



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 25 de septiembre 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Cristhian Andrés Rojas Reyes, con C.C. No. 1075289465,

Joan Sebastián Triana Campos, con C.C. No. 1075287156,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

titulado Evaluación de los diferentes tipos de beneficio en las características en las características fisicoquímicas y sensoriales de café (Coffea arabica) variedad Colombia.

presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Evaluación del efecto de los diferentes tipos de beneficio en las características fisicoquímicas y sensoriales de café (*Coffea arabica*) variedad Colombia.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rojas Reyes	Cristhian Andrés
Triana Campos	Joan Sebastián

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Girón Hernández	Joel

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Martínez Castro	Víctor Manuel
Barrera Bermeo	Oscar Mauricio

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** De Ingeniería.

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Agrícola

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 25

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas:  Fotografías  Grabaciones en discos  Ilustraciones en general  Grabados   
Láminas  Litografías  Mapas  Música impresa  Planos  Retratos  Sin ilustraciones   
Tablas o Cuadros:

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Café Lavado</u>	<u>Washed coffee</u>
2. <u>Café Honey</u>	<u>Honey coffee</u>
3. <u>Café Natural</u>	<u>Natural coffee</u>
4. <u>FTIR</u>	<u>FTIR</u>
5. <u>Propiedades Físicoquímicas</u>	<u>Physicochemical properties</u>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En el presente trabajo se evaluó los efectos producidos por la aplicación de los tipos de beneficios (Lavado, Honey, Natural) en las características fisicoquímicas y sensoriales del café verde y en dos niveles de tostión (tostión media y tostión alta). Para ello se cosechó 60 kg de café en la finca La Lindosa, ubicada en la vereda Cerro Neiva (Neiva-Huila). Posteriormente se dividió en 20 kg de café para cada tratamiento y luego se sometió a los diferentes procesos de acuerdo al beneficio aplicado: despulpado, fermentación, secado, trilla, análisis físico, químicos y sensorial para cada muestra. Los resultados obtenidos fueron introducidos al programa informático Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03; en donde se realizó análisis de varianza (ANOVA simple o multifactorial) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas dependiendo del tipo de beneficio. El café evaluado se encuentra dentro del rango de cafés especiales y cuenta con un factor de rendimiento inferior a lo estipulado (92,8 %), lo cual le da un valor agregado para su venta. Se identificó que todas las variables químicas evaluadas exceptuando  $a_w$ ; tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre por lo menos dos tratamientos aplicados tanto en verde como en tostión. Por medio del uso del FTIR se realizó la caracterización de los diferentes espectros; logrando identificar ciertos compuestos químicos presentes en las muestras analizadas: cafeína ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ,  $2920\text{ cm}^{-1}$ ,  $2850\text{ cm}^{-1}$ ), ácidos clorogénicos ( $1050\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ ), lípidos ( $1740\text{ cm}^{-1}$ ), carbohidratos ( $872\text{ cm}^{-1}$ ); con el fin de evidenciar si existe diferencias entre los picos; lo cual indican que el comportamiento químico no es igual. En el análisis sensorial se obtuvo que el café procesado por vía semi-húmeda (Honey) fue el de mayor calificación según escala de calificación SCAA.



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In the present work we evaluated the effects produced by the application of the types of process (Lavado, Honey, Natural) in the physicochemical and sensorial characteristics of green coffee and in two levels of roasting (medium roasting and high roasting). To this end, 60 kg of coffee was harvested at the La Lindosa farm, located in the Cerro Neiva village (Neiva-Huila). Subsequently, it was divided into 20 kg of coffee for each treatment and then subjected to the different processes according to the applied benefit: pulping, fermentation, drying, threshing, physical, chemical and sensory analysis for each sample. The results obtained were introduced to the computer program Statgraphics Centurion XVI Version 16.1.03; where analysis of variance was performed (simple or multifactorial ANOVA) to determine if there are statistically significant differences in the variables evaluated depending on the type of benefit. The coffee evaluated is within the range of specialty coffees and has a performance factor lower than that stipulated (92.8%), which gives it an added value for its sale. It was identified that all chemical variables evaluated except aw; they had statistically significant differences between at least two treatments applied in both green and roasting. Through the use of the FTIR, the characterization of the different spectra was carried out; managing to identify certain chemical compounds present in the analyzed samples: caffeine (1650 cm<sup>-1</sup>, 2920 cm<sup>-1</sup>, 2850 cm<sup>-1</sup>), chlorogenic acids (1050-1400 cm<sup>-1</sup>), lipids (1740 cm<sup>-1</sup>), carbohydrates ( 872 cm<sup>-1</sup>); in order to show if there are differences between the peaks; which indicates that the chemical behavior is not the same. In the sensory analysis it was obtained that the coffee processed by semi-humid route (Honey) was the highest rated according to the SCAA rating scale.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: Joel Girón Parra

Firma:

Nombre Jurado: Víctor Manuel Martínez Castro

Firma:

Nombre Jurado: Oscar Mauricio Barrera Bermeo

Firma:

FIRMA DEL JURADO

# **Evaluación del efecto de los diferentes tipos de beneficio en las características fisicoquímicas y sensoriales de café (*Coffea arabica*) variedad Colombia.**

Evaluation of the effect of the different types of process on the physicochemical and sensory characteristics of coffee (*Coffea arabica*) variety Colombia.

Cristhian Andrés Rojas Reyes<sup>1</sup>, Jóan Sebastian Triana Campos<sup>1</sup>

## **Resumen**

En el presente trabajo se evaluó los efectos producidos por la aplicación de los tipos de beneficios (Lavado, Honey, Natural) en las características fisicoquímicas y sensoriales del café verde y en dos niveles de tostión (tostión media y tostión alta). Para ello se cosechó 60 kg de café en la finca La Lindosa, ubicada en la vereda Cerro Neiva (Neiva-Huila). Posteriormente se dividió en 20 kg de café para cada tratamiento y luego se sometió a los diferentes procesos de acuerdo al beneficio aplicado: despulpado, fermentación, secado, trilla, análisis físico, químicos y sensorial para cada muestra. Los resultados obtenidos fueron introducidos al programa informático Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03; en donde se realizó análisis de varianza (ANOVA simple o multifactorial) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas dependiendo del tipo de beneficio. El café evaluado se encuentra dentro del rango de cafés especiales y cuenta con un factor de rendimiento inferior a lo estipulado (92,8 %), lo cual le da un valor agregado para su venta. Se identificó que todas las variables químicas evaluadas exceptuando  $a_w$ ; tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre por lo menos dos tratamientos aplicados tanto en verde como en tostión. Por medio del uso del FTIR se realizó la caracterización de los diferentes espectros; logrando identificar ciertos compuestos químicos presentes en las muestras analizadas: cafeína ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ,  $2920\text{ cm}^{-1}$ ,  $2850\text{ cm}^{-1}$ ), ácidos clorogénicos ( $1050\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ ), lípidos ( $1740\text{ cm}^{-1}$ ), carbohidratos ( $872\text{ cm}^{-1}$ ); con el fin de evidenciar si existe diferencias entre los picos; lo cual indican que el comportamiento químico no es igual. En el análisis sensorial se obtuvo que el café procesado por vía semi-húmeda (Honey) fue el de mayor calificación según escala de calificación SCAA.

**Palabras clave:** *Café lavado, café Honey, café natural, FTIR, propiedades fisicoquímicas.*

## **Abstract**

In the present work we evaluated the effects produced by the application of the types of process (Lavado, Honey, Natural) in the physicochemical and sensorial characteristics of green coffee and in two levels of roasting (medium roasting and high roasting). To this end, 60 kg of coffee was harvested at the La Lindosa farm, located in the Cerro Neiva village (Neiva-Huila). Subsequently, it was divided into 20 kg of coffee for each treatment and then subjected to the different processes according to the applied benefit: pulping, fermentation, drying, threshing, physical, chemical and sensory analysis for each sample. The results obtained were introduced to the computer program Statgraphics Centurion XVI Version 16.1.03; where analysis of variance was performed (simple or multifactorial ANOVA) to determine if there are statistically significant differences in the variables evaluated depending on the type of benefit. The coffee evaluated is within the range of specialty coffees and has a performance factor lower than that stipulated (92.8%), which gives it an added value for its sale. It was identified that all chemical variables evaluated except  $a_w$ ; they had statistically significant differences between at least two treatments applied in both green and roasting. Through the use of the FTIR, the characterization of the different spectra was carried out; managing to identify certain chemical compounds present in the analyzed samples: caffeine ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ,  $2920\text{ cm}^{-1}$ ,  $2850\text{ cm}^{-1}$ ), chlorogenic acids ( $1050\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ ), lipids ( $1740\text{ cm}^{-1}$ ), carbohydrates ( $872\text{ cm}^{-1}$ ); in order to show if there are differences between the peaks; which indicates that the chemical behavior is not the same. In the sensory analysis it was obtained that the coffee processed by semi-humid route (Honey) was the highest rated according to the SCAA rating scale.

**Key words:** *Washed coffee, Honey coffee, natural coffee, FTIR, physicochemical properties*

<sup>1</sup> Estudiantes de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana. Sede central. Facultad de Ingeniería. Centro Surcolombiano de Investigación en Café CESURCAFÉ. Avenida pastrana borrero crr 1. Neiva-Huila-Colombia- E-mail: cristhian\_1564@hotmail.com; josetrica35@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

El café de Colombia cuenta con reconocimiento a nivel internacional debido a su buen perfil sensorial, lo que le permite posicionarse como uno de los mejores cafés del mundo, esto se debe a las condiciones agroecológicas de las regiones productoras, las buenas prácticas agrícolas y el manejo en poscosecha. La producción de café es un renglón económico de importancia significativa en Colombia que cobra cada vez más relevancia por la declaratoria de la Unesco de Paisaje Cultural Cafetero Colombiano, generando oportunidades para el sector productivo, pero también implica nuevos retos asociados a la calidad del café que le permita acceder a los mercados especializados, destacando la dinámica económica creciente de los cafés especiales (Cerón Chacón *et al*, 2015). En la actualidad el café colombiano se ha posesionado en el mercado internacional como un producto de alta calidad debido a los atributos que le otorga las variedades arábicas que producen un café suave y de mejor calidad que las robustas (Cárdenas Díaz & Pardo Pinzón, 2014).

Sobre cafés especiales, se hace referencia constantemente en el mercado nacional e internacional, debido a que son muchas las interpretaciones que al respecto se dan, sin embargo, se hace necesario conceptualizar qué es un café especial y distinguir entre sus tipos. Según la Federación Nacional de Cafeteros (2014) citado por Andrade *et al*. (2015), los cafés especiales son aquellos valorados por los consumidores debido a sus atributos consistentes, verificables y sostenibles, por los cuales están dispuestos a pagar precios superiores, que redunden en un mejor ingreso y bienestar de los productores. Clasificados como cafés especiales existen diferentes productos, que adquieren su denominación en relación con características, tanto inherentes al producto como las desarrolladas durante su proceso de producción.

Durante años, Colombia ha dado valor agregado a su café siguiendo un proceso semi-industrial llamado beneficio de café, el cual es determinante en la producción del grano y ha garantizado en el transcurso del tiempo la calidad, ya que el 80% de los defectos que se presentan en el grano pueden ocurrir debido a inconvenientes en el proceso (Aristizábal Arias & Duque Orrego, 2005). Según (Cofenac, 2012) citado por (Quiliguango Heredia, 2013) el beneficio del café es el proceso que se realiza después de la cosecha para la obtención de café almendra. Los métodos de beneficio que se emplean son: beneficio por vía húmeda, beneficio semihúmedo y beneficio por vía seca.

En el beneficio natural se obtiene el café sin lavar, es el método más antiguo y simple para procesar el café. Dicho beneficio implica la fermentación de fruta entera y usualmente produce café que es pesado en el cuerpo, dulce, suave y complejo (Roberto Batista *et al* , 2008). Los frutos de café se extienden en el suelo en capas de aproximadamente 10 cm de espesor, se recogen en la noche y se vuelven a distribuir cada día. Durante el transcurso de 10-25 días de secado al sol se produce una fermentación microbiana natural, durante la cual las enzimas secretadas descomponen la pulpa y el mucílago. Después de la fermentación el fruto queda seco, rodeada de la cereza en el mismo estado y sin presencia de mucílago, el cual se separa el grano (almendra) mecánicamente y se almacenan con un contenido de humedad de 11-12% (F Silva *et al*, 2000).

En el método semiseco los granos de café se separan de la fruta, eliminando el exocarpio (pulpa) y la mayor parte del mesocarpio (mucílago). Luego, los granos son llevados a secar al aire libre durante 10–15 días dependiendo de las condiciones climáticas. El secado se considera completo cuando los granos alcanzan un 10-12% de contenido de humedad. Simultáneamente con este paso de secado, se produce un proceso de fermentación durante el cual, los microorganismos degradan

los restos del mesocarpio (también llamado mucílago) que todavía se encuentra adherido en los granos. (Batista *et al*, 2016) citado por (Silva *et al.*, 2017).

El procesado de café por vía húmeda comprende las siguientes etapas: recolección del café en cereza, despulpado, fermentación, lavado (remoción del mucílago) y secado hasta obtener café pergamino seco (10-12.5 % c.h.), luego se trilla para producir café almendra (green coffee) para exportación. Para obtener una mejor calidad de café se debe garantizar que estos sean cafés maduros sanos y realizar un beneficio húmedo óptimo teniendo control de las condiciones y equipos en cada etapa. Para la fermentación natural, los granos de café despulados (café baba) se depositan en tanques durante 18 a 24 horas (Puerta, 2010) citado por (Peña *et al.*, 2013). Durante el proceso, actúan enzimas, bacterias lácticas y levaduras del mucílago que transforman los compuestos pécticos y azúcares que lo componen, en ácidos y alcoholes, que son luego retirados en el lavado. En la fermentación, se hace crítico el tiempo de proceso, ya que por sobrefermentación se produce café con aroma y sabor a vinagre, piña madura, cebolla, rancio o stinker, dependiendo del tiempo en que los granos de café permanezcan sin lavar (Puerta Quintero G. I., Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café, 1999).

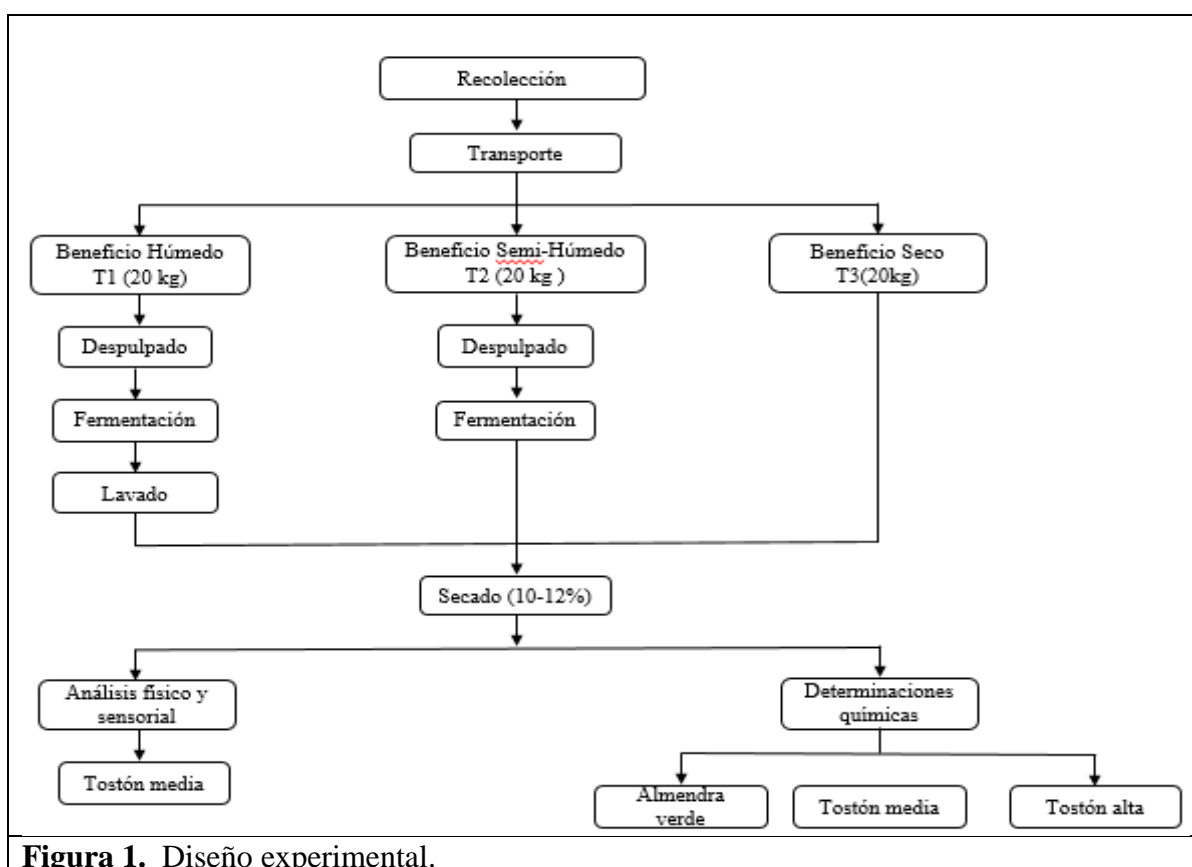
Para la determinación de ciertos componentes químicos presentes en el café (cafeína, ácidos clorogénicos, lípidos, carbohidratos, polisacáridos, entre otros.) la espectroscopía infrarroja ha sido una técnica interesante para el análisis de muestras en el laboratorio por más de setenta años. Un espectro infrarrojo representa una huella dactilar de una muestra con picos de absorción que corresponden a las frecuencias de vibraciones entre los enlaces de los átomos que componen el material. Debido a que cada material diferente es una combinación única de átomos, no hay dos compuestos que produzcan exactamente el mismo espectro de infrarrojos. Por lo tanto, la espectroscopía infrarroja puede dar como resultado una identificación positiva (análisis cualitativo) de cada clase diferente de material. Además, el tamaño de los picos en el espectro es una indicación directa de la cantidad de material presente. En este método la radiación infrarroja (IR) pasa a través de una muestra, parte de la radiación es absorbida por la muestra y parte de ella se transmite. El espectro resultante representa la absorción y transmisión molecular, creando una huella digital molecular de la muestra. La espectroscopía infrarroja FTIR (Fourier Transform Infrared por sus siglas en inglés), permite la identificación de materiales desconocidos, determina la calidad o consistencia de una muestra y la cantidad de componentes en una mezcla (Thermo Nicolet Corporation).

En vista de lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tipo de beneficio aplicado en las características fisicoquímicas y sensoriales del café (*coffea arabica*) variedad Colombia e identificar cuáles son los compuestos presentes en las muestras por medio del FTIR.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Muestras.

Se recolectó 60 Kg de café variedad Colombia en la finca La Lindosa ubicada en la vereda Cerro Neiva, Municipio de Neiva-Huila, entre una altitud de 1700-1800 msnm, en condiciones ambientales promedio de Temp: 27.9 °C y Humedad: 55.3%. Los granos recolectados se seleccionaron de acuerdo a su punto óptimo de madurez (frutos totalmente rojos) según el criterio empírico sobre el color de la cereza (López *et al.*, 2003). Posteriormente, las muestras se depositaron en neveras de poliestireno con gel refrigerante para lograr una temperatura promedio de 4°C, con el fin de evitar una fermentación temprana de los frutos de café. Finalmente, fueron transportadas hasta la planta piloto del Centro Surcolombiano de Investigación en Café “CESURCAFÉ”, para realizar el procesamiento del grano. La figura 1 muestra el diseño experimental, el café recolectado se dividió en tres tratamientos de 20 Kg.



**Figura 1.** Diseño experimental.

A los tratamientos T1 y T2 se le realizó el despulpado en una despulpadora Promain Ingeniería Ltda (GV GAVIOTA 300, Bogotá, Colombia). Seguidamente se llevaron a fermentación en recipientes plásticos (19x23x30 cm) en los que se depositaron los granos con una altura de 10 cm; se estableció un tiempo de 18 horas para la etapa según lo recomendado por (Ladino *et al.*, 2016). Se midió el contenido inicial y final de sólidos totales con un refractómetro digital ATAGO (PR-201α, EE.UU.) y el pH con un potenciómetro Trans Instruments (BP3001, USA) en un volumen de 10 ml. En el caso de T3 se realizó un lavado de los frutos de café los cuales fueron llevados a

secado solar en patio. Finalmente, por cada tratamiento se obtuvieron dos replicas de 10 kg cada una.

Una vez culminado el tiempo de fermentación las muestras correspondientes a T1 fueron sometidas a tres lavados con el fin de retirar el mucilago presente en los granos de café y luego ser llevadas a secado solar. En el caso de T2 las muestras fueron llevados a secado solar una vez terminado el tiempo de fermentación. Se realizó mediciones de las condiciones climáticas de humedad (%) y temperatura (°C) Higro-Termómetro BRIXCO (Model 5011) y velocidad del viento (m/s) EXTECH (451112), con un intervalo de una hora durante el tiempo de secado. Las muestras se llevaron a una humedad en el rango del 10-12% en base húmeda.

## **2.2 Análisis físico y tostión.**

Se determinó el porcentaje de merma, pasilla, broca y factor de rendimiento. Para ello se verificó que la humedad de las muestras de café estuviera entre los 10-12 %. Luego se pesaron 250 gr de café pergamino seco, se trilló en la trilladora de muestras Ingesecc Ltda Bogotá, Colombia, la almendra obtenida se pasó por la malla N°13, posteriormente, se separó los diferentes defectos de café presentes en la muestra. Se pesó la pasilla, granos brocados, almendra sana, y posteriormente se calculó los respectivos porcentajes. (Peña Gomez *et al.* 2013) (Ladino *et al.*, 2016). Se debe tener en cuenta que para T2 y T3 la aplicación de esta metodología genera variaciones con respecto a T1; la cual puede ser debida a la coloración o manchas propias de tipo de beneficio aplicado.

Luego de haber aplicado los respectivos análisis físicos a cada tratamiento, se procedió a tostar la cantidad de café requerida para realizar los respectivos pruebas en los niveles de tostión estipulados (Media y Alta) que según (Weil & Tanokura, 2015) para la tostión media están catalogados como Medium Roast y Cinnamon Roast, y para tostión alta está en High Roast y City Roast. Para ello se usó el equipo DIBAR INTEGRADOS, el cual funciona a través de dos pilotos que proporcionan el calor a un tambor rotatorio en donde se deposita el café y se realiza el debido proceso de tueste. Las muestras se tostaron en un periodo aproximado de 8 minutos.

## **2.3 ANÁLISIS QUÍMICOS**

Se realizó mediciones de los parámetros fisicoquímicos de Humedad, Color, Acidez, pH, Solidos Solubles,  $a_w$ , de cada uno de los tratamientos por triplicado en verde, tostión media y tostión alta.

### **2.3.1 Humedad**

La medición de humedad se realizó según lo establecido en el manual de operación del fabricante para el determinador de humedad portatil KETT Grain Moisture Tester (PM-450) para los tratamientos T1 y T2. Para el T3 se determinó por medio del método del horno en una estufa marca MEMMERT (UF 55) como se especifica en la NORMA 2325.

### **2.3.2 Color**

La obtención del color de las muestras verdes y tostadas de cada tratamiento se realizó con un colorímetro Konica Minolta (CR-410, N.J. USA), representado en las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE).

El espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$ , es un sistema cartesiano formado por 3 ejes: un eje vertical ( $L^*$ ) que representa la medida de luminosidad de un color variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco (los colores fluorescentes pueden dar un valor de  $L^*$  mayor que 100),  $a^*$  es uno de los dos ejes horizontales y representan una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo,  $a^*$  será positiva, mientras que si  $a^*$  es negativa entonces el color tendrá cierta cantidad de verde.  $b^*$  es el otro eje horizontal, perpendiculares al eje  $a^*$ . Valores positivos de  $b^*$  indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de  $b^*$  indican contenido de azul (Chiralt Boix *et al*, 2012).

### **2.3.3 Acidez**

La medición de la acidez se llevó a cabo según lo establecido en la NTC 5247 (ICONTEC, 2004). Se pesó 5 gr de café molido y se adicionaron 100 ml de agua destilada a una temperatura de 90 °C, seguidamente se agitó durante 3 minutos e inmediatamente se filtró. El extracto obtenido se llevó a un volumen de 100 ml en un balón aforado; este debe dejarse reposar hasta alcanzar una temperatura de 25°C. Para la titulación se tomó 3 muestras de 50 ml de extracto obtenido, las cuales se tituló potenciométricamente con el hidróxido de sodio mientras se agitó magnéticamente hasta lograr que la muestra llegue a un pH de 6,5; el cual es el punto de equivalencia.

### **2.3.4 pH**

Se determinó de acuerdo a (Mazzafera, 1999), donde se tomó 2.25 gr de café molido en verde y tostado a la cual se le adicionó 50 ml de agua destilada a una temperatura de 80 °C, se diluyó y dejó reposar hasta temperatura ambiente; luego se midió el pH por medio del potenciómetro Trans Instruments (BP3001) USA.

### **2.3.5 Actividad de Agua**

Las medidas se realizaron por medio del equipo marca AQUALAB Vapor Sorption Analyzer (V.S.A) USA, como primer paso se limpió el equipo antes de cada una de las lecturas estipuladas, luego se tomó muestras significativas las cuales cubrieran totalmente la base de la tara presente en el equipo y se procedió a realizar las mediciones de  $a_w$ . Se reportó como el promedio de mediciones por triplicado.

### **2.3.6 Sólidos Disueltos**

Se usó el refractómetro digital ATAGO (PR-201 $\alpha$ ) USA, las muestras contaban con una infusión de café al 5% (Cano, 2017).

## **2.4 ANÁLISIS SENSORIAL**

Se realizó de acuerdo a lo establecido por la SCAA (SCAA, 2015) (Peña Gomez *et al*. 2013), las muestras a catar tuvieron un tueste medio; donde se introdujeron cuando la tostadora DIBAR INTEGRADOS tenía una temperatura de 180 °C y el tiempo de tueste fue de 8 minutos promedio. El tiempo de reposo o desgasificación fue de 12 horas, posteriormente se realizó la evaluación sensorial (catación) de las muestras en el laboratorio de Análisis Sensorial de CESURCAFÉ. Primero se evaluó la fragancia, seguidamente se adicionó 150 ml de agua a 93°C en una cantidad de 8,25 gr de café, 4 minutos después se rompió taza para evaluar aroma. Cuando la muestra llegó a una temperatura de 50-55 °C se procedió a realizar la primera evaluación de la bebida succionando el líquido dentro de la boca logrando que este cubra la mayor área posible de la lengua

y paladar superior. Con esto se evaluó sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, dulzura, taza limpia y puntaje catador. El procedimiento se repitió cuando la bebida llegó a temperaturas de 35-42°C y Temperatura ambiente. Los resultados finales se presentan en la escala de 60 a 100

## 2.5 ANALISIS DEL ESPECTRO INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FURIER FTIR

Las mediciones del infrarrojo se realizaron con un espectrómetro AGILENT TECHNOLOGÍES (Cary 630 FTIR), entre las longitudes de onda 4100-650 (cm<sup>-1</sup>), con una resolución de 4 cm<sup>-1</sup> y 16 escáneres. Se molió las muestras tanto en verde como tostados y se sacó promedio de las cinco mediciones realizadas, cada muestra fueron puestas en el lente del equipo para realizar la medición respectiva. A los espectros obtenidos se les identificaron los picos de interés reportados para cafeína, lípidos, ácidos clorogénicos, carbohidratos.

## 2.6 ISOTERMAS DE TRABAJO

Se realizaron isotermas de trabajo (adsorción y desorción) por el método de la isoterma de punto de rocío dinámico DDI, con amplio rango de actividad de agua (0.4-0.75), a temperatura de 25°C, intervalo de 0.01aw y flujo de 100ml/min; tres replicas por tratamiento en café verde y tostado haciendo uso del Vapor Sorption Analyzer (VSA) Aqualab Decagon; resolución de la balanza ± 0,1mg; reservorio de agua, 20 ml; volumen de la muestra, 10 cc; peso de la muestra, 500 a 5,000 mg. Previo a la obtención de las curvas DDI, el sensor de punto de rocío se verifico empleando cuatro soluciones acuosas sobresaturadas 13.41 m LiCl (0.250 ± 0.003 aw), 8.57m LiCl (0,50± 0.003 aw), 6.0 m NaCl (0.760±0.003 aw) y 2.33m NaCl (0,92±0.003 aw) (Collazos-Escobar, *et al.*, 2018).

### 2.6.1 Ajuste de datos de sorción con el modelo de GAB

La ecuación de GAB (1) se utilizó para el ajuste de los datos experimentales de sorción.

$$X = \frac{XmCKaw}{(1 - Kaw)[1 - Kaw + CKaw]} \quad (1)$$

Donde  $X$  es el contenido de agua (g agua / 100 g sólidos d. b),  $aw$  es la actividad del agua,  $Xm$  es el contenido de agua de la monocapa (g agua / g sólidos),  $C$  es la constante relacionada con el calor de sorción monocapa y  $K$  es la constante relacionada con el calor de sorción multicapa (Laccheri, *et al.*, 2015).

Donde  $Y_i$  ( $Y_{iex}$ ) y  $\hat{Y}_i$  ( $\hat{Y}_{ipre}$ ) son los datos experimentales y la predicción del contenido de humedad de equilibrio y  $N$  es el número de datos de la serie. En la ecuación (4)  $n$  es el número de valores experimentales y  $m$  es el número de parámetros estimados.

## 2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA simple o multifactorial), con un nivel de confianza del 95%; estableciendo si existen diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas dependiendo al tipo de beneficio aplicado. Se empleó el programa informático Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03.

### 2.7.1 Estimación de parámetros y análisis estadístico para isotermas

Para el ajuste de los modelos matemáticos se realizó un análisis de regresión no lineal obteniendo los valores de los parámetros del modelo con Microsoft Excel 2013 (Complemento de Solver) programación en la que se minimiza el error medio relativo (MRE) (Moreira, *et al.*, 2016). Para el grado de ajuste de los modelos se consideró las magnitudes del error medio relativo (MRE), en cuanto menores las magnitudes de estos índices mejor es el ajuste del modelo a los datos observados (Corrêa, *et al.*, 2014); se acepta generalmente que los valores de MRE por debajo de 10% dan un buen ajuste (Eim, *et al.*, 2011). Los coeficientes (R2) y (R2ajs) > 0,98 son considerados como ajustes razonables (Sormoli & Langrish, 2015). Los estadísticos de ajuste fueron obtenidos mediante las siguientes expresiones.

$$MRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_{iex} - \hat{Y}_{ex.prom})(Y_{ipre} - \hat{Y}_{ipre.prom})]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{iex} - \hat{Y}_{ex.prom})^2 (Y_{ipre} - \hat{Y}_{ipre.prom})^2} \quad (3)$$

$$R2adj = 1 - (1 - R2) \frac{n - 1}{n - m} \quad (4)$$

Donde  $Y_i$  ( $Y_{iex}$ ) y  $\hat{Y}_i$  ( $\hat{Y}_{ipre}$ ) son los datos experimentales y la predicción del contenido de humedad de equilibrio y N es el número de datos de la serie. En la ecuación (4) n es el número de valores experimentales y m es el número de parámetros estimados.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Fermentación y secado

Se encontró que en la etapa de fermentación, el pH y los grados Brix disminuyeron en rango de 25 a 30 % y de 10 a 13 % respectivamente esto debido a la formación y disociación de ácidos como el ácido acético, el ácido láctico y el ácido málico (Quintero, 2012).

El secado de las muestras se vió enmarcado con las siguientes condiciones: humedad relativa promedio de 61,7, temperatura media 28,9 °C y velocidad de viento promedio 0,2 m/s; estas condiciones favorecen el secado del café ya que el agua presente en los granos de café es retirada con facilidad hasta el punto de humedad requerido (10- 12%).

#### 3.2 Análisis físico y tostión.

Factor de rendimiento	Porcentaje de merma	Porcentaje de pasilla	Porcentaje de broca
90.59	19.27	3.63	0.68

**Tabla 1.** Promedio de factor de rendimiento, porcentaje de merma, porcentaje de pasilla y porcentaje de broca para las muestras de café.

El café se encuentra entre los rangos normales establecidos para cafés estándar (federacion nacional de cafeteros, 2004), con bonificación de precio por factor de rendimiento debido a que está por debajo del promedio nacional (92,8 %), en cuanto al porcentaje de merma se encuentra aproximado al límite determinado (20 %) (Cafeteros, 2015).

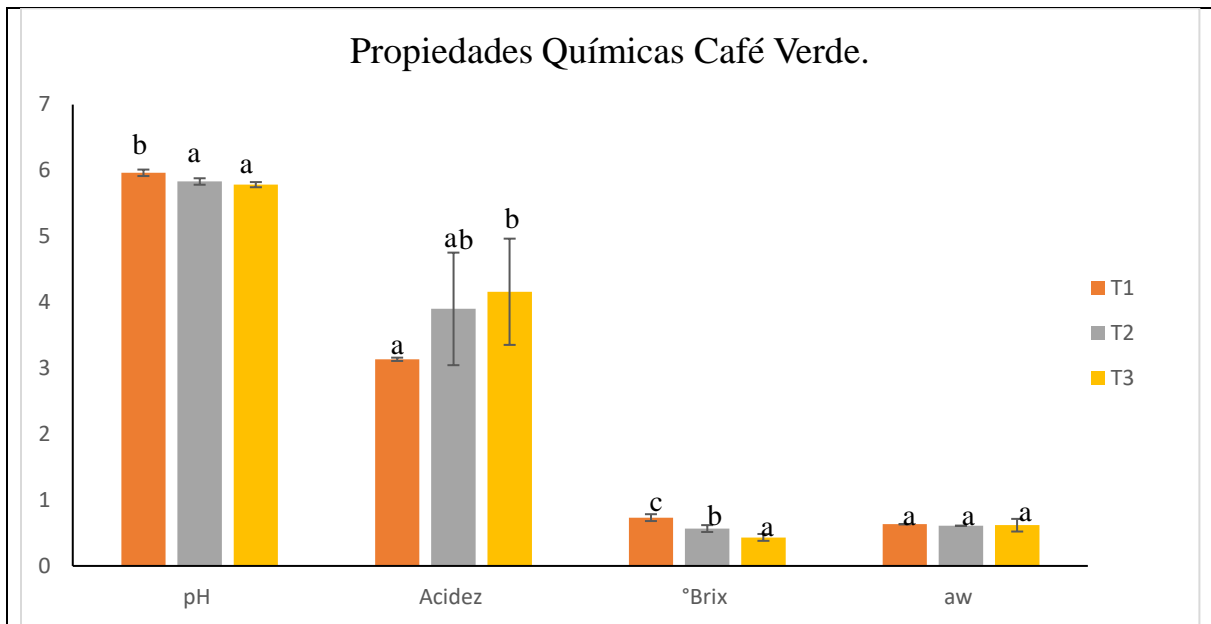
#### 3.3 Análisis químico

##### 3.3.1 Resultados de los Granos en Verde

En la figura 1 se presenta los resultados obtenidos de las pruebas químicas evaluadas en el café verde, con el fin de analizar si el tipo de beneficio aplicado genera alteraciones o diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos según una misma variable evaluada.

Para los valores de pH se encontró que el valor de T1 era de  $5.97 \pm 0.049$  presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a los valores de T2 y T3, los cuales corresponden a  $5.83 \pm 0.049$  y  $5.79 \pm 0.039$ . Observando dichos valores se encuentra que T1 es el de mayor pH; por lo tanto, su acidez debe ser menor al de los tratamientos T2 y T3, ya que, entre mayor pH, menor acidez y viceversa. Lo dicho anteriormente se cumple en los tres (3) tratamientos mencionados, el de menor pH (T3) obtiene la mayor acidez.

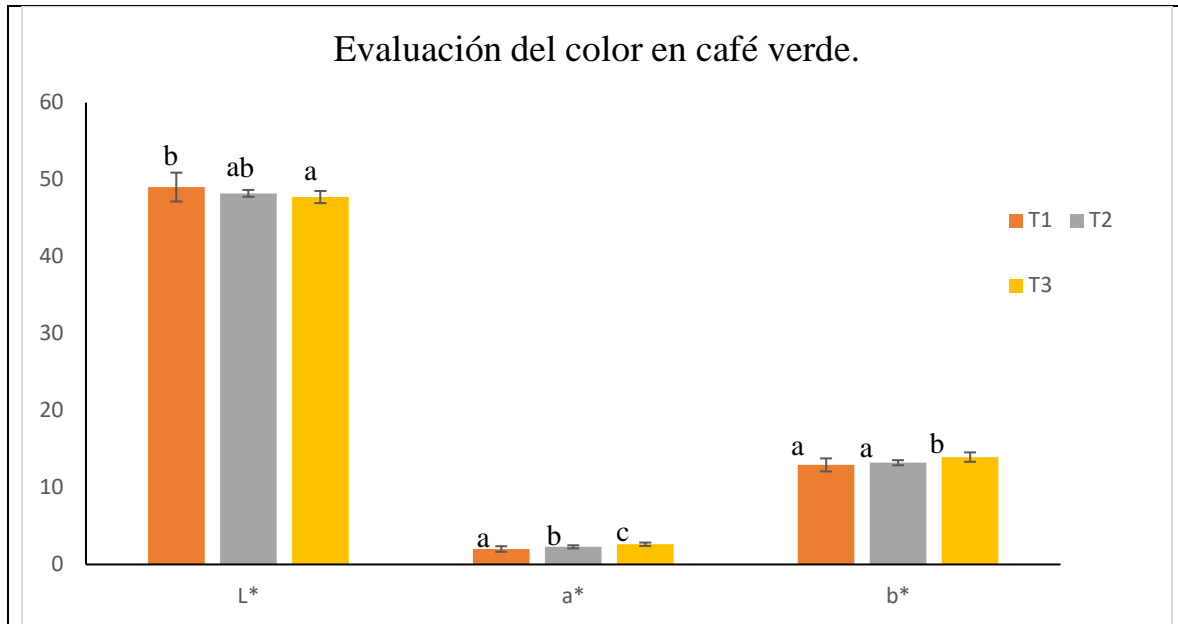
La baja calidad del café puede verse asociada a los niveles altos de acidez mas no a los niveles de pH. Asociando dicha afirmación a los resultados obtenidos se puede decir que probablemente T3 sea de menos agrado o aceptación ya que presentó el valor más alto de acidez seguido por T2 y T1 respectivamente. Esto debido principalmente a la fermentación que ocurre en forma paralela al secado del grano, donde T3 presenta un mayor tiempo de secado (20-30 días) y por ende el mismo tiempo fermentación haciendo que aumente la acidez presente en el café (Mazzafera, 1999).



**Figura 1.** Variación de las propiedades químicas para el café verde. Barras con letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas. T1: Lavado, T2: Honey, T3: Natural.

Los sólidos disueltos o grados brix presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, siendo el T1 el que presentó una mayor concentración ( $0.733 \pm 0.052$ ) y T3 ( $0.433 \pm 0.052$ ) como el de menor valor. Se aprecia una relación inversamente proporcional entre los grados brix y la acidez, es decir, que para el T1 se presentó el valor más bajo de acidez; mientras que para los sólidos disueltos fue el valor más alto, y así sucesivamente para los tratamientos T2 y T3. Esto se debe a la relación o cantidad de sacarosa presentes en los granos la cual es afectada por los beneficios aplicados.

La  $a_w$  no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos. Por lo tanto, el tipo de beneficio aplicado no influye en esta variable. Esto se puede deber a que las muestras de café de los tres tratamientos fueron llevadas a secado hasta obtener un contenido de humedad del 10-12%, y luego se procedió a realizar los análisis químicos. Las muestras no fueron sometidas a más alteraciones correspondientes a su contenido de humedad y debido a esto la actividad de agua ( $a_w$ ) debe ser igual en los tres tratamientos evaluados, como se aprecia en los resultados obtenidos.



**Figura 2.** Variación del color para el café verde. Barras con letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas. T1: Lavado, T2: Honey, T3: Natural.

En la figura 2 se aprecia que hay diferencias entre T1 y T3 en las coordenadas L\* ( $p < 0.05$ ), a\* ( $p < 0.05$ ) y b\* ( $p < 0.05$ ); esto debido principalmente al tiempo que dura adherido el mucílago al grano de café generando cambio de color en la almendra verde para cada tipo de tratamiento. Ya que cuando fueron llevados a secado, T1 se secó sin el mucílago y T3 se secó con mucílago y pulpa. Las coordenadas a\* y b\* fueron mayores para el tratamiento T3 respecto a T1, mientras que en L\* fue el efecto contrario. T2 o café Honey no tiene diferencias estadísticamente significativas con por lo menos un tratamiento en las coordenadas L\* y b\*, pero en la coordenada a\*; todos los tratamientos evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 2.** Valores medios más o menos desviación estándar para los tres tratamientos en café verde.

Variables	T1	T2	T3	Razón-F	Valor-P	
Color	L*	49.024 ± 1.875 <sup>b</sup>	48.211 ± 0.444 <sup>ab</sup>	47.728 ± 0.789 <sup>a</sup>	3.56	*
	a*	2.004 ± 0.364 <sup>a</sup>	2.288 ± 0.202 <sup>b</sup>	2.626 ± 0.219 <sup>c</sup>	15.76	***
	b*	12.934 ± 0.848 <sup>a</sup>	13.215 ± 0.329 <sup>a</sup>	13.948 ± 0.609 <sup>b</sup>	8.24	**
pH	5.965 ± 0.049 <sup>b</sup>	5.833 ± 0.049 <sup>a</sup>	5.785 ± 0.039 <sup>a</sup>	24.85	***	
Acidez	3.135 ± 0.025 <sup>a</sup>	3.9 ± 0.854 <sup>ab</sup>	4.16 ± 0.806 <sup>b</sup>	3.7	*	
°Brix	0.733 ± 0.052 <sup>c</sup>	0.567 ± 0.052 <sup>b</sup>	0.433 ± 0.052 <sup>a</sup>	50.83	***	
a <sub>w</sub>	0.633 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.609 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.618 ± 0.096 <sup>a</sup>	0.29	ns	

a<sub>w</sub> se midió a una temperatura promedio de 25.27 °C.

Filas con letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas.

T1= Lavado, T2=Honey, T3=Natural.

La tabla 2 representa los valores obtenidos en la ANOVA simple para café verde. Estos mismos valores están graficados en la figura 1 y 2.

### 3.3.2 Resultados de los granos tostados.

**Tabla 3.** Promedio, desviación estándar y diferencias estadísticamente significativas en x Media.

Variables	T1	T2	T3	Valor-P	
Color	L*	24.992 ± 0.510 b	25.398 ± 0.475 b	24.052 ± 0.782 a	***
	a*	9.074 ± 0.148 b	8.929 ± 0.224 b	8.528 ± 0.224 a	***
	b*	9.668 ± 0.204 b	9.673 ± 0.251 b	8.858 ± 0.292 a	***
pH	4.863 ± 0.020 b	4.9 ± 0.026 b	4.818 ± 0.050 a	**	
Acidez	38.973 ± 3.116 a	43.652 ± 3.818 b	37.157 ± 2.292 a	**	
°Brix	1.267 ± 0.082 a	1.283 ± 0.041 a	1.367 ± 0.052 b	*	
aw	0.449 ± 0.028 a	0.515 ± 0.013 b	0.479 ± 0.053 ab	*	

aw se midió a una temperatura promedio de 25.27 °C.

Filas con letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla 4.** Promedio, desviación estándar y diferencias estadísticamente significativas en Tostión Alta.

Variables	Lavado	Honey	Natural	Valor-P	
Color	L*	21.133 ± 0.475 b	21.883 ± 0.448 c	18.913 ± 0.613 a	***
	a*	7.239 ± 0.149 b	7.524 ± 0.168 c	5.698 ± 0.224 a	***
	b*	6.484 ± 0.249 b	6.915 ± 0.269 c	4.588 ± 0.271 a	***
pH	5.065 ± 0.024 a	5.097 ± 0.026 b	5.093 ± 0.024 ab	**	
Acidez	33.26 ± 2.131 a	41.57 ± 2.547 b	30.4 ± 2.747 a	***	
°Brix	1.233 ± 0.052 a	1.267 ± 0.052 a	1.267 ± 0.052 a	ns	
aw	0.436 ± 0.047 ab	0.452 ± 0.043 b	0.402 ± 0.021 a	ns	

aw se midió a una temperatura promedio de 25.27 °C.

Filas con letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas. ns: no significativo. \*p<0.05. \*\*p<0.01. \*\*\*p<0.001.

El pH obtenido en Tostión Alta (T.A) y Tostión Media (T.M) corresponden a los valores adecuados mencionados por (Silvia Gareca *et al*, 2014). El contenido de acidez en infusión también depende en mayor proporción del grado de tostado, tipo de tostado y método de infusión, por lo que se ha demostrado que el pH entre 4.9 y 5.2 es el rango preferido para una buena taza de café (Food-Info, 1999) citado por (Silvia Gareca *et al*, 2014). Lo que quiere decir que los resultados de pH obtenidos en los análisis cumplen con lo estipulado anteriormente en la tabla 3 y 4.

La acidez está asociada a la presencia del ácido clorogénico, el ácido más predominante en el café. El contenido del mismo es del 7% en el café verde, pero luego del proceso de tostado se descomponen parcialmente entre (30 a 70 %) en componentes menores como los ácidos málico y cítrico, alcanzando niveles del orden de 4.0% (Silvia Gareca *et al*, 2014). En la tostión, los ácidos clorogénicos se isomerizan, se unen a las melanoidinas, se hidrolizan, forman quinolactonas y se transforman en catecol, guayacol, y pirogalol que tienen olores a humo y quemado. El contenido de ácidos clorogénicos en una taza de café depende de la especie, la madurez, el procesamiento y

el grado de tostación. Para tostiones medias, la acidez es más agradable y balanceada que en el café con tostaciones oscuras (Puerta Quintero, 2011).

Se aprecia una reducción de los resultados de las medias de Acidez, Brix y  $a_w$ ; la Tostión Media presentó los niveles más altos y la Tostión Alta los bajos. Y se observa un comportamiento inversamente proporcional entre el pH y la Acidez, es decir, que a medida que se disminuye el pH, la Acidez tiende a aumentar. En la tostión alta se observa que el valor de pH aumentó y su acidez es menor en comparación a la tostión media.

Las coordenadas de Color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) tienden a disminuir a medida que el nivel o grado des tostión aumenta. Se encontró que para la T.M mínimo un tratamiento presenta diferencias estadísticamente significativas tanto en color como en las demás propiedades químicas evaluadas con respecto a los otros tratamientos.

Para la T.A. se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre Tratamientos para las variables medidas, excepto solidos solubles y  $a_w$ , las cuales presentan valores no significativos de diferencias.

En el trabajo realizado por (Silvia Gareca *et al*, 2014) se encontró valores de grados Brix en un rango entre 2 y 3,5; donde afirman que estos rangos se encuentran dentro de las especificaciones impartidas por la NTC 3534. En el presente trabajo se obtuvo rangos de Brix para T.A de 1,27-1,23 y para T.M 1,37-1,27; lo cual no se concuerda con lo dicho por los anteriores autores. Pero si se asemeja con lo dicho por (Puerta Quintero, (2000), donde reporta rango de °Brix entre 1-2.

(Puerta Quintero, (2000), reportó que a mayor grado de tostación se intensifican las propiedades organolépticas y físico-químicas, pero en el presente trabajo se aprecia lo contrario con respecto a las variables químicas de Acidez, °Briz y  $a_w$ ; donde a mayor nivel de tostión menor son los valores medios, posiblemente por los cambios físicos (volumen, peso, contenido de agua) y reacciones químicas (pirolisis, entre otras) que se presentan en el desarrollo de la etapa de tostión.

**Tabla 3.** Valores del F-ratio y los niveles de significancia obtenidos en el ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos según los factores: tipo de beneficio (Beneficio) y nivel de tostión (Tostión) con sus respectivas interacciones bidireccionales.

Variable	Beneficio	Tostion	B*T	
Color	$L^*$	94.65***	989.50***	13.89***
	$a^*$	251.68***	1984.11***	86.32***
	$b^*$	262.10***	314196***	54.92***
pH	6.75*	503.13***	6.40***	
Acidez	31.34***	26.41***	2.25 <sup>ns</sup>	
$A_w$	5.08*	17.18***	2.43 <sup>ns</sup>	
Brix	4.30*	7.11*	1.84 <sup>ns</sup>	

$a_w$  se midió a una temperatura promedio de 25.27 °C.

ns: no significativo. \* $p < 0.05$  (significativamente menor). \*\* $p < 0.01$ . \*\*\* $p < 0.001$ .

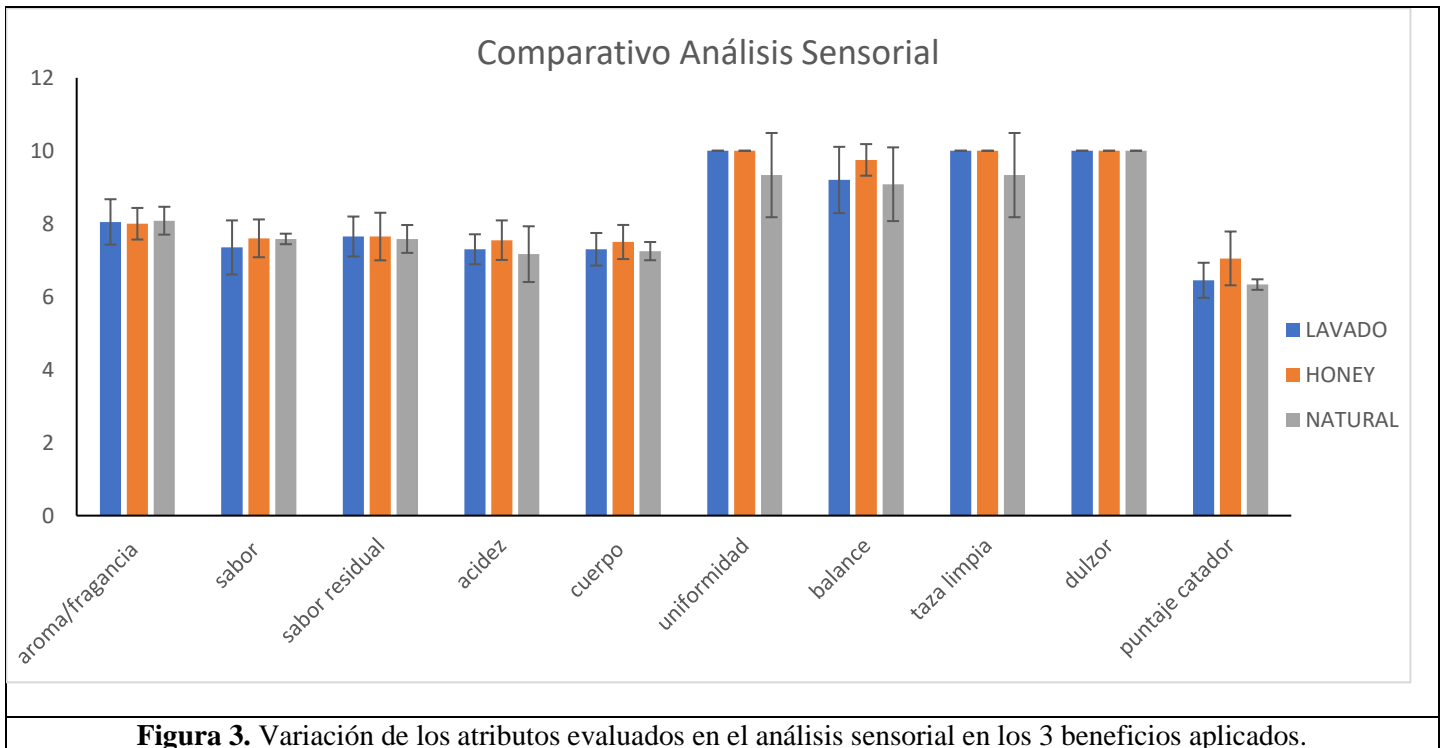
Para los granos tostados se aprecia que el tipo de beneficio y tostión tienen influencia en las variables químicas y color de las muestras evaluadas. Y entre éstas variables se presentan diferencias significativas de acuerdo al tipo de beneficio y grado de tueste aplicado.

Al hacer el análisis multifactorial (Tabla 5), se mostró que los dos factores influyen fuertemente en cada parámetro evaluado, donde se observó que el factor beneficio presentó diferencias estadísticamente significativas para los parámetros evaluados, siendo pH,  $a_w$  y sólidos disueltos los de menor significancia ( $p < 0.05$ ). El factor Tostión influyó para todos los parámetros evaluados de ( $p < 0.05$ ) exceptuando al parámetro de sólidos disueltos el cual tuvo una menor significancia ( $p < 0.05$ ). La interacción de los factores (B\*T) fue significativamente alta para los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y pH, para el resto de parámetros evaluados no fueron significativos.

### 3.4 ANÁLISIS SENSORIAL.

En la figura 3 se exponen los datos de los análisis sensoriales de las muestras de café obtenidos según el criterio del catador por medio de la clasificación establecida por la SCAA.

La suma de las calificaciones de cada uno de los atributos evaluados dió como resultado los siguientes puntajes: Lavado (T1):84,75; Honey (T2):86,5 y Natural (T3): 81,75. Siendo el grano de café procesado por el tratamiento dos (T2) el de mayor puntaje según los catadores, este tuvo la mejor calificación en los atributos de sabor, acidez, cuerpo, balance y en el puntaje de catador.



**Figura 3.** Variación de los atributos evaluados en el análisis sensorial en los 3 beneficios aplicados.

Según la clasificación de la SCAA, el café mejor puntuado es el T2 al cual se le da una especialidad de “Excelente” y clasificado como “Especial”, seguido del T1 o Lavado que es un café “Muy Bueno” y Premio, por último, se encuentra el café procesado por vía seca o T3 que fue catalogado igual que el T1, pero este obtuvo una puntuación más baja. Según (Puerta Quintero G. I., 1996) el café procesado por vía seca no se recomienda ser aplicado para el café colombiano, ya que este proceso o beneficio altera la calidad y suavidad tradicional apreciada por los países consumidores,

llegando a identificarles defectos como vinagre, fermento, stinker, fenol y sabor a tierra. Dicho resultado no es igual al encontrado en este trabajo, ya que las muestras de T3 no evidenciaron defectos anteriormente mencionados, por el contrario, obtuvo un puntaje de 81,75 en la escala de la SCAA el cual lo cataloga como café “Muy Bueno”.

Se obtuvo los mismos resultados plasmados por (Quiliguango Heredia, 2013) donde se concluye que los beneficios húmedo y semihúmedo (T1 y T2 respectivamente) presentan características organolépticas superiores a los cafés beneficiados por la vía seca (T3), considerando el grano de café procesado por beneficio seco como de inferior calidad.

Cabe resaltar que un beneficio no se debería calificar como bueno o malo, ya que este depende de muchos factores como el manejo del cultivo, fermentación, secado, tostado y molienda; para lograr expresar atributos. Un error en cualquier proceso de la cadena se verá reflejado fuertemente en la taza; como los defectos mencionados anteriormente. Esto mismo lo comparte (Ramos V. & Criollo E. , (2017) al decir que el proceso de beneficio también es uno de los factores determinantes en obtención de la calidad del grano, ya que fallas en el proceso pueden originar hasta el 80% de los problemas de calidad. En los últimos años se observa que ha crecido el consumo de cafés especiales y de mejor calidad, particularmente en los países de occidente tradicionalmente importadores netos, impulsado por los hábitos de la población joven (Pérez *et al.*, 2015).

No hay diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre los atributos evaluados. (Gutierrez *et al.*, 2014) afirman que el protocolo de la SCAA está diseñado para la descripción de la calidad, por lo tanto, encontrar diferencias significativas se vuelve más complejo ya que este protocolo se basa en la descripción específica de las características sensoriales.

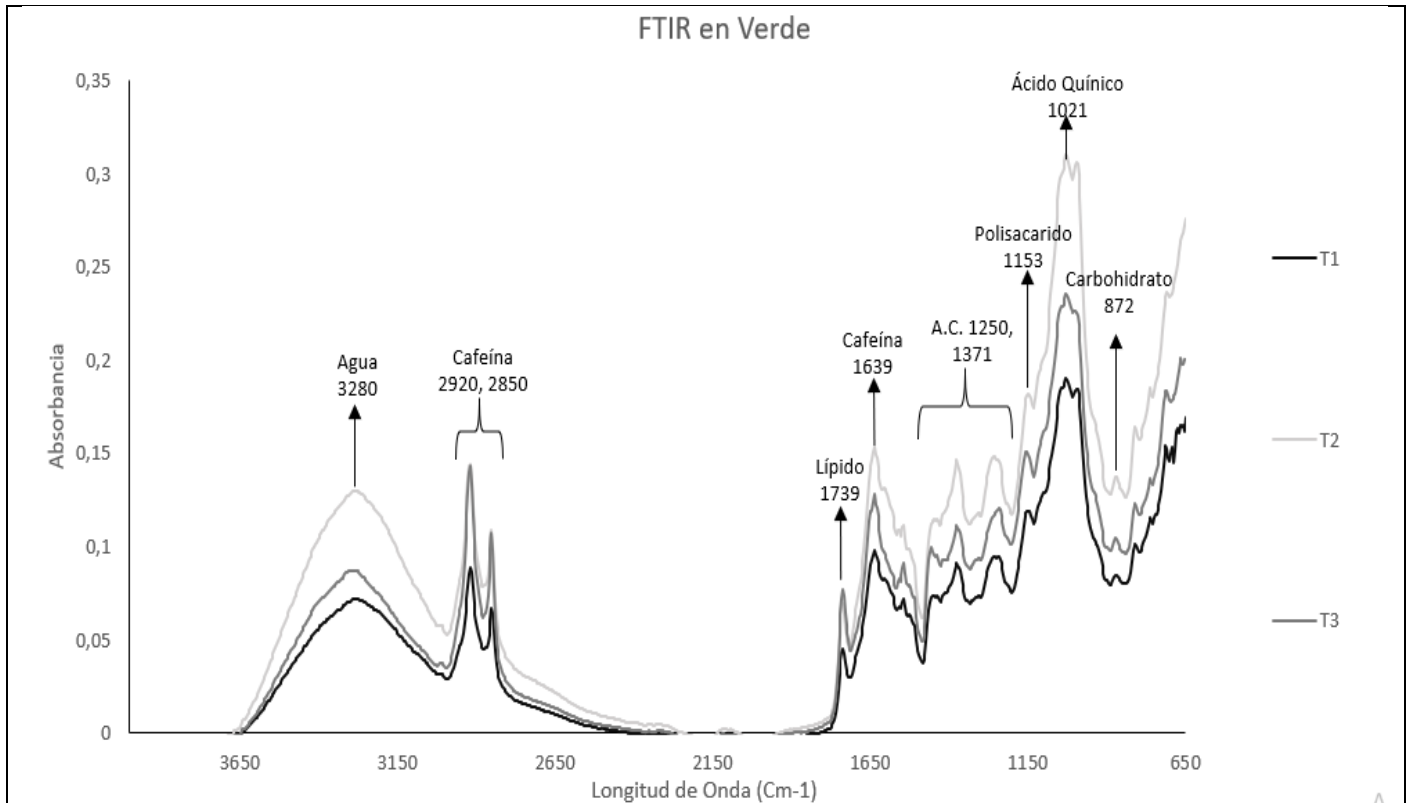
Para el dulzor dio como resultado una diferencia no significativa. Se puede apreciar que el T3 o café natural obtuvo en la mayoría de las calificaciones puntajes inferiores a los de T1 y T2.

En la figura 3, se aprecia que T1 y T2 presentaron medias iguales en las características evaluadas de sabor residual, uniformidad y taza limpia, mientras que en Cuerpo y Aroma/Fragancia, T1, T2 y T3 alcanzan a tener medias con poca diferencia entre ellas mismas.

### 3.5 FTIR

#### 3.5.1 FTIR en grano en verde.

En la figura 4, se evidencian los picos que presentaron excitación en los diferentes rangos o espectros de onda presentes. El pico de  $3280\text{ Cm}^{-1}$  se relaciona con agua (Chaflin, 2012), para dicho rango se puede observar que se presenta una mayor excitación para el café Honey (T2), esto quiere decir que éste tratamiento es el que más vibraciones presenta en dicha longitud con respecto a T1 y T3. Dicho comportamiento se mantiene para los distintos picos exceptuando el rango de los lípidos, en donde T3 es quien presenta mayor excitación que los demás.



**Figura 4.** Espectros de absorción FTIR de las muestras de café verde. T1: Lavado, T2: Honey, T3: Natural, A.C: Ácido Clorogénico.

El comportamiento mencionado puede deberse al tratamiento o beneficio aplicado al grano T2; ya que el grano se somete al secado sin la remoción del mucílago, el cual, a medida que va ocurriendo el secado; este se va adhiriendo al grano y así forma una capa que cubre toda su superficie, alterando los compuestos identificados en la figura 4, haciendo que en calidad en taza sea el café Honey el mejor puntuado.

T3 presentó un compartimiento casi igual al T2, sin embargo, sus niveles de exaltación de rangos no son iguales. Debido a que en T3 no hay remoción de mucílago, por el contrario, éste se encuentra adherido y se desprende junto con la cereza en el momento de la trilla.

Esta influencia se sigue observando y se logra ver claramente en los resultados de T1, donde se aprecia poca excitación de los picos obtenidos en T2 y T3. Ya que este café fue puesto en secado después del respectivo lavado del mucílago.

Los resultados para la absorbancia de la cafeína presentaron valores similares para el café Honey (T2) y Natural (T3) alrededor de la banda de los  $1639\text{ cm}^{-1}$ , la región de la  $1700$  a  $1600\text{ cm}^{-1}$  presentan banda características que surgen del estiramiento del enlace carbonilo C=O; siendo altamente relacionando con la concentración de cafeína en los cafés (Craig *et al.*, 2011).

Para las bandas  $2920\text{ cm}^{-1}$  y  $2850\text{ cm}^{-1}$  hay similitud en los picos, siendo T2 y T3 los de mayor excitación y T1 el de menor. Las bandas mencionadas anteriormente presentan un desplazamiento con respecto a las informadas por Craig *et al.*, 2012, quienes asociaron las bandas  $2922$ ,  $2852$  y  $1658\text{ cm}^{-1}$  a la cafeína. Según (Craig *et al.*, 2018) las bandas de  $2922\text{ cm}^{-1}$ ,  $2852\text{ cm}^{-1}$  están asociadas a lípidos. Por lo tanto, se presenta excitación de dos compuestos (cafeína y lípido) en dos picos iguales.

(Craig *et al.*, (2012) los lípidos tienen absorbancia a los  $1740\text{ cm}^{-1}$  y para (Reis *et al.*, (2013) estos se pueden presentar en el rango de los  $1743\text{cm}^{-1}$ - $1741\text{cm}^{-1}$ , el pico asociado a dichas longitudes se expresó en los  $1739\text{ cm}^{-1}$ ; donde podemos apreciar que T2 y T3 presentan mayor absorbancia que el T1.

Los ácidos clorogénicos representan una familia de ésteres formados entre el ácido quínico y de uno a cuatro residuos de determinadas *trans* ácidos cinámico, más comúnmente cafeico, *p*-cumárico y ferúlico (Clifford, Kirkpatrick, Kuhnert, Roozendaal, y Salgado, 2008) citado por (Craig, Franca, & Oliveira, 2012) los cuales tienen excitación en los rangos de  $1450\text{ cm}^{-1}$ - $1050\text{ cm}^{-1}$ . En la Figura 4 se aprecia dos picos de mayor exaltación ( $1250$ ,  $1371\text{ cm}^{-1}$ ) los cuales están dentro de los rangos estipulados por los autores citados y por ende significa presencia de ácidos clorogénicos. Estos picos de absorbancia obtenidos también fueron identificados por (Rivera, Velasco, & Rincón, 2013), donde afirman que estos son creados por acción del ácido clorogénico. Para el T2 se obtuvo mayores valores de absorbancia que T3 y T1, se puede deber a la reacción que genera el tiempo de adherencia del mucílago al grano.

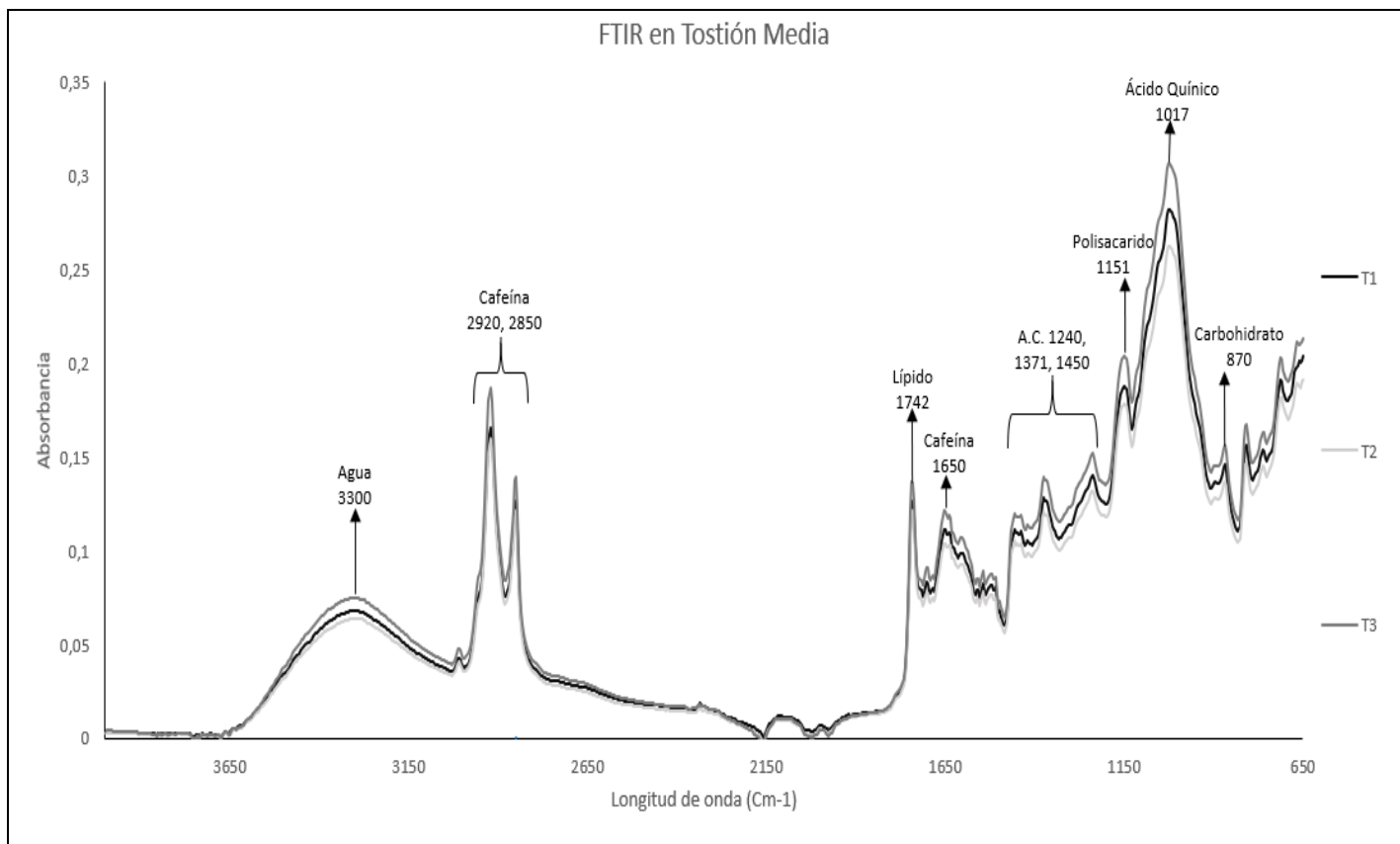
La deformación Axial C-O del ácido quínico se produce en el rango de  $1085$ - $1050\text{ cm}^{-1}$  (Craig, Franca, & Oliveira, 2012), la cual se puede asimilar a la banda obtenida en el presente trabajo ( $1021\text{ cm}^{-1}$ ) ya que no se aleja mucho de los rangos estipulados por los autores citados.

Los carbohidratos (bandas anoméricas de carbohidratos) son identificados en el pico de absorbancia de  $880\text{ cm}^{-1}$  (Rivera *et al.*, 2013), el cual se aprecia o tiene más excitación en el pico  $872\text{ cm}^{-1}$ . Este pico está dentro de los rangos estipulados por (Craig *et al.*, 2011).

Según (Craig *et al.*, 2018) la banda de los  $1153\text{ cm}^{-1}$  es relacionada con la excitación de los enlaces de polisacáridos, en este pico se sigue presentado el mismo comportamiento visto para la mayoría de compuestos identificados. En dónde T2 obtuvo la mayor excitación y T1 la menor.

### 3.5.2 FTIR en granos con tostión media.

La figura 5 representa los espectros promedio obtenidos para café en tostión media, se aprecia que el comportamiento de los espectros es muy similar; presentado una pequeña diferencia en la excitación del ácido quínico ( $1017\text{ cm}^{-1}$ ); siendo T3 el de mayor excitación seguido por T1 y T2 respectivamente.



**Figura 5.** Espectros de absorción FTIR de las muestras de café en tostión media.

T1: Lavado, T2: Honey, T3: Natural, A.C: Ácido Clorogénico.

Se aprecia además en la figura 5, zonas donde se concentra la mayoría de las bandas, estas concentraciones se presentan en los rangos que van desde: ( $3303 - 2850$  y  $1750-870\text{ cm}^{-1}$ ). Los mismos picos referenciados para café verde se aprecian en café con tostión media, aunque se puede haber presentado un desplazamiento de dichos picos, pero estos siguen dentro de los rangos citados para cada compuesto.

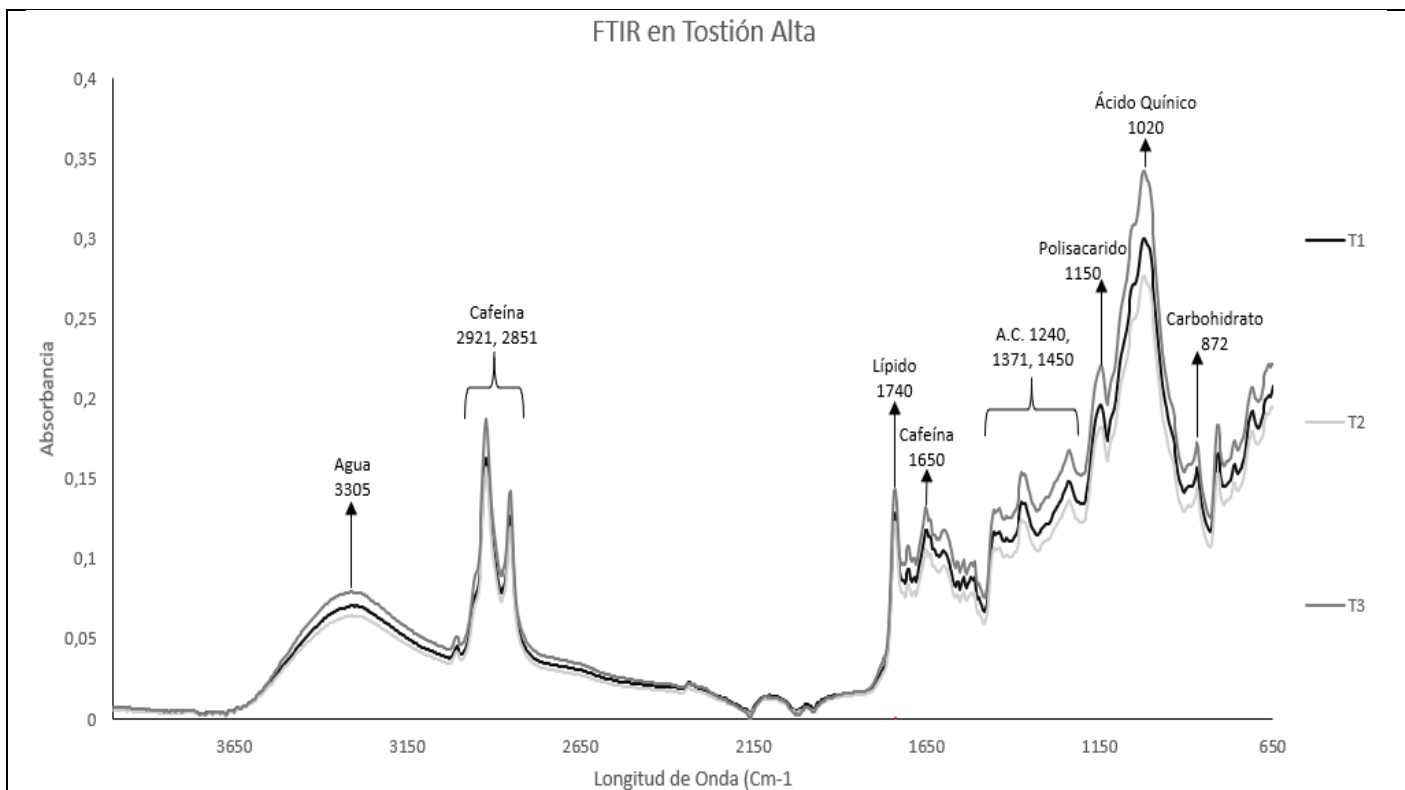
Los picos relacionados a los compuestos de cafeína ( $2850\text{ cm}^{-1}$ ) y lípidos ( $1742\text{ cm}^{-1}$ ) presentan valores de absorbancia similares para los tres tratamientos realizados, y ambos picos también presentaron un aumento de sus respectivas excitaciones. Esto concuerda con lo dicho por (Craig et al., 2012b; Kemsley et al., 1995) y (Craig et al, 2011, 2012a) citado por (Reis et al., 2013) quienes afirman que estas bandas presentan excitación tanto en café tostado como en café verde. La banda aguda en  $1743$  a  $1741\text{ cm}^{-1}$  también se ha observado en estudios FTIR de café tostado (kemsley et al.,1995, Lyman et al., 2003; Wang et al.,2009) citado por (Craig et al, 2011) afirman que se atribuye a vibraciones de carbonilo en lípidos.

Los resultados obtenidos concuerdan al comportamiento descrito por ( Farah et al., 2006 , Franca et al., 2005). citado por (Craig *et al*, 2012), en donde expresan que se presenta una disminución en la absorbancia relativa de varias bandas en la región de 1700-600  $\text{cm}^{-1}$ , en donde es característica la presencia de carbohidratos, ácidos clorogénicos y cafeína, por lo que se espera que tales variaciones en la composición química afecten a los espectros en el rango dicho. En la tostión cambian los contenidos de los compuestos químicos y la concentración de éstos en los granos tostados con respecto al grano almendra: los polisacáridos disminuyen, la sacarosa se degrada completamente, los azúcares reductores aumentan, las proteínas disminuyen, los lípidos y la cafeína del grano tostado conservan casi la misma proporción o un poco más en comparación a los granos almendras, la trigonelina disminuye, los ácidos clorogénicos disminuyen, las cenizas aumentan y las melanoidinas se crean (Puerta, 2011). En la figura 5, se aprecia pequeñas reducciones en los picos correspondientes a cafeína (1650  $\text{cm}^{-1}$ ), ácido clorogénico (1371  $\text{cm}^{-1}$ ), carbohidrato (870  $\text{cm}^{-1}$ ).

La disminución más drástica de absorbancia se presentó para el rango relacionado al agua, esto puede deberse al proceso de tostión al cual fue sometido el café, el cual hace perder humedad al grano; pasando del 10-12 % hasta alcanzar a llegar a 1.5-3% (Sanchez *et al*, 2007).

### 3.4.2 FTIR en granos con tostión alta.

La figura 6 representa los espectros promedio obtenidos para café en tostión alta. Se aprecia que el comportamiento de los espectros es muy similar para los picos identificados, sin embargo, se observa variaciones en las absorbancias atribuidas a agua (3305  $\text{cm}^{-1}$ ), ácidos clorogénicos (1450, 1371, 1240  $\text{cm}^{-1}$ ) y ácido quínico (1020  $\text{cm}^{-1}$ ). Este último compuesto está relacionado a los ácidos clorogénicos, ya que forman parte de la familia de estos (Craig *et al*, 2012).



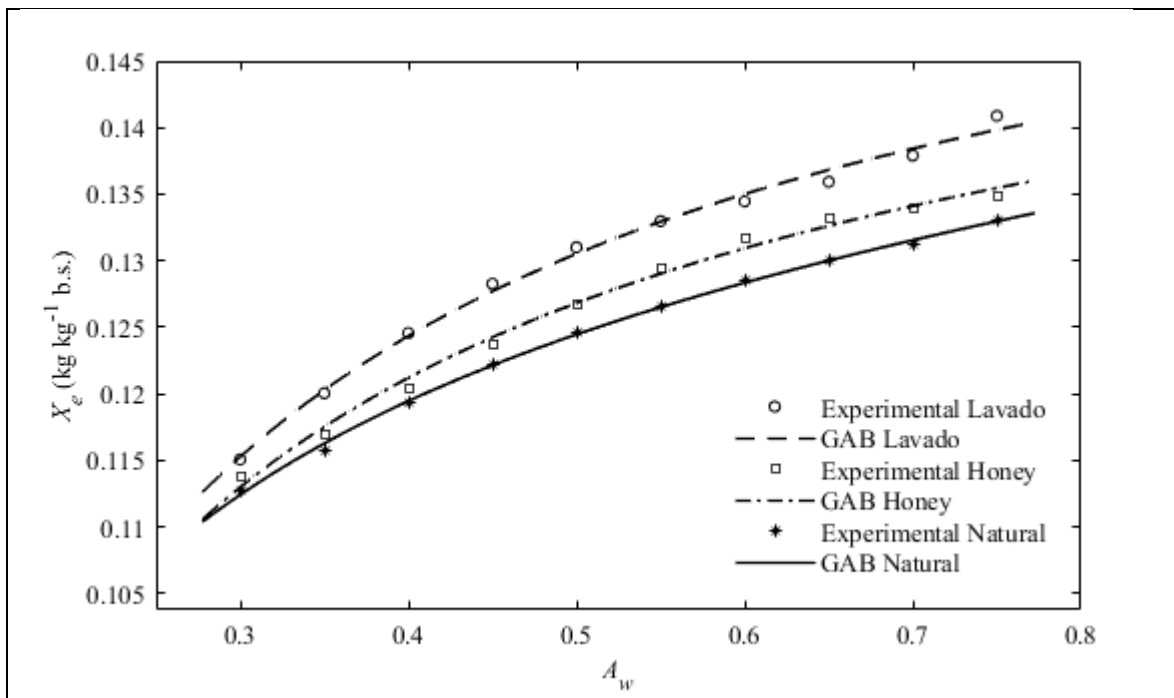
**Figura 6.** Espectros de absorción FTIR de las muestras de café en tostión alta.  
T1: Lavado, T2: Honey, T3: Natural, A.C: Ácido Clorogénico.

En los rangos ( $1450\text{ cm}^{-1}$  -  $1050\text{ cm}^{-1}$ ) designados a los ácidos clorogénicos, los picos presentan mayor dispersión o lejanía con respecto a cada tratamiento, mientras que para los cafés con tostión media se encuentran más cercanos. Este comportamiento también se evidencia para la absorbancia del ácido quínico ( $1020\text{ cm}^{-1}$ ).

En el pico ( $3305\text{ cm}^{-1}$ ) atribuido al agua, se evidencia que tanto para tostión media como para tostión alta; el T3 obtuvo mayor absorbancia en dicha longitud con respecto a T1 y T2. Esto puede ser debido al contenido de mucílago adherido a la almendra, el cual evitaría que se perdieran la mayor cantidad comparado con T1, el cual es el café lavado; donde fue sometido a tostión sin presencia de mucílago.

No se evidencia grandes diferencias en el comportamiento de las absorbancias entre la tostión media y tostión alta, específicamente para los picos de cafeína y lípidos. Esto concuerda con (Craig et al, 2012) quien afirma que dicho evento podría estar asociado al hecho de que no se espera que los niveles de cafeína y lípidos varíen significativamente durante el tostado.

### 3.5 Isotermas de trabajo



**Figura 7.** Isotermas de sorción experimentales de  $25^{\circ}\text{C}$  y estimado con el modelo GAB en café verde.

En la figura 7 se presenta las isotermas de sorción de café verde experimentales y modelizadas con GAB con un rango de  $a_w$  de (0.3-0.75). Las curvas tienden a presentar un comportamiento sigmoide (curva "S") tipo II con decrecimiento o incremento del contenido de humedad de equilibrio en

actividades de agua bajas y altas respectivamente atendiendo a la clasificación Brunauer *et al* (1940). Este mismo comportamiento fue reportado por Iaccheri *et al* (2015), Corrêa *et al* (2010) para el café verde. Labuza & Altunakar (2007) citado por Collazos-Escobar *et al.*, (2018) relacionan el crecimiento del contenido de humedad en los rangos de 0.1-0.4 y 0.55-0.8  $a_w$  a la ley de Raoult, los efectos capilares y las interacciones del agua superficial. El café Lavado (T1) presenta mayores contenidos de humedad, seguido del Honey (T2) y por último el Natural (T3).

Las actividades de agua ( $a_w$ ) están ligadas a la humedad relativa que hay presente y a la cual se va a llevar a un equilibrio, por esto puede ser que no haya diferencias significativas entre las  $a_w$  medidas.

Con la elaboración de las isothermas se buscó establecer las condiciones de equilibrio a temperatura ambiente de los tres tipos de tratamiento y observar si existen diferencias en estas. Se modeló y se trató de establecer unas condiciones. Con esto se observó cómo el proceso puede alterar el equilibrio a temperatura ambiente en cada uno de los tratamientos. Obteniendo como resultado que los granos no se pueden almacenar en iguales condiciones a una temperatura ambiente (25°C), debido a que las condiciones de humedad entre ellos es diferente. Es decir, la humedad a la cual van a ser sometidas debe ser diferente para cada grano y así garantizar la calidad del café.

Los valores de ajustes del  $R^2$  fueron: Lavado (T1): 0.9947, Honey (T2): 0.9932, Naturas (T3):0.9988.

#### 4. CONCLUSIONES

Se encontró que el tipo de beneficio aplicado si altera las propiedades químicas del grano de café, ya que en las variables evaluadas (pH, acidez, °Brix,  $a_w$ ) se evidenció diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tipos de tratamientos aplicados. La tostión influye en estas; haciendo que se aumenten los valores de acidez,  $a_w$ , solidos totales y reduzcan los valores de pH con respecto al café verde. Se obtuvo la mejor calificación para el café procesado por vía semi-húmeda con un puntaje de 86.5 según la escala de evaluación de la SCAA, debido a que fue el mejor café en la mayoría de los atributos sensoriales evaluados.

Para el color se evidencia que el tipo de beneficio si influye debido posiblemente al mucílago adherido en el grano. Concluyendo que T1 tanto en verde como en tostión alta, tiene diferencias con respecto a T2 y T3, esto debido a la remoción total del mucílago hecha para T1.

Los compuestos presentes en el café fueron identificados en los rangos establecidos por diversos autores, dentro de los cuales presentaron diversos picos de absorbancia indicando la presencia de los siguientes: cafeína (2920, 2850, 1950  $\text{cm}^{-1}$ ), agua (3300-3200  $\text{cm}^{-1}$ ), ácidos clorogénicos (1450-1050  $\text{cm}^{-1}$ ), lípidos (2922-2852-1743  $\text{cm}^{-1}$ ), carbohidratos (880  $\text{cm}^{-1}$ ), polisacáridos (1150  $\text{cm}^{-1}$ ), para los cuales los tratamientos T3 y T1 tuvo mayor nivel de absorbancia que el T2.

Para seguir aumentando en este tipo de investigación y dar mayor aporte a la región, sería de gran relevancia realizar investigaciones en las cuales se abarque otras variedades de café, intervenir en varios pases de cosecha, e incluso en zonas del departamento del Huila que tienen bastante potencial, con el fin de buscar perfiles de acuerdo a las exigencias del mercado en los cafés especiales.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Aristizábal Arias, C., & Duque Orrego, H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. . *Cenicafé*, 299-318.

Cafeteros, F. N. (noviembre de 2015). *federacion nacional de cafeteros*. Obtenido de [https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/a\\_partir\\_de\\_hoy\\_rige\\_sistema\\_de\\_compra\\_de\\_cafe\\_por\\_factor\\_de\\_rendimiento/](https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/a_partir_de_hoy_rige_sistema_de_compra_de_cafe_por_factor_de_rendimiento/)

Cárdenas Díaz, J. P., & Pardo Pinzón, J. D. (2014). *Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera*. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Collazos-Escobar, G. A., Cortes-Macías, E. T., Gutierrez-Guzman, N., Vaquiro-Herrera, H. A., 2018. Desarrollo y modelado de las isotermas de sorción en café verde y tostado (*Coffea arabica*). Universidad Surcolombiana, p 2-1

Corrêa, P.C, Botelho, M. F., Botelho, C. Silva de C., Goneli, D. L. André., 2014. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., Campina Grande, PB, UAEA/UFCCG. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1047-1052>

Chafin, M. (2012). *Water Structure and Science*.

Chiralt Boix, A., Martínez Navarrete , N., González Martínez , C., Talens Oliag, P., & Moraga Ballesteros, G. (2012). *Propiedades físicas de los alimentos* . Valencia : Universitat Politècnica de València.

Craig, A. P., Botelho, B. G., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2018). Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. *Food Chemistry*, 1052-1061. doi:10.1016/j.foodchem.2017.11.066

Craig, A. P., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2012). Discrimination between defective and non-defective roasted coffees by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy. *Food Science and Technology*, 505-511. doi:10.1016/j.lwt.2012.02.016

Craig, A. P., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2012). Evaluation of the potential of FTIR and chemometrics for separation between defective and non-defective coffees. *Food Chemistry*, 1368-1374. doi:10.1016/j.foodchem.2011.11.121

Craig, A. P., Franca, A., & Oliveira, S. (2011). Discrimination between immature and mature green coffees by attenuated total reflectance and diffuse reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Food Science*, 1162-1168. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02359.x

Eim, V. S., Rossello, G., Femenia, A., Simal, S., 2011. Moisture Sorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Carrot. *International Journal of Food*

Engineering.doi:10.2202/1556-3758.1804

F Silva, C., F Schawan, R., Sousa Dias, E., & E Wheals, A. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 251-260.

federacion nacional de cafeteros. (2004). *aprenda a vender café*.

Gutierrez Guzman, N., Chambers IV, E., & Di Donfrancesco, B. (2014). Comparison of results from cupping and descriptive. *Journal of Sensorial Studies*.

ICONTEC. (2004). *NTC 5247. Café tostado en grano o molido. Determinación de la acidez titulable*. Bogotá: ICONTEC.

Labuza, P. T., Altunakar, B., 2007. Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Gustavo V. Barbosa-Cánovas<sup>1</sup>, Anthony J. Fontana Jr.<sup>2</sup>, Shelly J. Schmidt., Theodore P. Labuza. Chapter 5. DOI: 10.1002/9780470376454.ch5

Laccheri, E., Laghi, L., Cevoli, C., Berardinelli, A., Ragni, L., Romani, S., Rocculi, P., 2015. Different analytical approaches for the study of water features in green and roasted coffee beans. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.016>

Ladino Garzón, W., Cortés Macías, E. T., Gutiérrez Guzmán, N., & Amorocho Cruz, C. M. (2016). Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semi-seca. *Agromía Colombiana*, 281-283. doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57773

Lee, S. J., Kim, M. K., & Lee, K. G. (2017). Effect of reserved coffee grinding and roasting process on physicochemical properties including volatile compound profiles. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 97-102.7

López Marín, S. M., Arcila Pulgarín, J., Montoya Restrepo, E. C., & Oliveros Tascón, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé*, 297-315.

Mazzafera, P. (1999). Chemical composition of defective coffee beans. *Food Chemistry*, 547-554.

Moreira, R., Chenlo, F., Sineiro, J., Arufe, S., Sexto, S., 2016. Water sorption isotherms and air drying kinetics of *Fucus vesiculosus* brown seaweed. *Journal of Food Processing and Preservation* ISSN 1745-4549. doi:10.1111/jfpp.12997

Peña Gomez, N., Barrera Bermeo, O., & Gutiérrez Guzmán, N. (2013). Efectos del tiempo de fermentación sobre la calidad en taza del café (*coffea arabica*). *Ingeniería y Región*, 111-116.

Pérez Soto, F., Figueroa Hernández, E., & Godín Montoya, L. (2015). *Producción y consumo de café*. Ecorfan.

- Puerta Quintero, G. I. (1996). Evaluación de la calidad del café colombiano procesado por vía seca. *Cenicafé*, 85-90.
- Puerta Quintero, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Cenicafé*, 78-88.
- Puerta Quintero, G. I. (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé*, 5-19.
- Puerta Quintero, G. I. (2011). *Composición química de una taza de café*. Cenicafé.
- Quiliguango Heredia, R. M. (2013). *Influencia en cuatro métodos de beneficio sobre la calidad física y organoléptica del café arábigo (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales del noroccidente de Pichincha*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Ramos V. , L. J., & Criollo E. , H. (2017). Calidad física y sensorial de *Coffea arábica* L. variedad Colombia, perfil Nespresso AAA, en la Unión, Nariño. . *Ciencias Agrícolas*, 83-97.
- Reis, N., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2013). Discrimination between roasted coffee, roasted corn and coffee husks by Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy. *Food Science and Technology*, 715-722. doi:10.1016/j.lwt.2012.07.016
- Rivera, W., Velasco, X., & Rincón, C. A. (2013). Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café. *Revista Colombiana de Física*, 205-208.
- Roberto Batista, L., Ferreira Silva, C., Magalhaes Abreu, L., Souza Dias, E., & Freitas Schwan, R. (2008). Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiology* , 951-957.
- Sanchez Ramírez, J., Anaya Sosa, I., Vizcarra Mendoza, M. G., Gutiérrez López, G., & Pineda, S. T. (2007). Estudio de la hidrodinámica del café tostado (*coffea arabica* L.) en lecho fluidizado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 185-192.
- Silva Ribeiro, L., da Cruz Pedrozo, M. G., Reis Evangelista, S., Machado Martins , P. M., Van Mullem, J., Honorio Belizario, M., & Freitas Schwan, R. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 26-32.
- Silvia Gareca, O., Brizuela, L., Montilla, G., Bianco, H., & López , A. (2014). *Evaluación de las características físico-químicas de calidad del café verde y molido*. Venezuela.
- Sormoli, M. E., Langrish, T. A.G., 2015. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice poder. *LWT - Food Science and Technology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.064>
- Specialty Coffee Association of America. (2015). *SCAA Protocols I Cupping Specialty Coffee*.

Thermo Nicolet Corporation . (s.f.). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet.

Valencia, J., Pinzón , M., & Gutiérrez , R. (2015). Caracterización fisicoquímica y sensorial de tazas de café producidas en el departamento del Quindío. . *Alimentos Hoy*, 150-156.

Weil, F., & Tanokura, M. (2015). *Coffee in health and disease prevention*. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3.