



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 21 junio de 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Laura Daniela Peñalver Sánchez, con C.C. No. 1075297132,

Autor de la tesis o

Titulado **Evolución de los parámetros fisicoquímicos del café durante el proceso de tostión, en dos tipos de máquinas tostadoras tambor y lecho fluido.**

Presentado y aprobado en el año 2019 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.

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:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional 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.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Laura Daniela Peñalver S.

Firma:



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evolución de los parámetros fisicoquímicos del café durante el proceso de tuestión, en dos tipos de máquinas tostadoras tambor y lecho fluido.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Peñalver Sánchez	Laura Daniela

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gutiérrez Guzmán	Nelson
Bahamon Monje	Andrés Felipe

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ruíz Osorio	Yaneth Liliana
Delgado Joven	Bertulfo

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019

NÚMERO DE PÁGINAS: 17

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional 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.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

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

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>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Condiciones de tostado</u>		6. Roasting conditions	
2. <u>Evaluación sensorial</u>		7. Sensory evaluation	
3. FTIR		8. FTIR	

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En el presente estudio se evaluó la evolución de parámetros fisicoquímicos durante el tueste de café utilizando dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor (conducción) y tostadora (convección) de lecho fluido; para ello se sacaron muestras cada minuto durante el proceso de tueste y se realizaron pruebas de color, acidez titulable, lípidos, potencial de hidrogeno (pH), humedad, densidad, actividad de agua, FTIR (espectrometría infrarroja de transformada de fourier). Además se evaluaron diferencias en los perfiles sensoriales de los cafés de la misma variedad tostados con cada tipo de tostadora, siguiendo el protocolo establecido por la SCAA, por último los resultados obtenidos se evaluaron estadísticamente por medio de análisis de varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados presentaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 99,9%. La muestra de café tostada por la máquina de tambor presento mayor valoración sensorial por el panel de catadores obteniendo un puntaje de 85,17 según el protocolo de las normas SCAA lo que la clasifica dentro del rango de cafés especiales con una calidad excelente, mientras el grano tostado en lecho fluido alcanzo un puntaje de tan solo 72,2 clasificándolo así como de calidad regular, no especial.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In the present study evaluated the evolution of physicochemical parameters during the roasting coffee using two different types of toasters, traditional drum toaster and fluid bed toaster; for it samples were extracted every minute during the tostión process and there realized tests of color, acidity titulable, lípidos, potential of (pH) hydrogen, moisture, thickness, water activity, FTIR (infrared spectrometry of transformed of fourier).Also differences were evaluated in the sensory profiles of the roasted coffees with every type of toaster, following the protocol established by the SCAA, finally the obtained results were evaluated as per statistics by means of analysis of variance (ANOVA) by means of the statistical bundle Statgraphics Centurion XVI Version 16.1.03. Most of the physicochemical parameters were evaluated for statistically significant differences with a confidence level of 99.9%. The sample of coffee roasted by the drum machine presses higher sensory valuation by the panel of tasters obtaining a score of 85.17 according to the protocol of the SCAA standards that classifies it within the range of special coffees with excellent quality, while the toasted grain in fluid bed reached a score of only 72.2 classifying it as well as regular quality, not special.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: NELSON GUTIÉRREZ GUZMAN

Firma:

Nombre Jurado: BERTULFO DELGADO JOVEN

Firma:

Nombre Jurado: YANETH LILIANA RUÍZ

Firma:

Evolución de los parámetros fisicoquímicos del café durante el proceso de tuestión, en dos tipos de máquinas tostadoras tambor y lecho fluido.

Evolution of coffee physicochemical parameters during the roasting process, in two types of drum and fluid bed roaster machines

Laura Daniela Peñalver Sanchez¹, Andrés Felipe Bahamon² y Nelson Gutiérrez Guzman³

Resumen

En el presente estudio se evaluó la evolución de parámetros fisicoquímicos durante el tueste de café utilizando dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor (conducción) y tostadora (convección) de lecho fluido; para ello se sacaron muestras cada minuto durante el proceso de tuestión y se realizaron pruebas de color, acidez titulable, lípidos, potencial de hidrogeno (pH), humedad, densidad, actividad de agua, FTIR (espectrometría infrarroja de transformada de fourier). Además se evaluaron diferencias en los perfiles sensoriales de los cafés de la misma variedad tostados con cada tipo de tostadora, siguiendo el protocolo establecido por la SCAA, por último los resultados obtenidos se evaluaron estadísticamente por medio de análisis de varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados presentaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 99,9%. La muestra de café tostada por la máquina de tambor presento mayor valoración sensorial por el panel de catadores obteniendo un puntaje de 85,17 según el protocolo de las normas SCAA lo que la clasifica dentro del rango de cafés especiales con una calidad excelente, mientras el grano tostado en lecho fluido alcanzo un puntaje de tan solo 72,2 clasificándolo así como de calidad regular, no especial.

Palabras clave: Condiciones de tostado, evaluación sensorial, FTIR.

Abstract

In the present study evaluated the evolution of physicochemical parameters during the roasting coffee using two different types of toasters, traditional drum toaster and fluid bed toaster; for it samples were extracted every minute during the tuestión process and there realized tests of color, acidity titulable, lípidos, potential of (pH) hydrogen, moisture, thickness, water activity, FTIR (infrared spectrometry of transformed of fourier).Also differences were evaluated in the sensory profiles of the roasted coffees with every type of toaster, following the protocol established by the SCAA, finally the obtained results were evaluated as per statistics by means of analysis of variance (ANOVA) by means of the statistical bundle Statgraphics Centurion XVI Version 16.1.03. Most of the physicochemical parameters were evaluated for statistically significant differences with a confidence level of 99.9%. The sample of coffee roasted by the drum machine presses higher sensory valuation by the panel of tasters obtaining a score of 85.17 according to the protocol of the SCAA standards that classifies it within the range of special coffees with excellent quality, while the toasted grain in fluid bed reached a score of only 72.2 classifying it as well as regular quality, not special.

key words: Roasting conditions, sensory evaluation, FTIR.

¹Estudiante de ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Borrero-cra1. E-mail: u20131118212@usco.edu.co

²Ingeniero agrícola. Dpto. de Ingeniería Agrícola Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Borrero-cra1. E-mail: u2010297360@usco.edu.co

³PhD. en ciencias y tecnología de alimentos. Dpto. de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero-cra1. E-mail ngutierrezg@usco.edu.co

1. Introducción

El café se ha convertido en uno de los alimentos básicos de mayor demanda en el mundo. Es uno de los principales productos agrícolas que produce Colombia, y de él depende un porcentaje significativo de la economía y el sustento de gran parte de la población, aproximadamente existen 563,000 familias productoras de café en el país (Echeverri et al., 2005).

La calidad del café depende de múltiples factores, requiere tener en cuenta temas tan complejos y variados que van desde el árbol y su entorno hasta los procesos de post cosecha como el beneficio y secado. Luego de que el grano pasa las mencionadas etapas se somete a un nuevo proceso denominado trilla de café, donde se obtiene el café almendra o café verde, éste es el insumo para la elaboración del café tostado (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010).

El tostado corresponde a la última operación realizada en el grano antes de ser presentado al consumidor de café, es una actividad antigua, que a través de los años ha mejorado sus métodos para realizarlo. Consiste en la transferencia de energía en forma de calor al grano verde que generalmente se suministra por medio de una máquina tostadora (Abarca *et al.*, 2016).

El proceso de tostado consta de algunas etapas, la primera de ellas es la de secado inicial, usualmente es la más prolongada del tostado con una duración aproximada de 4 a 6 minutos; posteriormente se produce una fase en la que el sabor y el color inician a desarrollarse en el grano, allí es donde la mayor parte de las reacciones químicas comienzan, generando el color, el sabor y los aromas típicos de los granos de café tostado además, el dióxido de carbono y el vapor de agua se producen dentro del grano y en algún instante crítico de esta etapa, se produce el "First Crack", donde se puede escuchar un sonido de chasquido distinto. Luego de "First Crack", el color del café continúa oscureciéndose, mientras que sus aromas continúan mejorándose (Fadai *et al.*, 2018)

La operación de tostado altera las características fisicoquímicas iniciales del café verde, para producir otros componentes organolépticos, como el sabor, la acidez, el sabor residual y el cuerpo del café (Castillo *et al.*, 2016). Sufriendo así un cambio interno ya está conformado por una gran variedad de sustancias químicas, aminoácidos, azúcares, ácidos volátiles y no volátiles, compuestos fenólicos (ácido clorogénico), cafeína, sustancias volátiles, vitaminas, minerales, entre otras (Gotteland & De Pablo, 2007); y a la vez experimenta una variación de su aspecto, aumentando su volumen, cambiando de color y haciéndose quebradizo. Para obtener las máximas cualidades de cada tipo de café; el tueste debe ser específico para cada muestra e incluso para cada variedad (Solà, 2015).

Para establecer el grado óptimo de tostado se han propuesto algunas metodologías que toman en cuenta la pérdida de peso, el contenido de humedad, la degradación del ácido clorogénico entre otros, no obstante este proceso es tan complejo que actualmente se utiliza el color como el primer indicador del nivel de tostado del café (Yang *et al.*, 2016).

Inicialmente los métodos de tostado del café fueron muy rudimentarios puesto que se utilizaban sartenes y planchas sobre el fuego para transmitir calor a los granos verdes, actualmente existen diferentes sistemas de tueste, los más utilizados son por tambor (conducción) y lecho fluido (convección), permitiendo que la operación del tueste sea controlable con resultados estandarizados según las necesidades y preferencias del tostador (Gómez *et al.*, 2018).

La tostadora de tambor es uno de los equipos tradicionales de mayor utilización en el mercado actual, la transferencia de calor de la maquina hacia el grano se realiza por convección y conducción, cuenta con deflectores internos para mezclar el café y aumentar el área de contacto optimizando la transferencia de calor (Rivera, 2017), con este sistema se consigue una gran uniformidad del tueste del grano, tanto en la parte interna como en la superficie (Solá, 2015).

Por otro lado en un tostador de lecho fluido el café está en una cámara estática que tiene perforada únicamente la base, por donde suministra una corriente de aire caliente que pasa a través de los granos a tostar (Rivera, 2017) provocando que el producto se mueva en suspensión. El café es impulsado por una fuerte corriente de aire caliente que fluye del fondo perforado, obligando al café a elevarse por un lateral describiendo una curva o bóveda en la parte superior de la cámara y descendiendo por el lateral opuesto. Durante el proceso, los humos son aspirados y se elimina la cascarilla, que es depositada en un ciclón colector (Solá, 2015).

Observando que las tostadoras de lecho fluido y tambor son las más utilizadas actualmente; esta investigación se centró en describir la evolución de algunos parámetros físico y químicos durante el proceso de tuestión de una misma variedad de café por los dos métodos mencionados, con el objetivo de identificar de la influencia del tipo de tostador en la caracterización fisicoquímica del café; cuantificando la humedad, actividad de agua, color, la cantidad de lípidos, acidez titulable, potencial de hidrogeno (PH), FTIR y descripción de imágenes; además se pretende hallar las diferencias o similitudes mediante análisis estadístico entre muestras evaluadas sensorialmente.

2. Materiales y métodos

2.1 Muestras.

Se utilizaron 36 kilogramos de café pergamino variedad Colombia cultivado en Departamento del Huila-Colombia, en suelos con una altitud entre 1800-1900 msnm, temperatura promedio de 27.9 °C y Humedad relativa: 55.3%.

Una vez verificado que el café cumpliera con la humedad adecuada entre el 10% y el 12%, se trillo y tamizo con el propósito de garantizar homogeneidad de tamaños en la muestra, luego se limpió retirando los granos defectuosos e impurezas que trajera consigo el café, posteriormente se inició el proceso de tuestión del café.

2.2 Tostión de las muestras

La primera tuestión se realizó en una tostadora de lecho fluido marca INGESEC (ING-ROST-12) ubicada en la empresa Mild Coffee Company Huila; para ello se utilizaron dos lotes de 12 kilogramos cada uno, el proceso de tostado tuvo una duración aproximada de 14 minutos; la temperatura inicial fue de 80°C, alcanzando una temperatura máxima de 205°C al finalizar el proceso. El tostado se realizó según la curva de tuestión que utiliza habitualmente la empresa.

Para la segunda tuestión se utilizó una máquina de tambor rotatorio TC 150R (Quantik, Colombia) presente en el laboratorio de CESURCAFE (Centro Surcolombiano de Investigación en Café), se necesitaron 12 lotes de café de 100gr cada uno, se inició la tuestión con una temperatura de 170°C y finalizo en 169°C. El proceso duro aproximadamente 12 minutos. La tuestión se realizó por duplicado.

2.3 Análisis fisicoquímicos

2.3.1 Color

Para la obtención de las coordenadas colorimétricas del sistema CIE L*a*b* del color se utilizó un colorímetro Konica Minolta (CR-410, N.J. USA) previamente calibrado, siguiendo la metodología descrita por Bahamon *et al.*, (2018). Este ensayo se realizó por triplicado para ser más confiable el análisis estadístico.

2.3.2 Lípidos

El contenido de grasa total se obtuvo por medio del Analizador de grasas marca SOXTEC 2048. Expresados en porcentaje de lípidos en base seca. De acuerdo con la norma AOAC (996.01, 1997).

2.3.3 Potencial de hidrogeno (pH)

El pH se determinó siguiendo la metodología planteada por Tawfik y El Bader (2005) citada por Kipkorir *et al.*, (2015). Se tomaron 5 gramos de café molido, luego se mezcló con 20 ml de agua destilada a 80°C, posteriormente se dejó reposar la muestra hasta una temperatura de 25°C y finalmente con el potenciómetro (BP-3001 fabricado por Trans Instruments, Singapur) se realizó la medición del PH.

2.3.4 Contenido de humedad

Se determinó la humedad mediante el método gravimétrico. Se depositaron 5 gramos de café en grano sobre recipientes previamente pesados, que posteriormente se llevaron al horno a una temperatura promedio de 105°C durante 24 horas; al terminar dicho tiempo se pesaron y registraron los pesos finales de las muestras y contramuestras; se procedió a calcular el porcentaje de humedad presentes en los granos por medio de la ecuación 1.

$$\% H_{bs} = \frac{(P_i - P_f)}{P_f} * 100 \quad (1)$$

2.3.5 Actividad de agua

Se utilizó el equipo Vapor Sorption Analyzer (VSA) (AquaLab, USA) para determinar la actividad de agua (a_w), inicialmente se limpió el equipo, seguidamente se tomó una muestra de café en grano la cual se depositó en la tara del equipo procurando cubrir totalmente la base del recipiente con el propósito que no quedaran espacios vacíos, por último se realizó la medición (a_w) (Bahamon *et al.*, 2018). Este ensayo se realizó por triplicado.

2.3.6 FTIR (espectrometría infrarroja de transformada de fourier)

Para realizar las mediciones del espectro infrarrojo se utilizó un espectrofotómetro FTIR Cary 630 (Agilent, USA), entre las longitudes de onda 4100-650 (cm⁻¹) con una resolución de 4 cm⁻¹ y 16 escáneres. Se tomó alrededor de un gramo de muestra posteriormente se colocó en el lente del equipo y se presionó, finalmente se realizó la medición. Estas se efectuaron en una atmósfera controlada y seca a temperatura ambiente (25 ± 0,5 ° C). Las mediciones fueron realizadas por triplicado.

2.3.7. Densidad

La densidad se determinó por el método de caída, para ello se tomó un recipiente limpio y aforado, seguidamente se dejaron caer libremente los granos de café hasta que estos ocuparan un determinado volumen, luego se pesaron por medio de una balanza analítica y finalmente la densidad se expresó en masa/volumen (Macías *et al.*, 2002). Estas mediciones fueron realizadas por triplicado.

2.3.8. Acidez titulable.

La acidez titulable se determinó siguiendo el método descrito por Wang, (2012). Se tomaron 10 g de café molido, se mezclaron con 75 ml de etanol al 80% y se mantuvo bajo agitación suave durante 16 h; pasado este tiempo la

mezcla se filtró y se extrajeron 50 ml de la solución, al filtrado se aplicó NaOH 0,1 N hasta llevarlo a un pH 8,2. Expresado en ml de NaOH 0,1N para neutralizar 100g de café tostado. El ensayo se realizó por triplicado.

2.4. Imagen de la superficie del café

Por medio una microcamara de 1000x de zoom, se tomaron fotografía a la superficie del grano, observando sus cambios minuto a minuto durante la tosti3n para cada tostadora (tambor y lecho fluido).

2.5. Análisis sensorial

El análisis sensoria se efectuó siguiendo el protocolo establecido por la SCAA (SCAA, 2015) descrito por Gutierrez & Barrera, (2015); Peña *et al.*, (2013), en el laboratorio de análisis sensorial de CESURCAFÉ.

2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron por un test de ANOVA multifactorial por medio del aplicativo estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.03 (StatPoint Thechnologies, USA). Determinado si existen diferencias estadísticamente significativas entre la tostadora tradicional de tambor y de lecho fluido.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Curva de tosti3n

En la figura 1, se muestra la evoluci3n de la temperatura en funci3n del tiempo durante el proceso de tosti3n de café de una misma variedad en dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor (conducci3n) y tostadora de lecho fluido (convecci3n).

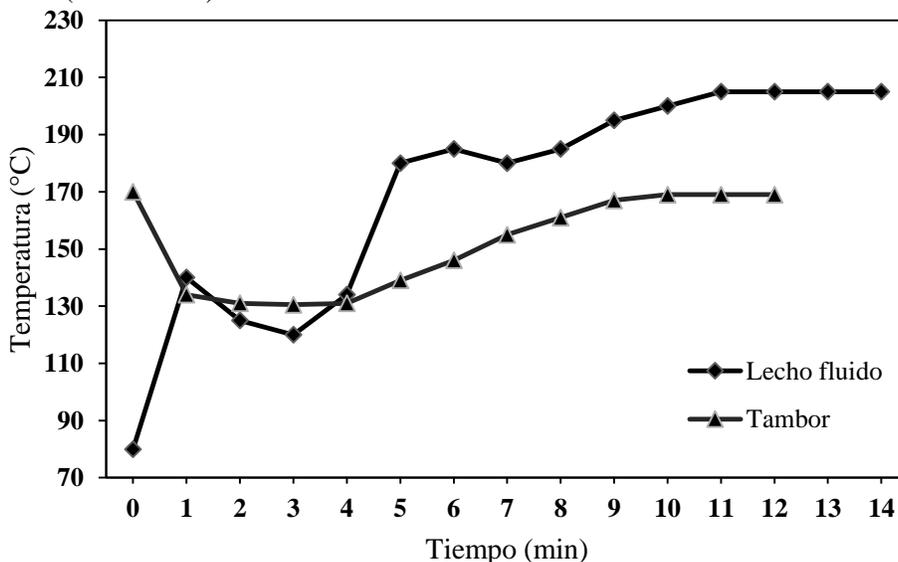


Figura 1. Evoluci3n de la temperatura en funci3n del tiempo durante el proceso de tosti3n del café de una misma variedad en dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor y tostadora de lecho fluido.

En la figura 1, se observa que la forma de aplicaci3n de la temperatura es distinta en los dos sistemas de tosti3n; la máquina de lecho fluido inicia con una temperatura de 80 °C, del minuto 0 al 1 aumenta hasta 140 °C y luego de

llegar a esta temperatura inicia un descenso hasta un valor de 120 °C en el minuto 3, esto es debido a que los granos están absorbiendo la energía y expulsando principalmente vapor de agua, a partir de este minuto y hasta el 5 se evidencia un aumento de la temperatura de aproximadamente 60 °C pasando de 120 a 180 °C en dos minutos; el proceso continua incrementando levemente su temperatura hasta finalizar el tostado del grano con una temperatura de 205 °C. Por su parte la máquina de tambor, inicia con una temperatura alta de 170 °C y desciende en el tercer minuto hasta un valor aproximado de 130 °C, ya que los granos están perdiendo humedad y absorbiendo la energía en forma de calor. A partir del minuto 4 la temperatura vuelve a aumentar, en este momento inicia la fase de caramelización donde las reacciones químicas comienzan, generando el color, el sabor y los aromas típicos de los granos de café, hasta aproximadamente el minuto 8 donde ocurrió el “primer crack” es aquí donde se produce la tosti3n del grano, desde este momento la temperatura tiende a estabilizarse cerca de los 169 °C; y el café continua con su desarrollo, mejorando los sabores progresivamente hasta que el café alcance el nivel de tueste deseado por el tostador.

3.2. Caracterizaci3n fisicoquímica:

En la figura 2, se observa la variaci3n del contenido de humedad y actividad de agua (a_w) en el café durante el proceso de tosti3n.

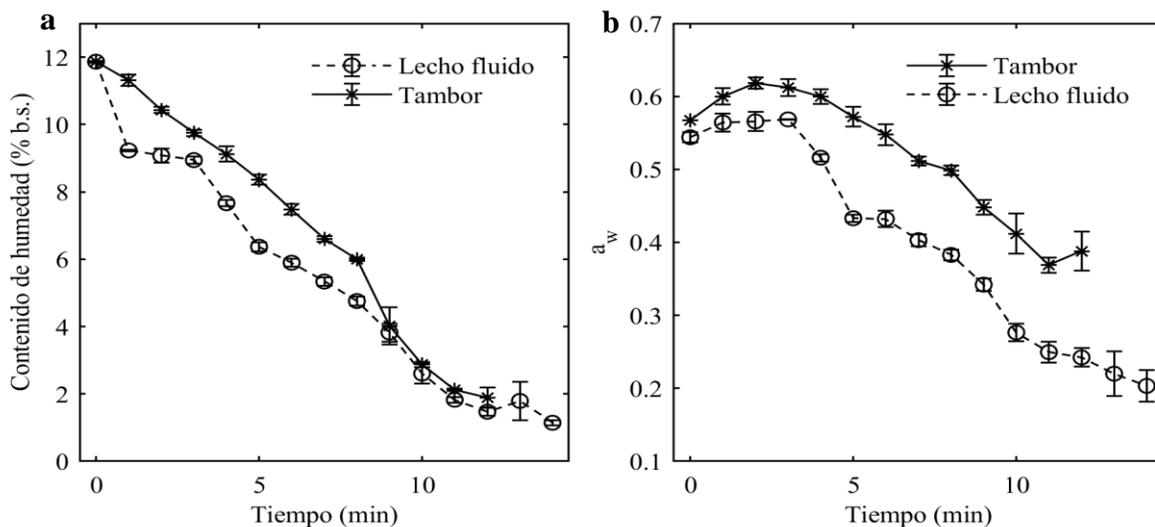


Figura 2. Evoluci3n del a) Contenido de humedad y b) Actividad de agua en el proceso de tosti3n por dos métodos (tambor y lecho fluido).

La figura 2a, muestra la disminuci3n continua de la humedad para ambos tratamientos, se encontró que el contenido de humedad para el grano verde fue de 11.86% base seca (bs) y al finalizar el proceso de torrefacci3n se obtuvo un valor de 1.10% bs para la tostadora de lecho fluido y 1.94% bs para la tostadora de tambor. Esta p3rdida de agua ocurre debido a la exposici3n del café a altas temperaturas produciendo principalmente la evaporaci3n del agua contenida y en menor proporci3n a la vaporizaci3n de otros componentes (Castillo *et al.*, 2016); los resultados obtenidos evidencian una adecuada y progresiva deshidrataci3n adem3s que se ajustan a lo descrito por Gareca *et al.*, (2014) quien manifiesta que por lo general la proporci3n del contenido de humedad pasa de 9% a 12% bs en el café verde a un valor de 1% a 3% bs en el café tostado. En los primeros minutos (1-8) el grano experimentó un descenso pronunciado de la humedad puesto que existe una mayor cantidad de agua disponible, hasta el octavo minuto donde se inició una tendencia de estabilizaci3n, alrededor de este tiempo se presentó el primer crack en la tostadora de tambor, sin embargo por las características y naturaleza de la tostadora de lecho fluido no se pudo determinar en qué momento inician los procesos de pirolisis.

En la figura 2b, se observa la variación de la actividad de agua para el café, que en los primeros minutos (1-3) la a_w aumenta, esto puede deberse a que el agua está migrando desde la parte interna del grano hasta la parte exterior para ser evaporada, producto del aumento de la temperatura; a partir del minuto 4 existió una disminución continua del agua disponible en el grano ya que a medida que transcurre el proceso de tuestión el grano se va deshidratando. Antes de iniciar el proceso de tuestión el café presentó una a_w que oscilaba entre 0.54 - 0.57 que según Puerta, (2006) estos valores se encuentran entre el rango ideal para impedir el deterioro apresurado del café verde, sin embargo se encuentran ligeramente por debajo de lo encontrado en la literatura ya que el rango reportado oscilaba entre 0.6 y 0.67; al finalizar el tuestado el tratamiento de lecho fluido obtuvo 0.22 y 0.38 para tambor. Tanto la humedad y la a_w registraron valores inferiores en la tostadora de lecho fluido, esto probablemente es debido a que la máquina trabaja con temperaturas más altas.

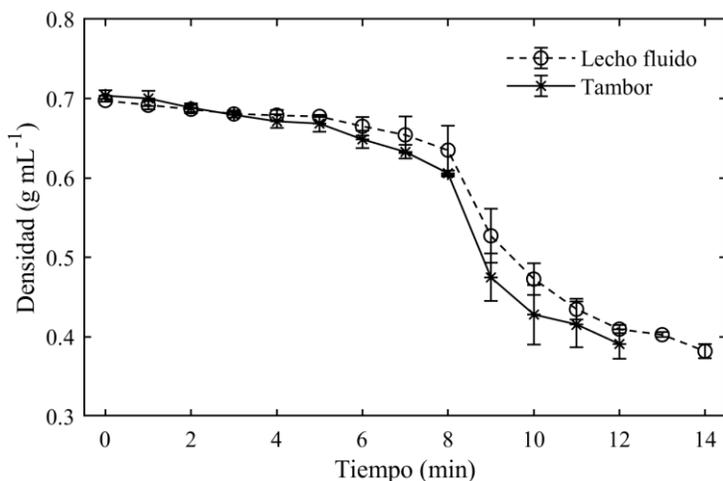


Figura 3. Evolución de la densidad durante el proceso de tuestión en dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor y tostadora de lecho fluido.

En la figura 3, se observa la disminución continua de la densidad de los granos de café a medida que se van tostando. Desde el primer minuto existe un descenso paulatino de la densidad del grano de café, esto se debe a que la densidad depende de forma directa de la humedad (Macías y Riaño, 2002) y durante el proceso de tuestado, el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂) y algunos compuestos volátiles crean un ambiente de alta presión, que produce un adelgazamiento en las paredes celulares (Rodríguez, 2010), lo que genera una deformación en dichas células ocasionando un aumento del volumen del grano y sus microporos (Díaz y Vázquez, 2011). Se destaca el octavo minuto pues existió un descenso pronunciado de la densidad pasando de $0.625 \pm 0.0186 \text{ g mL}^{-1}$ a $0.505 \pm 0.0384 \text{ g mL}^{-1}$ para los dos tratamientos, luego de este minuto el café continúa disminuyendo paulatinamente su densidad hasta que se terminó el tuestado del grano. El valor de la densidad para el café verde fue de 0.70 g mL^{-1} , este valor se encuentra en el rango reportado por la literatura ya que este oscila entre 0.70 y 0.73 g mL^{-1} (Macías y Riaño, 2002); al terminar el proceso de tuestión se registraron densidades de 0.370 g mL^{-1} y 0.40 g mL^{-1} para la tostadora de lecho fluido y tambor respectivamente, lo que se ajusta a las investigaciones anteriores ya que se reportan densidades desde 0.27 hasta 0.40 g mL^{-1} para café tuestado.

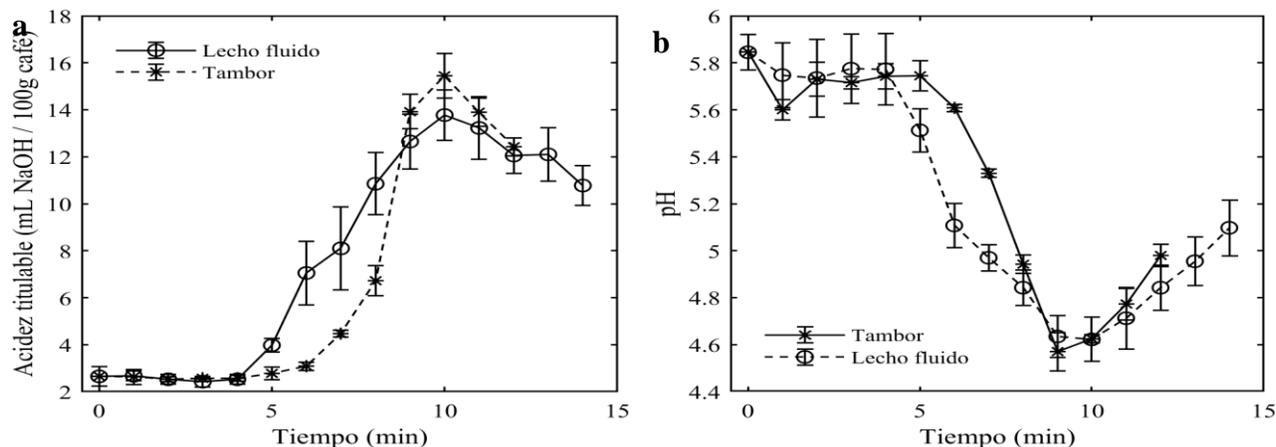


Figura 4. Evolución del a) Acidez titulable y b) pH en el proceso de tuestión por dos métodos (tambor y lecho fluido)

Analizando la figura 4, se observa una tendencia inversamente proporcional, ya que del minuto 0 hasta el 9 la acidez aumenta mientras que el pH disminuye, posterior a este instante la acidez inicia a disminuir mientras el pH aumenta; este fenómeno también lo reporto (Cuellar y Cataño, 2001, Gloes *et al.*, 2013).

En la figura 4a, se encuentra representada la evolución de la acidez en el proceso de tuestión, la gráfica muestra el aumento progresivo para los dos tratamientos pues inicia con un valor de 2.65 ml NaOH/100 gr Café, del minuto 1 al 4 se observa que los valores son constantes, a partir del minuto 5 inicia a aumentar hasta alcanzar su valor máximo alrededor del minuto 10 con valores de 13.77 ml NaOH/100 gr Café para el café tostado en la tostadora de lecho fluido y 15.45 ml NaOH/100 gr Café para el café tostado en la tostadora de tambor, posteriormente inicio a disminuir alcanzado un valor final de 10.77 ml NaOH/100 gr Café y 12.33 ml NaOH/100 gr Café. Santos *et al.*, (2016) afirman que el cambio inicial en la acidez de los granos de café verde puede deberse a la formación de ácidos alifáticos a un nivel máximo y que la disminución posterior de la acidez titulable puede ocurrir gracias a la disminución en la concentración de ácidos orgánicos. Adicionalmente, es importante resaltar que la acidez está relacionada a la presencia del ácido clorogénico, este es el ácido más predominante en el café. Solís (2005).

En la figura 4b, se observa el comportamiento del pH el durante el proceso de la tuestión. El café almendra verde obtuvo un valor de 5.85, los primeros minutos (1-5) los valores se mantienen estables, luego del minuto 5 los tratamientos presenta una disminución pronunciada alcanzado valores de $4,6 \pm 0,067$ en el minuto 9, posterior a este instante inicia una tendencia de aumento hasta al finalizar el proceso de tostado; el grano registró un pH de 5.36 y 4.99 para la tostadora de lecho fluido y tambor respectivamente. Cabe resaltar que el pH inicial de la almendra verde esta levemente por encima de los valores encontrados por la literatura cuyo rango oscila entre 4.4 y 5.5 (Gareca *et al.*, 2014) sin embargo al someter al grano a las altas temperaturas se observa una disminución del pH donde a partir del minuto 6 y 7 ya los valores se ajustan a la norma, esto está posiblemente asociado a la descomposición del ácido quínico formando quinol, pirogalol y otros compuestos (Dos Santos *et al.*, 2007).

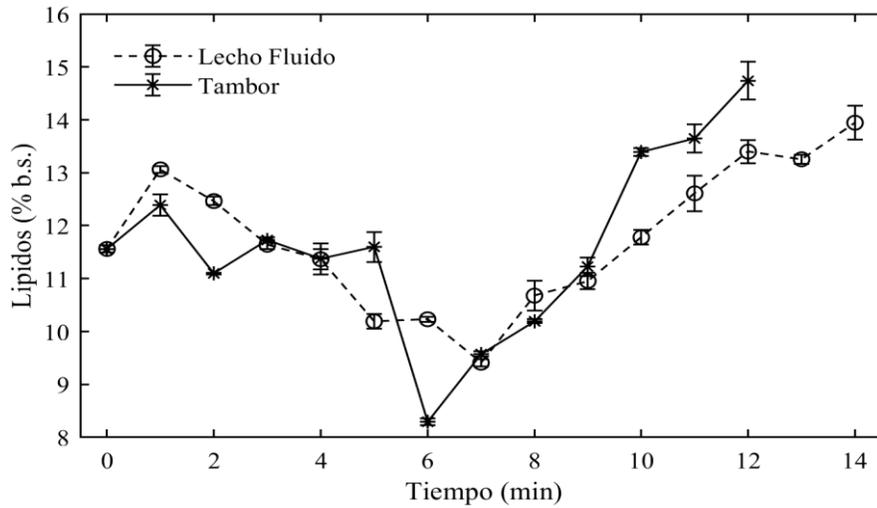


Figura 5. Evolución de los lípidos en el proceso de tuestión de una misma variedad de café en dos tipos diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor y tostadora de lecho fluido.

El contenido en lípidos totales se muestran en la figura 5, en los minutos iniciales el contenido de lípidos disminuye hasta aproximadamente el minuto 6 donde su porcentaje inicia a aumentar. Los valores encontrados estuvieron dentro de los rangos mencionados por la literatura, ya que el porcentaje de lípidos según Wei y Tanokura, (2015) es de 9 a 13 % base seca (bs) para el grano de café verde y de 11 a 16 % bs para el café tostado. En el presente estudio el café almendra verde registro un valor de lípidos de 11.28 % bs mientras que el porcentaje de lípidos obtenidos después de la torrefacción en la tostadora de tambor es ligeramente mayor (14.43 % bs) que el alcanzado por la tostadora de lecho fluido (14.19% bs) encontrándose así dentro del valores reportados por Díaz y Riaño, (2017). Luego de la tuestión el valor de lípidos totales aumentó levemente, ya que no se esperaba que el porcentaje de lípidos cambiara considerablemente puesto que parte de los ácidos grasos se incrementan, algunos disminuyen y gran parte de los lípidos que se encuentran en el grano de café no se degradan durante el proceso de tuestión (Craig, *et al.*, 2012a).

Figura 6. Cambio de color experimentado por el café variedad Colombia durante el proceso de tuestión realizado por dos tostadoras diferentes de tostadoras, tostadora tradicional de tambor y tostadora de lecho fluido.

a) Lecho fluido



b) Tostadora de tambor



Durante el proceso de tuestión del café, el grano experimenta un cambio de color causado por las reacciones químicas relacionadas a la presencia del calor; como la reacción de Maillard, que es un proceso de oscurecimiento no enzimático, donde el azúcar reductor reacciona con los aminoácidos (Rodríguez, 2010). Inicialmente el café presentaba una tonalidad verdosa o grisácea como se puede observar en la figura 6, mostrando una forma planoconvexa que según (Henao, 2015) son las características de un café almendra de buena calidad, en los primeros minutos (1-4) se registraron los valores más altos de luminosidad L^* con valores cercanos a 40, alrededor del minuto 4-5 el café fue tomando un color verde amarillento, mientras avanza el proceso el color sigue oscureciéndose ligeramente pasando a castaño claro, debido a la vaporización del agua y mientras las reacciones de pirólisis comienzan a ocurrir, (Wang, 2012) a partir del minuto 7 y 8 para la tostadora de lecho fluido y tambor, se observa un oscurecimiento gradual más pronunciado de los granos donde adquieren ese color oscuro que los caracteriza, adicionalmente la acumulación de presión del agua y gases, causan que la pared celular del grano se agriete, dando lugar al llamado “primer crack”, a medida que el calentamiento continúa el café se vuelve más oscuro y aumenta su volumen (Wang, 2012).

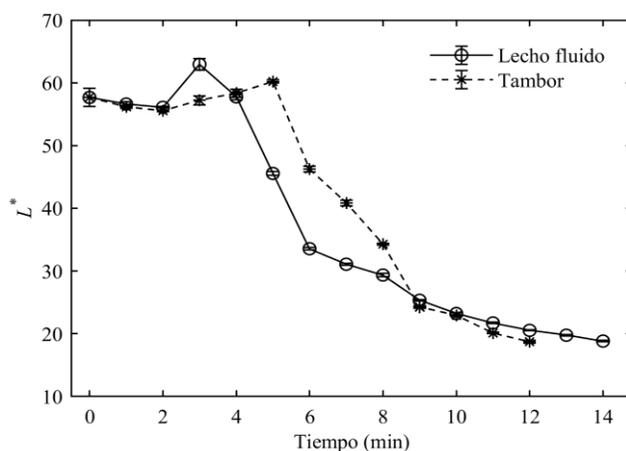


Figura 7. Evolución de las coordenadas de luminosidad (L^*) durante el proceso de tuestión del café de una misma variedad en dos tipos diferentes de tostadoras.

En la figura 7 observa el descenso de la luminosidad del café lo que indica que existió un oscurecimiento progresivo durante el proceso de torrefacción hasta obtener el producto final debido a la caramelización de los azúcares y reacciones de Maillard (Oliveira *et al.*, 2014). En los primeros minutos (0-4) para la tostadora de tambor y (0-5) para la tostadora de lecho fluido, el café experimentó un cambio de color de verdosa o grisácea a verde amarillenta lo que significó un leve aumento de la coordenada de luminosidad (L^*) alcanzado valores cercanos a $L^* \approx 40$; posteriormente entre el minuto 5 y 9 los granos se oscurecieron rápidamente obteniendo así valores cercanos a $L^* \approx 26$. Al finalizar el proceso de tuestión el grano de la tostadora de lecho fluido obtuvo un valor de luminosidad de $L^* = 18,7$ muy similar al conseguido por la tostadora convencional de tambor $L^* = 18,93$ según la NTC (Norma Técnica Colombiana) 2442 lo define como un tueste medio ya que se encuentra entre los valores de $18,5 \leq L^* \leq 21,5$.

3.2. FTIR

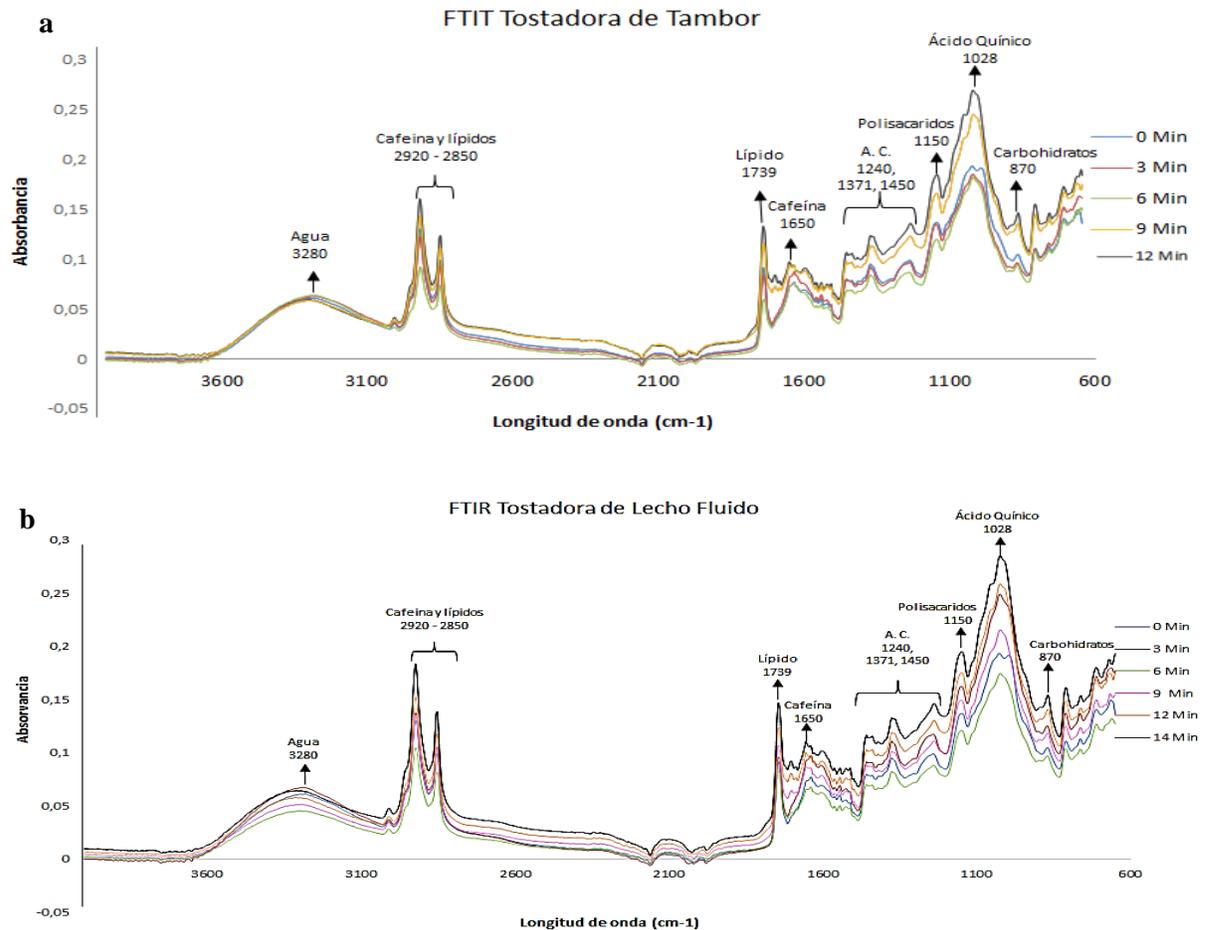


Figura 8. Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) de la evolución las muestras de café tostadas por dos métodos a) Tambor b) Lecho fluido (longitud de onda de 600 a 4000).

En la figura 8 se puede observar el resultado de la superposición de los espectros obtenidos en los diferentes tiempos de tostión. Los resultados registrados de absorbancia para las diferentes longitudes de onda son similares a los encontrados por Craig et al., (2014). Se observa que los espectros aumentan su intensidad en valor de absorbancia a medida que el tiempo de tostión aumenta, esto debido a la formación de compuestos químicos en el proceso de caramelización en la reacción de Maillard entre azúcares y aminoácidos presente en el café (Oliveira *et al.*, 2014).

Se observó una excitación en la banda 3280 cm^{-1} que está relacionada a los grupos hidroxilos (O-H) pertenecientes al agua, ambas tostadoras (por conducción y convección), poseen comportamientos y valores de absorbancia muy similares. Las bandas asociadas entre 2920 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} pueden asociarse a compuestos combinados de cafeína y los lípidos (Cremer y Kaletunç, 2003); (Craig, *et al.*, 2012^b). La cafeína se expresa gracias al estiramiento asimétrico y simétrico de los enlaces C – H y está representada por las bandas $1650\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$, donde para ambos tipos de tostadoras en el minuto 14 para lecho fluido y 12 para tambor registraron el mayor nivel de absorbancia, sin embargo no se registraron variaciones significativas durante el proceso de tostado ya que según, (Vasconcelos et al., 2007) citado por (Craig *et al.*, 2012^a) no se espera que los niveles de cafeína y lípidos cambien considerablemente durante el proceso de tostión. Se registró un pico de absorbancia en la banda 1739 relacionada con el estiramiento C=C de lípidos (Hennessy et al. 2009); (Wang, 2012) y con la vibración del estiramiento del enlace C=O (Mondragón Cortez, 2017) del grupo éster en triglicéridos o en ésteres alifáticos (Craig, *et al.*, 2012^a)

Según (Clifford *et al.*, 2008); (Craig, *et al.*, 2012^a) cuando las regiones de 1450–1000 cm^{-1} y 1300–1150 cm^{-1} son excitadas se atribuyen a la presencia de los ácidos clorogénicos que representan una familia de ésteres. La literatura menciona que los ácidos clorogénicos tienden a disminuir al tostarse (Farah *et al.*, 2006, Franca *et al.*, 2005), sin embargo los más altos niveles de absorbancia se registraron cuando el café ya se encontraba bien tostado. Este mismo comportamiento ocurrió en la banda a 1153 cm^{-1} , asociado con los polisacáridos.

Algunos compuestos que son importantes ya que definen características organolépticas propias del café, como los esteres entre ellos lo esteres de ácidos grasos (1741 cm^{-1}) que proporcionan aromas más suaves y más frutales, las cetonas (1718-1707 cm^{-1}) y aldehídos que producen olores fuertes, como frutas cocidas, frutos secos, leñosas, pepinos, etc... Los ácidos como los ácidos aromáticos (1697 cm^{-1}) contribuyentes a los aromas similares al vinagre, el chocolate y los atributos de caramelo”. (Ginz *et al.* 2000, Lyman *et al* 2003); (Wang, 2012)

3.3. Análisis Sensorial

En la figura 9 se pueden observar el puntaje promedio que obtuvo el café en los distintos atributos evaluados siguiendo la norma SCAA. El café tostado con la tostadora convencional de tambor presento mejores propiedades organolépticas que el café tostado en la máquina de lecho fluido. Es importante mencionar que el grado de tosti3n se determinó comparando las coordenadas de luminosidad (L^*) con la norma NTC 2442.

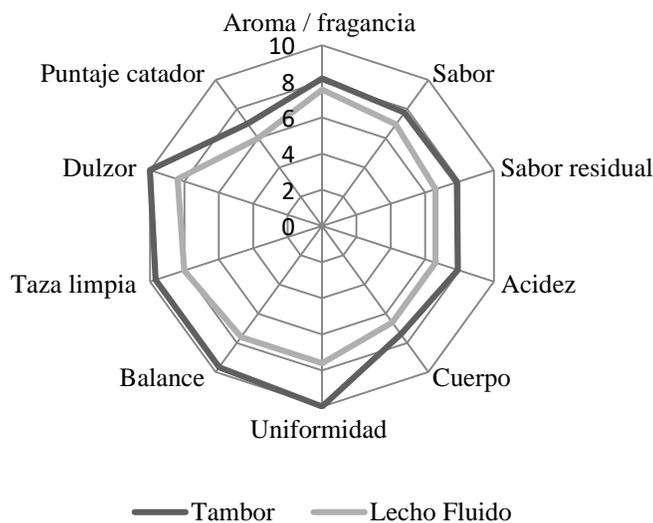


Figura 9. Perfil sensorial de las muestras de café de una misma variedad tostados en diferente maquina (Lecho fluido y Tambor)

El café tostado en la tostadora de tambor obtuvo mayor valoración sensorial en todos los atributos por parte de los jueces catadores, se destacó debido a su taza limpia, buen balance y buena uniformidad como se observa en la figura 9. Esta muestra obtuvo un puntaje de 85,17 según el protocolo SCAA clasificándolo dentro del rango de cafés especiales con una calidad excelente, mientras el grano tostado en lecho fluido alcanza un puntaje de tan solo 72,2 clasificándolo así dentro de la categoría de cafés no especiales con una calidad regular. Esto puede deberse a

que la calidad final de la bebida de café tostado se ve altamente influenciada por los sistemas de tostión, los perfiles de tiempo y las temperaturas utilizadas. (Wang, 2012).

Los dos cafés poseen características similares ya que los catadores percibieron notas dulces, chocolate, mentolado en ambas muestras; sin embargo el café de la tostadora de tambor se destacó por poseer mejores atributos ya que presentó notas cítricas, miel, caramelo, afrutado, aromáticas, fresco, melón, con un cuerpo medio, dulce, cremoso, un sabor residual pronunciado un poco manchoso, seco y una acidez media-media, mientras el café de lecho fluido lo describieron con notas secas, maní, fermentado, tostadas, ahumado, cebolla, picante, quemado, algo cítrico, costal, cerealoso, presentando un residual pesado, con un cuerpo pesado astringente y una acidez baja-media.

Características como el pH y la acidez pueden influir en la calidad de una taza de café sensorialmente, en esta investigación el café de tambor registró un pH de 4,99 mientras que el de lecho fluido 5,36 según Gareca *et al.*, (2014) se ha comprobado que el pH del café está relacionado con la acidez percibida en taza, encontrando que un pH entre 4.9 y 5.2 es el rango favorito para una buena taza de café (Food-Info, 1999), con un pH menor del 4,9 el café adquiere sabor demasiado ácido y con un pH 5,2 es más amargo (Estévez, 1993).

A su vez los lípidos son considerados importantes por ejercer un efecto positivo sobre el aroma y el sabor de la bebida de café, durante el proceso de torrefacción los lípidos se concentran en la parte externa del grano evitando así grandes pérdidas de compuestos volátiles (Villareal *et al.*, 2012). El porcentaje de lípidos es ligeramente mayor en la tostadora de tambor (14,43 %) que en la de lecho fluido (14,19%).

Según lo expresado anteriormente el café tostado con la máquina de tambor posee el pH óptimo para una buena taza de café y un porcentaje de lípidos mayor, que puede influir positivamente en la taza de café como se observó en el análisis sensorial. Lo encontrado en este estudio difiere con lo reportado por (Wang, 2012) quienes mencionan que un tostador de tambor que involucran la transferencia de calor por conducción y convección conlleva a un sabor más quemado y una mayor pérdida de compuestos volátiles que los tostadores de lecho fluidizado (Nagaraju *et al.* 1997).

Al realizar el análisis multifactorial con los valores F-ratio y niveles de confianza (Tabla 1.) se pudo observar que el proceso de tostado presentó diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de la humedad, actividad de agua densidad con un nivel de confianza 99,9 %. Por otro lado el factor tiempo de tostado presenta diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros con ($p < 0.001$). Se debe tener en cuenta que los tiempos de tostado son diferentes según el tipo de tostadora, la tostadora de lecho fluido duro 14 minutos en finalizar el proceso, mientras la tostadora de tambor tuvo una duración de 12 minutos; para realizar el análisis estadístico se estandarizaron los tiempos para las dos máquinas tostadoras a 12 minutos, esto pudo haber afectado los resultados mostrados.

Tabla 1. Valores F-ratio y niveles de importancia obtenidos en ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos según los factores: proceso de tostado (PT) y tiempo de tostado (T).

	PT	T
<i>Humedad (% bs)</i>	160,22***	512,07***
<i>Actividad de agua</i>	611,92***	238,21***
<i>Densidad (g/ml)</i>	33,24 ***	520,99***
<i>Acidez titulable (ml NaOH/100 gr Café)</i>	8*	109,37***
<i>pH</i>	11,75**	96,32***
<i>Lípidos (% bs)</i>	5,29*	20,55***

<i>Color L*</i>	10,15*	139,65***
<i>Color A*</i>	11,58**	51,92***
<i>Color B*</i>	1,75 ^{ns}	49,84***

ns: no significant, * p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001.

4. Conclusiones

En el análisis sensorial por la metodología de la SCAA, se observó que el café procesado en la tostadora de tambor obtuvo una mayor calificación por parte de los catadores, clasificándolas dentro del rango de cafés especiales con una calidad “excelente” con un total de 85.17 puntos, con respecto a las muestras procesadas en la tostadora de lecho fluido con una calificación de 12 puntos por debajo; Esta diferenciación en la valoración sensorial puede estar asociada a la dinámica de la aplicación de energía en forma de calor al grano de cada tipo de dispositivo de tueste, las curvas de tueste y las temperaturas utilizadas, además se debe tener en cuenta la capacidad del tostador ya que en la tostadora de lecho fluido se tostaron 12 kg de café mientras en la de tambor tan solo 100 gr de café

El café tostado en la tostadora de tambor presento un pH dentro de los rangos que favorecen una buena taza de café asimismo un contenido de lípidos mayor, esto puede influir de forma positiva en el sabor y aroma de la taza.

Al realizar la caracterización fisicoquímica del café verde al tostado se observó que la mayoría de parámetros evaluados se encontraban dentro de los rangos adecuados encontrados en la literatura. La humedad, actividad de agua, acidez titulable, densidad, pH sufrieron cambios significativos durante el proceso. Los cambios que se pueden observar a simple vista es el color de grano ya que pasa de verde grisáceo a marrón oscuro.

Los Espectros infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR) permitieron identificar los diferentes compuestos presentes en el café; se destaca que las mayores absorbancias se presentaron en el café tostado en ambos tratamientos además se pudo diferenciar el momento del crack en la tostadora de tambor.

5. Referencias bibliográficas

Abarca, R., Vargas, E. G., Castillo V. , J., Castro, I., & Herrera, L., 2016. Efecto de la masa sobre el tiempo de tostado en café. XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería. Bogota.

Bahamon, A. F., Parrado, L. X., Gutiérrez, N., 2018. ATR-FTIR for discrimination of espresso and americano coffee pods. *Coffee Science*, 13, 550 - 558.

Castillo, M. A., Muñoz, M., & Engler, F., 2016. Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café. Quito, Ecuador.

Craig, A. P., Franca, A., & Oliveira, L. 2012. Discrimination between defective and non-defective roasted coffees by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy. *LWT*, 505-511. DOI: doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.016

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

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

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

Cuellar, P. C., Cataño, J. J., 2001. Influencia en la materia prima, del grado de tuestión y de molienda en la densidad del café tostado y molido y en algunas propiedades del extracto obtenido. *Cenicafé*.

Diaz Poveda , V. C., & Vazquez Orejarena , E. G. (2011). Determinación de la composición y la capacidad antioxidante de aceites obtenidos por extracción con CO₂ supercrítico de granos de café con diferente grado de tuestión. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander .

Diaz, P., & Riaño, C. (2017). Caracterización de cafés torrefactados, provenientes del ecotopo E-220A. Buesaco y la Union – Depto de Nariño: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Dos Santos, M. H., Lemos, B., Da Silveira, S. M., Patto, C. M., Cação , C. M., 2007. Influência do processamento e da torrefação sobre a atividade antioxidante do café (*Coffea arabica*). Brasil : *Química Nova*.

Echeverri, D., Buitrago, L., Montes, F., Mejía, I., González, M. d., 2005. Café para cardiólogos. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11(8).

Fadai, N., Please, C., Van Gorder, R., 2018. Modelling structural deformations in a roasting coffee bean. *Non-Linear Mechanics*.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 2010 . Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Obtenido de La Importancia del Origen: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/post-cosecha/

Gareca, S., Brizuela , L., Montilla, G., Bianco, H., López , A., 2014. Evaluación de las características físico-químicas de calidad del café verde y molido. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).

Gómez, J., Rojas, E., & Serna, N., 2018. Formulación y evaluación de un plan de negocios para el incremento de las ventas de café tostado ALIED'S . Mexico: Instituto Politecnico Nacional .

Gotteland, M., De Pablo, S., 2007. Algunas verdades sobre el cafe. *Chil Nutr*, 105-115.

Gutiérrez, N., Barrera, O. M., 2015. Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café *Coffea arabica* L. *Revista De Ciencias Agrícolas*.

Gloess, A. N., Schönbächler, B., Klopprogge, B., d'ambrosio, L., chatelain, K., Bongartz, A., Yeretian, C., 2013. Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 236, 607–627.

Gómez, J., Rojas, E., Serna, N., 2018. Formulación y evaluación de un plan de negocios para el incremento de las ventas de café tostado ALIED'S . Mexico: Instituto Politecnico Nacional .

Gotteland, M., De Pablo, S. 2007. Algunas verdades sobre el cafe. *Chil Nutr*, 105-115. DOI: [dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002](https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002)

- Gutiérrez, N., Barrera, O. M. 2015. Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- Henaó, A. J., 2015. Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, H., Diezma, B., Correa, E., 2011. Un buen café: una simbiosis de color y sabor. Universidad Politécnica de Madrid.
- Kipkorir, R., Muliro, P., Muhoho, S., 2015. Effects of coffee processing technologies on physicochemical properties and sensory qualities of coffee. *African Journal of Food Science*, 230-236. DOI: 10.5897/AJFS2014.1221
- Macías Martínez, A., & Riaño Luna, C. E., 2002. Café orgánico: Caracterización, torrefacción y enfriamiento. CENICAFE.
- Mondragón Cortez, P., 2017. Espectroscopia de infrarrojo para todos y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Jalisco, México.: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
- Oliveira, G., Corrêa, P., Santos, F., Vasconcelos, W., Júnior, C., Machado, F., Vargas, G., 2014. Caracterização física de café após torrefação e moagem. *Ciências Agrárias*, 1813-1828.
- Prieto, Y., 2002. Caracterización física de café semitostado. Bogotá: Fundación Universidad de América .
- Puerta, G. I., 2011. Composición química de una taza de café. Chinchiná, Caldas: Cenicafé.
- Peña, N., Barrera, O., Gutiérrez, N., 2013. Efectos del tiempo de fermentación sobre la calidad en taza del café (*coffea arabica*). *Ingeniería y Región*, 111-116.
- Puerta, G. I., 2006. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Chinchiná, Caldas: CENICAFE.
- Rivera, S. J., 2017. Estudio de la influencia del método de tuestión en la calidad sensorial del café. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, M., 2010. La física y química en el tueste del café . España: Fórum Cafe .
- Santos, J. R., Lopo, M., Rangel, A., & Almeida Lopes, J., 2016. Exploiting near infrared spectroscopy as an analytical tool for on-line monitoring of acidity during coffee roasting. *Food Control*, 408-415. [dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.007](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.007)
- Solà, A., 2015. Tostado y molido del Café. España .
- Valencia, J., Pinzón, M., & Gutiérrez, R., 2015. Caracterización fisicoquímica y sensorial de tazas de café producidas en el departamento del quindío. *Revista Alimentos Hoy*, 150-156.
- Villarreal, D., Baena, L. M., Posada, H. E., 2012. Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de *coffea arabica* cultivadas en Colombia . *Cenicafé*, 19-40.

Wang, N., 2012. Physicochemical Changes of Coffee Beans During Roasting. Ontario, Canada: University of Guelph.

Wei, F., & Tanokura, M., 2015. Chemical changes in the components of coffee beans during roasting. Elsevier. DOI:[dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3)

Yang, N., Liu, C., Liu, X., Kreuzfeldt Degn, T., Munchow, M., & Fisk, I., 2016. Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. Food Chemistry, 206-214. DOI: doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.124