



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, julio 22 de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Edwin Yezith Amaya Silva, con C.C. No. 4.208.753,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o artículo titulado

Influencia De La Temperatura Y Flujo De Aire De Secado En El Perfil Sensorial De Cafés Procesados Por Vía Seca Y Semi-Seca

presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Magister en Ciencia y Tecnología del Café;

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:

Firma: _____

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.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Influencia de la temperatura y flujo de aire de secado en el perfil sensorial de cafés procesados por vía seca y semi-seca

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Amaya Silva	Edwin Yezith

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bustos Vanegas	Jaime Daniel

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
N/A	N/A

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ciencia y Tecnología del Café

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en ciencia y tecnología del café

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2022 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 15

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

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: lector de PDF

MATERIAL ANEXO: ninguno

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. semi-seca	semi-dryness	6. _____	_____
2. _café natural	natural coffee	7. _____	_____
3. organolepticas	organoleptic	8. _____	_____
4. <u>Mediverdes</u>	<u>Mediverdes</u>	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El procesamiento del café se puede realizar por vías seca (café natural), semi-seca (café honey) o húmeda (café lavado). Los cafés obtenidos mediante proceso de vía seca y semi-seca han tenido buena aceptación en el mercado gracias al desarrollo de características organolépticas diferenciadas que se ven reflejadas en taza. La operación de secado es determinante en la calidad del grano obtenido por cualquier vía de procesamiento. Para determinar el efecto del tipo de proceso, temperatura y velocidad de aire de secado en el puntaje en taza y tiempo de secado, se formuló un diseño factorial 2k para dos procesamientos (vía seca y vía semi-seca) con temperaturas de secado variando entre 30 y 50°C y velocidades de aire entre 1,4 y 5,0 m/s. El secado se realizó hasta alcanzar humedad de equilibrio (10-12%bh). Las muestras obtenidas fueron empacadas al vacío y posteriormente sometidas a proceso de tostión, para ser evaluadas mediante protocolo de catación siguiendo metodología SCA. Aunque los mayores puntajes de catación se obtuvieron con la mayor velocidad de aire y mayor temperatura para los dos procesos, el efecto de los factores sobre esta variable respuesta no fué significativo. Los tiempos de secado fueron afectados significativamente por los 3 factores, siendo la temperatura el factor de mayor influencia. Los resultados obtenidos ayudan a profundizar en el conocimiento de los fenómenos asociados al procesamiento de café por vía seca.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)



Coffee can be processed through dryness (natural coffee), semi-dryness (honey coffee) or humid (washed coffee). The coffees obtained through the dry and semi-dry processes have been well accepted in the trade based on the development of differentiated organoleptic characteristics that are reflected in the cup. The dry operation is a determining factor in the quality of the bean obtained by any processing method. To determine the effect of the type of process, temperature and dry air speed on the score in rate and time of drying, a response surface analysis was formulated for two processing processes (dry and semi-dry) with drying temperatures varying between 30 and 50°C and air speeds between 1.4 and 5.0 m/s. This drying was carried out until equilibrium moisture content (10-12%bh) was reached. The samples obtained were vacuum packed and subsequently subjected to a roasting process to be evaluated by means of a cupping protocol following SCA methodology. Although the highest tasting scores were obtained with the highest air velocity and the highest temperature for the two processes, the effect of the factors on this response variable was not significant. The time of drying was significantly affected by the 3 factors, with temperature being the most influential factor. The results obtained help to deepen the knowledge of the phenomena associated with the processing of coffee by dryness

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Nelson Gutiérrez Guzmán

Firma:

Nombre Jurado: José Dubán Henao Cuéllar

Firma:

Influencia de la temperatura y flujo de aire de secado en el perfil sensorial de cafés procesados por vía seca y semi-seca

Edwin Yezith Amaya Silva, Jaime Daniel Bustos Vanegas.

Resumen

El procesamiento del café se puede realizar por vías seca (café natural), semi-seca (café honey) o húmeda (café lavado). Los cafés obtenidos mediante proceso de vía seca y semi-seca han tenido buena aceptación en el mercado gracias al desarrollo de características organolépticas diferenciadas que se ven reflejadas en taza. La operación de secado es determinante en la calidad del grano obtenido por cualquier vía de procesamiento. Para determinar el efecto del tipo de proceso, temperatura y velocidad de aire de secado en el puntaje en taza y tiempo de secado, se formuló un diseño factorial 2k para dos procesamientos (vía seca y vía semi-seca) con temperaturas de secado variando entre 30 y 50°C y velocidades de aire entre 1,4 y 5,0 m/s. El secado se realizó hasta alcanzar humedad de equilibrio (10-12%bh). Las muestras obtenidas fueron empacadas al vacío y posteriormente sometidas a proceso de tostión, para ser evaluadas mediante protocolo de catación siguiendo metodología SCA. Aunque los mayores puntajes de catación se obtuvieron con la mayor velocidad de aire y mayor temperatura para los dos procesos, el efecto de los factores sobre esta variable respuesta no fue significativo. Los tiempos de secado fueron afectados significativamente por los 3 factores, siendo la temperatura el factor de mayor influencia. Los resultados obtenidos ayudan a profundizar en el conocimiento de los fenómenos asociados al procesamiento de café por vía seca.

Abstract

Coffee can be processed through dryness (natural coffee), semi-dryness (honey coffee) or humid (washed coffee). The coffees obtained through the dry and semi-dry processes have been well accepted in the trade based on the development of differentiated organoleptic characteristics that are reflected in the cup. The dry operation is a determining factor in the quality of the bean obtained by any processing method. To determine the effect of the type of process, temperature and dry air speed on the score in rate and time of drying, a response surface analysis was formulated for two processing processes (dry and semi-dry) with drying temperatures varying between 30 and 50°C and air speeds between 1.4 and 5.0 m/s. This drying was carried out until equilibrium moisture content (10-12%bh) was reached. The samples obtained were vacuum packed and subsequently

subjected to a roasting process to be evaluated by means of a cupping protocol following SCA methodology. Although the highest tasting scores were obtained with the highest air velocity and the highest temperature for the two processes, the effect of the factors on this response variable was not significant. The time of drying was significantly affected by the 3 factors, with temperature being the most influential factor. The results obtained help to deepen the knowledge of the phenomena associated with the processing of coffee by dryness.

1. Introducción

El café es una de las bebidas de mayor consumo en el mundo. El procesamiento del fruto de café comprende una serie de etapas encaminadas a la estabilización y conservación de las cualidades del endospermo. Este, finalmente será sometido a un proceso de tueste para desarrollar y exponer los compuestos químicos responsables por el sabor y aroma de la bebida. El método de procesamiento después de la cosecha es un factor determinante en la calidad de la bebida, ya que con este se definen características de calidad del café verde resultante (Henaó Arismendy, 2015).

Existen dos tipos de beneficio los cuales se diferencian en las técnicas y procedimientos que lleva a cabo cada uno: por vía seca y por vía húmeda (Cárdenas Díaz & Pardo Pinzón, 2014). El proceso por vía húmeda consiste en retirar la pulpa y el mucílago mediante acción mecánica (despulpado) y biológica (fermentación) seguida de lavado. Así se obtiene el café pergamino húmedo (Rodríguez Valencia, Sanz Uribe, Oliveros Tascón, & Ramírez Gómez, 2015). Una vez lavado, el grano de café tiene un contenido de humedad cercano al 53% (b.h), el cual se reduce por medio del secado al rango del 10 al 12% (b.h), para permitir su conservación en etapas posteriores. (Jurado Chaná, Montoya Restrepo, Oliveros Tascón, & García Alzate, 2009). Cuando el secado se realiza de forma controlada, se consigue que los atributos intrínsecos del grano de café se conserven minimizando granos defectuosos. De ahí que el café que se beneficia con este método se considere en general de mejor calidad y alcance precios más altos (ICO, 2022).

El beneficio por vía seca (conocido como café natural) se basa en la deshidratación de los frutos del café, sin remover pulpa y mucílago. Este proceso puede tardar cuatro (4) semanas o más, dependiendo de las condiciones atmosféricas (Ayala Ceballos, 2020). El secado del fruto completo implica que el agua en su interior debe difundirse a través de todas las estructuras hasta ser

evaporada en la superficie. Cada estructura posee coeficientes de difusión diferentes en función a su composición y arreglo (Ramirez-Martínez et al., 2013). Con este tipo de beneficio se permite un secamiento prolongado, por lo que habrá mayor absorción y concentración de azúcares en el grano. Esto hace que ciertas características como la fragancia, el cuerpo y la dulzura, se tornen mucho más intensas y agudas (IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2020).

La industria del café ha desarrollado con el tiempo nuevos procesos de beneficiado del grano, entre estos procesos está el semi-seco, denominado honey (Soto Fuentes, 2018). Este es un proceso intermedio, en el que se retira la pulpa (cáscara) antes de iniciar el proceso de secado, pero el mucílago permanece adherido al grano. La eliminación de la pulpa permite una mejor fermentación del mucílago que rodea el grano (IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2020). Según la cantidad de mucílago adherido se define la apariencia y la intensidad de características sensoriales afrutadas (Soto Fuentes, 2018). Al ser secado con el mucílago se resaltan los ácidos y se obtiene una taza muy completa y potente (Ayala Ceballos, 2020). Las investigaciones publicadas acerca del proceso de secado de café honey son limitadas. sin embargo, Boyacá (2018) menciona que este proceso se viene realizando en países como Brasil, partes de Sumatra y Sulawesi, así como en algunos países de Centro América (Boyacá Vásquez, 2018). Este tipo de procesamiento es una nueva tendencia de mercado de cafés especializados (Barrera Bermeo, Gutiérrez, & Delgado Joven, 2017). Dentro de este beneficio se encuentran tres clasificaciones: Red Honey, Yellow Honey y Black Honey teniendo en cuenta tiempo y forma de secado (sol o bajo cubierta) y porcentaje de pulpa (Kilbride, 2017). Al igual que en el proceso de café natural, en este tipo de proceso se reduce el uso de agua y, por ende, los residuos contaminantes generados, presentándose como una alternativa de producción de café sostenible.

Los cafés procesados en seco se caracterizan por tener más cuerpo, mientras que en la mayoría de territorios donde se procesa el café por vía húmeda, los cafés tienen mejor aroma y generalmente tienen mayor aceptación (Henaó Arismendy, 2015). Borem (2018) recomienda temperaturas de secado máximas de 40°C para cafés naturales. Excesos de temperatura generan daños serios en la calidad de café (Borem et al., 2018). La operación de secado demanda una alta energía debido al alto calor latente de vaporización del agua a bajas temperaturas. Esta demanda energética implica altos costos de operación y se deben plantear entonces alternativas para optimizar la operación. Para reducir el tiempo de secado, una alternativa que no requiere usar temperaturas mayores a los

40°C, es reducir la humedad relativa del aire de secado, así se evitan los daños térmicos producidos por el uso de altas temperaturas (Borem, et al., 2018). Diversos estudios han demostrado que el secado con temperaturas moderadas intercaladas con periodos de descanso es un método eficiente que ayuda a mantener la calidad final del producto y a reducir el consumo de energía (Pedrosa Isquierdo, Borem, De Oliveira, Siqueira, & Alves, 2012)

Objetivando ampliar la frontera del conocimiento de los cafés de proceso (natural y honey), en esta investigación se evaluó el impacto de la temperatura y velocidad de aire de secado sobre el puntaje SCA y sobre el tiempo de secado de granos de café procesados por vía seca y semi-seca.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia Prima.

Frutos de café (*Coffea arábica*) variedad Castillo fueron utilizados. Los granos fueron recolectados mediante cosecha manual selectiva teniendo en cuenta la escala de color 5 y 6, tomando como referencia la herramienta MEDIVERDES desarrollada por CENICAFÉ. La finca productora (Buenos Aires) está ubicada en el municipio de Guayatá (Boyacá) a una altitud de 1650 metros.

2.2. Procesamiento

Después de la cosecha, se realizó un proceso de lavado y de selección por densidad, en donde se descartaron granos dañados por insectos y granos vanos. El material fue transportado en cavas de icopor a una temperatura de 4°C a los laboratorios de CESURCAFÉ en la Universidad Surcolombiana de Neiva. Las muestras destinadas a evaluar el proceso vía semi-seca fueron despulpadas en despulpadora de laboratorio momentos antes de iniciar el proceso de secado.

2.3. Preparación de las muestras

La humedad inicial del café se determinó según la Norma Técnica Colombiana NTC 2325. Tres (3) muestras de granos de café de aprox. 15 g cada una fueron sometidas a secado durante 24 horas a una temperatura de 105 °C hasta obtener una masa constante (Icontec, 2005). Para el secado en condiciones controladas de temperatura y velocidad de aire se utilizó una estufa memmert UF 55 con capacidad para cuatro (4) bandejas. Se emplearon bandejas hechas con marco de madera y

malla plástica (malla TRICAL, cedazo 4X4 mm) de 40cm X 28cm. En estas bandejas se dispuso el café en forma de monocapa utilizando 2 para cada tratamiento (Figura 1).



Figura 1. Disposición de las bandejas al interior de secador

2.4 Seguimiento de la operación de secado

El pesado de las bandejas se realizó al inicio y en intervalos de dos horas hasta obtener una humedad aproximada de 11,5% en base húmeda medida con el equipo Kett Grain Moisture Tester PM-450. Para la construcción de las curvas de secado los pesos registrados en cada intervalo de tiempo fueron convertidos a porcentaje de humedad en base húmeda según la Ecuación (1).

$$H_{bh} = \frac{W - W_i(1 - H_i)}{W} \quad (1)$$

en que H_{bh} es la humedad en base húmeda (decimal), W es el peso neto de la muestra (g) en un tiempo t , W_i es el peso neto inicial de la muestra (g), y H_i es la humedad inicial de la muestra (decimal base húmeda).

Una vez alcanzada la humedad final, la muestra se estabilizó a temperatura ambiente y se empacó al vacío (Figura 2). El almacenamiento final fue de 8 días antes de la operación de trilla y tostado.



Figura 2. Café pergamino Honey empacado al vacío

El proceso de tueste se realizó en el laboratorio del Centro Surcolombiano de Investigación en Café “CESURCAFÉ” en un tostador de muestras. Se diseñó una curva de tuestión estándar para garantizar la calidad y homogeneidad de cada una de las muestras.

2.5 Prueba de Catación

En el proceso de Catación se empleó la metodología SCA (Specialty Coffee Association of América) con un panel de 3 catadores, que analizaron las 12 muestras correspondientes a los 12 tratamientos.

2.6 Análisis estadístico

Para determinar el efecto simultáneo de los factores que influyen tanto en el tiempo de secado como en el puntaje de taza, se definió un diseño factorial 2^k con tres factores experimentales: dos factores continuos (Temperatura de Secado, Flujo de Aire) y un factor discreto (Tipo de Tratamiento), se adicionaron cuatro puntos centrales para aumentar los grados de libertad del análisis, con lo cual se obtuvieron 12 corridas experimentales en cada caso (Tabla 1). La significancia estadística de los efectos simples y las interacciones de orden dos se estableció con $P < 0,05$. La superficie de

respuesta resultante se utilizó para definir el mejor punto de diseño. Todos los análisis se realizaron con el aplicativo estadístico Statgraphics Centurión XVI.

Tabla 1. Diseño experimental

Tratamiento	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Proceso
1	40	3,2	Honey
2	50	1,4	Honey
3	30	1,4	Honey
4	50	5,0	Natural
5	40	3,2	Natural
6	50	5,0	Honey
7	50	1,4	Natural
8	30	5,0	Honey
9	30	1,4	Natural
10	30	5,0	Natural
11	40	3,2	Natural
12	40	3,2	Honey

3. Resultados y discusión

En la figura 3 se presentan las curvas de secado para café natural y honey a 50 °C y con velocidades de aire máxima y mínima. Estas curvas resumen el comportamiento observado en los demás tratamientos. Las mayores velocidades de secado en el proceso honey se deben a la menor resistencia a la difusión de humedad al haber eliminado mecánicamente la cáscara y parte del mucílago. Como es esperado, periodos de secado a velocidad constante son observados al inicio de cada curva. Este periodo es dominado por la convección: puede observarse la caída pronunciada de la humedad para las mayores velocidades de aire. Cuando la humedad disminuye por debajo de 20%, se puede observar el inicio del periodo de secado a velocidad decreciente. En este periodo la velocidad de aire pierde influencia, pues el fenómeno pasa a ser gobernado por la difusión. Esto se evidencia con la tendencia de las curvas a encontrarse hacia el final del proceso.

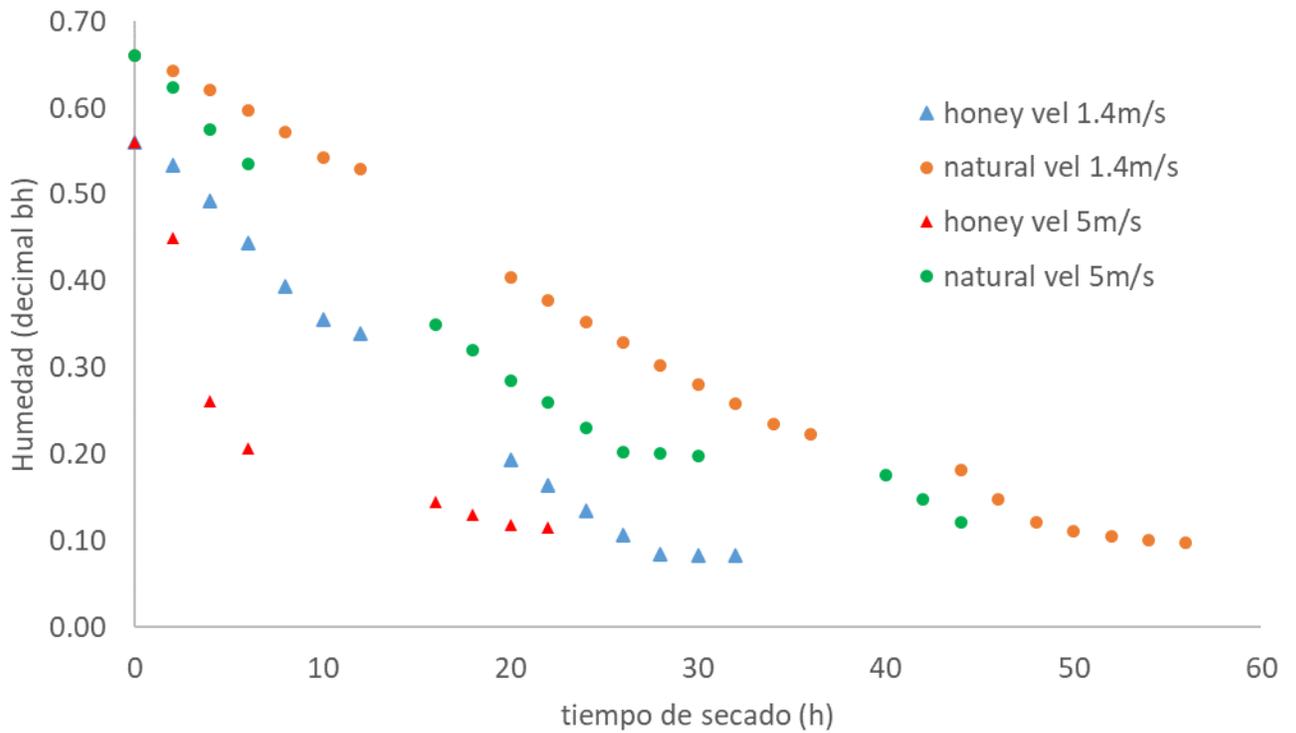


Figura 3. Curvas de secado a 50°C para café honey y natural a diferentes velocidades de aire.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en puntaje de catación y tiempo de secado para los diferentes tratamientos. En términos generales, las mayores velocidades de aire y mayores temperaturas resultaron en menores tiempos de secado.

Tabla 2. Puntaje de catación y tiempo de secado para los diferentes tratamientos

Proceso	Tratamiento	Temperatura °C	Flujo de aire m/s	Puntaje de Catación SCA	Tiempo de secado (h)
Honey	1	40	3,2	78,2	80
Honey	2	50	1,4	80,4	30
Honey	3	30	1,4	79,5	344
Natural	4	50	5,0	85,6	44
Natural	5	40	3,2	75,3	148
Honey	6	50	5,0	78,4	20
Natural	7	50	1,4	81,6	56
Honey	8	30	5,0	81,0	110
Natural	9	30	1,4	81,4	518
Natural	10	30	5,0	81,2	182
Natural	11	40	3,2	81,9	148
Honey	12	40	3,2	83,5	80

Aunque se observan variaciones en los puntajes de catación, el análisis de varianza no arrojó efectos significativos de los factores ni de sus interacciones a un nivel de confianza de 95% (Figura 4). Resultados similares fueron reportados por Henao (2015). El mejor puntaje de Catación para café natural (85,6) se obtuvo con el tratamiento 4 (temperatura de 50°C y flujo de aire de 5 m/s). Esto coincide con la conclusión obtenida por Henao (2015), quien indica que los mayores puntajes de taza se obtuvieron a una temperatura de 50°C y flujos de aire de 100 y 60 m³/min/Toncps (Henao Arismendy, 2015). Sin embargo, contradice lo mencionado por Borem (2018) quien afirma que someter cafés naturales a temperaturas superiores a 40°C provoca grave daño a la calidad del café, y, por lo tanto, no son recomendadas (Borem et al., 2018). Borem, Marques, & Alves (2008) encontraron que, en un secado a 50°C, en algunas células se produjo una ruptura en la membrana, oclusión parcial de los espacios intercelulares y algunas vesículas se rompieron, afectando negativamente la calidad del café pergamino. Estos resultados coinciden con lo observado para el café honey: el tratamiento a 50°C y 5 m/s resultó en un bajo puntaje en tasa (78,4). Los resultados opuestos observados entre el café natural y el café honey podrían explicarse por el hecho de que en el café cereza, la almendra se encuentra protegida por todas sus estructuras, amortiguando el efecto térmico del aire a 50°C. Por el contrario, en el café honey la almendra se encuentra protegida únicamente por el pergamino y parte del mucílago, lo que permite que el flujo de calor desde el aire de secado avance más rápido hacia el interior del grano, comprometiendo su estructura.

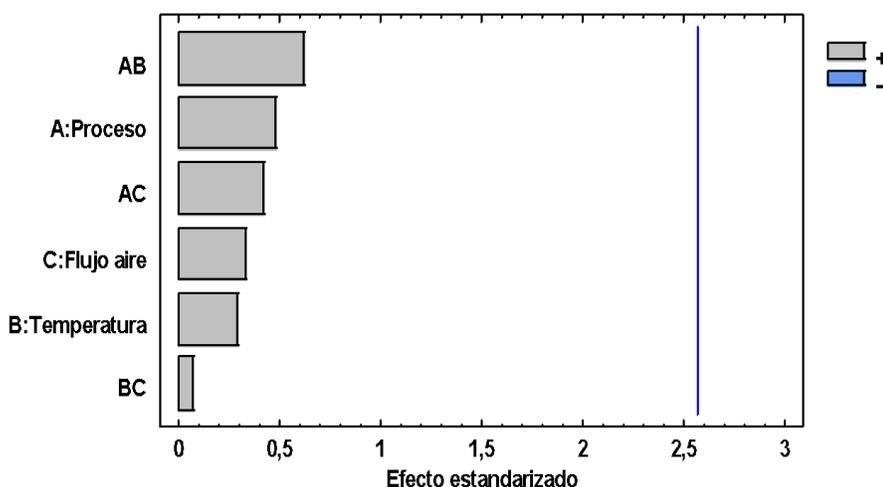


Figura 4. Diagrama de Pareto estandarizada para puntaje en taza

Aunque sin un efecto estadísticamente significativo, en el diagrama de Pareto se observa que la interacción entre el tipo de proceso y la temperatura de secado tuvieron más influencia sobre el puntaje en taza que los demás factores analizados. Esto puede deberse a las diferentes estructuras del grano (asociadas a cada tipo de proceso) protegiendo la almendra de los efectos térmicos en mayor o menor medida.

En la figura 5 se muestra el efecto significativo que tuvieron los tres (3) factores analizados sobre el tiempo de secado. Este último fue influenciado principalmente por la temperatura, seguido del flujo de aire y de su interacción. El tipo de proceso también afectó significativamente los tiempos de secado. La mayor influencia de la temperatura puede estar asociada a la naturaleza difusiva del fenómeno actuando hacia el final del secado. Mayores temperaturas implican menores presiones de vapor en el aire de secado, manteniendo un gradiente de concentración suficiente para promover la difusión desde el interior hacia la superficie del grano. Velocidades de flujo altas aceleran el proceso de secado en el periodo de velocidad constante. Una vez alcanzada la humedad crítica, el fenómeno pasa a ser dominado por la difusión líquida al interior de la matriz del grano. La velocidad del aire (asociada a la transferencia de calor y masa por convección) pierde relevancia hacia el final del proceso.

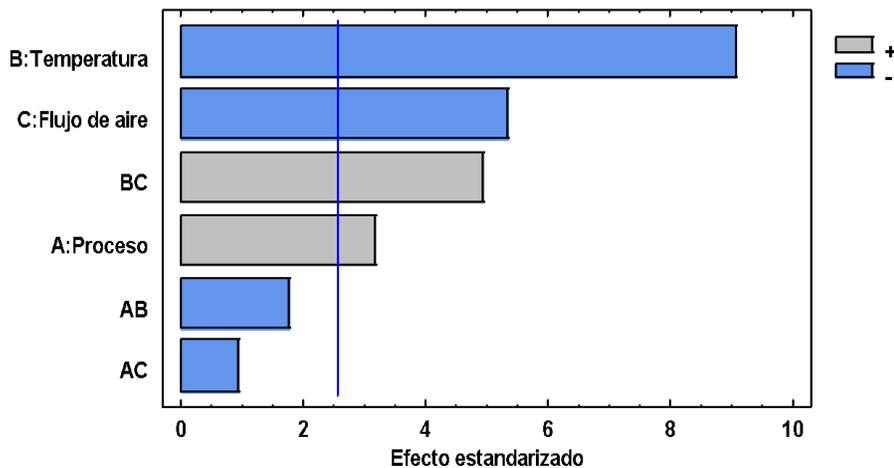


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizada para tiempo de secado

El modelo ajustado para estimar el tiempo de secado se presenta en la ecuación (2), en donde los valores de las variables se encuentran especificados en sus unidades originales, excepto para los factores categóricos (tipo de proceso) que toman valores de -1 para el café honey, y +1 para el café

natural. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica el 96,75% de la variabilidad en el tiempo secado.

$$\text{Tiempo secado} = 1267,33 + 157,111 * \text{Proceso} - 24,7278 * \text{Temperatura} - 193,333 * \text{Flujo de aire} - 2,45 * \text{Proceso} * \text{Temperatura} - 7,22222 * \text{Proceso} * \text{Flujo de aire} + 3,80556 * \text{Temperatura} * \text{Flujo de aire} \quad (2)$$

En la figura 6 se presentan las superficies de respuesta para el tiempo de secado y puntaje en taza para el café natural. El flujo de aire es la segunda variable que presenta diferencias significativas en relación con el tiempo de secado, esto confirma los resultados observados por Henao (2015). Dependiendo del flujo de aire, el proceso será eficiente energéticamente o no. Un flujo de aire deficiente en el sistema de secado, hace que los granos resulten con altas diferencias en el contenido final de humedad, trayendo consigo granos flojos con humedad superior al 14% o granos sobresecados con humedad menor al 10% (Henao Arismendy, 2015). También se observa, la correlación entre flujo de aire y temperatura en café honey, ya que temperaturas bajas con flujos de aire bajos resultan en puntajes de catación por debajo de los requeridos para café de especialidad (80 puntos). Las temperaturas bajas con flujos de aire altos resultaron en puntajes de catación catalogados como café de especialidad. Temperaturas bajas combinadas con bajos flujos de aire resultaron en bajos puntajes de catación. Es posible atribuir estos resultados a lo mencionado en diferentes estudios, para cafés naturales, que indica la relación de tiempos prolongados en el secado con la presencia de fermentaciones y agentes externos no deseados (Berrocal Rojas & Venegas Venegas, 2019).

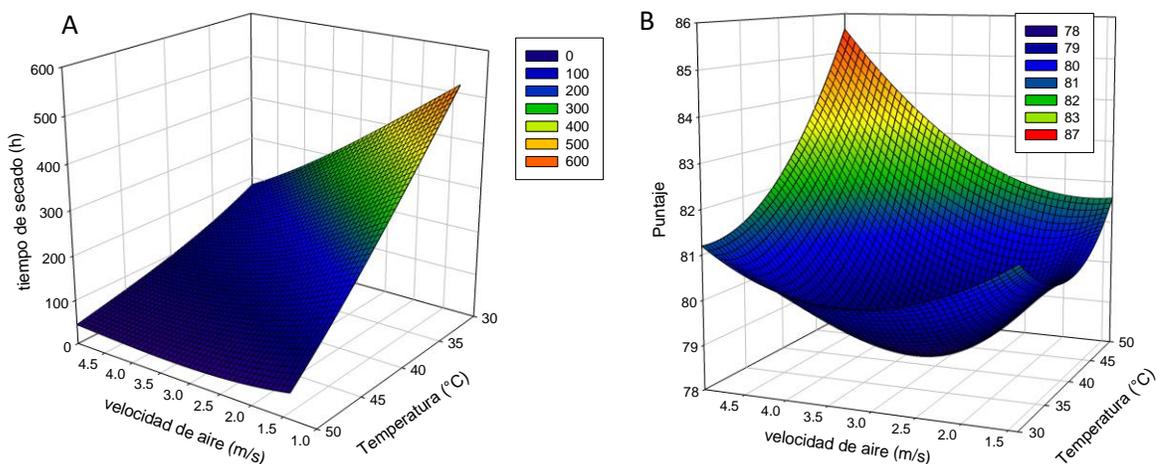


Figura 6. Superficie de respuesta para tiempo de secado (A) y puntaje de catación (B) para secado de café natural.

En la figura 7 se presentan las superficies de respuesta para el tiempo de secado y puntaje en taza para el café honey. Se observa como las temperaturas bajas prolongan el tiempo de secado. Las temperaturas altas, aunque disminuyen el tiempo de secado, afectan la calidad sensorial resultando en puntuaciones por debajo de los 80 puntos. Esto puede relacionarse con las observaciones de Borem (2008), quien explica el daño estructural de las células del grano en secado a altas temperaturas (Borem et al., 2018). Autores como Castoldi & Castoldi (2013), recomiendan secar los granos de café lo más rápido posible con temperaturas de 50°C. Bebidas de menor calidad fueron obtenidas al usar temperaturas de secado de 35°C y 45°C (Hena Arismendy, 2015).

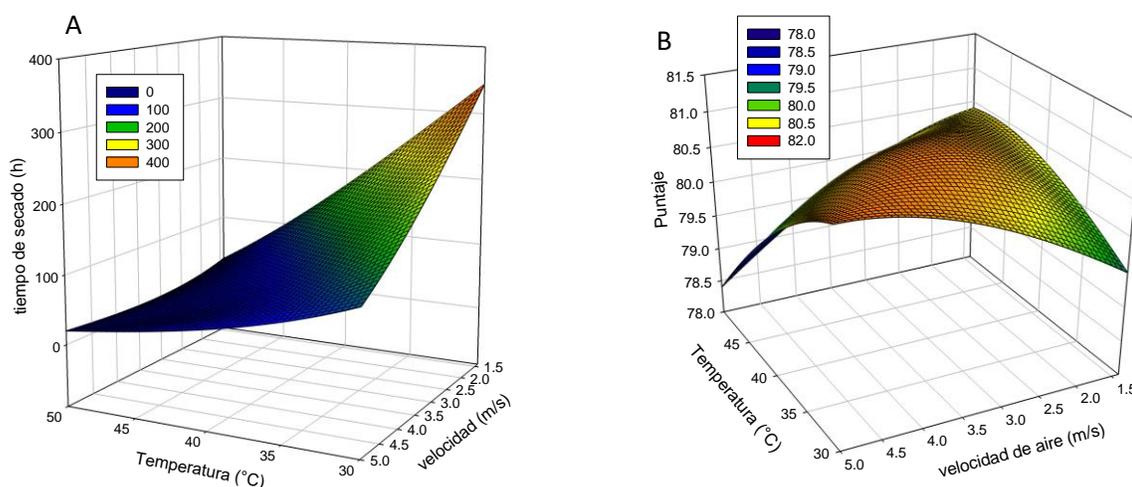


Figura 7. Superficie de respuesta para tiempo de secado (A) y puntaje de catación (B) para secado de café honey

4. Conclusiones

Los efectos de la temperatura y velocidad de aire de secado, así como del tipo de procesamiento (seco y semi-seco) fueron evaluados en función al tiempo de secado y puntaje de catación. Los tres factores presentaron un efecto significativo sobre el tiempo de secado, siendo la temperatura seguida del flujo de aire los que mayor influencia demostraron. El modelo ajustado explicó el 96.75% de la variación del tiempo de secado.

Aunque el efecto de los factores evaluados sobre el puntaje de catación no presentó significancia estadística, se observó que los cafés procesados por vía seca (natural) son menos susceptibles a la pérdida de calidad por secados a altas temperaturas. Esto puede ser debido a que el flujo de calor incidiendo sobre la almendra es amortiguado por las diferentes estructuras que componen el fruto. El café procesado por vía semi-seca (honey) presentó tiempos de secado más cortos y fue más susceptible a las altas temperaturas. Esto es debido al hecho de iniciar el proceso con una humedad más baja que la de la cereza y presentar menos resistencia a la difusión de humedad desde el interior (al no tener parte del mucílago ni cáscara).

La mayor incidencia del factor temperatura sobre el tiempo de secado, sugiere que el proceso es gobernado por la difusión líquida más que por la convección. Esto plantea la necesidad de optimizar el flujo de aire bien sea con procesos de secado intermitente o flujos de aire reducidos hacia el final del proceso de secado.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Centro Surcolombiano de Investigación en Café CESURCAFÉ y de la Universidad Surcolombiana (USCO).

6. Bibliografía

- Ayala Ceballos, D. C. (2020). *Evaluación de las propiedades sensoriales del café variedad Castillo, caturra y Colombia (Coffea arábica L.) durante el proceso de secado Honey a diferentes alturas sobre el nivel del mar en fincas cafeteras de la zona norte del departamento de Nariño*. San Juan de Pasto: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Barrera Bermeo, O. M., Gutiérrez, N., & Delgado Joven, B. (2017). *Buenas Prácticas para el procesamiento y control de calidad en cafés especiales*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Borem, F. M., Marques, E., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 62-66.
- Borem, F. M., Pedrosa Isquierdo, E., Alves, G. E., Ribeiro, D. E., Siqueira, V. C., & Da Silva Tavera, J. E. (2018). QUALITY OF NATURAL COFFEE DRIED UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND DRYING RATES. *Coffee Science, Lavras*, 159 - 167.

- Borem, F., Marques, E., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of dryng damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 62-66.
- Boyacá Vásquez, L. A. (2018). *Repositorio institucional. Biblioteca Digital. UN*. Obtenido de Estudio exploratorio de la obtención de café verde mediante beneficio de café verde mediante beneficio Honey y la determinación de si calidad en taza: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69512>
- 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. Programa de Ingeniería Industrial.
- Henaó Arismendy, 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. Facultad de Ciencias Agrarias.
- ICO. (21 de mayo de 2022). *Internacional Coffee Organization*. Obtenido de Proceso de campo. Procesamiento de café: https://www.ico.org/ES/field_processing.asp
- IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2020). *Guía práctica de caficultura*. Salvador: Impresión GPCAFI10.
- Jurado Chaná, J. M., Montoya Restrepo, E. C., Oliveros Tascón, C. E., & García Alzate, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del pergamino en el secado solar. *Cenicafé*, 135 -147.
- Kilbride, D. (06 de 03 de 2017). *Perfect Daily Grind*. Obtenido de Cafés de Proceso “Honey” Amarillo, Rojo y Negro: ¿Cuál es La Diferencia?: <https://perfectdailygrind.com/es/2017/03/06/cafes-de-proceso-honey-amarillo-rojo-y-negro-cual-es-la-diferencia/>
- Pedrosa Isquierdo, E., Borem, F. M., De Oliveira, P. D., Siqueira, V. C., & Alves, G. E. (2012). QUALITY OF NATURAL COFFEE SUBJECTED TO DIFFERENT REST PERIODS DURING THE DRYING PROCESS. *Food Science and Technology*, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000400008>.
- Ramirez-Martinez, A., Salgado-Cervantes, M. A., Rodríguez-Jimenes, G. C., García-Alvarado, M. A., Cherblanc, F., & Benet, J. C. (2013). Water transport in parchment and endosperm of coffee bean. *Journal of Food Engineering*, 114(3), 375-383.
- Rodríguez Valencia, N., Sanz Uribe, J., Oliveros Tascón, C. E., & Ramírez Gómez, C. A. (2015). *Beneficio del café en Colombia. Prácticas y estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso del beneficio húmedo del café*. Federación Colombiana de Cafeteros. Cenicafé.
- Soto Fuentes, L. A. (s,f). *Guía buenas prácticas para la producción de café semi lavado y natural*. Guatemala: ANACAFÉ.

