

EFECTO DEL SECADO Y PRESECADO MECÁNICO PREVIO AL ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD DEL GRANO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

EFFECT OF DRYING AND MECHANICAL PRE-DRYING PREVIOUS TO STORAGE IN THE QUALITY OF COFFEE GRAIN (*Coffea arabica* L.)

Harold F. Cano Suárez¹, Héctor J. Ciro Velásquez², Julio C. Arango Tobón³

¹Ing. Agrícola, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia, e-mail: hfcanos@unal.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-9406-3699>; ²Ing. Mecánico Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Profesor Asociado Dept. Ing. Agrícola y Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera 65 No. 59A-100, Medellín, Colombia, e-mail: hjciro@unal.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-4398-0470>; ³Ing. Agrícola, M.Sc. Profesor Titular Dept. Ing. Agrícola y Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera 65 No. 59A-100, Medellín, Colombia, e-mail: jcarango@unal.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1625-0541>.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 21(2):439-448, Julio-Diciembre, 2018
<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1068>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las condiciones de secado y presecado en muestras de café pergamino, almacenadas durante 6 meses, en condiciones controladas de humedad relativa, 70% y temperatura, 25°C, determinando la Conductividad Eléctrica (CE), Lixiviación de Potasio (LK) y Acidez Grasa (AG), de granos secos de café. El proceso de secado consistió en procesos combinados a temperaturas 50 y 60°C, dos periodos de 4 y 8 horas en el presecado mecánico y, posteriormente, llevado a humedad comercial en patio solar y dos tratamientos testigos, conformados por el secado mecánico completo y el secado solar completo. Los resultados mostraron los siguientes valores: 6,35 - 16,34 $\mu\text{Sm cm}^{-1}$ / g MS, para CE; 2,0 - 4,45 ppm/gMS, para LK y 0,76 - 1,57 mL KOH/ 100g MS, para AG, donde los análisis estadísticos mostraron que no hubo efecto del tipo de secado sobre las variables estudiadas; sin embargo, los mayores promedios acumulados en el tiempo de almacenamiento fueron observados para el secado mecánico completo. Los valores encontrados no indicaron daños de la estructura celular atribuidos según, el marco referencial, a secados con alta temperatura o prolongado almacenamiento. Las pruebas de Conductividad Eléctrica (CE) y Acidez Grasa (AG) mostraron sensibilidad al tiempo de almacenamiento, mientras que la prueba de Lixiviación de Potasio (LK), no se constituyó en un indicador del deterioro del grano, atribuible al estrés termomecánico o al tiempo de almacenamiento.

Palabras clave: café pergamino húmedo, deshidratación, silo secador, vida útil, calidad del café. Términos normalizados en el Tesauro del USDA.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of drying and pre-drying conditions of samples of parchment coffee stored during 6 months under controlled conditions of relative humidity of 70% and temperature of 25°C quantifying the Electrical Conductivity (EC), Potassium Leaching (KL) and Fatty Acidity (FA) of the grain. The coffee drying consisted on combined processes using air temperatures of 50°C and 60°C and two periods of 4 and 8 hours in the mechanical pre-drying and subsequently taken to commercial moisture content under patio drying, and two control treatments consisting of complete mechanical drying and complete solar drying. The results of the tests showed the following values: 6.35 - 16.34 $\mu\text{Sm cm}^{-1}$ / g DM (EC), 2.0 - 4.45 ppm / g DM (KL) and 0.76 - 1.57 mL KOH / 100g MS (FA), where the statistical analysis shows that there is no effect of the drying type on the studied variables. However, the highest accumulated averages in the storage time were observed for the complete mechanical drying. The values did not show deterioration of the cellular structure attributed to the frame of reference of drying with high temperature or prolonged storage. The tests of Electrical Conductivity (EC) and Fatty

Acidity (FA) shows sensitivity to the storage time while the Potassium Leaching (KL) test did not constitute an indicator of grain deterioration attributable to thermomechanical stress or storage time.

Keywords: wet parchment coffee, dehydration, silo dryer, shelf life, coffee quality. Key words normalized at Thesaurus of the USDA.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un proveedor mundial de café con valor agregado y, actualmente, se desarrollan programas para la producción y la comercialización de café bajo estándares de calidad y de sostenibilidad, a lo largo de toda la región cafetera del país, administrados por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) y por actores privados, con una participación del 23,5% sobre las exportaciones totales del país, según informe del 2015, de la FNC.

El secado mecánico del café puede reducir la calidad fisiológica de los granos, indicado por la actividad de enzimas asociadas al deterioro (Santos *et al.* 2014). El secado al sol ha sido identificado por algunos, como parte fundamental, para la obtención de cafés de muy buena calidad física y en taza. Lyman *et al.* (2011) compararon el secado solar y mecánico, encontrando diferencias sensoriales significativas. Coradi & Borem (2015), Oliveira *et al.* (2013) y Borém *et al.* (2008a) registraron mayores índices de conductividad eléctrica y lixiviación de potasio en granos secados mecánicamente a altas temperaturas, indicando pérdida de calidad fisiológica. Borém *et al.* (2008b) observaron ruptura de la membrana celular y fusión de los cuerpos lipídicos en granos de café, durante el secado, a 60°C, mencionando que este efecto expone los lípidos a la oxidación, permitiendo la generación de compuestos, los cuales, modifican el sabor y el aroma de la bebida. El secado del café desencadena respuestas metabólicas dirigidas a la producción de sustancias reactivas al oxígeno, oxidación de lípidos y proteínas (Rendón *et al.* 2014).

El aroma y el sabor percibidos en los alimentos, incluyendo el café, son usualmente influenciados por el tipo y la concentración de lípidos (Figueiredo *et al.* 2015). El uso de altas temperaturas en el secado genera mayor producción de ácidos grasos libres, asociados con la desestabilización de la membrana celular, el vertido de solutos y el incremento de la acidez grasa. Este proceso es observado durante el almacenamiento y continúa, aún después de la pérdida de viabilidad de la semilla, probablemente, debido a las lipasas (Speer & Kölling-Speer, 2006).

Para la producción de cafés de calidad superior, la temperatura en la masa de café durante el secado con aire caliente no puede superar los 40°C, debido a que esta temperatura

se ha asociado al mejor rendimiento fisiológico y químico de los granos y a las mejores evaluaciones sensoriales (Oliveira *et al.* 2013; Taveira *et al.* 2015). Se ha verificado que el descenso de la temperatura de 60 a 40°C, durante el secado, cuando el grano alcanza una humedad del 30% b.h., disminuye los valores de conductividad eléctrica y lixiviación de potasio, con respecto al uso de 60°C, de forma constante (Oliveira *et al.* 2013; Taveira *et al.* 2015). Otros estudios corroboran la mayor sensibilidad de los granos frente a altas temperaturas de secado mecánico durante fases de bajo contenido de humedad (Kleinwächter & Selmar, 2010).

Cuando la producción es elevada, el secado solar resulta insuficiente y el secado mecánico se torna en una necesidad para abastecer los requerimientos dinámicos de la cosecha (Ghosh & Venkatachalapathy, 2014). La industria nacional ha hecho importantes contribuciones a la oferta tecnológica de secado, con el fin de reducir los costos, a través de construcciones verticales (Gutiérrez *et al.* 2012) y han sido evaluados frente a las mejores condiciones de eficiencia y de uniformidad de secado (Parra *et al.* 2008); sin embargo, en los últimos años, el tratamiento poscosecha en relación con la calidad del grano, ha atraído cada vez más la atención de la comunidad científica y varios estudios en el mundo describen el impacto del procesamiento húmedo y seco en la fisiología y la calidad del café (Bytof *et al.* 2007).

Teniendo presente lo anterior, en esta investigación, se consideró estudiar el secado del café pergamino, teniendo en cuenta las recomendaciones en Colombia y su aplicación, en un proceso de secado, combinando las formas mecánica y solar, midiendo su efecto sobre algunas propiedades de calidad fisiológica y química del grano, durante el almacenamiento, bajo condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas: Frutos maduros de *Coffea arabica* L. variedad Caturra fueron recolectados y beneficiados vía húmeda, en la finca Santa Isabel, en el municipio de Fredonia-Antioquia (Colombia), cuyo cultivo se encuentra localizado a 1.800m s.n.m. Finalizado los procesos de secado, las muestras de Café Pergamino Seco (CPS) fueron trasladadas a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, para su almacenamiento y su caracterización.

Procesamiento: Beneficio y Secado: Entre 150 y 450kg de frutos de café maduro recolectado manualmente fueron recibidos, a diario, durante seis días consecutivos, para los seis tratamientos de secado, asignados de manera aleatoria. Una vez recibida la masa cosechada, los frutos fueron depositados en un tanque con agua, para separación por flotación de material de menor densidad, tolerando un margen del 2,5%, para el contenido de frutos verdes. Masas de café más

uniformes fueron transportadas hidráulicamente, para ser despulpadas, para obtención de café en baba y depositadas en un tanque para fermentación natural, realizando su seguimiento con la metodología del Cono Fermaestro (Peñuela *et al.* 2013). Al término de la fermentación, los granos fueron lavados y depositados en un tanque con rejilla, para drenar el exceso de humedad por gravedad, durante 30 minutos, al cabo del cual, se inició tratamiento de secado.

Los tratamientos de secado fueron los siguientes: cuatro secados combinados, obtenidos del uso de dos temperaturas (50 y 60°C) y dos periodos de presecado (4 y 8 horas), en secadora mecánica y cuyas muestras fueron dispuestas, posteriormente, al secado solar en patio, hasta lograr la humedad comercial, entre 10 y 12% b.h; adicionalmente, se utilizaron los tratamientos testigo secado mecánico completo y secado solar completo. Para el secado mecánico completo y en presecado combinado fue utilizado un secador comercial de tres recámaras, dispuestas verticalmente, con capacidad de 94kg de CPS, sección transversal de 0,49m x 0,77m, con operación secuencial y cargas consecuentes de capa de 20cm de altura, de café húmedo escurrido.

El flujo de aire fue controlado en las revoluciones del motor del ventilador (SIEMENS 1 HP), a partir de la caída de presión (Δp), medida entre la base de la capa y la presión atmosférica, mediante su relación con el caudal de aire, la carga de café y la humedad promedio, como lo establece Oliveros & Roa (1986), en su ecuación semiempírica. De esta forma, las lecturas obtenidas por tubo de pitot y micromanómetro (PVM620), con precisión 0,1Pa, fueron ajustadas con el accionamiento del dial, de un variador de frecuencia CINAMIC V20 de SIEMENS, conectado al motor del ventilador, para obtener valores constantes de caída de presión, durante cada periodo de carga de 18,6Pa, para primera carga, 92Pa, para segunda carga y 151Pa, para carga completa, correspondiendo en virtud de la ecuación semiempírica de la caída de presión y las características de la secadora, a caudales específicos promedio de $98\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{ton}^{-1}\text{CPS}$, para primera carga, $94\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{ton}^{-1}\text{CPS}$, para segunda carga y $70\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{ton}^{-1}\text{CPS}$, para carga completa. La temperatura del aire fue medida a la entrada del *plenum*, usando un termómetro industrial bimetalico (TB-300), de 1°C de precisión y controlada de forma manual, mediante la válvula de suministro de gas.

Para el proceso de secado mecánico completo fue monitoreada la temperatura del aire en el interior de la masa de café correspondiente a la primera carga, en las tres recámaras del recorrido de secado, con termopares tipo K (TP-02 de sonda de 100mm), con 0,1°C de precisión, en las secciones inferior, media y superior, desde la malla a 2, 10 y 18cm, respectivamente. La pérdida de humedad promedio fue seguida, mediante determinación del contenido de humedad

inicial (según norma ISO 6673:2003) y el pesado periódico de muestra, con peso inicial de 210g y precisión de 0,01g, dispuesta en columna extraíble, entre la capa de secado.

Muestras de 2,2kg de CPS, cada una correspondientes a dos repeticiones de los tratamientos, fueron empacadas en sacos de yute y almacenadas en una cámara climática MEMMERT ICH 260 L., con ambiente controlado a 25°C y humedad relativa de $70\% \pm 2$, durante seis meses, periodo en el que se desarrollaron las pruebas de calidad a los granos.

Conductividad Eléctrica (CE) y Lixiviación de Potasio (LK): La conductividad eléctrica (CE) de granos de café verde, se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Krzyzanowski *et al.* (1991), donde de forma duplicada, 50 granos, se pesaron con precisión de 0,0001g y se sumergieron en 75mL de agua destilada, en vasos de 200ml de capacidad, los cuales, fueron llevados a la estufa y sometidos a ventilación forzada, a una temperatura constante de 25°C, durante 5 horas. Seguidamente, se separaron los granos de la solución y se procedió a tomar la lectura de la conductividad eléctrica del agua de imbibición, en un conductímetro SCHOTT LAB 960, con precisión de $0,01\text{mS cm}^{-1}$. Los resultados, se expresaron en $\mu\text{Sm cm}^{-1} / \text{g MS}$, de acuerdo con la ecuación 1:

$$CE = \frac{\text{Lectura } (\mu\text{S cm}^{-1})}{\text{Peso (g)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

La lixiviación de Potasio (LK), se realizó a partir de los granos verdes, de acuerdo con la metodología propuesta por Prete (1992). Después de la lectura de la conductividad eléctrica, las soluciones se sometieron a determinación de concentración de potasio lixiviado, tomando la lectura en un fotómetro de llama PERKIN ELMER AANALYST 300, con precisión de $0,01\text{meq L}^{-1}$. La lectura fue expresada en ppm/ g MS, usando la siguiente expresión:

$$LK(\text{PPM}) = \frac{\text{meq L}^{-1} \times 39,1}{\text{Peso (g)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Acidez grasa (AG): Se determinó, de acuerdo con el Método 02-02 (método rápido de Acidez grasa), descrito por la American Association of Cereal Chemists –AACC– (1995), empleado como indicador de daño y deterioro en el grano. 40g de la muestra de café molido, se depositaron en 100mL de tolueno, en agitación continua, durante 1 hora y 30 minutos; al cabo, de lo cual, fue filtrado en papel filtro, para obtención del extracto y, de éste, 25mL fue mezclado en un beaker, con 25mL de etanol (99,5%V/V), más fenoltaleína, a una concentración de 0,04%W/V; posteriormente, la mezcla fue titulada con bureta de precisión de 0,05 ml, con una solución de KOH, en concentración de 0,025 mol/L, hasta que alcanzó el punto de inflexión, cuando el color de la solución

pasó de verde claro a rosa claro. El resultado de la acidez grasa fue expresado, utilizando la Ecuación 3:

$$AG = \frac{V \times 100}{MS} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, *AG* es la acidez grasa en mL de KOH por 100g de materia seca (*MS*) y *V* es el volumen empleado de KOH, para titulación de la mezcla (extracto + indicador), en mL.

Estas variables de calidad química del grano de café fueron determinadas para almacenamiento en periodos de 0, 2, 3, 4 y 6 meses.

Diseño Experimental: Fue utilizado un diseño experimental con medidas distribuidas en el tiempo, en esquema factorial 6 x 5 para tipos de secado y periodos de almacenamiento, con dos repeticiones. El análisis estadístico fue realizado, usando el programa estadístico SAS®, mediante análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los tratamientos fueron identificados como: H1_50_8: presecado a 50°C y 8 horas; H2_60_8: presecado a 60°C y 8 horas; H3_60_4: presecado 60°C y 4 horas; H4_50_4: presecado 50°C y 4 horas; SC: Solar completo y MC: Mecánico Completo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el secado mecánico completo de la masa de café correspondiente a la primera carga fueron necesarias 24 horas, equivalentes a tres estaciones de 8 horas cada una. La curva

de descenso de humedad promedio de capa muestra una tasa de secado sin desaceleraciones la mayor parte del proceso, siendo más importante, en las dos primeras estaciones (Figura 1).

Mientras el aire de secado se controla en 50°C ± 1°C, las temperaturas del aire, medidas en la masa de los granos en la región inferior, media y superior, mostraron diferencias entre sí, especialmente, entre las subcapas inferior y superior con la mayor temperatura para la subcapa inferior (Figura 2). Esta diferencia disminuyó a medida que el tiempo de secado avanzó y las temperaturas se incrementaron con el tiempo, debido, fundamentalmente, a la disminución de las tasas evaporativas de agua, observándose la mayor diferencia en las primeras horas y la menor diferencia hacia las últimas horas de secado, donde se alcanzan las condiciones de equilibrio producto/aire.

El contenido de humedad del grano mostró la mayor diferencia al final de la primera estación, dejando una subcapa inferior con mayor descenso en el contenido de humedad, mientras en la región superior, los granos permanecieron con altos contenidos. Con el cambio de recámara, al final de la segunda estación, los contenidos de humedad de los granos se aproximaron y durante la tercera estación, las velocidades de secado se equilibraron, correspondiendo con menores gradientes de temperatura entre las subcapas, como consecuencia de mayor uniformidad en el contenido de humedad, menores contenidos de humedad, calentamiento del producto y tendencia a la temperatura de equilibrio.

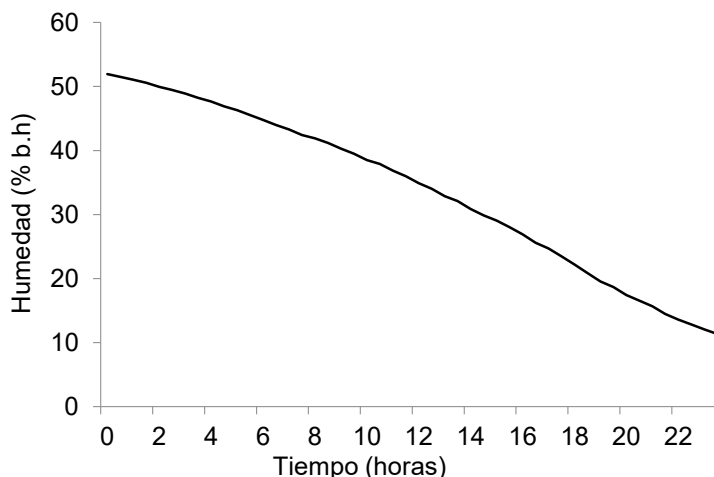


Figura 1. Humedad promedio de capa en secado mecánico. Temperatura aire de secado 50°C ± 1°C. Caudal específico: 98m³ min⁻¹ ton⁻¹ CPS, primera carga (0 a 8 horas); 94m³ min⁻¹ ton⁻¹ CPS, segunda carga (8 a 16 horas) y 70m³ min⁻¹ ton⁻¹ CPS, carga completa (16 a 24 horas).

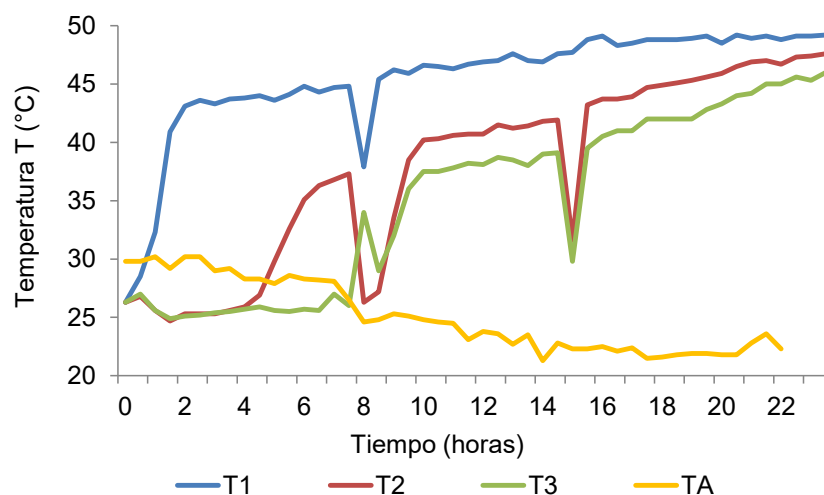


Figura 2. Temperatura del aire en las subregiones de la capa de secado. T1: Posición inferior; T2: Posición media; T3: Posición superior; TA: Temperatura Ambiente.

Para el secado solar de muestras fue necesario entre 3 y 4 días, correspondiendo con periodos inferiores al promedio de siete días, reportado para secado en Colombia (Roa M. *et al.* 2000). Además de condiciones climáticas favorables, el menor tiempo empleado pudo estar ayudado por el frecuente movimiento de granos que se realizaba, con el fin de uniformizar el secado, durante cada pesada de la muestra. De forma general, los tiempos empleados para el secado solar durante los tratamientos Solar Completo y Secado combinado, de acuerdo con la variación de los factores climáticos y periodos de presecado mecánico, oscilaron entre los 2,5 y 5 días.

Secado Combinado: El mayor descenso en la humedad, se observó en los presecados, a 60°C y 50°C, durante 8 horas, con disminuciones de 16 y 13 unidades porcentuales en base húmeda, respectivamente.

El comportamiento de secado, a nivel de subcapas, que tuvo lugar en la primera estación de secado para presecado, a 50°C y presecado a 60°C, para 8 horas, mostró mayor tasa de secado en la subcapa inferior, donde se registró un mayor transporte de agua, como consecuencia del mayor contenido de humedad en el grano y la baja presión de vapor del aire, los cuales, generaron los mayores potenciales para la transferencia de calor y masa; en consecuencia, la temperatura del aire disminuyó, a medida que ascendió por la capa y perdió capacidad de secado, con respecto a las regiones superiores. El presecado a 60°C, durante 8 horas, requirió un cambio de recámara y en ninguna estación el contenido de humedad de la subcapa inferior descendió de los 30% b.h.

Conductividad Eléctrica (CE): Con valores variando entre 6,35 - 16,34 $\mu\text{Sm cm}^{-1}/\text{gMS}$, los resultados de CE encontrados muestran correspondencia con los menores valores reportados en la literatura (Abreu *et al.* 2017; Siqueira *et al.* 2016), para determinación de calidad fisiológica en granos, bajo diferentes condiciones de almacenamiento y secado, teniendo en cuenta que ha sido reportado un rango de valores, que oscilan entre 11,22 $\mu\text{Sm cm}^{-1}/\text{gMS}$ a 231,66 $\mu\text{Sm cm}^{-1}/\text{gMS}$ (Borém *et al.* 2008a; Oliveira *et al.* 2013; Taveira *et al.* 2015).

Los datos de referencia indican los mayores valores de conductividad eléctrica, debido al uso de mayores temperaturas de secado y, los valores extremos, además, al secado mecánico en baya del café natural, el cual, genera mayor exposición a temperaturas de secado y mayor daño fisiológico (Borém *et al.* 2008a; Oliveira *et al.* 2013) o debido a la interacción temperatura de secado y tiempo de almacenamiento (Coradi *et al.* 2007). Entre tanto, los menores valores reportados corresponden a las temperaturas de secado más bajas utilizadas.

El ANAVA para CE no indica diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$), entre tipos de secado. El tiempo de almacenamiento, en cambio, presentó efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$), sobre los valores medios de CE, mostrando una ligera disminución hasta el tercer mes y un incremento significativo al completar el periodo total de almacenamiento (Figura 3). Coradi & Borém (2015) no encontraron variaciones significativas en los valores de CE en los primeros 90 días de almacenamiento; sin embargo, re-

gistraron un incremento significativo a los 180 días, para los tratamientos de secado solar en patio y mecánico, a 40°C.

Lixiviación de Potasio (LK): Los valores encontrados para LK (2,0-4,45ppm/gMS) son menores a todos los reporta-

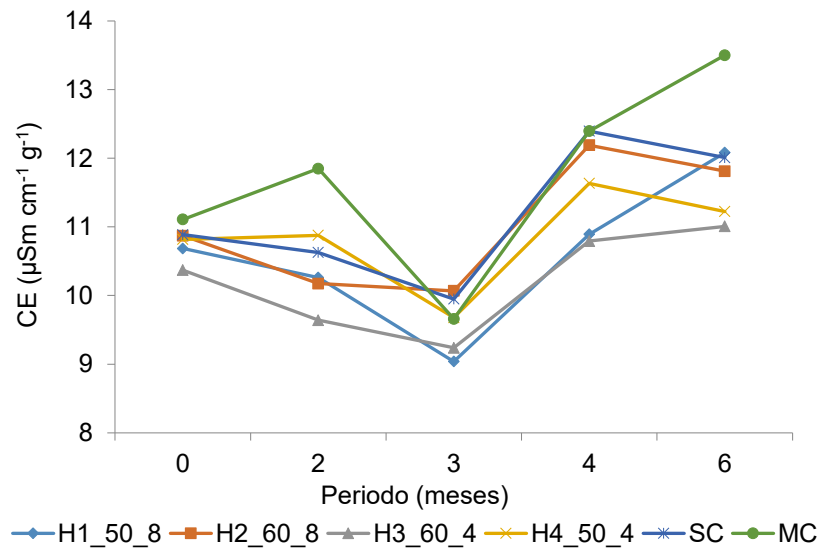


Figura 3. Valores de conductividad eléctrica (CE) para cada tratamiento.

dos en el marco de referencia, definido por Coradi *et al.* (2007), Borém *et al.* (2008a), Taveira *et al.* (2015) y Abreu *et al.* (2017), incluso, a los menores valores presentados por Abreu *et al.* (2017), quienes reportaron valores entre 8,8-10,18ppm/gMS.

Los resultados muestran bajos niveles de LK y los valores medios no difirieron estadísticamente ($p > 0,05$), entre tipos de secado; asimismo, los resultados no mostraron influencia del tiempo de almacenamiento, señalando que para este caso el test de LK, no se constituyó en un indicador de pérdida de calidad fisiológica del grano, a lo largo del tiempo (Figura 4).

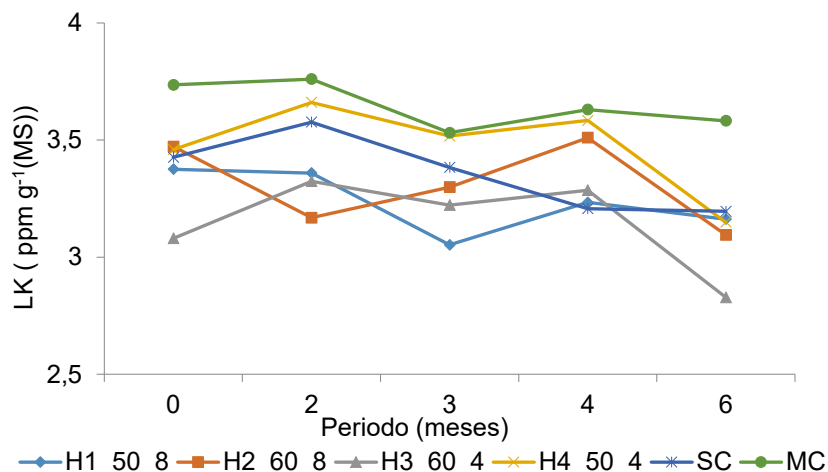


Figura 4. Valores de lixiviación de potasio (LK) para cada tratamiento.

Coradi & Borém (2015) tampoco encontraron diferencia significativa entre los valores de LK de secado solar y secado mecánico, a 40°C, en los primeros tres meses de almacenamiento; sin embargo, encontraron que estos valores se incrementaron significativamente, entre el tercer y sexto mes.

La lixiviación de potasio es señalada por Prete (1992) como un indicador de integridad del grano y de calidad sensorial. De acuerdo con ello, se constituye, junto con el test de conductividad eléctrica, en indicadores de pérdida de estructura celular del endospermo, también están relacionados con la exposición de lípidos a la oxidación y a los cambios en las propiedades de sabor y aroma (Taveira *et al.* 2015); sin embargo, en el presente estudio, la prueba no mostró evidencia de afectación térmica del tipo de secado comparado con el secado solar, reportado por Coradi *et al.* (2007) y Borém *et al.* (2008a), como el que genera menor daño fisiológico.

Acidez Grasa (AG): El rango de valores encontrados para AG (0,76-1,57 mL KOH/100g MS) es coherente con los menores valores reportados por Coradi & Borém (2015) para

café despulpado secado en patio y con aire a 40°C, en los primeros 90 días de almacenamiento; sin embargo, no fue observado el incremento sustancial, señalado por estos autores, al sexto mes de almacenamiento. Los valores también corresponden con el rango con margen estrecho, reportado por Borém *et al.* (2008a), para secado en patio, aire a 40°C y 60°C. Los valores encontrados, se encuentran con respecto al rango reportado por Coradi *et al.* (2007), Borém *et al.* (2008a), Oliveira *et al.* (2013) y Coradi & Borém (2015), en la región de los valores más bajos, indicando mejor rendimiento fisiológico.

Los valores medios de Acidez Grasa encontrados en los granos secos en patio no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0,05$) a los obtenidos mediante secado híbrido y secado mecánico completo; de la misma forma, Coradi *et al.* (2007) no reportaron diferencias significativas entre granos secados al sol y granos secados a 40°C, en los primeros 90 días de almacenamiento. En la figura 5, se muestran los valores de Acidez Grasa por tratamiento, durante el periodo de almacenamiento.

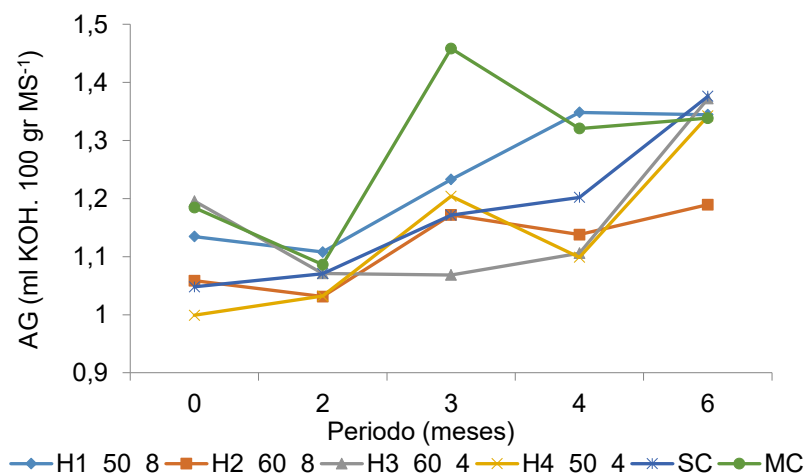


Figura 5. Valores de acidez grasa (AG) para cada tratamiento.

Oliveira *et al.* (2013) encontraron diferencia estadística entre los valores de AG del secado solar y el secado con temperatura combinada 50/40°C. El trabajo mencionado encontró diferencia significativa entre los valores de AG de granos secados a baja temperatura y los secados en capa estática, a 60°C, encontrando, para éstos, además, los peores valores, en las variables de calidad analizadas.

El ANAVA para AG mostró significancia estadística ($p < 0,05$) en el tiempo de almacenamiento (Tabla 1), con un incremento en los valores medios, observados a partir del tercer mes, indicando, según el principio bioquímico de la prueba,

generación de ácidos grasos libres, proceso ligado, según Oliveira *et al.* (2013), a la degradación de la membrana celular; sin embargo, los máximos valores alcanzados por este indicador, para el presente trabajo, son considerablemente inferiores a los mayores valores alcanzados por los trabajos de referencia mencionados.

Algunas de las razones por las que fueron hallados bajos valores en las pruebas fisiológicas y químicas con respecto a los trabajos que definen el marco de referencia (Coradi *et al.* 2007; Borém *et al.* 2008a; Oliveira *et al.* 2013; Coradi & Borém, 2015; Taveira *et al.* 2015; Abreu *et al.* 2017) po-

Tabla 1. Valores de caracterización química en el periodo de almacenamiento.

Test	Mes 0	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 6	Promedio
CE	10,79±0,25 ab	10,57±0,76 ab	9,6±0,4 a	11,72±0,73 b	11,94±0,88 b	10,92±1,05
LK	3,42±0,21 a	3,47±0,23 a	3,33±0,18 a	3,41±0,19 a	3,17±0,24 a	3,36±0,22
AG	1,10±0,08 a	1,07±0,03 a	1,22±0,13 ab	1,2±0,11 ab	1,33±0,07 b	1,18±0,13

Medias con la misma letra en las líneas, no difieren entre sí al 5% de significancia por la prueba de Tukey.

drían estar relacionados con la posición donde fue controlada la temperatura de secado y por el uso de equipo de limpieza para preparación de muestras, en el caso del test de CE y LK. Otra posible razón por la que no se presentó evidencia de alteración de la estructura celular por ruptura de tejidos por estrés termomecánico o degradación de la pared celular durante el almacenamiento puede estar relacionada con el sistema de secado en capa gruesa móvil o consecuente; no obstante, el análisis estadístico indicó que los valores obtenidos por las pruebas de calidad, para secado mecánico, con ciclo completo, fueron en promedio mayores a los hallados en el resto de tratamientos (Tabla 1).

El secado en capa profunda expone la subcapa inferior a la mayor temperatura del aire, mientras las subcapas superiores, se exponen a menores temperaturas, exponiendo sus fases de secado, de una manera consecuente; la pérdida de humedad del grano da paso a un calentamiento gradual, de orden ascendente, a nivel de subregiones, conforme las subcapas completan su fase de razón constante de secado. El movimiento de capas y la transposición de granos crean una oscilación en las propiedades psicométricas del aire de secado para la porción de granos considerada crítica, evitando la exposición constante a la mayor temperatura del aire, por parte de subcapas de granos exclusivas.

Se ha reportado para el secado de granos con temperatura constante de 60°C, los peores indicadores de calidad, como consecuencia del llamado estrés termomecánico, descrito por Hernández *et al.* (2008), como fracturas en el endospermo en regiones de la superficie del grano, como resultado de mayores gradientes de temperatura y de humedad entre la superficie y el interior del grano, en un fenómeno que se atribuye a la difusividad de humedad, como mecanismo regulador del transporte de masa (Nilnont *et al.* 2012; Ramírez *et al.* 2013; Burmester & Eggers, 2010) y que, además, desencadena aumentos en la tasa de respiración, de lixiviación de solutos e, incluso, la pérdida total de la viabilidad (Taveira *et al.* 2015); tales efectos no fueron evidenciados en el presente estudio. Rendón *et al.* (2014) encontraron estabilidad en las estructuras celulares del endospermo al tercer mes de almacenamiento y fuga de cuerpos lipídicos, a los 15 meses; sin embargo, registró que los principales cambios relaciona-

dos con la producción de ácidos grasos libres y oxidación de lípidos y proteínas, se presentaron en los seis primeros meses de almacenamiento, que correspondieron con los mayores niveles en la tasa de respiración de granos descascarillados.

Los resultados obtenidos muestran que la operación secuencial de una secadora de múltiple capa muestra más analogía con un sistema de inversión de la dirección del flujo de aire, frente al mejoramiento de la uniformidad en el contenido de humedad y la reducción del estrés en subcapa exclusiva, por aporte constante de calor (Jia *et al.* 2016), en contraste al sistema de secado en capa profunda estática, con intermitencia térmica y flujo de aire pulsado, presentado por Ciro *et al.* (2011).

Basados en los resultados obtenidos, el presecado mecánico en secadora de carga secuencial, con temperaturas entre 50 y 60°C, completado con secado solar, se presenta como una práctica viable, en unidades de beneficio, en virtud de la posibilidad de aplicación de un secado oportuno, continuo y con mayor tasa de secado, durante la fase de mayor contenido de humedad del grano, que corresponde con la fase de mayor resistencia del grano frente a alteraciones del tipo termomecánico y a la fase con mayor riesgo, para pérdida de calidad.

Trabajos futuros en este aspecto podrían ampliar el rango de exploración en los parámetros de secado, almacenamiento y cuantificación fisiológica y fisicoquímica. Además de optimizar la fase experimental mediante la aplicación simultánea de tratamientos sobre lotes de café más homogéneos, con más repeticiones y la correlación de análisis sensorial con variables de estudio.

Agradecimientos: Este estudio fue posible gracias al apoyo institucional de los laboratorios de Suelos, Procesos Agrícolas y Química Analítica de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ABREU, G.; DA ROSA, S.; CIRILLO, M.; MALTA, M.; CLEMENTE, A.; BORÉM, F. 2017. Simultaneous optimization of coffee quality variables during storage. *Agriambi*, (Brasil). 21(1):56-60. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p56-60>
2. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC-. 1995. Methods 02-02A: Fat acidity - rapid method, for grain. v.1. In: *Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists*. St. Paul: AACC.
3. BORÉM, F.; CORADI, P.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. 2008a. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. *Ciênc. Agrotec* (Brasil). 32(5):1609-1615. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500038>
4. BORÉM, F.; MARQUES, E.; ALVES, E. 2008b. Ultrastructural analysis of drying damage in parchment arabica coffee endosperm cells. *Biosyst. Eng.* (UK). 99(2008):62-66. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.027>
5. BURMESTER, K.; EGGERS, R. 2010. Heat and mass transfer during the coffee drying process. *J. Food Eng.* (USA). 99(2010):430-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.021>
6. BYTOF, G.; KNOPP, S.; KRAMER, D.; BREITENSTEIN, B.; BERGERVOET, J.; GROOT, S.; SELMAR, D. 2007. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. *Ann. Bot.* (UK). 100(1):61-66. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm068>
7. CIRO, H.; CORTÉS, M.; LÓPEZ, J. 2011. Secado de Café en Lecho Fijo con Intermitencia Térmica y Flujo de Aire Pulsado. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* (Colombia). 64(2):6247-6255.
8. CORADI, P.; MEIRA, F.; SAATH, R.; MARQUES, E.R. 2007. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. *Coffee Sci.* (Brasil). 2(1):38-47. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4880.7523>
9. CORADI, P.; BORÉM, F. 2015. Alterações dos parâmetros físico-químicos na qualidade da bebida do café natural e despulpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. *Braz. J. Storage* (Brasil). Julio 2015:1-18. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3209.5846>
10. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS (FNC). 2015. Comportamiento de la industria cafetera colombiana 2015. 78p.
11. FIGUEIREDO, L.P.; BORÉM, F.M.; RIBEIRO, F.C.; GIO-MO, G.S.; TAVEIRA, J.H.; MALTA, M.R. 2015. Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. *Afr. J. Agric. Res.* (Nigeria). 10(35):3484-3493. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9697>
12. GHOSH, P.; VENKATACHALAPATHY, N. 2014. Processing and Drying of Coffee - A Review. *IJERT.* (India). 3(12):784-794.
13. GUTIÉRREZ, J.; SANZ, J.; OLIVEROS, C.; OROZCO, C. 2012. Ventiladores para secadores de café. Diagnóstico, diseño y construcción económica de ventiladores centrífugos. Ed. FNC-Cenicafé, (Colombia). 56p.
14. HERNÁNDEZ, W.; RUIZ, I.; SALGADO, M.; RODRÍGUEZ, G.; GARCÍA, M. 2008. Modeling heat and mass transfer during drying of green coffee beans using prolate spheroidal geometry. *J. Food Eng.* (USA). 86(2008):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.025>
15. ISO 6673:2003. Green coffee -- Determination of loss in mass at 105 degrees C. 4p. Disponible desde Internet en: <https://www.iso.org/standard/38375.htm> (con acceso 21/07/18).
16. JIA, C.; WANG, L.; GUO, W.; LIU, C. 2016. Effect of swing temperature and alternating airflow on drying uniformity in deep-bed wheat drying. *Appl. Therm. Eng.* (UK). 106(2016):774-783. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.056>
17. KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. 2010. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. *Food Chemistry*, Oxford. 119(2):500-504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.048>
18. KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. 1991. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. *Informativo ABRATES*, Brasília. 1(2):15-50.
19. LYMAN, D.J.; BENCK, R.M.; MERLE, S.F. 2011. Difference spectroscopy in the analysis of the effects of

- coffee cherry processing variables on the flavor of brewed coffee. *J. Spectrosc. (UK)*. 2011:1-5. <http://dx.doi.org/10.1155/2011/815304>
20. NILNONT, W.; THEPA, S.; JANJAI, S.; KASAYAPANAND, N.; THAMRONGMAS, C.; BALA, B. 2012. Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. *Food Bioprocess (UK)*. 90(2012):341-350. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.007>
21. OLIVEIRA, P.D.; BORÉM, F.M.; ISQUIERDO, E.P.; GIOMO, G.S.; LIMA, R.R.; CARDOSO, R.A. 2013. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science (Brasil)*. 8(2):211-220.
22. OLIVEROS, C.; ROA, M. 1986. Pérdidas de presión por el paso del aire a través del café pergamino, variedad caturra, dispuesto a granel. *Cenicafé (Colombia)*. 37(1):23-37.
23. PARRA, A.; ROA-MEJÍA, G.; OLIVEROS-TASCÓN, C.E. 2008. SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Agriambi (Brasil)*. 12(4):428-434.
24. PEÑUELA, A.; PABÓN, J.; SANZ, J. 2013. Método Fermaestro: Para determinar la finalización de la fermentación del mucílago de café. *FNC-Cenicafé (Colombia)*. ISSN - 0120 - 0178.
25. PRETE, C.E.C. 1992. Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba SP. p.22-29.
26. RAMÍREZ, A.; SALGADO, M.; RODRÍGUEZ, J.; GARCÍA, M.; CHERBLANC, F.; BÉNET, J. 2013. Water transport in parchment and endosperm of coffee bean. *J. Food Eng. (USA)*. 114(2013):375-383. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.028>
27. RENDÓN, M.Y.; DE JESUS GARCIA SALVA, T.; BRAGAGNOLO, N. 2014. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chem. (Netherlands)*. 147:279-286. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.123>
28. ROA M., G.; OLIVEROS TASCÓN, C.E.; RAMIREZ GOMEZ, C.A. 2000. Utilice la energía solar para secar correctamente café. *Avances Técnicos Cenicafé*. 281:1-4.
29. SANTOS, F.C.; FRANCO DA ROSA, S.D.; REZENDE VON PINHO, E.V.; CIRILLO, M.A.; SAMPAIO CLMENTE, A.C. 2014. Desiccation sensitivity from different coffee seed phenological stages. *J. Seed Science. (Brasil)*. 36(1):25-31.
30. SIQUEIRA, V.; BOREM, F.; ISQUIERDO, E.; ALVES, G.; RIBEIRO, D.; PINTO, A.; TAVEIRA, J. 2016. Drying of hulled naturally processed coffee with high moisture content and its impacts on quality. *Afr. J. Agric. Res. (Nigeria)*. 11(31):2903-2911. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10837>
31. SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. 2006. The lipid fraction of coffee bean. *Braz. J. Plant Physiol. (Brasil)*. 18(1):201-216. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>
32. TAVEIRA, J.; BORÉM, F.; DA ROSA, S.; OLIVEIRA, P.; GIOMO, G.; ISQUIERDO, E.; FORTUNATO, V. 2015. Post-harvest effects on beverage quality and physiological performance of coffee beans. *Afr. J. Agric. Res. (Nigeria)*. 10(12):1457-1466. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9263>

Recibido: Mayo 9 de 2018

Aceptado: Octubre 30 de 2018

Cómo citar:

Cano Suárez, H.F.; Ciro Velásquez, H.J.; Arango Tobón, J.C. 2018. Efecto del secado y presecado mecánico previo al almacenamiento en la calidad del grano de café (*Coffea arabica* L.). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*21(2):439-448. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1068>