



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 20 de octubre del 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Neiva

El suscrito:

David Alejandro Ortiz González, con C.C. No. 1075304165.

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Evaluación de parámetros fisicoquímicos de café arábigo secado por luz directa y en sombra.

presentado y aprobado en el año 2021 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: David Alejandro Ortiz González

Firma:

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación de parámetros fisicoquímicos de café arábigo secado por luz directa y en sombra.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ortiz González	David Alejandro

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

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2021

NÚMERO DE PÁGINAS: 14

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas: Fotografías: Grabaciones en discos: Ilustraciones en general: Grabados:

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.



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. Secado solar	Solar drying	6. Cafeína	Caffeine
2. Café natural	Natural coffee		
3. Café lavado	Washed coffee		
4. Ácidos clorogénicos	Chlorogenic acids		
5. Secado bajo sombra	Under shade drying		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El secado del café es un proceso de disminución en el contenido de humedad y la actividad del agua con el fin de asegurar la calidad microbiológica, física y química de los granos. En el presente trabajo evaluó el efecto del secado bajo sol y bajo sombra sobre dos variedades de café (*Coffea arabica* L.) Variedad: Castillo y Caturra. Para esto, se procesaron cerezas de café a través de dos métodos de poscosecha: lavado y natural; posteriormente, las muestras se secaron expuestas al sol y bajo sombra. Obtenido el café pergamino, se realizaron las determinaciones de sólidos solubles, pH, acidez titulable y actividad de agua. Adicionalmente, las muestras se tostaron a 160 y 200 °C durante 6 y 12 minutos, se evaluaron las mismas variables para café verde junto con el contenido de ácidos clorogénico y cafeína. Se encontró que no hay diferencias significativas entre las variedades caturra y castillo para las variables medidas. También se encontró que, para el café tostado, la cafeína respondió aumentando su concentración a medida que aumentaba la temperatura de tueste mientras que los ácidos clorogénicos se comportaron de forma inversa, así sucedió con todas las muestras, independiente de la variedad, el proceso o el tipo de secado.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Coffee drying is a process of decreasing moisture content and water activity in order to ensure the microbiological, physical and chemical quality of the beans. In the present work, he evaluated the effect of drying under sun and under shade on two varieties of coffee (*Coffea arabica* L. Var Castillo and Caturra). For this, coffee cherries were processed through two post harvest methods: washed and natural; subsequently, the samples were dried exposed to the sun and under shade. Once the parchment coffee was obtained, the determinations of soluble solids, pH, titratable acidity and water activity were carried out. Additionally, the samples were roasted at 160 and 200 ° C for 6 and 12 minutes, the same variables were evaluated for green coffee together with the content of chlorogenic acids and caffeine. It was found that there are no significant differences between the caturra and castillo varieties for the measured variables. It was also found that for roasted coffee, caffeine responded by increasing its concentration as the roasting temperature increased, while chlorogenic acids behaved inversely, as it happened with all samples, regardless of the variety, the process or the type of drying.

APROBACION DE LA TESIS:

Nombre Jurado: Víctor Manuel Martínez

Firma:

Nombre Jurado: Orlando Guzman

Firma:

Evaluación de parámetros fisicoquímicos de café arábigo secado por luz directa y en sombra.

Evaluation of physicochemical parameters of Arabica coffee dried by direct light and in shade.

1.David Alejandro Ortiz González

Resumen

El secado del café es un proceso de disminución en el contenido de humedad y la actividad del agua con el fin de asegurar la calidad microbiológica, física y química de los granos. En el presente trabajo evaluó el efecto del secado bajo sol y bajo sombra sobre dos variedades de café (*Coffea arabica* L.) Variedad: Castillo y Caturra. Para esto, se procesaron cerezas de café a través de dos métodos de poscosecha: lavado y natural; posteriormente, las muestras se secaron expuestas al sol y bajo sombra. Obtenido el café pergamino, se realizaron las determinaciones de sólidos solubles, pH, acidez titulable y actividad de agua. Adicionalmente, las muestras se tostaron a 160 y 200 °C durante 6 y 12 minutos, se evaluaron las mismas variables para café verde junto con el contenido de ácidos clorogénico y cafeína. Se encontró que no hay diferencias significativas entre las variedades caturra y castillo para las variables medidas. También se encontró que, para el café tostado, la cafeína respondió aumentando su concentración a medida que aumentaba la temperatura de tueste mientras que los ácidos clorogénicos se comportaron de forma inversa, así sucedió con todas las muestras, independiente de la variedad, el proceso o el tipo de secado.

Palabras clave: Secado solar, secado bajo sombra, café lavado, café natural, ácidos clorogénicos, cafeína.

Abstract

Coffee drying is a process of decreasing moisture content and water activity in order to ensure the microbiological, physical and chemical quality of the beans. In the present work, he evaluated the effect of drying under sun and under shade on two varieties of coffee (*Coffea arabica* L. Var Castillo and Caturra). For this, coffee cherries were processed through two post harvest methods: washed and natural; subsequently, the samples were dried exposed to the sun and under shade. Once the parchment coffee was obtained, the determinations of soluble solids, pH, titratable acidity and water activity were carried out. Additionally, the samples were roasted at 160 and 200 ° C for 6 and 12 minutes, the same variables were evaluated for green coffee together with the content of chlorogenic acids and caffeine. It was found that there are no significant differences between the caturra and castillo varieties for the measured variables. It was also found that for roasted coffee, caffeine responded by increasing its concentration as the roasting temperature increased, while chlorogenic acids behaved inversely, as it happened with all samples, regardless of the variety, the process or the type of drying.

Key words: Solar drying, drying under shade, washed coffee, natural coffee, chlorogenic acids, caffeine.

1. Introducción.

Actualmente, el café es la segunda materia prima más comercializada a nivel mundial después del petróleo (Janissen & Huynh, 2018). El café pertenece a la familia rubiaceae y al género *Coffea*, existen dos especies con importancia económica en el mundo: *Coffea arábica* L. y *C. canephora* (Silva et al., 2006). El café de la especie *C. arabica* presenta aroma y acidez pronunciadas, mientras que la variedad robusta de *C. canephora* caracteriza por tener mayor cuerpo. El 80 % de la producción mundial corresponde a la especie arábica que se cultiva principalmente en Centro América, Colombia, Brasil y en otros países como la India, Kenia y Etiopía. Mientras que la mayoría del café de la especie *C. canephora* se cultiva en África, Indonesia y Brasil.

Debido a su buen perfil sensorial, el café colombiano se posiciona como uno de los mejores cafés del mundo, más del 90% de su producción se destina a la comercialización internacional, el café también es el primer producto agrícola de exportación en Colombia y fuente de ingreso para más de 560.000 familias que dependen directamente de la producción, procesamiento primario y venta de café en el mercado nacional. (Gutiérrez Guzmán et al., 2020). El 96% del total de los caficultores del país tienen plantaciones de café de menos de 5 hectáreas y el tamaño promedio de los cultivos de café en el país apenas supera 1.6 hectáreas (Leibovich, J. et al., 2008); esta estructura de la caficultura colombiana, así como las buenas prácticas durante la producción, cosecha y poscosecha son factores que contribuyen a que el Café de Colombia mantenga su tradición de calidad.

La transformación del café cereza en café pergamino seco se denomina beneficio del café. Existen principalmente dos métodos: vía húmeda y vía seca. En Colombia dicho proceso se realiza tradicionalmente por vía húmeda (Puerta, G. I. et al., 2016). Los cafés que no se benefician de forma húmeda son llamados también cafés de “Proceso” y suelen ser particulares en su perfil sensorial, lo que los hace atractivos para el consumidor, además de ser más amigables con el medio ambiente debido a que se requieren pequeñas o nulas cantidades de agua para su beneficio.

El secado es un proceso de remoción del agua por medio de calor, dicho proceso puede realizarse bajo plena exposición solar o bajo sombra, cuando se seca bajo sombra la temperatura suele ser menor por lo cual el proceso de extracción del agua en el grano es más lento si se compara con el proceso de secado a exposición solar plena, por otro lado, se ha comprobado como las condiciones ambientales, incluida la sombra, generalmente influyen en las cualidades físicas y químicas de los granos de café, así como tamaño de grano superior mientras que las altas temperaturas generan un decrecimiento de la materia seca (Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. 2012).

En el beneficio del café, la etapa de secado es la última etapa en la cadena de valor, se debe tener especial cuidado pues el trabajo realizado durante la siembra, cosecha y procesamiento de los frutos puede perderse si el proceso de secado no se realiza correctamente. (Rendón, M. Y., Gratão, P. L., Salva, T. J., Azevedo, R. A., & Bragagnolo, N. 2013). El secado también funciona como proceso de conservación de la calidad microbiológica, física y química del

café para facilitar su almacenamiento y transporte, al disminuir el contenido de humedad y la actividad del agua en el grano.

Para el café el punto de humedad de equilibrio se encuentra de un 10 a 12%. Dentro de los tipos de secado, el secado solar se presenta como una forma viable para que el caficultor, pueda realizar todo el proceso de beneficio en su unidad productiva. Si bien los secadores solares pueden parecer una tecnología muy simple, tiene un impacto positivo de tipo social y económico para el caficultor, debido a que puede usar materiales que encuentra fácilmente en la región para la construcción del secadero, aprovechar la energía del sol y del viento para secar el café sin necesidad de invertir dinero haciéndolo mecánicamente (Soriano, V. M. B. et al., 2003). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue buscar las diferencias o relaciones en las características fisicoquímicas del café para las variedades: caturra y castillo, procesados por vía húmeda y seca, secados al sol y a la sombra. Las variables fisicoquímicas evaluadas durante el secado fueron: el pH, la acidez titulable, la actividad de agua y sólidos solubles, en el café tostado adicionalmente se midió la concentración de ácidos clorogénicos y cafeína.

2. Materiales y métodos.

2.1. Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar. Se utilizaron cerezas de café (*Coffea arabica* L.) variedad: Castillo y Caturra. Se aplicaron dos tratamientos de poscosecha (seca y húmeda) y dos tipos de secado (sol y sombra). Para los granos verdes, se extrajeron tres muestras independientes de cada combinación de tratamiento: *variedad x poscosecha x secado*. Para el café tostado, se adicionaron dos niveles de *tueste* 160, 200 °C, y dos *tiempos* de tostado 6 y 12 minutos.

2.2. Recolección de las muestras

Se recolectaron 60 Kg de café variedad Caturra y 60 Kg de café variedad Castillo en la finca Bellavista, ubicada en la vereda “Quebradon Sur” en el municipio Algeciras, departamento del Huila a una altura entre 1600-1680 msnm. Los granos recolectados manualmente, se seleccionaron de acuerdo a su punto óptimo de madurez (frutos totalmente rojos). 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. Finalmente, las muestras fueron transportadas hasta la planta piloto del Centro Surcolombiano de Investigación en Café, Cesurcafé para realizar la poscosecha.

2.3. Procesamiento de poscosecha (beneficio y secado)

Las muestras se procesaron mediante dos métodos de poscosecha: seco y húmedo. Para el procesamiento en seco, los granos de café cereza se lavaron y se llevaron a secadores

parabólicos expuestos al sol y a la sombra, que presentaron las siguientes condiciones: secador expuesto al sol, temperatura interna promedio 27.26 ± 3.6 °C, HR $75.77 \pm 14.1\%$ y secador bajo sombra 26.89 ± 3.2 °C, HR $76.61 \pm 11.84\%$. Para el tratamiento húmedo, los granos de café cereza se despulparon con una despulpadora de Promain Ingeniería Ltda. (GV GAVIOTA 300, Bogotá, Colombia). Se obtuvieron 25.07 ± 0.95 Kg de café despulpado que se llevaron a fermentación durante 18 h siguiendo lo establecido por Ladino-Garzón et al., (2016). En tanques cilíndricos de acero inoxidable de 21cm de radio x 42 cm de profundidad, se pusieron 9 Kg de muestra por tanque, posteriormente, los granos procesados por el método húmedo se lavaron tres veces para eliminar el mucílago y se llevaron a secado bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente.

2.4. Tostado de las muestras

La etapa de tostado se realizó en la tostadora de muestras a escala de laboratorio con control digital y un sistema rotativo TC-150R (Quantik, Colombia), se pesaron 4 muestras de 120g de café, que se ingresaron a 160 - 200 °C y tiempos entre 6 - 12 minutos, para simular las condiciones a las que se inicia el proceso de tostado y una temperatura para obtener tostados oscuros.

2.5. Determinaciones analíticas

Actividad de agua. Las medidas de actividad de agua (aw) se realizaron sobre granos de café, durante el secado, en verde y en café tostado. Se utilizó un determinador de actividad de agua Aqualab, vapor sorption analyzer (Meter Group, Estados Unidos), las mediciones se realizaron por triplicado siguiendo las instrucciones del fabricante.

2.6. pH y acidez titulable. El pH se determinó en café tostado, siguiendo la Norma Técnica Colombiana (NTC 5247:2004) para grano molido, con ayuda de un potenciómetro digital BP 3001 (Trans Instruments, Estados Unidos). La determinación de la acidez titulable se realizó según la metodología establecida por Guzmán et al., (2018). Se realizó con 50 ml del extracto del café obtenido tras la medición de pH, se tituló potenciométricamente con hidróxido de sodio, hasta un pH de 6.5. La acidez se expresó como mg de ácido clorogénico en 1 g de café.

2.7. Sólidos solubles totales. En la determinación de sólidos solubles totales (SST) se realizó una infusión al 5% de café tostado agua caliente (90 °C) (peso/volumen). Se depositaron aproximadamente dos gotas del extracto en un refractómetro digital PR-201 α (Atago, Estados Unidos) y se obtuvo la medida, el resultado se expresó en grados Brix.

2.8. Ácidos clorogénicos y cafeína. La determinación del ácido clorogénicos y la cafeína se realizó en café tostado mediante la técnica de cromatografía líquida de alta eficacia, usando un equipo Infinity II 1260 (Agilent Technologies, USA). Los extractos se obtuvieron de 2 g de cada una de las muestras con adición de 20 ml de agua bidestilada, la mezcla se agitó suavemente en un baño de ultrasonidos S30H (Elma, Alemania) a 90 °C durante 20 min.

Posteriormente, las muestras se centrifugaron y filtraron con filtro de celulosa regenerada de 0.45 μm (Fuentes et al., 2018). La separación se realizó durante 24 minutos con una columna C18 (150 \times 4.6 mm i.d. 5 μm). En las fases móviles se utilizó un gradiente de MeOH, agua y ácido acético glacial (0.5%), un volumen de inyección de 2 μl y un flujo de 1.2 ml min^{-1} (Smrke et al., 2015). Las lecturas para el ácido clorogénico se realizaron a 324 nm y para la cafeína a 280 nm.

2.9. Análisis estadístico. Para observar la relación de las variables involucradas durante el proceso de secado y tueste, se realizaron análisis de tipo una ANOVA multifactorial. Adicionalmente, la información obtenida de las determinaciones analíticas se procesó mediante el análisis de componentes principales (PCA) con el propósito de observar la influencia y la asociación de las variables sobre la diferenciación de las categorías en análisis. Los análisis se realizaron con el software estadístico Statgraphics centurión XVI (Manugistics Inc., EE.UU.).

3. Análisis de resultados.

3.1. Relación entre las variables de secado y las características fisicoquímicas del café pergamino seco.

La tabla 1 muestra los valores del coeficiente F para las variables medidas: métodos de poscosecha (natural y lavado), tipo de secado (sol y sombra) y sus respectivas interacciones AxB.

Tabla 1. Valores del coeficiente F y niveles de significancia obtenidos a través de una ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos según los factores: Tipo de Proceso (A), Tipo de Secado (B) y su interacción (A \times B).

	pH	Sólidos solubles	Acidez titulable	a_w
Proceso (A)	34.09**	0.2 ^{NS}	58.68***	25.32**
Secado (B)	34.09 ^{NS}	0.2 ^{NS}	4.17 ^{NS}	6.7 ^{NS}
(AxB)	2.34 ^{NS}	0.2 ^{NS}	2.34 ^{NS}	37.59**

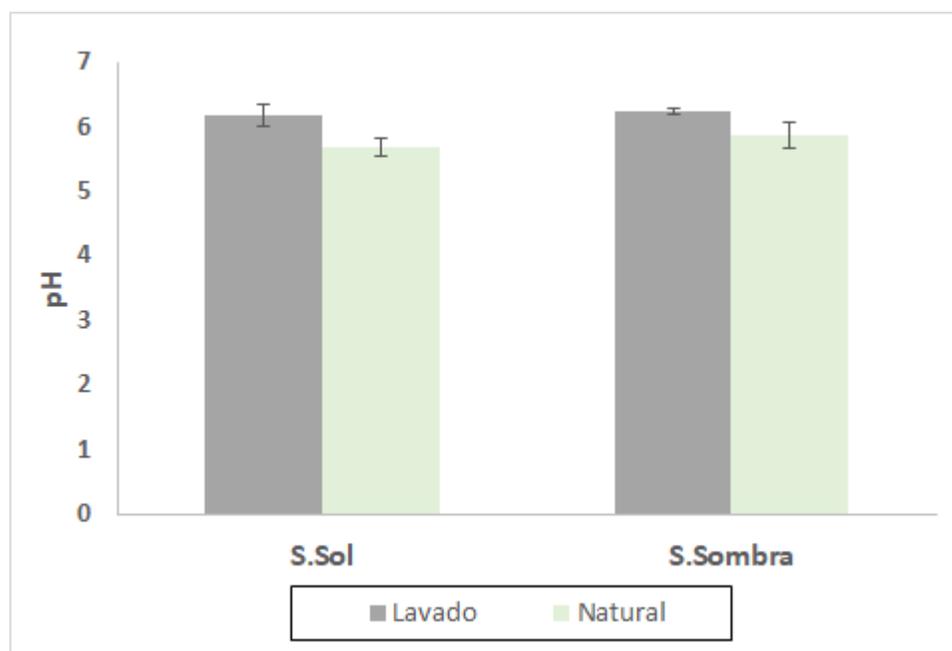
= P valor<0.001; *= P valor<0.0001; NS: no significativo

La tabla 1 nos indica la interacción entre el tipo de poscosecha y el secado solo presentó influencia sobre la actividad de agua de las variables fisicoquímicas medidas para el café verde, esto se debe a que el proceso de poscosecha de las muestras es diferente, presentando una disponibilidad de agua más alta en los granos de café natural ya que este es puesto a secar

con su cáscara intacta, mientras que en el café lavado, el agua disponible para el grano se encuentra más al interior del mismo. Es importante reducir la actividad de agua por debajo de 0.8 a_w en la primera semana para evitar la proliferación de hongos (Masri, 2019), en especial para el café natural secado a la sombra, dado que es propenso a ser atacado por microorganismos, por tener un contenido de humedad inicial mayor que el café lavado y ser secado en condiciones de menor luminosidad y temperatura que el café secado al sol.

Como se observa en la figura 1, los valores de pH para los granos procesados por la vía natural son más bajos que para el lavado en un 7.93% para el caso de las muestras secadas al sol y un 5.93% para las muestras secadas a la sombra, esto puede ocurrir ya que durante el procesamiento se presenta una fermentación constante derivada de la presencia del mucílago y cáscara para el café natural, mientras que en el café lavado, el pH aumenta debido a la fermentación del ácido láctico, la eliminación de dióxido de carbono, entre otros (Arcos-Ávila, 2017)

Figura 1. Valores de pH con desviación estándar para las muestras de café secadas al sol y en sombra, de proceso lavado y natural.



La relación entre el pH y la actividad de agua se debe a que dichos factores son clave para evitar el crecimiento de microorganismos, la preservación en la calidad de los alimentos busca principalmente disminuir la actividad de agua (Puerta, G. I. 2013).

Para el caso de los SST los resultados muestran que los factores evaluados no presentaron influencia sobre la variable. Los valores obtenidos son similares a los expuestos por Trujillo-

López (2011), quien midió el contenido de sólidos solubles totales en cinco variedades de café con procesamiento natural y lavado.

Para que el proceso de secado sea óptimo en granos procesados por el método natural o lavado, se deben conocer y controlar todas aquellas variables que influyen en la etapa, con el fin de mantener la calidad del producto (Henao-Arismendy, 2015).

3.2. Relación entre las variables de secado y las características fisicoquímicas del café tostado.

La tabla 3, muestra los resultados de la ANOVA multifactorial, se evidencia que el secado del café (B) solo fue influyente en los niveles de cafeína, las muestras que presentaron valores más altos fueron las secadas con exposición solar plena, resultados que coinciden con los expuestos por Dong et al., (2017).

Tabla 3. Valores del coeficiente F y niveles de significancia obtenidos a través de una ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos según los factores: tipo de proceso (A), tipo de Secado (B), tiempo de Tueste (C), Temperatura de Tueste (D) y sus respectivas interacciones.

	pH	Sólidos solubles	Acidez titulable	CGAs	Cafeína	aw
Proceso (A)	7,6**	0.06 ^{NS}	1.16 ^{NS}	1.89 ^{NS}	0.07 ^{NS}	9,52*
Secado (B)	1.45 ^{NS}	0.5 ^{NS}	0.76 ^{NS}	3.53 ^{NS}	11,67*	0 ^{NS}
Tiempo de tueste (C)	105,9***	9,37**	78,39***	3835,99***	17,54**	177,08***
Temperatura de tueste (D)	2.3 ^{NS}	2 ^{NS}	0.19 ^{NS}	573,02***	7,55*	10,97*
(Ax B)	2.01 ^{NS}	16,02*	0.01 ^{NS}	0.33 ^{NS}	0.03 ^{NS}	2.69 ^{NS}
(Ax C)	0.17 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.35 ^{NS}	6,27*	2.47 ^{NS}	14,75*
(Bx D)	0.04 ^{NS}	10,86*	0.09 ^{NS}	2.24 ^{NS}	2.35 ^{NS}	5,81*
(Cx D)	19,56**	17,96**	2.4 ^{NS}	330,59***	15,35*	4,34*
(Ax Bx C)	0.43 ^{NS}	2.72 ^{NS}	0.12 ^{NS}	17,53**	0.84 ^{NS}	1.12 ^{NS}
(Ax Bx D)	0.95 ^{NS}	5,54*	0.93 ^{NS}	0.33 ^{NS}	0.58 ^{NS}	0.16 ^{NS}
(Ax Cx D)	7,8*	0 ^{NS}	2.51 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.24 ^{NS}	0.09 ^{NS}

* = P valor<0.05, **= P valor<0.001, ***= P valor<0.001; NS: no significativo

Quien en su estudio midió los niveles de cafeína para diferentes tipos de secado, encontrando concentraciones mayores para el café secado al sol. Por otro lado, el tipo de procesamiento del café influyó en los valores de pH y la actividad del agua. La temperatura de tueste influyó en los valores de la actividad del agua, los niveles de cafeína y ácidos clorogénicos, mientras que el tiempo de tueste influyó todas las variables medidas.

La interacción (Cx D) presenta influencia en todas las variables con excepción de los SST, el pH se ve implicado en el proceso de tueste ya que este actúa como catalizador acelerando la

reacción entre los azúcares y aminoácidos presentes en el grano, cuando se presentan condiciones de alcalinidad (Gómez Vázquez, 2020). Lo cual explicaría la incidencia de la interacción de los factores (CxD) sobre el pH, al igual que para la interacción (Ax CxD) para el cual se suma la interacción de los azúcares presentes en los granos de café natural, considerando que el desarrollo de la reacción de Maillard se ve influido por distintas variables tales como: el pH, la temperatura, el sacárido involucrado y/o el tipo de proteína (Cardoso et al., 2018).

La cafeína se encuentra dentro de los compuestos químicos más apreciados del café, esta se genera en parte durante el proceso de tueste, a partir de la reacción de Maillard, así como algunos compuestos fenólicos y otros componentes volátiles presentes en el grano (Díaz et al., 2018). Se encontró que la única interacción influyente sobre la cafeína fue (CxD) debido a que las concentraciones de este compuesto aumentaron a medida que el tiempo y la temperatura de tueste se acercaba a los 200 °C, resultados que coinciden con los expuestos por Hečimović et al., (2011) este comportamiento se repite en las dos variedades, los dos procesos y los dos métodos de secado. Debido a la descomposición térmica de los ácidos fenólicos que durante el tueste se degradan dando paso a la liberación de la cafeína en el grano (Cheng et al., 2016).

La tabla 3 nos indica que hay influencia de la temperatura de tueste sobre la acidez titulable, los valores de la acidez titulable fueron disminuyeron al aumentar la temperatura, comportamiento similar a lo presentado por Valencia et al., (2015).

La interacción (CxD) se presenta como la más influyente sobre la concentración de los ácidos clorogénicos, esto se debe a que los CGAs son compuestos presentes en grandes cantidades en el café verde. Sin embargo, su concentración decrece durante el proceso de tueste a medida que la temperatura y el tiempo de dicho proceso incrementan (Ruiz-Palomino, 2019; Budryn et al., 2015). En el experimento, la degradación de los ácidos clorogénicos llega a ser aproximadamente del 75%. A menor tiempo y temperatura de tueste se encontraron valores entre 1200 - 1300 ppm, a los valores máximos de los factores de tueste a concentraciones fueron de 300 a 400 ppm, estos valores son similares a los encontrado por (Santos da Silveira et al., 2019; Martínez et al., 2017).

3.3 Análisis de componentes principales para las muestras tostadas.

El PCA realizado con los resultados de las determinaciones fisicoquímicas, explicó el 88.86 % de la variabilidad de las muestras con los primeros tres componentes principales (CP). La figura 2 exhibe la distribución de las muestras. El CP1 (57.45 %) permitió diferenciar las muestras tostadas a 12 en el cuadrante izquierdo el cual está asociado a la cafeína, y la acidez titulable mientras que en el cuadrante de la derecha se diferencian las muestras tostadas durante 6 minutos asociadas a los sólidos solubles, la actividad de agua, el pH y los ácidos clorogénicos. Mientras que el CP2 (27.96 %) permite ver una separación diagonal de las

muestras tostadas a 200°C de las tostadas a 160°C. La información obtenida permite inferir que los factores que generaron una mayor asociación en las muestras son: el tiempo y la temperatura de tueste.

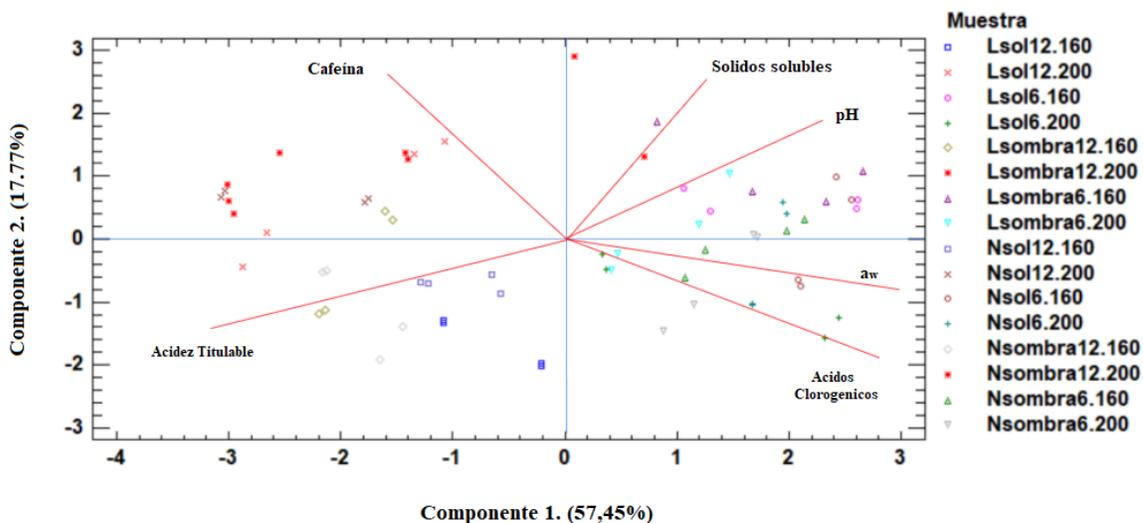


Figura 2. Diagrama de dispersión con los componentes y las muestras del PCA obtenido de las variables fisicoquímicas medidas para el café tostado.

Conclusiones

Debido a las condiciones de secado del café “natural” es preciso evidenciar que tendrá comportamientos diferentes al café “lavado” en cuanto a su color, contenido de humedad, peso, tiempo de secado y demás variables fisicoquímicas. En el café como en cualquier otro alimento el control de las variables fisicoquímicas es imprescindible con el objetivo de obtener un producto final de calidad.

Se encontró que, para el café tostado con los intervalos de tiempo y temperatura de tueste utilizados, el contenido de cafeína incrementa a medida que la temperatura se elevaba, proceso inverso al que ocurría con el contenido de ácidos clorogénicos los cuales fueron mayores a temperaturas más bajas y se degradan a medida que esta se elevaba.

Es posible atribuirle el título de factor mayormente influyente al proceso de tueste ya que las condiciones que este conlleva como lo son la temperatura y el tiempo de tueste están estrechamente relacionadas con los cambios en las concentraciones de todas las variables fisicoquímicas medidas en este experimento, recalcando así la importancia que tiene el cuidado de una buena curva de tueste para obtener los resultados deseados en nuestro café.

Referencias

Arcos Ávila, C. A. (2017). Efecto de la fermentación aerobia del grano de café orgánico, en el desarrollo de características sensoriales de la bebida en el Municipio de Pitalito.

Budryn, G., Nebesny, E., & Oracz, J. (2015). Correlation between the stability of chlorogenic acids, antioxidant activity and acrylamide content in coffee beans roasted in different conditions. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 290–302. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.805769>

Café tostado, en grano o molido. Determinación de la acidez titulable, 8 (2004). <https://www.icontec.org/rules/cafe-tostado-en-grano-o-molido-determinacion-de-la-acidez-titulable/>

Cardoso, H. B., Wierenga, P. A., Gruppen, H., & Schols, H. A. (2018). Maillard induced glycation behaviour of individual milk proteins. *Food chemistry*, 252, 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.106>

Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>

Díaz, F. O., Ormaza, A. M., & Rojano, B. A. (2018). Efecto de la tosti3n del caf3 (Coffea arabica l. var. Castillo) sobre el perfil de taza, contenido de compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante. *Informaci3n tecnol3gica*, 29(4), 31-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400031>

Dong, W., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J., & Tan, L. (2017). Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food Chemistry*, 234, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>

G3mez V3zquez, 3. H. (2020). La reacci3n de maillard y su impacto en la salud. <https://hdl.handle.net/11441/104077>

Guti3rrez Guzm3n, N., Lara Figueroa, D. C., Castro Cabrera, D. M., Yeretzi3n, C., de Castelberg, S., Jacobi, J., & Opitz, S. (2020). An3lisis de stakeholders y mapeos de cadenas de valor del caf3 en Colombia. <https://doi.org/10.21256/zhaw-21732>

He3imovi3, I., Bel33ak-Cvitanovi3, A., Hor3i3, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food chemistry*, 129(3), 991-1000. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.05>

Henao Arismendy, J. (2015). Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56186>

ICONTEC., 2004. Norma Técnica Colombiana NTC 5247. Café tostado en grano o molido. Determinación de la acidez titulable.

ICONTEC., 2011. Norma Técnica Colombiana NTC 3566. Café Verde. Preparación de muestras para uso en análisis sensorial.

Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128(October 2017), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>

Leibovich, J., & Botello, S. (2008). Análisis de los cambios demográficos en los municipios cafeteros y su relación con los cambios en la caficultura colombiana (1993-2005). *Ensayos sobre economía cafetera*, 21, 67-87.

Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Miguel, M. G. da C. P., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2017). Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Research International*, 102(June), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>

Masri, H. M. (2019). *Evaluating post-harvest practices on the quality and safety of Kona coffee* (Doctoral dissertation, Virginia Tech). <http://hdl.handle.net/10919/89217>

Rendón, M. Y., Gratão, P. L., Salva, T. J., Azevedo, R. A., & Bragagnolo, N. (2013). Antioxidant enzyme activity and hydrogen peroxide content during the drying of Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*, 236(5), 753-758.

Puerta, G. I. (2013). *La humedad controlada del grano preserva la calidad del café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/418>

Puerta, G. I., González, F. O., Correa, A., Álvarez, I. E., Ardila, J. A., Girón, O. S., ... & Montoya, D. F. (2016). Diagnóstico de la calidad del café según altitud suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/727>

Ruiz-Palomino, P., Guatemala-Morales, G., Mondragón-Cortéz, P., Zúñiga-González, E., Corona-González, R., & Arriola-Guevara, E. (2019). EMPIRICAL MODEL OF THE CHLOROGENIC ACID DEGRADATION KINETICS DURING COFFEE ROASTING IN A SPOUTED BED. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 18(2),387-396. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n2/Ruiz>

Santos da Silveira, J., Durand, N., Lacour, S., Belleville, M. P., Perez, A., Loiseau, G., & Dornier, M. (2019). Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.04.001>

Silva, F. S., Corrêa, P. C., Calil Júnior, C., & Gomes, F. C. (2006). Ângulo De Repouso, Atrito Interno E Efetivo Dos Grãos De Café Com Pergaminho. *Revista Brasileira de productos Agroindustriais*, 8(1), 17–23. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v8n1p17-23>

Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. (2012). Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (*Coffea Arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1956-1963. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5568>

Soriano, V. M. B., Aguirre, F. L., Zayas, J. L. F., & Pinto, M. L. S. (2003). Participación campesina en el diseño y construcción de un secador solar para café. *Agrociencia*, 37(1), 95-106.

Specialty Coffee Association of America. (2015). SCAA Protocols 1 Cupping Specialty Coffee.

Trujillo López, C. I. (2011). Determinación de la influencia de la variedad, estado de madurez y grado de torrefacción en la cuantificación de polifenoles totales en la bebida de café (*Coffea arábica* L.).

Valencia, J., Pinzón, M. I., & Gutiérrez, R. (2015). Caracterización fisicoquímica y sensorial de tazas de café producidas en el departamento del Quindío. *Alimentos Hoy*, 23(36), 150-156.

