/.

Lyman, D. J., Benck, R. M., & Merle, S. F. (2011). Difference Spectroscopy in the Analysis of the Effects of Coffee Cherry Processing Variables on the Flavor of

Brewed Coffee. *International Journal of Spectroscopy*, *2011*, 1–5. doi:10.1155/2011/815304

Marques, E. R. (2006). *Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água*. PósGraduação Strictu-Sensu em Ciencia dos Alimentos. Universidade federal de Lavras - Minas Gerais- Brasil.

Martin, M. X., Pablos, F., González, a G., Valdenebro, M. X., & León-Camacho, M. (2001). Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. *Talanta*, *54*(2), 291–7.

Marín, C., & Puerta, G. I. (2008). CONTENIDO DE ÁCIDOS CLOROGÉNICOS EN GRANOS DE Coffea arabica y C. canephora , SEGÚN EL DESARROLLO DEL FRUTO. *Cenicafé*, *59*(1), 7–28.

Meira, F., Menezes, D., Fonseca, R., Franco, S., & Ramalho, A. (2006). Qualidade do Café Submetido a Diferentes Temperaturas, Fluxos de Ar e Períodos de Pré-secagem. *Coffee Science*, *1*(1), 55–63.

Mendonça, J. C. F., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2007). A comparative evaluation of methodologies for water content determination in green coffee. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(7), 1300–1303.

Montoya, J., & Montoya, V. (2011). CAFÉ ESPECIAL : ALTERNATIVA PARA LA CAFICULTURA DE RISARALDA. *Revista Académica e Institucional*, (89), 93–105.

Moreira, D. P., Monteiro, M. C., Ribeiro-Alves, M., Donangelo, C. M., & Trugo, L. C. (2005). Contribution of chlorogenic acids to the iron-reducing activity of coffee beverages. *Journal of agricultural and food chemistry*, *53*(5), 1399–402.

Moreno, G. (2002). Tabi: variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. Avances Técnicos 300 - Cenicafé.

Murkovic, M., & Derler, K. (2006). Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. *Journal of biochemical and biophysical methods*, *69*(1-2), 25–32.

Nilnont, W., Thepa, S., Janjai, S., Kasayapanand, N., Thamrongmas, C., & Bala, B. K. (2012). Finite element simulation for coffee (Coffea arabica) drying. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(2), 341–350. doi:10.1016/j.fbp.2011.06.007

Norton, B. (1991). *Solar Energy Thermal Technology*. Springer-Verlag London Limited.

Oestreich-Janzen, S. (2010). Chemistry of coffee. In M. Lew & L. Hung - Wen (Eds.), *Comprehensive natural products II*. Oxford: Elsevier.

Oliveros, C. ., & Roa, G. (1986). Pérdidas de presión por el paso del aire a través de café pergamino variedad Caturra, dispuesto a granel. *Cenicafé*, *37*(1), 23–37.

Oliveros, C. ., & Sanz, J. . (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes . Bogotá*, *33*, 99–114.

Oliveros-tascón, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances Técnicos, Cenicafé*, *380*(14).

Orozco, F. J. (1986). Descripción de especies y variedades de café. Boletín Técnico N° 11 - Cenicafé.

Parra-Coronado, A., Roa-mejía, G., & Oliveros-tascón, C. E. (2008). SECAFÉ Parte II : Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino SECAFÉ Part II : Recommendations for the efficient operation of mechanical dryers for parchment coffee. *Revista Brasileira de Engenharía Agrícola e Ambiental*, *12*(4), 428–434.

Peñuela, A., Pabón, J., & Sanz, J. (2013). Método Fermaestro: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café. Avances técnicos 431 - Cenicafé.

Puerta, Gloria Inés. (1998). CALIDAD EN TAZA DE LAS VARIEDADES DE Coffea arabica L. CULTIVADAS EN COLOMBIA. *Cenicafé*, *49*(4), 265–278.

Puerta, G I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos, Cenicafé*, *352*.

Puerta, Gloria Inés. (2008). *Riesgos para la calidad y la inocuidad del café en el secado*. *Avances técnicos, Cenicafé, 371.*

Puerta, Gloria Inés. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos, Cenicafé*, *414*.

Rainforest Alliance. (2004). The mission of the Rainforest Alliance is to. Annual Report. En: http://www.rainforest-alliance.org/about/documents/ar_2004.pdf

Rainfores Allians. (2015). Rainforest Alliance en Colombia.

Ramalakshmi, K., Kubra, I. R., & Rao, L. J. M. (2007). Physicochemical characteristics of green coffee: comparison of graded and defective beans. *Journal of food science*, *72*(5), S333–7.

Reh, C., Gerber, a, Prodolliet, J., & Vuataz, G. (2006). Water content determination in green coffee – Method comparison to study specificity and accuracy. *Food Chemistry*, *96*(3), 423–430. doi:10.1016/j.foodchem.2005.02.055

Ribeiro, D. E. (2013). *Interação genótipo e ambiente na composição química e qualidade sensorial de cafés especiais em diferentes formas de processamento*. PósGraduação em Engenharia Agrícola. Universidade federal de Lavras - Minas Gerais- Brasil.

Rodrigues, C. I., Maia, R., & Máguas, C. (2010). Comparing total Nitrogen and Crude Protein content of Green Coffee Beans from Different Geographical Origins. *Coffee Science, Lavras*, *5*(3), 197–205.

Rodrigues, C. H., Meira, F., Angelo, M., & Carvalho, E. (2012). Qualidade do Café Secado em Terreiros com Difertes Pavimentaçoes e Espessuras de Camada. *Coffee Science, Lavras*, *7*(3), 223–237.

Ruiz, M. del P., Ureña, M. A., Espinal, C. F., & Torres, M. A. (2009). *Los Mercados del Café y de los Cafés Especiales. Situación Actual y Perspectivas* (pp. 1–60).

Santos, F. C., Dellyzete, S., Franco, V., De, É. V., Pinho, R. Von, Cirillo, M. A., & Sampaio, C. (2014). Desiccation sensitivity from different coffee seed phenological stages 1. *Journal of Seed Science*, *36*(1), 25–31.

SCAA .Asociación Americana de Cafés Especiales. (2004). en: https://www.scaa.org/.

SCAA. (2012). Specialty Coffee Facts and Figures. En: https://www.scaa.org/PDF/resources/facts-and-figures.pdf.

SCAA. (2013). SCAA Protocols | Cupping Specialty Coffee.

SCAE (Speciality coffee of Europe). (2014). What is speciality coffee?. En: http://www.scae.com/about-us/what-is-speciality-coffee.html

Schwan, R. F., & Fleet, G. H. (2014). *Cocoa and Coffee Fermentations* (p. 613). Taylor & Francis Group.

Silva, C., Correa, P., & Martins, J. (1998). Qualidade da bebida do café (Coffea arabica L.) em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, *23*(1), 45–48.

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.

Taveira, J., Borém, F., Da Rosa, S., Oliveira, P., Giomo, G., Isquierdo, E., & Fortunato, V. (2015). Post-harvest effects on beverage quality and physiological performance of coffee beans. *African Journal of Agricultural Research*, *10*(12), 1457–1466. doi:10.5897/AJAR2014.9263

Tello, J., Viguera, M., & Calvo, L. (2011). Extraction of caffeine from Robusta coffee (Coffea canephora var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, *59*, 53–60.

Tohda, C., Kuboyama, T., & Komatsu, K. (2005). Search for natural products related to regeneration of the neuronal network. *Neuro-Signals*, *14*(1-2), 34–45.

Trute, A., Gross, J., Mutschler, E., & Nahrstedt, A. (1997). In vitro antispasmodic compounds of the dry extract obtained from Hedera helix. *Planta medica*, *63*(2), 125–9.

Valencia, F. F. (2007). Cafés especiales. In Editorial Blanecolor Ltda (Ed.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (primera ed., p. 295).

Villarreal, D., Baena, L., & Posada, H. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de coffea arabica cultivadas en Colombia. *Cenicafé*, *63*(1), 19–40.

Wasserman, G., & Bradbury, A. (1993). Coffee. In J. Wiley (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.* (4th ed.).

Wintgens, J. N. (2004). *Coffee: Growing, processing, sustainable production*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.