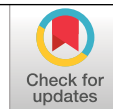


# EFFECTO DE LA COMBINACIÓN DE PROCESOS DE SECADO EN LA CALIDAD DEL CAFÉ NATURAL OBTENIDO VÍA SECA

Valentina Osorio Pérez \*, Jenny Pabón Usaquén \*, Joel Shuler \*\*, Mario Roberto Fernández Alduenda \*\*\*

Osorio, V., Pabón, J., Shuler, J., & Fernández-Alduenda, M. R. (2022). Efecto de la combinación de procesos de secado en la calidad del café natural obtenido vía seca. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73101. <https://doi.org/10.38141/10778/73101>



En Colombia, el proceso de poscosecha más frecuente es el denominado beneficio por vía húmeda, que da origen a cafés suaves lavados. Actualmente existe una tendencia emergente en la búsqueda de perfiles sensoriales diferenciados y esto ha incrementado el interés en cafés procesados por vía seca que dan como resultado los cafés naturales. Con el fin de conocer el efecto del cambio en el orden del tipo de secado de cafés naturales, se evaluaron cuatro tratamientos: secado solar 100%; secado mecánico 100%; secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico, y café secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% finalizando con secado solar. Para cada uno de los tratamientos se realizó la evaluación sensorial con el protocolo SCA (Specialty Coffee Association) y la determinación de la composición química mediante la técnica de espectroscopia infrarrojo cercano NIRS. El tiempo promedio del secado solar 100% fue de 14 días, para el secado mecánico 8 días y, para los tratamientos asociados a combinaciones y cambios, estuvo en 12 días. No hubo diferencias entre tratamientos para el puntaje total SCA, se obtuvo un puntaje promedio de 82,90 con máximo de 84,92 puntos. El atributo fragancia/aroma fue diferente a favor del secado mecánico con un valor promedio de 8,01 y el contenido del ácido graso palmítico fue de 40,11% para el tratamiento de secado 100% solar con respecto al secado mecánico de 38,69%.

**Palabras clave:** *Coffea arabica* L., secado, natural, humedad, sensorial, ácidos, NIRS.

## EFFECT OF THE COMBINATION OF DRYING PROCESSES ON THE QUALITY OF NATURAL COFFEE PROCESSED BY DRYING METHODS

In Colombia, the most frequent post-harvest process is the so-called wet method, which results in mild washed coffee. There is currently an emerging trend in the search for differentiated sensory profiles and this has increased interest in coffee processed by drying methods, which result in natural coffees. In order to determine the effect of changes on the order of the type of drying of natural coffees, four treatments were evaluated: 100% sun drying; 100% mechanical drying; sun drying with decrease of the initial percentage of humidity to 40% and ending with mechanical drying, and mechanical drying coffee with decrease of the initial percentage of humidity to 40% ending with sun drying. For each treatment, the sensory evaluation was performed with the SCA (Specialty Coffee Association) protocol and the chemical composition was determined using the Near Infrared Spectrometry technique, NIRS. The average time for 100% sun drying was 14 days, for mechanical drying was 8 days, and for treatments associated with combinations and changes was 12 days. There were no differences between treatments for the total SCA score, an average score of 82.90 was obtained with a maximum of 84.92 points. The fragrance/aroma attribute was different in favor of mechanical drying with an average value of 8.01 and the palmitic fatty acid content was 40.11% for 100% sun drying treatment, while for mechanical drying it was 38.69%.

**Keywords:** *Coffea arabica* L., drying, natural, quality, sensory, acids, NIRS.

\*Investigador Científico I y Asistente de Investigación, respectivamente. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>, <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>

\*\* Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8517-6539>

\*\*\* SCA Specialty Coffee Association. <https://orcid.org/0000-0001-6144-5562>



Los frutos de café comúnmente son denominados cerezas, por su tonalidad rojiza en el estado maduro. Estas cerezas, por su alto contenido de agua y material orgánico lábil, son altamente perecederas y, por tal motivo, son sometidas a un proceso denominado beneficio. El beneficio del café se define como el conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café cereza en granos de café seco (Roa et al., 1999). Este proceso debe conservar la calidad exigida por las normas de comercialización y evitar pérdidas del producto. Comercialmente se reconocen básicamente tres tipos de beneficio: seco, húmedo y semi-seco (Puerta, 2013a, 1999). En el beneficio seco, luego de que el café es recolectado, se realiza una clasificación y una selección hidráulica para retirar los frutos defectuosos e impurezas y, posteriormente, es sometido al proceso de secado. El método húmedo da lugar a los cafés conocidos como lavados e implica la eliminación de la pulpa y el mucílago del café, así como también un lavado antes de que sea sometido al proceso de secado (Clifford, 1985; Wintgens, 2004).

Dentro de las etapas del beneficio, el secado es el proceso donde se realiza la disminución del contenido de agua y, consecuentemente, la actividad de la misma, y se logra la conservación y la estabilidad del café durante su almacenamiento y comercialización. En cafés lavados, disminuye desde un contenido inicial de agua entre 50%–55% hasta el 10%–12% obteniendo el denominado café pergamino seco, en el que valores superiores a 12,5% (actividad de agua superior a 0,67) puede causar pérdidas a la calidad del grano al producir calentamiento de la masa y generar focos de hongos e insectos (Ospina et al., 1991; Puerta, 2006), y la probable generación de sustancias que afectan al consumidor (toxinas). El proceso de secado se efectúa de dos maneras, mediante secado solar y secado mecánico; para este último, en Colombia los equipos

más utilizados son los silos de capa estática (Parra et al., 2017). Según Borém et al., (2008), el secado de café es una de las etapas más importantes en la producción de café, en lo que se refiere a la calidad de la bebida y también al consumo de energía, debido a que el fruto recolectado tiene un alto contenido de agua cercano al 60%, tornándose obligatoria su reducción hasta niveles seguros para el almacenamiento.

El tipo de beneficio seco da lugar a los cafés conocidos como cafés naturales. En este proceso, posterior a la recolección, el fruto completo es sometido al proceso de secado (Borém et al., 2008). En Brasil, el proceso típico de secado de café natural consta de dos etapas de secado. En la primera etapa, los frutos de café se extienden en terrazas pavimentadas, donde el contenido de humedad disminuye a porcentajes comprendidos entre el 35%–30% y en la segunda etapa el café pasa a secadores mecánicos de lecho fijo hasta aproximadamente 13% de humedad (Guimarã et al., 1998). Durante el proceso de secado de capa fija, se recomienda la rotación del café a intervalos regulares de tres horas, debido a que este procedimiento reduce los gradientes de humedad en la masa de grano (Finzer et al., 2007). Así mismo, con el fin de disminuir los gradientes de humedad en el café durante el proceso de secado se recomiendan alturas de capa de secado inferiores a 50 cm y temperaturas del aire de secado de 50°C (Silva et al., 2010). La temperatura debe controlarse para no sobrepasar los 40°C en la masa de café, para no causar algún daño a la calidad del producto (Borém et al., 2014).

La temperatura del aire, la de los granos y el flujo de aire, entre otras variables, son parámetros importantes que deben monitorearse durante este proceso. Altas temperaturas y flujos de aire elevados no permiten garantizar la preservación de la

integridad del café y su calidad, debido a que se generan gradientes de humedad tanto al interior del grano como en la masa de café, también se aumenta la porosidad del grano y es posible perder algunos precursores químicos. Del mismo modo, el uso de temperaturas excesivamente altas ocasiona defectos como los granos cristalizados. Estudios mostraron que el secado con temperaturas moderadas, intercalado con períodos de reposo, representa una mejor eficiencia en el consumo específico de energía y la calidad final del café (Coradi et al., 2007). Para establecer las temperaturas máximas utilizadas durante el proceso de secado es necesario considerar que la temperatura del aire casi siempre es mayor que la temperatura del grano y que, durante la última etapa de secado, la temperatura de la masa de granos tiende a igualarse con la del aire. Al igual que en los procesos de beneficio por vía húmeda, el café natural secado a 60°C, después de 90 días de almacenamiento, presentó calidad inferior con respecto al café procesado a 40°C (Coradi et al., 2007). Así mismo, con el fin de asegurar una buena calidad para los cafés procesados vía húmeda, se recomienda no utilizar temperaturas superiores a los 50°C. Por su parte, Alvés et al. (2017) reportan que un aumento de la temperatura de 40 a 45°C da lugar a una disminución de la calidad fisiológica, sólo en el caso del café despulpado y un aumento de la tasa de secado. Las tecnologías disponibles de secado mecánico de café solamente permiten un aumento de la tasa de secado mediante el incremento de la temperatura o el flujo de aire. No obstante, temperaturas de la masa de café superiores a 40°C causan daños térmicos que deprecian su calidad (Borém et al., 2014; Isquierdo et al., 2013; Oliveira, et al., 2013).

La primera etapa del secado de cafés naturales frecuentemente se realiza utilizando el secado solar; el café se dispone en una capa

delgada en patios y es sometido a constante movimiento para mantener la temperatura y lograr un proceso homogéneo. Este proceso puede tomar desde varios días a semanas, pues depende de la temperatura y humedad del ambiente donde se desarrolle. Este logra acelerarse al ser complementado con secado mecánico. El secado puede ser realizado en patios o en secadores mecánicos, pero se han obtenido buenos resultados con la combinación de los dos métodos (Borém et al., 2008).

Durante el proceso de secado de café natural se producen cambios en el grano, los cuales se reflejan en los atributos sensoriales de la bebida. La respuesta a este proceso puede ser diferencial, dependiendo del tipo de secado, por tal razón es necesario identificar si las combinaciones de los procesos de secado permiten una expresión diferente de la calidad sensorial del café natural. En esta investigación se evaluó el efecto de los cambios en el orden del proceso de secado de cafés naturales, finalizando cuando el contenido de humedad del grano se encontraba en un rango comprendido entre 10% al 12%, determinando la calidad física, sensorial y la composición química por la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Frutos de café

Se emplearon frutos de café de la especie *Coffea arabica* L., variedad Cenicafé 1, provenientes de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), recolectados en la cosecha principal del año 2020. Se utilizaron frutos maduros de café, los cuales se beneficiaron por vía seca en la sede de Cenicafé – Planalto, cuyas condiciones para el año 2020 fueron: altitud 1.413 m, temperatura mínima 17,3°C, temperatura máxima 26,8°C, temperatura media 21,4°C y humedad relativa

de 79,4%. La unidad experimental estuvo conformada por 50 kg de café cereza, para cada tratamiento se tuvieron cinco repeticiones. La evaluación de los tratamientos se realizó con el diseño bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fue la masa de café maduro cosechado en cinco momentos diferentes. Los frutos de café recibidos fueron clasificados hidráulicamente, eliminando frutos de menor densidad; posteriormente se eliminaron los frutos inmaduros, pintones y secos, dejando solo frutos maduros.

### Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados fueron:

- Secado al sol 100% (S).
- Secado mecánico 100% (M).
- Secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M).
- Secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40%, finalizando con secado solar (M40S).

Todos los tratamientos finalizaron cuando el porcentaje de humedad final del café estuvo entre el 10% al 12%. Para el secado solar se empleó una pasera solar con 2 cm de capa, con frecuencia de cuatro volteos al día y para el secado mecánico se utilizó una temperatura de aire de secado de 40°C con una capa de 10 cm.

### Secado del café

Para todas las unidades experimentales se determinó el contenido inicial de humedad de los frutos maduros por el método estándar de la estufa, según la ISO 6673 a 105°C (ISO, 2003). Para cada unidad experimental el valor correspondió al promedio de tres mediciones.

Después de determinado el contenido inicial de los frutos, se estimaron los pesos de los frutos necesarios para alcanzar la humedad de cambio de los procesos de secado; para esto se aplicó la Ecuación <1> de secado (Jurado et al., 2009). El contenido promedio de humedad inicial (Chi) de las unidades experimentales evaluadas fue del 68% y el contenido humedad de cambio fue del 40%. Para lo anterior, se calculó el peso del café para ese contenido de humedad, y por monitoreo constante cuando se alcanzaba la reducción necesaria se realizaba el cambio de secado solar a mecánico y viceversa. Esta misma ecuación se utilizó para determinar el peso del café para el porcentaje final de humedad del 10% al 12%.

$$Chf = \left[ 1 - \frac{P_i (1 - Chi)}{P_f} \right] 100 \quad <1>$$

Donde:

*Pi*: masa inicial del café, g

*Chi*: contenido inicial de humedad, %, base húmeda (68%)

*Pf*: masa final, g

*Chf*: contenido final de humedad estimada

Durante el proceso de secado se monitoreó la pérdida de peso de los frutos de café, lo que permitió construir las curvas de secado; de igual manera y de forma complementaria se determinó el parámetro actividad de agua, para verificar su comportamiento con respecto a la disminución del porcentaje de humedad. Para este parámetro se utilizó el equipo medidor de aw Lab Master Neo – Novasina, con método manual, donde el equilibrio del valor no es limitado por el tiempo de medición y la estabilidad de la lectura se alcanzaba cuando la variación no superaba  $\pm 0,003$  durante dos minutos con control de temperatura de medición (25°C).

## **Calidad física, sensorial y composición química**

En el análisis de la calidad física de la cereza seca se midió el contenido de humedad de la cereza y la almendra, por método directo, así como el porcentaje de merma (incluido el peso de la cáscara seca), pasilla, granos negros y vinagres, granos brocados y porcentaje de almendra sana (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). A diferencia del café pergamino seco, el porcentaje de los diferentes granos defectuosos se valoró con respecto a la almendra total después de trillada y no con respecto a la masa inicial del café cereza seco.

Para cada uno de los tratamientos y unidades experimentales, se realizó la evaluación sensorial con el protocolo SCA (Specialty Coffee Association SCA, 2003). Este protocolo incluye procedimientos de preparación: tueste del grano, colorimetría, proporción de café, granulometría, temperatura y calidad del agua, además de temperaturas de análisis, con la participación de cinco catadores certificados Q- Grader por el CQI (Coffee Quality Institute), que pertenecen al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Con esta metodología se registraron diez atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador, defectos y total. La calidad sensorial expresada como puntaje total SCA, fue la variable de respuesta.

La determinación de la composición química se realizó mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para estimar los contenidos de cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina presentes en el café verde de las muestras obtenidas. Las muestras de café almendra se analizaron en el rango de longitud de onda de

680–2.500 nm en un instrumento monocromador (NIRS model 6500, NIRSystems, Silver Spring, Maryland, USA) (Gómez, et al. 2021).

## **Análisis de la información**

Para cada tratamiento, se estimaron los promedios y error estándar, tanto de la variable de respuesta como de las variables complementarias. Se realizó el análisis de varianza con el diseño experimental bloques completos al azar, al 5%, con la variable de respuesta. Cuando hubo efecto de tratamientos, se aplicó el test de Bonferroni 5%, para identificar el tratamiento con mayor puntaje total y la relación con la composición química. Para la determinación de la diferencia de los contenidos de humedad del café natural se utilizó la prueba t de muestras emparejadas al 5%.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para garantizar la homogeneidad de la materia prima en todas las repeticiones se realizó clasificación hidráulica asegurando las mismas condiciones de operación para las unidades experimentales, para descartar frutos de menor densidad y/o muy brocados. Adicionalmente, se realizó la selección por color de frutos pintones de forma manual, para asegurar que los frutos estuvieran 100% maduros. En la Tabla 1 se presenta el tiempo promedio de secado en días de cada uno de los tratamientos. Las condiciones ambientales en el período en el cual se desarrolló el secado solar fueron: temperatura mínima 18,1°C, temperatura máxima 27,1°C, temperatura media 21,9°C y humedad relativa de 82,2%.

El secado al sol 100% (S) tardó más tiempo con relación a los demás tratamientos (Tabla 1) y es un 38,6% superior al mecánico 100% (M), sin embargo, el análisis de varianza no presentó diferencias significativas en la duración del

**Tabla 1.** Promedio, máximo y mínimo del tiempo de secado en días, para cada tratamiento.

Tratamiento	Promedio (días)	Máximo (días)	Mínimo (días)
<b>S: 100 % solar</b>	14	17	9
<b>M: 100 % mecánico</b>	8,6	11	5
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	11,4	15	8
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	12,6	17	9

secado de los tratamientos evaluados ( $P > 0,05$ ), posiblemente asociado a la temperatura de secado utilizada en los tratamientos con secado mecánico ( $40 \pm 5,0^\circ\text{C}$ ). El secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M) gastó un 9,5% menos de tiempo que el secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40%, finalizando con secado solar (M40S). Esta diferencia de tiempo a favor del S40M está asociada a la naturaleza del proceso de secado, pues en la etapa final se necesita un mayor gradiente entre la temperatura del aire y del grano para facilitar la migración del agua del grano. Durante la última etapa de secado este gradiente es mayor en el tratamiento asociado a la finalización con secado mecánico.

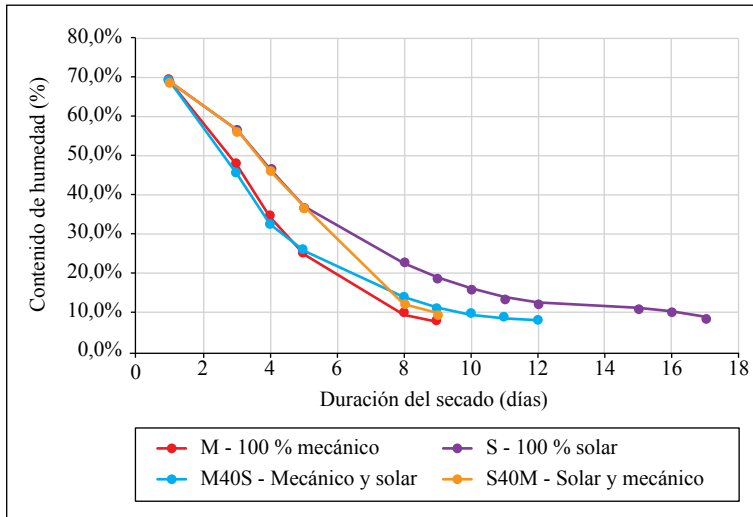
En la Figura 1 se presentan las curvas de secado para todos los tratamientos. El tiempo de secado finalizó cuando el café alcanzó una humedad del  $11\% \pm 1\%$ . En el día 5, los tratamientos M y S40M habían disminuido en un 37,9% la humedad inicial, muy similar a los tratamientos S y M40S con una disminución del 37,4%. La diferencia de tiempo entre tratamientos se marca en los días posteriores a este día de secado y se debe a que un mayor gradiente de temperatura en los tratamientos M y S40M en comparación con los tratamientos S y M40S, hace que disminuir la humedad promedio del grano en el día 5 de 31,2% hasta el rango del 10% al 12%, presente diferencias de hasta 10 días

para secado al sol 100%. El tratamiento S40M tomó 4 días para alcanzar un promedio de humedad del 40,10%; en este mismo tiempo los tratamientos S y M alcanzaron contenidos de humedad promedio de 44,10% y 32,70% respectivamente. El tratamiento M40S alcanzó una humedad promedio de 40,5% en tres días de secado y en este mismo periodo los tratamientos S y M alcanzaron valores de 53,70% y 48,10%.

### Actividad de agua

La actividad de agua es una propiedad termodinámica de los alimentos que está relacionada con la disponibilidad potencial del agua para participar en reacciones químicas, bioquímicas y en el desarrollo microbiano (Labuza, 1980). El valor de esta propiedad varía entre 0 y 1; los alimentos con actividad de agua inferior a 0,7 son poco susceptibles a la mayoría de las causas de deterioro físico, químico o biológico. En la Figura 2 se observa, por tratamiento, el comportamiento de esta variable desde el fruto de café cereza con una humedad del 68% y una actividad de agua ( $a_w$ ) promedio de 0,9848 hasta el café almendra con un contenido de humedad en el rango del 10% al 12% y una  $a_w$  promedio de 0,5857.

Como parte de las estrategias de poscosecha en café se tiene la disminución inmediata y continua del contenido de humedad y la conservación de este nivel en la cadena de



**Figura 1.** Duración del tiempo de secado según el tratamiento aplicado.

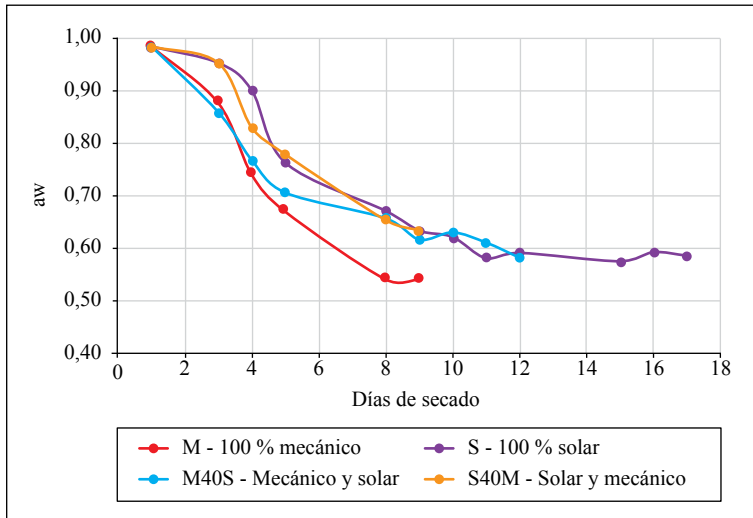
comercialización, puesto que altos contenidos de humedad generan altos valores de actividad de agua (Oliveira et al., 2019).

Valores de  $a_w$  que oscilan entre 0,935 y 0,965 y temperaturas de 25 a 32°C son óptimas para el crecimiento de *Aspergillus carbonarius*, mientras que para *Aspergillus ochraceus* los intervalos de  $a_w$  son de 0,940 a 0,990 y temperaturas entre 21 y 30°C. Las condiciones en las que las cepas muestran el mayor índice de riesgo de Ocratoxina A (OTA) son las siguientes: para *A. carbonarius*,  $a_w$  entre 0,95 y 0,99 y temperaturas entre 22 y 32°C; para *A. ochraceus*,  $a_w$  entre 0,97 y 0,99 y temperaturas entre 25 y 30°C (Oliveira et al., 2019). La reducción de la actividad de agua en los primeros cinco días de secado, a valores cercanos a 0,7, disminuye el riesgo de crecimiento de microorganismos productores de OTA. De forma similar, Puerta (2006) encontró para cafés lavados con capas de secado de 2,0 cm, que el riesgo para la producción de OTA es de cinco días. También reporta para cafés lavados que valores de  $a_w$  de 0,83 y 0,87 corresponden a porcentajes de humedad del grano del 18% a 28%. Además, en este

estudio para café natural se encontró que para este rango de humedad, medido a 25°C, corresponde a un valor promedio de  $a_w$  de 0,6668. El proceso de secado que asegura bajos valores de actividad de agua disminuye la probabilidad de producción de toxinas, aunque por otro lado  $a_w$  muy bajas pueden generar inconvenientes en el proceso de tueste, al impactar la movilidad de los reactantes de la reacción de Maillard.

### Calidad física

Para cada muestra, los contenidos finales de humedad del café fueron estimados empleando el método de la estufa (ISO 6673), en la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos. Inicialmente, al café cereza seco (ccs) se le retiró el pericarpio seco mediante la trilla, dejando el café almendra, y se determinó nuevamente el contenido de humedad, lo anterior con el objetivo de cuantificar las diferencias de la medición. El promedio de la diferencia de humedad fue de 2,2% a favor del café cereza seco con un intervalo de diferencias entre 1,3% y 3,1%. Dicha diferencia, fue estadísticamente mayor de cero ( $P < 0,0001$ ), según prueba t



**Figura 2.** Promedio de los valores de actividad de agua para todos los tratamientos durante el secado.

de muestras emparejadas al 5%, indicando mayor humedad cuando se mide en el café cereza seco con respecto al café almendra. La pulpa de café está compuesta, entre otros, por azúcares reductores (5,4% de la pulpa seca-ps), proteínas (9,4% ps) y pectinas (20,5% ps) (Rodríguez et al., 2020), esta última podría ser la responsable de la alta higroscopicidad de la pulpa y explicar estas diferencias de humedad. En café pergamino seco sucede un fenómeno similar, aun cuando las diferencias no son tan grandes, la diferencia promedio es de 0,21% con un intervalo de diferencias entre 0,14% y 0,27%, indicando mayor humedad

cuando se mide en el café verde con respecto al café pergamino seco.

Las variables de calidad física determinadas para el café natural, son diferentes a los valores recomendados para café obtenido por un proceso de lavado. El porcentaje de merma se refiere a la cantidad de pergamino que tiene el grano seco. Para este tipo de procesamiento, donde la cáscara (conocida como pulpa) queda adherida al grano de café almendra, los valores son mayores a los que se reportan para el café lavado (Figura 3). El café lavado tiene un porcentaje promedio de

**Tabla 2.** Contenidos de humedad del café cereza seco y almendra de café naturales sometidos a cuatro tratamientos de secado.

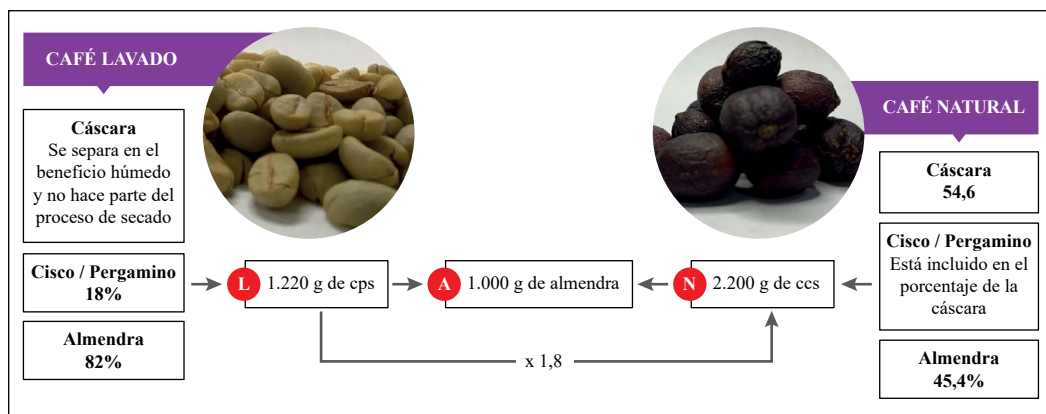
Tratamiento	Café cereza seco		Café almendra		Diferencia
	Prom.	Desv. Estándar	Prom.	Desv. Estándar	
<b>S: 100 % solar</b>	13,80%	1,30%	11,40%	0,90%	2,4%
<b>M: 100 % mecánico</b>	12,30%	1,90%	10,50%	1,80%	1,8%
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	12,83%	0,27%	10,77%	0,75%	2,1%
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	14,10%	0,90%	11,40%	1,00%	2,7%



merma del 19%, mientras que el promedio de merma de los cafés naturales evaluados en esta investigación, con doble clasificación previa al secado, fue de 54,94%, y esta variable no tuvo efecto de tratamientos. Para la determinación del porcentaje de los granos defectuosos y los granos sanos se realizaron los cálculos con respecto a la muestra de café almendra, sin impurezas, después de la trilla. En el caso del café natural, el color general de la muestra presenta un ligero cambio en las tonalidades del verde característico del café lavado y se observa más cubierto por el endospermo. En ocasiones se torna ligeramente amarillento y/o rojizo lo que no podría definirse como un defecto físico si no

como una característica propia del proceso, debido probablemente a la migración de antocianinas desde el exocarpio al endospermo (Puertas-Mejía et al., 2012).

Los principales defectos físicos fueron vinagres totales. Además, la proporción de almendras defectuosas o pasillas fue de 4,1%, encontrando el máximo valor de 5,1% en el tratamiento con secado mecánico 100% (M) y el mínimo en el tratamiento S40M con un valor de 3,3%. La proporción de almendra sana se reporta como la cantidad de granos sanos sin tener en cuenta la merma, con un promedio de 90,61% de almendra sana en todos los tratamientos de secado (Tabla 3).



**Figura 3.** Composición del grano de café lavado y de café natural; cps: café pergamino seco; ccs: café cereza seco.

**Tabla 3.** Promedio y desviación estándar para las variables físicas del café natural por tratamiento de secado.

Variable	S		M		S40M		M40S	
	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.
<b>Merma* (%)</b>	54,6%	3,4%	55,9%	3,1%	54,1%	2,3%	55,4%	4,5%
<b>Almendra defectuosa (%)</b>	3,6%	1,9%	5,1%	1,8%	3,3%	0,7%	4,3%	1,1%
<b>Broca (%)</b>	4,9%	1,2%	6,0%	1,1%	5,4%	2,0%	4,9%	1,3%
<b>Almendra sana** (%)</b>	91,5%	2,8%	88,9%	2,8%	91,2	1,4%	90,85%	1,9%

\*Incluye la cáscara; \*\*Calculada con respecto al peso total de la almendra.

## Calidad sensorial

Las muestras de todos los tratamientos presentaron calidad libre de defectos sensoriales. El tratamiento con secado mecánico 100% (M) obtuvo el valor promedio máximo de los atributos fragancia/aroma, sabor, sabor residual y balance, el tratamiento con secado solar 100% (S) obtuvo el promedio máximo para el atributo de acidez (Tabla 4). Oliveira et al. (2013), encontraron los valores más altos de los atributos de equilibrio e impresión general en café natural secado en patio y los valores más bajos de estos atributos en el tratamiento de secado con temperaturas de 40/60°C, lo que indica un posible daño a los componentes que expresan las características sensoriales. En este estudio los atributos sabor, sabor residual, acidez, balance y cuerpo no presentaron diferencias

por tratamientos, lo anterior puede ser explicado por las temperaturas utilizadas, que para el caso de los tratamientos que incluían secado mecánico no fueron superiores a 40°C, lo que evitó variaciones sustanciales en el grano que se reflejaran en la calidad sensorial.

El análisis de varianza presentó efecto para la variable fragancia/aroma, el secado mecánico 100% mostró el mayor promedio de fragancia/aroma (Tabla 5, Figura 4), el análisis de datos incorporó el test de Bonferroni que permite realizar comparaciones múltiples en intervalos cortos y comparar las medias de los niveles de un factor, después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante el análisis de varianza (Figura 4). Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 4.** Promedio de los atributos sensoriales del café natural en los tratamientos de secado probados.

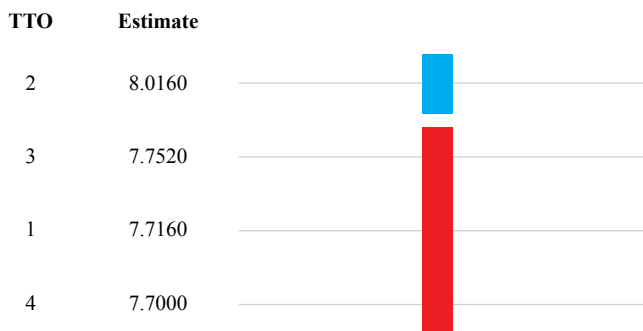
Tratamiento	Sabor	Sabor residual	Acidez	Balance
<b>S: 100% solar</b>	7,53	7,40	7,58	7,52
<b>M: 100% mecánico</b>	7,58	7,52	7,55	7,57
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	7,48	7,43	7,55	7,48
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	7,52	7,42	7,52	7,50
<b>General</b>	<b>7,53</b>	<b>7,44</b>	<b>7,55</b>	<b>7,52</b>

**Tabla 5.** Promedios de las variables fragancia/aroma del café natural por tratamiento de secado evaluado.

Tratamiento	Fragancia/Aroma		
	Promedio	Bon grouping	Desv. Est.
<b>M: 100% mecánico</b>	8,016	A	0,189
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	7,752	B	0,102
<b>S: 100% solar</b>	7,716	B	0,142
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	7,700	B	0,094

### FR\_AR Bonferroni Grouping for Means of TTO (Alpha = 0.05)

Means covered by the same bar are not significantly different.



**Figura 4.** Comparación de medias de la variable fragancia/aroma del café natural sometido a cuatro tratamientos de secado, mediante el test Bonferroni.

En general, para los cafés procesados vía seca y con cambios en el orden de secado se obtuvo un promedio de puntaje total SCA de 82,9 puntos con un valor máximo de 84,92 puntos en el tratamiento secado mecánico 100% (Tabla 6). No hubo diferencias según el análisis de varianza para el puntaje total SCA obtenido entre tratamientos, y la hipótesis de investigación no fue corroborada puesto que los tratamientos S40M y M40S no presentaron diferencias mayores en el puntaje total SCA con respecto a los tratamientos S y M. Todas las muestras reflejaron los descriptores de sabor

asociados al café natural: frutos rojos, notas vinosas, uvas, arándanos y arazá, entre otros.

Los atributos sensoriales de acidez y cuerpo presentan un comportamiento similar a los reportados por Oliveira et al. (2013), quienes para cafés naturales con diferentes temperaturas de procesamiento no obtuvieron diferencias, y en este estudio la combinación de los procesos de secado no presentaron diferencias con respecto al secado solar 100% (S) y mecánico 100% (M). Estos autores también reportan que los cafés naturales secados con aire a temperaturas

**Tabla 6.** Promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y error estándar para el puntaje total SCA del café natural en los tratamientos de secado probados.

Tratamiento	Promedio	Máximo	Mínimo	Dev. Est.	Error Est.
<b>S: 100% solar</b>	82,82	84,08	81,92	0,82	0,37
<b>M: 100% mecánico</b>	83,38	84,92	81,75	1,13	0,50
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	82,70	84,42	81,75	1,06	0,47
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	82,68	84,08	81,75	0,98	0,44
<b>Total general</b>	<b>82,90</b>	<b>84,92</b>	<b>81,75</b>	<b>0,97</b>	<b>0,20</b>

altas mostraron valores más bajos de acidez y cuerpo, comparados con los cafés secados en el patio, indicando inferior calidad sensorial de estos cafés. En cuanto al análisis sensorial, las diferencias significativas para la mayoría de los atributos sensoriales evaluados se dan cuando se compara el beneficio seco con el húmedo. Ferreira et al. (2013), definieron que el café lavado presenta calificaciones superiores que los cafés naturales, exceptuando el atributo de dulzura.

### Composición química

Los valores promedios máximos de los compuestos químicos se encontraron en los tratamientos de la siguiente manera: solar

100% (S), ácido graso oleico; mecánico 100% (M), trigonelina, ácidos clorogénicos totales y lípidos; secado al sol con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% y finalizando con secado mecánico (S40M), ácido graso esteárico, y café secado mecánico con disminución del porcentaje inicial de humedad al 40% finalizando con secado solar (M40S), cafeína, sacarosa y ácidos grasos linoleico y araquídico (Tabla 7).

Los valores promedio de la sacarosa superan el rango reportado para café arábica lavado, lo cual se debe al proceso de beneficio seco. Ferreira et al. (2013) reportan porcentajes promedios de azúcares reductores de diferentes regiones de Brasil de 0,52 y 0,29 para café

**Tabla 7.** Promedios de los compuestos químicos (%) del café natural bajo cuatro procesos de secado, mediante la técnica NIRS.

Compuesto (%)		S	M	S40M	M40S
		100% Solar	100% mecánico	Solar+Mec	Mec+Solar
<b>Cafeína</b>	Promedio	1,24	1,26	1,24	1,26
	Desv. Est.	0,04	0,06	0,06	0,06
<b>Trigonelina</b>	Promedio	0,93	0,94	0,94	0,93
	Desv. Est.	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Ácidos clorogénicos totales</b>	Promedio	7,22	7,18	7,11	7,15
	Desv. Est.	0,13	0,30	0,22	0,25
<b>Sacarosa</b>	Promedio	9,52	9,64	9,59	9,65
	Desv. Est.	0,29	0,45	0,31	0,23
<b>Lípidos</b>	Promedio	10,81	10,63	10,75	10,70
	Desv. Est.	0,32	0,61	0,41	0,54
<b>A. G. Linoleico</b>	Promedio	45,15	45,22	45,14	45,16
	Desv. Est.	0,50	0,61	0,22	0,88
<b>A. G. Oleico</b>	Promedio	9,97	10,21	11,02	10,21
	Desv. Est.	0,81	1,48	0,85	1,18
<b>A. G. Esteárico</b>	Promedio	7,94	7,79	7,86	7,93
	Desv. Est.	0,67	0,88	0,97	0,72
<b>A. G. Araquídico</b>	Promedio	1,97	1,97	1,90	2,03
	Desv. Est.	0,36	0,39	0,34	0,33

natural y lavado, respectivamente, mientras que para azúcares no reductores 6,87 y 0,52 respectivamente. Según Knopp et al. (2005), el análisis cuantitativo de los azúcares reductores en los granos de café verde reveló que los cafés con procesamiento en seco tenían contenidos relativamente más altos que los cafés procesados vía húmeda. Los valores promedios de cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales y sacarosa concuerdan con lo reportado para cafés naturales por Scholz et al. (2019), con datos promedios de 1,23%-1,22%; 1,19%-0,6%; 7,9%-8,06% y 8,36%-9,43% respectivamente. Por otro lado, el comportamiento de los lípidos difiere a los encontrados en este estudio con valores de 13,55%-13,49%; esto puede estar asociado a las diferentes variedades utilizadas. Echeverri et al. (2020), encontraron en variedades mejoradas de Colombia valores de contenidos de lípidos en el rango comprendido entre 10,7% – 12,2%. Mientras que Puerta (2013b), reportó para la variedad Colombia fruto amarillo contenidos de 13,07% y para Colombia fruto rojo de 14,27%.

El análisis de varianza presentó efecto para el ácido graso palmítico presente en el café obtenido con los cuatro tratamientos de secado (Tabla 8). El test de Bonferroni mostró que el contenido de este ácido graso fue mayor en el secado 100% solar (S) con relación al

100% mecánico (M) (Figura 5). Los valores promedios coinciden con los reportado por Echeverri et al. (2020), donde el ácido palmítico fue el ácido graso más abundante presente en la fracción lipídica del café verde, y representó entre el 38,7%–40,5%; según estos mismos autores este ácido es discriminador potencial de la calidad del café, puesto que una de las características deseables de la presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga es que aportan sabor y textura. Los ácidos grasos tienen un papel fisiológico fundamental, dado que constituyen y garantizan las propiedades de las membranas celulares (Carta et al., 2017). El palmítico se configura como uno de los ácidos grasos mayoritarios y una mayor concentración en el secado solar podría estar asociado a la necesidad de protección de las membranas celulares como respuesta a condiciones de secado más fluctuantes, en comparación con el secado mecánico donde estas son más homogéneas y constantes.

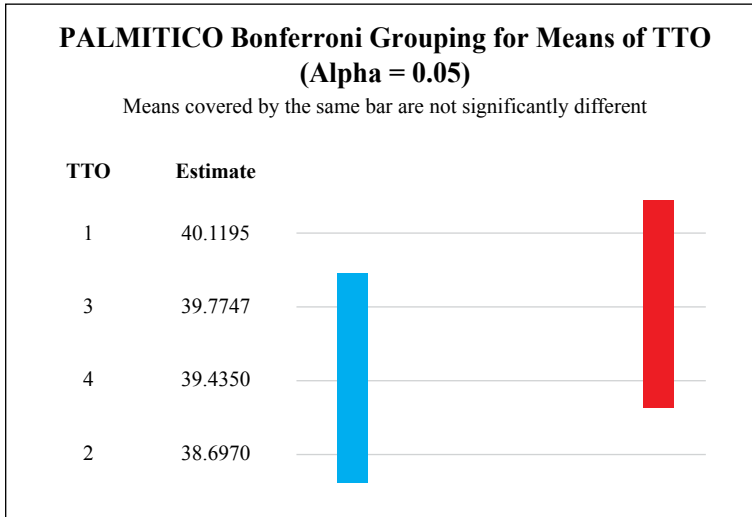
En este estudio puede concluirse que:

Diferentes actores de la cadena de comercialización de café se encuentran en la búsqueda constante de cafés con perfiles sensoriales diferenciados, que permitan su posicionamiento en el segmento de cafés de alta calidad. Para lograr lo anterior, se están pagando primas adicionales a cafés

**Tabla 8.** Promedios de ácido graso palmítico de cafés naturales por tratamiento de secado evaluado.

Tratamiento	Ácido graso palmítico (%)		
	Promedio	Bon grouping	Desv. Est.
<b>S: 100% solar</b>	40,1194697	A	0,42960516
<b>S40M: Solar y mecánico</b>	39,7747088	B A	0,25606648
<b>M40S: Mecánico y solar</b>	39,4349576	B A	0,74681740
<b>M: 100% mecánico</b>	38,6970047	B	0,78261827

Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.



**Figura 5.** Comparación de los valores promedio del ácido graso palmítico del café natural sometido a cuatro tratamientos de secado, mediante el test Bonferroni.

procesados de manera no tradicional y es en este sentido que exploran en la búsqueda de café con descriptores sensoriales característicos del proceso de cafés naturales. Este estudio genera información que puede dar bases a los productores para el desarrollo del beneficio seco y la obtención del café natural en la finca. Se determinaron las características del proceso, las diferencias sensoriales y la composición química de algunos compuestos del café natural, al ser sometido a diferentes combinaciones de los procesos de secado, buscando avanzar en el desarrollo y conocimiento de este tipo de proceso en las condiciones del sistema productivo colombiano.

El secado al sol 100% (S) tomó más tiempo de secado con relación a los demás tratamientos de secado probados, fue un 38,6% más largo que el mecánico 100% (M) y un 50% más que el secado solar de café lavado, que puede tomar en promedio 7 días. La diferencia con el secado mecánico está asociada a que este último tiene un mayor gradiente de temperatura durante la última etapa de secado y con respecto al café lavado, este implica la eliminación de la cáscara en el beneficio húmedo, lo que

facilita la eliminación del agua al no ser esta una barrera a la que también debe reducirse su contenido inicial de agua de un 78,38% a un 16,8% en promedio.

Después de secado el fruto de café, el promedio de la diferencia de humedad entre el café cereza seco (ccs) y su almendra fue de 2,2% a favor del café cereza seco, con un intervalo de diferencias entre 1,3% y 3,1%. Dicha diferencia, indica mayor humedad cuando se estima en el café cereza seco con respecto al café almendra. Lo anterior está asociado al contenido de humedad superior de la cáscara seca (16,8%) cuando el café cereza seco se encuentra en el intervalo del 10% al 12% de humedad, explicado por la alta higroscopicidad de la pulpa debido a su contenido de pectina y azúcares (entre otras sustancias).

Las muestras de todos los tratamientos presentaron calidad libre de defectos sensoriales. En este estudio los atributos sabor, sabor residual, acidez, balance y cuerpo no presentaron diferencias por tratamientos; lo anterior puede ser explicado por la selección y clasificación previa de la materia prima realizada en todos

los tratamientos y a las temperaturas utilizadas, que para el caso de los tratamientos que incluían secado mecánico no fueron superiores a 40°C, lo que evitó daños en el grano que se reflejaran en la calidad sensorial.

Se evidenció que el cambio del orden en la combinación de los procesos de secado no genera diferente calidad sensorial del café natural, y no se encontró incidencia de la combinación del secado mecánico y solar en el puntaje total SCA. En general, para los cafés procesados vía seca y con cambios en el orden de secado, se obtuvo un promedio de puntaje total SCA de 82,9 puntos con un valor máximo de 84,92 puntos en el tratamiento secado mecánico 100% (M). No obstante, aunque sensorialmente no se evidenció diferencia, debe realizarse una revisión desde las implicaciones de cada uno de los tipos de secado. El secado solar tiene una mayor dependencia de las condiciones de clima y esto genera mayores tiempos de duración del proceso que a su vez implican mayores áreas de secado en la finca. En Colombia, los caficultores con promedios de producción inferiores a 200 arrobas de cps al año pueden realizar el secado del café lavado de manera solar (Oliveros et al., 2006), para secar 60 kg de café lavado requieren un área de 3,3 m<sup>2</sup>. Cuando se realiza el proceso para obtener cafés naturales se lleva al área de secado un peso adicional promedio de 58,2% asociado a la pulpa y al mucílago. Un estimado inicial de área de secado para

obtener la misma cantidad de almendra sana proveniente de 54,9 kg de ccs es de 5,2 m<sup>2</sup> (2,3 veces más). Esta área fue calculada realizando una corrección por densidad del fruto y por el tiempo adicional de secado, que es aproximadamente un 50% más, comparado con la duración del secado de un café lavado, bajo las condiciones climáticas en las que se desarrolló la investigación y en el tipo de secadores solares utilizados.

El desarrollo de actividades enfocadas a determinar el efecto de los procesos poscosecha en la calidad sensorial y en la composición química del café incrementa el conocimiento que permite una mejor toma de decisiones y acciones, que de manera oportuna apoyan a los caficultores para avanzar en el cumplimiento de los parámetros de comercialización de café. El procesamiento del café debe tener una visión beneficio/costo donde se incluya el valor de los tiempos y actividades adicionales, que permita tener una verdadera valoración de la rentabilidad al realizar procesos diferentes a los tradicionalmente realizados.

## AGRADECIMIENTOS

Al doctor Álvaro Gaitán Director de Cenicafé, a los compañeros de Cenicafé Claudia Gallego, Claudia Rocío Gómez, Paola Calderón, Wilson Vargas, Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López, John Félix Trejos, Rubén Medina y Cesar Osorio. Al personal de apoyo Víctor Castañeda.

## LITERATURA CITADA

Alves, G. E., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Siqueira, V. C., Cirillo, M. Â., & Pinto, A. C. F. (2017). Physiological and sensorial quality of Arabica coffee subjected to different temperatures and drying airflows. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2), 225–233. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.31065>

Borém, F. M., Coradi, P. C., Saath, R., & Oliveira, J. A. (2008). Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1609–1615. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500038>

- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Oliveira, P. D., Ribeiro, F. C., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. da S. (2014). Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. *Bioscience Journal*, 30(2), 609–616. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18209>
- Carta, G., Murru, E., Banni, S., & Manca, C. (2017). Palmitic Acid: Physiological Role, Metabolism and Nutritional Implications. *Frontiers in Physiology*, 8, 902. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00902>
- Clifford, M. N. (1985). Chemical and Physical Aspects of Green Coffee and Coffee Products. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage* (pp. 305–374). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_13)
- Coradi, P., Borém, F., Saath, R., & Marques, E. (2007). Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. *Coffee Science*, 2(1), 38–47. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/37>
- Echeverri-Giraldo, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Ferreira, G. F. P., Novaes, Q. S., Malta, M. R., & Souza, S. E. (2013). Quality of coffee produced in the Southwest region of Bahia, Brazil subjected to different forms of processing and drying. *African Journal of Agricultural Research*, 8(20), 2334–2339. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7038>
- Finzer, J. R. D., Sfredo, M. A., Sousa, G. D. B., & Limaverde, J. R. (2007). Dispersion coefficient of coffee berries in vibrated bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.011>
- Guimarães, A. C., Berbert, P. A., & Silva, J. S. (1998). Ambient-Air Drying of Pre-Treated Coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69(1), 53–62. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0222>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). *NTC 2324: Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2003). *Green coffee — Determination of loss in mass at 105 degrees C*. (ISO Standard No.6673:2003). <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Isquierdo, E. P., Borém, F. M., Andrade, E. T., Corrêa, J. L. G., Oliveira, P. D., & Alves, G. E. (2013). Drying Kinetics and Quality of Natural Coffee. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56(3), 1003–1010.
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & Garcia, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. <http://hdl.handle.net/10778/188>
- Knopp, S., Bytof, G., & Selmar, D. (2006). Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*, 223(2), 195–201. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1>
- Labuza, T. P. (1980). The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, 34(4), 36–59.
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. S., Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality. *Coffee Science*, 8(2), 211–220. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/414>
- Oliveira, G., Evangelista, S. R., Passamani, F. R. F., Santiago, W. D., Cardoso, M. G., & Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT*, 102, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. S., Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality. *Coffee Science*, 8(2), 211–220. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/414>
- Oliveros, C., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Peñuela, A. E. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. *Avances Técnicos Cenicafé*, 353, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Ospina, J. E., Álvarez Mejía, F., & Roa Mejía, G. (1991). Evaluación de un secador intermitente de flujos concurrentes (IFC) para café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 44(1–2), 51–79. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28478>



- Parra, A., Roa, G., Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2017). *Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Puerta, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Revista Cenicafé*, 50(1), 78–88. <http://hdl.handle.net/10778/58>
- Puerta, G. I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 352, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Puerta, G. I. (2013a). Calidad del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 3, pp. 81–110). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_30](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_30)
- Puerta, G. I. (2013b). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Puertas-Mejía, M. A., Rivera-Echeverry, F., Villegas-Guzman, P., Rojano, B. A., & Peláez, C. (2012). Comparación entre el estado de maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.), el contenido de antocianinas y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(4), 360–367.
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Álvarez, J. R., Dávila, M. T., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/882>
- Rodríguez, R., Sánchez, J., & Ros, J. M. (2020). Evaluation of coffee pulps as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(2), 117–124. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i2.2068>
- Scholz, M. B., Prudencio, S. H., Kitzberger, C. S. G., & Silva, R. S. (2019). Physico-chemical characteristics and sensory attributes of coffee beans submitted to two post-harvest processes. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 831–839. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9995-x>
- Silva, J. N., Martin, S., Donzeles, S. M. L., Zanatta, F. L., & Bezerra, M. D. C. (2010, June 13–17). Quality of the pulped cherry coffee subjected to continuous and intermittent drying. *XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. Québec, Canada. <https://library.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100965.pdf>
- Specialty Coffee Association SCA. (2003). *Cupping Protocols*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Wintgens, J. N. (2004). Factors Influencing the Quality of Green Coffee. En J. N. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 789–809). Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch29>