

INFLUENCIA DEL PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ NATURAL EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO Y LA CALIDAD SENSORIAL

Claudia Patricia Gallego Agudelo *, Luis Carlos Imbachí Quinchua **, Valentina Osorio Pérez *

Gallego, C. P., Imbachí, L. C., & Osorio, V. (2023). Influencia del proceso de secado del café natural en las características físicas del grano y la calidad sensorial. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74107. <https://doi.org/10.38141/10778/74107>



El café natural (CN) se destaca por sus descriptores sensoriales diferenciales en los atributos de fragancia/aroma y sabor con respecto a los cafés lavados. Dentro de los procedimientos para su obtención, el secado constituye un factor crítico para el aseguramiento de su calidad. Con el objetivo de evaluar el efecto del secado en la calidad del CN se evaluaron cinco modalidades, consistentes en un secado inicial al sol (S), complementado con secado mecánico (M): S45%+M, S50%+M, S55%+M, S100%, M100% y el testigo, café lavado 100% secado mecánicamente (LM). El CN en los diferentes tratamientos alcanzó una humedad del 10%-12%, entre 9 y 17 días; comportamiento que se describió a partir de una función de tipo logarítmico y un $R^2 > 0,92$. Para el LM, el café requirió un promedio de 4 días de secado, explicada a través de un polinomio de tercer grado R^2 de 0,999. El CN se destacó por presentar un contenido adecuado de actividad del agua. Respecto a las variables físicas del grano, la merma en promedio fue del 50,7% y la almendra sana de 42,6%, con valores de almendra defectuosa entre 2,6% y 6,6%. Con relación a la calidad sensorial, el puntaje total promedio SCA (Specialty Coffee Association) para el LM fue de 82,9 y para el CN de 83,9; con descriptores destacables en fragancia/aroma de chocolate, frutal, caramelo y miel, notas de pulpa dulce y vino. Los resultados llevan a concluir que un proceso adecuado de secado permite obtener CN con destacada calidad física y sensorial.

Palabras claves: Café natural, secado, humedad, fragancia/aroma, análisis sensorial, Cenicafé.

INFLUENCE OF NATURAL COFFEE DRYING PROCESS ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SENSORY QUALITY OF BEANS

Natural coffee (NC) is noted for its differential sensory descriptors in fragrance/aroma and flavor attributes compared to washed coffees. Among the procedures to get it, drying is a critical factor for its quality assurance. In order to evaluate the effect of coffee drying on NC quality, 5 treatments that consisted of an initial sun drying (S), supplemented with mechanical drying (M): S45%+M, S50%+M, S55%+M, S100%, M100% and a control that corresponded to 100% mechanically dried washed coffee (LM) were evaluated. In the different treatments, NC reached an adequate final moisture content (10-12%) between 9 and 17 days. This performance was described based on a logarithmic function and an $R^2 > 0.92$. For LM, coffee required an average of 4 days of drying, which was explained by a third degree polynomial R^2 : 0.999. In general, NC showed adequate water activity content. With respect to bean physical variables, average shrinkage was 50.7%, and healthy beans was 42.6%, while defective beans had values between 2.6% and 6.6%. Regarding sensory quality, the average total score of the SCA (Specialty Coffee Association) for LM was 82.9 and for NC was 83.9, with outstanding descriptors in fragrance/aroma of chocolate, fruit, caramel, and honey, as well as sweet pulp and wine notes. The results show that an adequate drying process allows obtaining NC with remarkable physical and sensory quality.

Keywords: Natural coffee, drying, humidity, fragrance/aroma, sensory analysis, Cenicafé.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico I, Disciplina Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055> y <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>

** Asistente de Investigación, Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>



La calidad del café es el resultado de la interacción de factores como la variedad, la ubicación geográfica del sistema de producción, las prácticas agronómicas del cultivo y de poscosecha del fruto (Kulapichitr et al., 2019; de Melo Pereira et al., 2019). Todas estas actividades, sin exclusión, le imprimen a la bebida una identidad sensorial que puede ser variable o reproducible, en función del control de los procesos de cultivo y poscosecha. La transformación del fruto desde café cereza maduro hasta un estado de comercialización previo a la torrefacción, se denomina beneficio del café. En Colombia y algunas regiones de África y Centro América, tradicionalmente el beneficio se realiza por vía húmeda (Puerta, 1999) y a través de este, se obtienen los denominados “café suaves lavados” de la especie *Coffea arabica* L. Este proceso consiste en la sustracción mecánica del exocarpio del fruto maduro y la posterior remoción del mesocarpio adherido a la semilla, por actividad microbiológica y posterior lavado. Finalmente, el café es sometido a secado solar o mecánico (Nilnont et al., 2012; Oliveros et al., 2013).

El beneficio del café también puede realizarse por vía seca, esta modalidad es la más antigua entre los procesos de transformación del café (Vincent, 1987), la cual consiste en la extracción de humedad o secado del grano en fruto, sin despulpar y, posteriormente, se retira la cáscara mecánicamente (Coste, 1989). Aunque este proceso se caracteriza por mayores tiempos, se destaca por un menor consumo de agua con respecto al café lavado y, por consiguiente, una disminución de la cantidad de sub-productos obtenidos durante el beneficio, que le otorgan a este tipo de café características de sostenibilidad ambiental y amigable con el medio ambiente (Borém et al., 2018; Isquierdo et al., 2013). En general, presenta atributos de calidad sensorial relacionados con la baja acidez y mayor calificación en cuerpo respecto a los lavados (Borém, et al., 2007; Borém

et al., 2018; Clifford, 1985; Osorio et al., 2022; Villela, 2002). Además, Bressani et al., (2021), reportan en café naturales fermentados con *Saccharomyces cerevisiae* y *Torulaspota delbrueckii* puntajes SCA de la bebida alrededor de 84,6 puntos, además de notas cítricas, acidez pronunciada y dulzor medio-alto.

Desde el punto de vista de las tendencias del mercado del consumo del café a nivel mundial, se están generando cambios en los procesos tradicionales, llevando a los países productores a crear alternativas que satisfagan las exigencias de los consumidores, y que a su vez generen primas adicionales, que se reflejen en la calidad de vida del productor (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC], 2021). Dentro de este segmento, los café naturales ocupan un renglón significativo, principalmente en el ámbito internacional (Borém et al., 2018; Malta et al., 2013); sin embargo, en Colombia, los procedimientos actuales implementados para la obtención de café naturales son esfuerzos particulares que, en algunas ocasiones, generan resultados en los que se dificulta su reproducibilidad y consistencia. Parte de esto, tiene que ver con los procesos que se llevan a cabo durante la fase de secado (Borém et al., 2008), dado que, el fruto tiene un alto porcentaje de humedad al momento de su recolección (65% humedad) y es altamente susceptible a procesos fermentativos que generan alteraciones en la calidad física del grano y de la bebida (Borém et al., 2018; Resende et al., 2010; Siqueira et al., 2017). Bajo las anteriores circunstancias, el control y seguimiento al secado del café natural puede reducir las consecuencias negativas del secado en la calidad del grano y la bebida (Nilnont et al., 2012). Por lo tanto, el manejo apropiado de la humedad durante la obtención del café natural puede considerarse como un aspecto crítico tanto para su obtención como para su almacenamiento (Borém et al., 2018; Oliveira

et al., 2013; Osorio et al., 2022; de Melo Pereira et al., 2019).

Considerando la importancia actual del café natural, debido a su perfil de sabor único y específico en el segmento de comercialización de cafés de calidad y las variables que afectan la calidad física del grano y sensorial de la bebida, el presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto del método de secado para la obtención de café natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de café

Cada uno de los seis tratamientos de secado de café natural contó con nueve unidades experimentales, cada una compuesta de 200 kg de frutos de café, de los cuales cinco se procesaron durante los meses de mayo, junio, agosto, octubre y noviembre de 2020, y las cuatro unidades restantes en los meses de marzo, abril, mayo y junio del 2021. Los frutos de café de la variedad Cenicafé 1, se obtuvieron manualmente en estado de madurez 5-6 (Cromacafé®), provenientes del mismo lote de la Estación Experimental Naranjal, localizada a 1.381 m de altitud en Chinchiná (Caldas, Colombia). Para el año 2020, las condiciones de temperatura media fueron 21,7°C y de humedad relativa del 79,2%, y para el año 2021, la temperatura media fue de 20,9°C y humedad relativa del 83,5%. El proceso de secado se realizó en la sede la Granja de Cenicafé, localizada en Manizales a 1.305 m de altitud, con condiciones para el año 2020 de temperatura media de 21,6°C y humedad relativa del 80,3% y para el 2021 de temperatura media de 21,0°C y humedad relativa del 80%. Los frutos de café se clasificaron hidráulicamente para eliminar aquellos de inferior calidad y se realizó la clasificación manual para retirar frutos verdes o pintones de la masa.

Tratamientos de secado

Los frutos de café cereza fueron sometidos a los siguientes procesos (cinco de café natural y uno de café lavado):

- Café cereza sin despulpar secado 100% al sol (**S100%**), en un secador parabólico con 2,0 cm de capa y con frecuencia de cuatro volteos al día.
- Tres tratamientos de café cereza con secado combinado, el primero con disminución del porcentaje inicial de humedad al 45% por secado al sol y finalizado en secado mecánico (**S45%+M**); el segundo con disminución del porcentaje de humedad al 50% por secado al sol y finalizado con secado mecánico (**S50%+M**); y el tercero con disminución del porcentaje de humedad al 55% por secado al sol y finalizado con secado mecánico (**S55%+M**).
- Un tratamiento de café cereza sin despulpar, secado 100% en silo, en un secador de capa fija con 35 cm de capa y con temperatura de aire de secado de 40°C (**M100%**) con intercambio de flujo.
- Testigo absoluto, café con beneficio húmedo tradicional con secado mecánico (**LM**). Después de la recolección y clasificación, el testigo fue despulpado en un tiempo inferior a 6 horas, se realizó fermentación espontánea con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro® (Peñuela et al., 2013), y secado mecánicamente en un silo con la capa fija de 35 cm y temperatura del aire de 40°C, hasta alcanzar un porcentaje de humedad, entre el 10,0% y el 11,5%.

A cada tratamiento se le realizó el seguimiento de secado registrando la temperatura del fruto de café con un termómetro fijado en la masa, la humedad relativa se

midió mediante un termohigrómetro digital y la pérdida de peso de la masa de café se evaluó en la mañana y en la tarde, en una balanza con resolución $\pm 0,1$ g hasta que los granos de café alcanzaron el peso establecido para la humedad comprendida entre el 10% y el 12% (bh). Para cada muestra, se estimó el contenido de humedad del café de manera directa y se caracterizó física y sensorialmente.

Para cada tratamiento y unidad experimental se determinó el contenido de humedad de los frutos de café maduros empleando el método estándar de estufa, según la ISO 6673 (International Organization for Standardization, 2003). Posteriormente, se determinó el contenido de humedad inicial de los frutos, se estimaron los pesos de los frutos para alcanzar la humedad de cambio de los procesos de secado y la humedad final, empleando la Ecuación <1> (Jurado et al., 2009).

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

Donde:

Chf: contenido final de humedad estimada (%)

Pi: masa inicial del café (g)

Chi: contenido inicial de humedad (%)

Pf: masa final (g)

Adicionalmente, se calculó la proporción de pérdida de peso diariamente con la Ecuación <2>:

$$Pp = \frac{Pi - Pf}{Pi} \quad <2>$$

Donde:

Pp: pérdida de peso (%)

Pi: masa inicial del café (g)

Pf: masa final (g)

Calidad física y sensorial

Una vez obtenidas las muestras secas de café natural, se determinó el porcentaje de humedad y la actividad de agua (*aw*). Los granos de café almendra verde se obtuvieron mediante el proceso de trilla de 500 g de café natural para eliminar la cáscara seca, se retiraron los defectos físicos e impurezas del grano y se determinó el porcentaje de almendra sana y merma.

En el café almendra verde obtenido de las cerezas secas, se realizó el análisis físico y de humedad, bajo las normas técnicas y los procedimientos de calidad para el café (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). Se tomaron 100 g de la cereza seca y se determinó la humedad en el medidor Kett y el método de estufa (International Organization for Standardization, 2003), por duplicado. En una caja de Petri se pesaron 10 g de café y se dejaron en una estufa a una temperatura de $105 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 16 horas. La actividad de agua (*aw*) se determinó en el café cereza seco, pergamino y almendra verde de la misma muestra, utilizando el equipo Lab Master Neo – Novasina, aplicando un método manual, donde el equilibrio y la estabilidad de lectura se alcanzaba cuando la variación no superaba $\pm 0,003$ durante dos minutos con control de temperatura de medición (24°C) (Osorio et al., 2022).

Dada la importancia que tiene el equilibrio higroscópico en el grano de café para la calidad final, se evaluó la correlación entre el contenido de humedad y actividad de agua en el café almendra, en varios de los tratamientos del estudio.

El análisis sensorial se realizó para cada uno de los tratamientos y unidades experimentales, siguiendo el protocolo de preparación SCA (Specialty Coffee

Association SCA, 2003) con la participación de cinco catadores certificados Q- Grader por el CQI (Coffee Quality Institute). En las muestras se evaluaron diez atributos del sabor del café, tales como: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje del catador, defectos y el puntaje total. La calidad sensorial fue expresada como puntaje total SCA.

Análisis de la información

Para cada tratamiento de secado del CN y el testigo LM, con la variable de interés (puntaje total SCA) y los atributos complementarios, se determinó el promedio, la desviación estándar, el máximo, el mínimo con las nueve repeticiones de los seis tratamientos evaluados, y adicionalmente se realizó la ANOVA. También se utilizó la prueba de modelos lineales generalizados al 10% para comparar los promedios de los atributos evaluados en los tratamientos del CN y el testigo LM. Posteriormente, con los descriptores cualitativos del atributo fragancia/aroma del análisis sensorial se realizó un

análisis de minería de texto. Finalmente, se realizó el test de correlación de Spearman y su representación gráfica en un mapa de calor entre las variables sensoriales y las físicas (humedad y *aw*) evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguimiento de los tratamientos de secado natural y testigo café lavado

Se realizó el seguimiento del secado registrando la temperatura (°C) y la pérdida de peso de la masa de café (%). En la Figura 1 se presentan los promedios del tiempo de secado (días) del café natural y del lavado, en cada tratamiento. En general, para los diferentes tratamientos de secado de café natural, la humedad inicial promedio correspondió al 68,9% (b.h), a partir de este valor los tratamientos necesitaron diferentes tiempos de secado para alcanzar los valores de humedad entre el 10% y el 12%, los cuales corresponden al nivel adecuado para la comercialización.

La Figura 2 presenta los cambios de la pérdida de humedad a través del tiempo

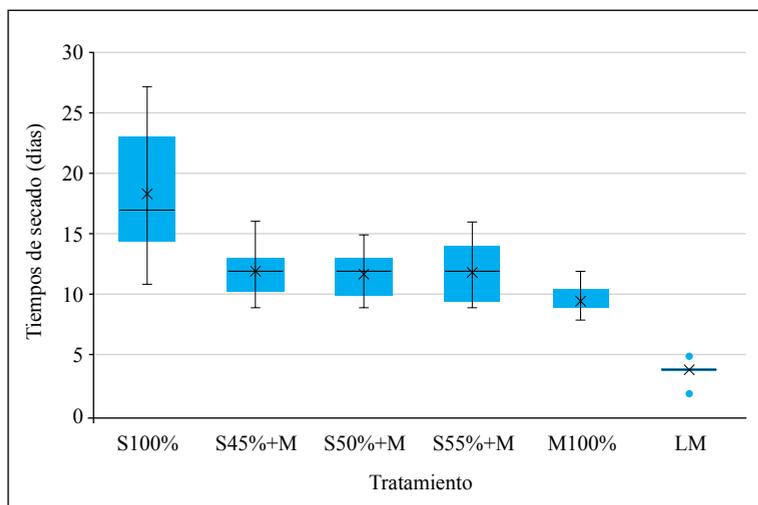


Figura 1. Tiempos de secado para los diferentes tratamientos evaluados de CN y LM (testigo).

(valores observados y valores estimados) para cada uno de los tratamientos evaluados, considerando que el proceso de secado llega a su fin una vez la masa de café alcanza una humedad entre el 10% y el 12%. Para el grupo de CN, la alta variación de los registros no permitió establecer diferencias para distinguir alguna favorabilidad relacionada con la modalidad del secado, es decir, mientras el tiempo de secado promedio para el S100% fue de 19 días con un máximo de 27 días y un mínimo de 11 días, para el S45%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 16 días y un mínimo de 9 días, para el S50%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 15 días y un mínimo de 9 días; para el S55%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 16 días y un mínimo de 9 días; mientras que para el M100% el tiempo de secado promedio fue de 10 días con un máximo de 12 días y un mínimo de 8 días. Contrario a lo anterior, para el testigo LM fueron necesarios 4 días para alcanzar la humedad requerida, un mínimo de 2 días y un máximo de 5 días. Los resultados revelan que el proceso de secado del CN representa una etapa crítica para su obtención, dado que aun en condiciones rigurosas en el proceso

de secado como las del presente estudio, fue evidente una alta variabilidad en comparación con la registrada en el testigo absoluto.

El proceso de secado para obtener café natural en los tratamientos fue explicado a partir de la siguiente expresión logarítmica que se presenta en la Ecuación <3>:

$$Y = -a(\log \text{ natural}(b)) + c \quad <3>$$

Donde:

Y= porcentaje de humedad (%)

a y c = constantes (adimensional)

b = tiempo (días)

En la Tabla 1 se presentan las expresiones logarítmicas ajustadas para cada tratamiento de café natural y su respectivo coeficiente de determinación (R²). A partir de dicha información, puede hacerse el seguimiento respectivo a la humedad de la masa de café durante los días de proceso, siempre y cuando se utilice el mismo procedimiento desarrollado por esta investigación (selección de frutos, espesor de la capa de secado y temperatura de secado) para cada caso.

Tabla 1. Expresiones logarítmicas ajustadas para cada tratamiento de secado del café evaluado.

Tratamiento	Ecuación	R ²
S100%	$Y = -21,350 * \ln(\text{días}) + 64,5442^*$	0,9542
S45% + M	$Y = -29,832 * \ln(\text{días}) + 82,1249^*$	0,9693
S50% + M	$Y = -28,377 * \ln(\text{días}) + 76,8185^*$	0,9573
S55% + M	$Y = -27,456 * \ln(\text{días}) + 75,3095^*$	0,9589
M100%	$Y = -26,972 * \ln(\text{días}) + 17,3399^*$	0,9224

Las tendencias matemáticas y ecuaciones descritas pueden constituir una herramienta de significativo valor teórico y conceptual, a través de las cuales pueden identificarse los momentos críticos en el secado del CN y llevar a cabo estrategias de control para alcanzar resultados consistentes y reproducibles, dado que uno de los principales obstáculos para obtener CN de buena calidad tiene que ver con el manejo impreciso de algunos procedimientos en la fase de poscosecha del grano. En consecuencia, las expresiones matemáticas descritas evidencian que, aplicando un proceso combinado de secado se logra entre el 62% y el 68% de pérdida de humedad durante los primeros 5 a 6 días de proceso, con altos niveles de significancia (Tabla 1). Esta condición se alcanzó en un 80% en el tratamiento M100% durante el mismo período.

Para el tratamiento LM la tendencia registrada fue de tipo lineal, con un coeficiente de determinación de 0,973 (R^2). Teniendo en cuenta que aun con el café lavado, la calidad puede afectarse en función de un manejo inoportuno en el proceso de secado (tiempos, empaques, instalaciones, etc), es así como el uso de los modelos generados puede constituir una alternativa para llevar a cabo un seguimiento preciso y riguroso para lograr CN, en condiciones óptimas de almacenamiento y comercialización, considerando los mismos indicadores que para tal fin se tienen para el café obtenido por vía húmeda.

Humedad del café natural y café lavado

Se evaluó tanto la humedad del café natural (CN) y del café lavado (LM), incluida la cereza seca completa, como la humedad de la almendra obtenida a partir de la trilla, a través del método directo de la estufa, a 105°C, durante 16 horas (International Organization for Standardization, 2003). La humedad promedio del CN en cereza osciló entre el

11,8% y 13,6%, mientras que la humedad promedio del LM en café pergamino seco (cps) estuvo entre el 11,48% y 13,22% (Figura 3A). El contenido de humedad promedio del café almendra del grupo correspondiente al CN (cereza seca con almendra) fue de 11,13%, mientras que la humedad de la almendra del café lavado fue de 12,36%. Osorio et al. (2022) establecieron que la diferencia de humedad de la cereza seca respecto a la almendra fue de 2,2% atribuida a los compuestos de la pulpa de café (Rodríguez et al., 2020). Con base en esta aproximación, los tratamientos evaluados mantuvieron una variación porcentual similar a la que exhibe el café obtenido por vía húmeda en términos comerciales; es decir, el CN resultante de las modalidades de secado descritas, puede ser utilizado luego del proceso de trilla para torrefacción, al igual que el café lavado.

Las humedades del café natural y el café lavado se encontraron dentro del rango para la preservación de la calidad del grano (10,5% a 12,5%), y las diferencias entre los tratamientos de CN fueron en promedio de 1,54%, como lo indica la Tabla 2.

Actividad de agua (a_w)

Desde el punto de vista físico, la actividad del agua y el contenido de humedad del grano dependen significativamente de reacciones químicas y microbianas (Multon, 1991). El valor de a_w varía entre 0,0 y 1,0, es de resaltar que la actividad de agua obtenida en todos los tratamientos fue inferior a 0,7 siendo este el valor de referencia para evitar el inicio del deterioro físico, químico o biológico (Puerta, 2006). La a_w de la cereza seca con almendra en los tratamientos del grupo del CN varió entre 0,53 y 0,60, y su contenido promedio fue 0,56 (Figura 4). El comportamiento de esta variable en la almendra sola presentó un promedio de 0,60 para todos

los tratamientos (Figura 4). Mientras que la actividad de agua para el cps obtenido con el café lavado (testigo) estuvo entre 0,59 a 0,67 y para la almendra del LM entre 0,61 a 0,69. La baja actividad de agua del café

natural en todas las combinaciones de secado probadas, disminuyen la probabilidad del crecimiento de microorganismos que alteran la inocuidad del grano y afectan el proceso de tueste (Osorio et al., 2022).

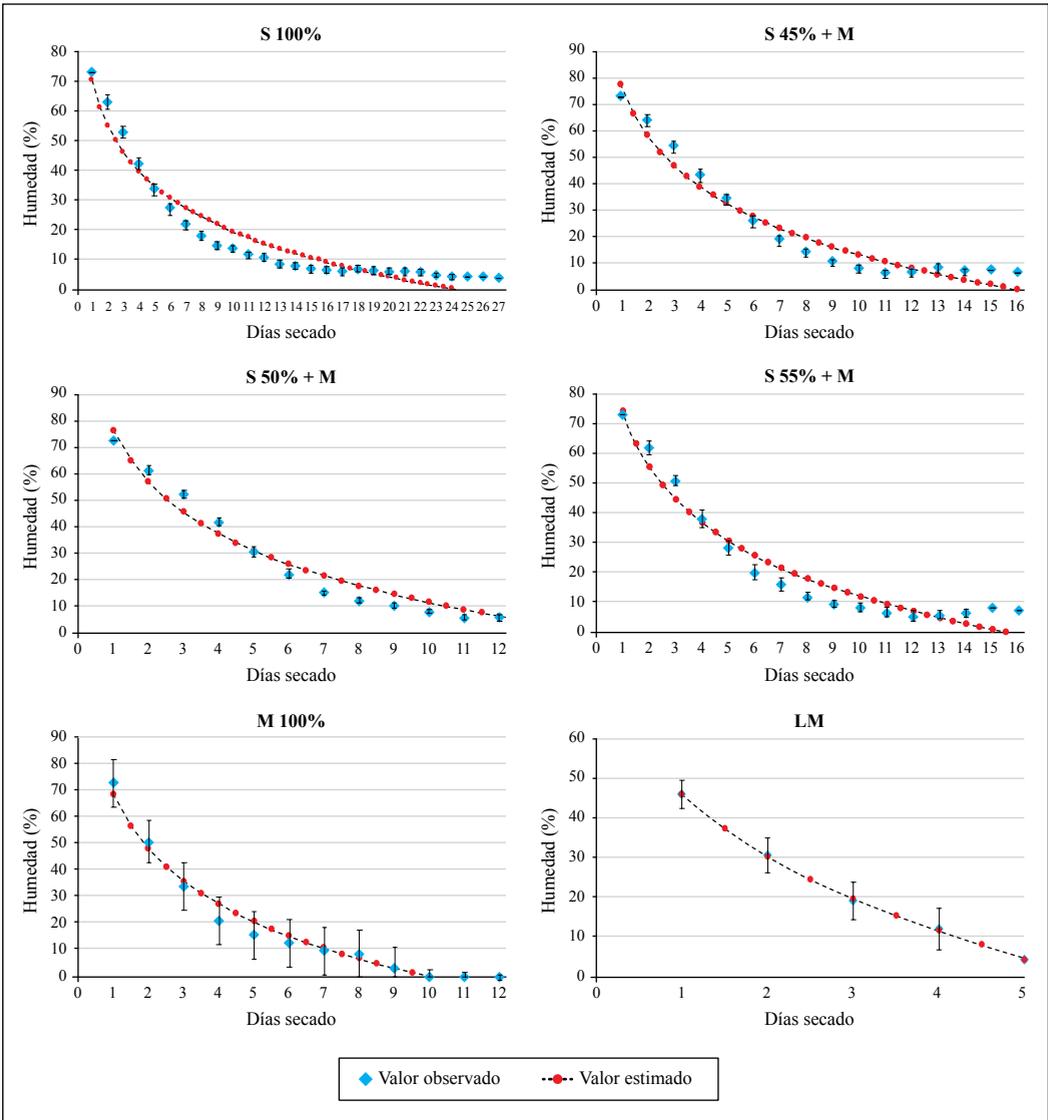


Figura 2. Cambios en el contenido de humedad del café natural y café lavado para los diferentes tratamientos de secado evaluados.

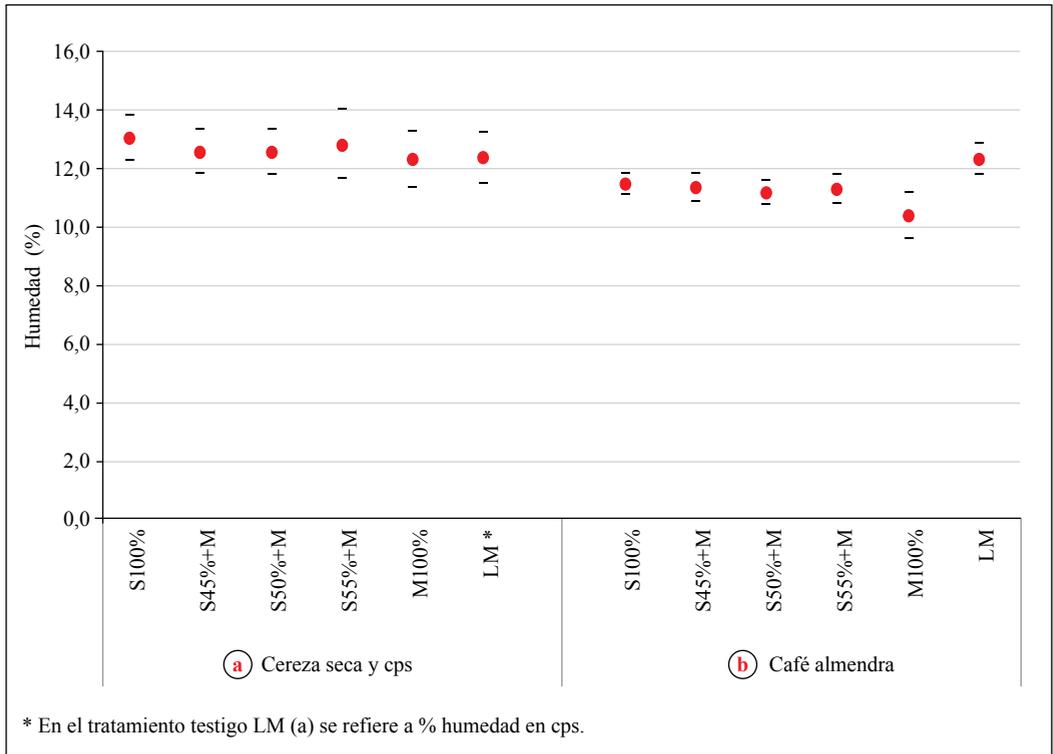


Figura 3. a). Promedio e intervalos de confianza de la humedad del café natural (cereza seca con almendra y almendra sola); b). Promedios e intervalos de confianza de la humedad del café lavado (pergamino seco y almendra).

Tabla 2. Contenido de humedad del café procesado.

Tratamiento	Humedad cereza (%)*		Humedad almendra (%)		Diferencia Promedio
	Promedio	Desv.	Promedio	Desv.	
S100%	13,05	1,00	11,46	0,41	1,59
S45%+M	12,58	0,98	11,35	0,64	1,23
S50%+M	12,55	1,02	11,16	0,57	1,39
S55%+M	12,81	1,55	11,27	0,61	1,54
M100%	12,32	1,29	10,39	1,01	1,93
LM	12,15	1,03	12,36	0,72	-0,21

* En el tratamiento testigo LM la humedad cereza se refiere al porcentaje de humedad en café pergamino seco.

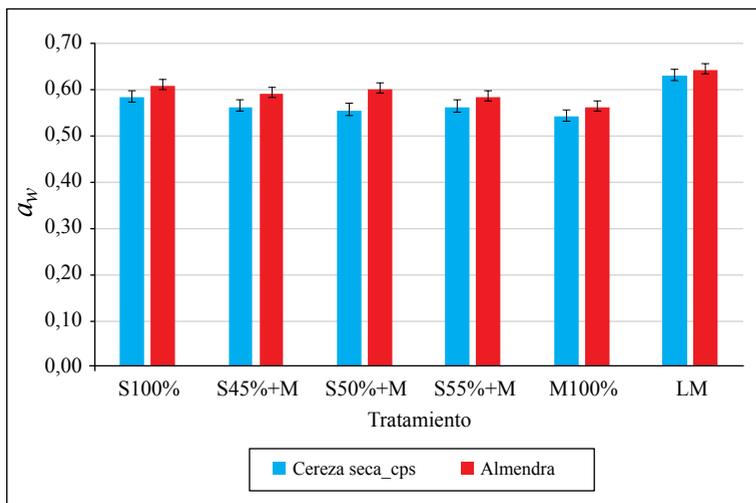


Figura 4. Promedio e intervalos de confianza de la actividad de agua (a_w) del café natural (cereza seca con almendra y cps) y del café almendra sola.

Relación de contenidos de humedad y actividad de agua (a_w)

La relación del contenido de humedad de los granos de café almendra procesados vía seca y húmeda en los tratamientos S100% y LM y la actividad de agua fue lineal, con un coeficiente de correlación superior al 60% y un coeficiente de determinación del 81,4% y 82,6%, respectivamente (Figura 5), es decir, a mayor porcentaje de humedad (11,89% y 13,30%) mayor contenido de a_w en café almendra. Por el contrario, el tratamiento S50%+M presentó un comportamiento polinomial de grado dos, entre estas dos variables con un coeficiente de determinación del 96,7% (Figura 5), con una humedad de 11,20% y a_w de 0,65. Mientras que Puerta (2006), para cafés lavados encontró una relación logarítmica entre el contenido de humedad y la a_w con un R^2 de 0,923. Además, cabe resaltar que el tratamiento S100% presentó un mayor tiempo de secado en comparación con los otros tratamientos, con temperatura mínima y máxima en el secado de 18 y 28°C, respectivamente. De igual forma Siqueira et al. (2017) concluyeron que la tasa de reducción de agua es más alta para la temperatura de secado

de $40 \pm 1^\circ\text{C}$, especialmente en los contenidos de humedad más altos.

Calidad física

Los resultados del análisis físico que hacen referencia al aspecto visual del café, evidencian que el tratamiento que corresponde al S45%+M presentó el promedio más alto de almendra sana (43,6%) del total del café cereza seco y para el café lavado fue de 76,7%; el porcentaje de almendra sana corresponde a la cantidad de granos sin defecto presente en una cantidad determinada de café, para el caso de los cafés lavados el promedio se estima en 75,0% y valores superiores indican una mejor calidad, pero para el café natural no hay un valor de referencia.

El porcentaje de merma en el CN, es decir, la cantidad de cáscara (pulpa y mucílago seco) que queda adherida al grano almendra fue de 50,71%, el cual fue mayor que el obtenido en el café lavado (25,46%). De forma similar, Osorio et al. (2022) encontraron para café natural con combinación de secado, porcentajes de merma entre 54,1% y 55,9%.

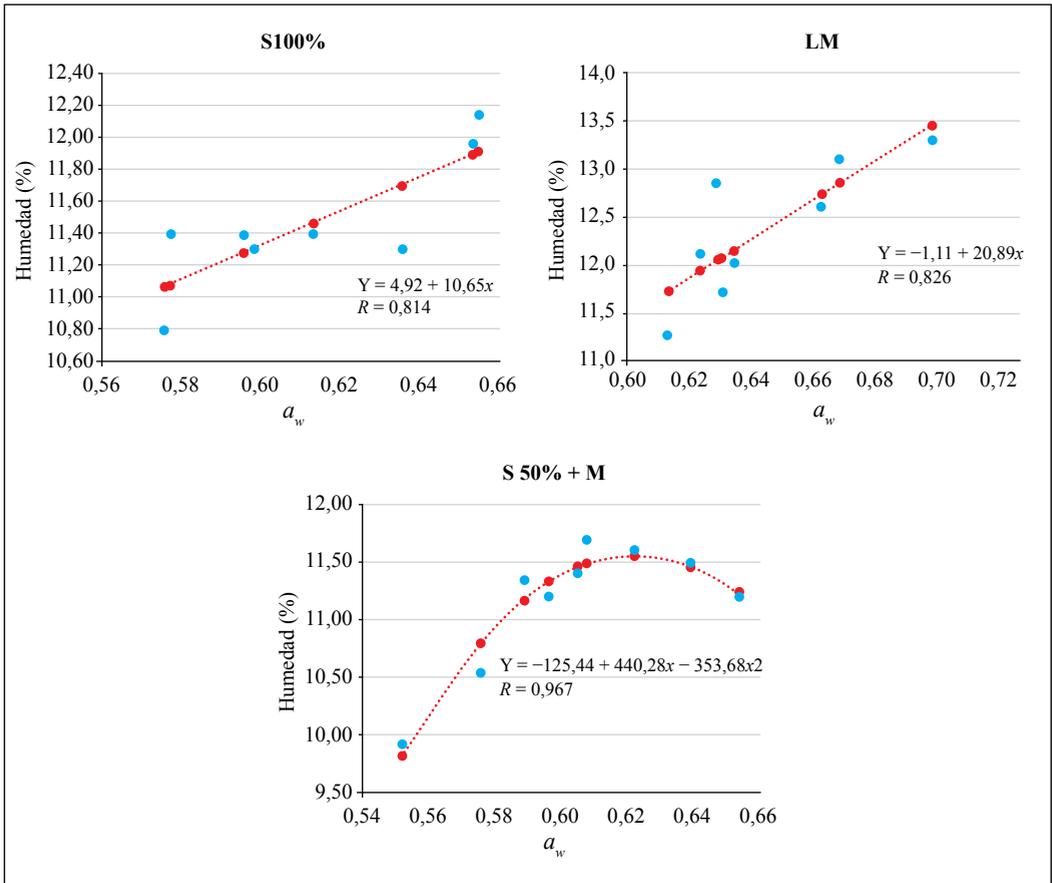


Figura 5. Correlación del porcentaje de humedad y actividad de agua (a_w) en café almendra procesado vía seca.

Con relación a los defectos que afectan la evaluación sensorial, en promedio el café natural presentó para todos los tratamientos un 6,07% de pasilla, 4,63% de granos brocados y 2,83% de granos negros y vinagres. El café lavado presentó en estos mismos defectos 2,87% de pasilla, 3,99% de granos brocados y 0,14 de granos negros y vinagres (Tabla 3).

Calidad sensorial

Se evidenció el defecto fermento en dos repeticiones, en los tratamientos S100% y S45%+M, lo que representó un 5,5% de

defectos sensoriales. El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas en la calidad sensorial, expresada como puntaje total SCA, en los tratamientos evaluados CN y LM (Figura 6). El S45%+M, S50%+M y S55%+M presentaron valores promedio de 84,1; 83,9 y 83,7, respectivamente, los cuales son clasificados como café muy bueno, tipo especial y con una intensidad promedio para estos tratamientos, con valores en sabor de 7,5, acidez de 7,6 y cuerpo de 7,6 en la escala SCA de 6-10. El tratamiento de café natural M100% presentó un puntaje promedio de 82,9, similar al café lavado testigo.

Tabla 3. Calidad física del café natural y el café lavado (testigo).

Tratamiento	S100%		S 45%+M		S50%+M		S 55%+M		M100%		LM	
	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E
Brocado	5,01	1,59	4,75	1,41	4,67	1,36	4,92	1,76	3,82	1,21	3,99	1,49
Negro y vinagre	3,36	1,64	3,52	1,30	3,77	1,54	2,66	0,85	0,82	0,29	0,14	0,08
Pasilla	6,47	0,86	5,06	0,96	6,24	1,37	5,99	1,24	6,59	1,11	2,87	0,77
Merma*	50,02	0,83	49,64	0,58	50,39	0,87	50,51	0,65	53,00	0,68	25,46	5,49
Almendra sana**	42,6	3,8	43,6	1,6	42,2	1,7	42,8	1,6	41,7	1,0	76,7	1,6

* Incluye la cáscara. ** Calculada con respecto a la almendra sin defectos/500g de cereza seca.

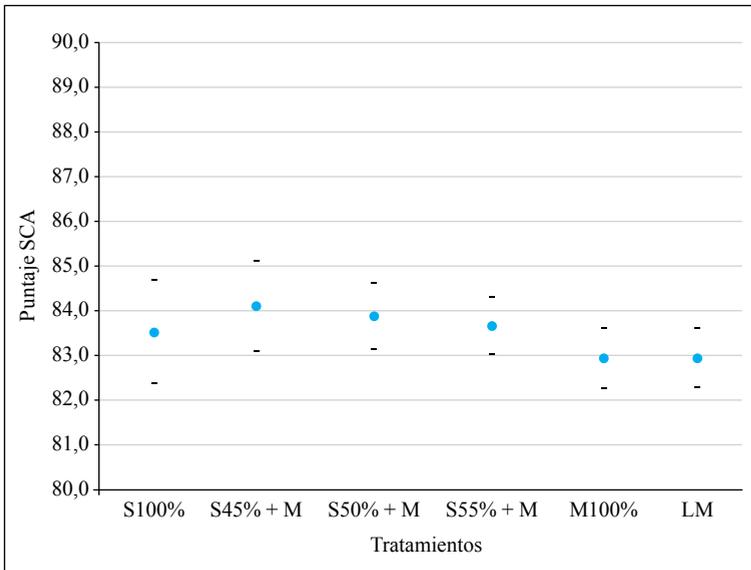


Figura 6. Intervalos de confianza del puntaje total SCA de café natural y café lavado respecto a los tratamientos.

En la fragancia/aroma, según prueba de modelos lineales generalizados al 10%, se observaron promedios de 7,90 para el tratamiento S45%+M, 7,93 para el tratamiento S50%+M y 7,89 para el tratamiento S55%+M, con diferencias respecto al testigo (LM) con

7,66 (Tabla 4). Estos atributos en el LM se encuentran dentro de los rangos reportados para cafés lavados de buena calidad por fermentación natural (Ribeiro et al., 2017). Los demás atributos evaluados no evidenciaron diferencias entre los tratamientos de café natural y el testigo.

Tabla 4. Promedio y desviación estándar (D.E) para cada una de las variables evaluadas en el análisis sensorial.

Tratamiento	Variable	Promedio	A	DE	LM (testigo)		
					Promedio	A	DE
M100%	Fragancia/Aroma	7,78	A	0,18	7,66	A	0,15
	Sabor	7,46	A	0,15	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,42	A	0,14	7,46	A	0,12
	Acidez	7,64	A	0,18	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,57	A	0,14	7,57	A	0,14
	Balance	7,49	A	0,13	7,50	A	0,10
S100%	Fragancia/Aroma	7,72	A	0,36	7,66	A	0,15
	Sabor	7,44	A	0,58	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,32	A	0,52	7,46	A	0,12
	Acidez	7,47	A	0,58	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,54	A	0,50	7,57	A	0,14
	Balance	7,40	A	0,55	7,50	A	0,10
S45%+M	Fragancia/Aroma	7,90	A	0,22	7,66	B	0,15
	Sabor	7,31	A	0,76	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,20	A	0,69	7,46	A	0,12
	Acidez	7,40	A	0,81	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,44	A	0,48	7,57	A	0,14
	Balance	7,29	A	0,75	7,50	A	0,10
S50%+M	Fragancia/Aroma	7,93	A	0,17	7,66	B	0,15
	Sabor	7,70	A	0,16	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,59	A	0,17	7,46	A	0,12
	Acidez	7,71	A	0,19	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,66	A	0,17	7,57	A	0,14
	Balance	7,61	A	0,17	7,50	A	0,10
S55%+M	Fragancia/Aroma	7,89	A	0,19	7,66	B	0,15
	Sabor	7,59	A	0,18	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,48	A	0,12	7,46	A	0,12
	Acidez	7,74	A	0,13	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,67	A	0,13	7,57	A	0,14
	Balance	7,62	A	0,14	7,50	A	0,10

Letras no comunes indican diferencias significativas según prueba de modelos lineales generalizados al 10%.

El análisis de minería de datos identificó para el tratamiento S100% que el descriptor frutal presentó una frecuencia del 22% y tiene una correspondencia directa con los descriptores vinosos, malta, uvas, pasas, miel y almendra, que representan en conjunto el 60,6%. En el tratamiento S45%+M el descriptor sobresaliente fue el chocolate con 16,7%, con una correspondencia directa con el caramelo y frutal en un 40,1%. Para el tratamiento S50%+M el principal descriptor fue frutal con una frecuencia del 11,4% y una correspondencia con arazá y manzana que representan en conjunto el 31,4%. En el tratamiento S55%+M su mayor descriptor fue caramelo con un 26,3% y sus correspondencias miel y cereza con un 42,1%. Para el tratamiento M100% el descriptor característico fue miel, con una correspondencia directa de 20,5% con pasas y uvas. Para el café lavado el descriptor que se presentó con mayor frecuencia fue almendra con 20% y su correspondencia directa fue con miel y dulce en 50%. Es importante resaltar que en los tratamientos evaluados los descriptores con mayor ponderación del café procesado vía seca son frutales, chocolate, caramelo y miel (Figura 7).

En la Figura 8 se muestra una correlación directa entre variables sensoriales e inversa a las físicas, observando una separación evidente entre ellas y una correlación positiva con el puntaje total SCA, puntaje de catador, fragancia /aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance y almendra sana, así como una correlación negativa con *aw* y porcentaje de humedad en almendra, cereza seca y café pergamino. Los atributos sensoriales con mayor relación con el puntaje total SCA son el sabor residual (0,97), balance (0,96) y acidez y sabor (0,95), con respecto a las variables de actividad de agua en cereza y almendra que tienen una correlación con un valor de 0,62.

En este estudio se puede concluir que:

- El secado fue determinante para obtener CN con destacadas características, físicas y sensoriales. Dichas variables fueron explicadas satisfactoriamente para los diferentes tratamientos objeto de estudio, a partir de ecuaciones de tipo logarítmico y exponencial, con alto nivel de significancia en sus parámetros y coeficientes de determinación.
- Desde el punto de vista de la calidad física del grano, el CN presentó bajos valores de actividad de agua, disminuyendo así la probabilidad del crecimiento de microorganismos que alteran la inocuidad del grano e inconvenientes en el proceso de tueste. Adicionalmente, el porcentaje promedio en la merma fue de 50,7%, almendra sana de 42,6% mientras que la almendra defectuosa tuvo valores entre 2,6% y 6,6%.
- Con relación a la calidad sensorial, mientras que el café lavado tuvo un puntaje promedio total SCA de 82,9, el CN fue equivalente a 83,9, catalogándolo en la en la categoría “bueno” según la escala de valoración SCA, baja acidez, destacables atributos en fragancia/aroma, con descriptores asociados a chocolate, frutal, caramelo y miel, notas de pulpa dulce y vino.

AGRADECIMIENTOS

En la Disciplina de Biometría a Rubén Darío Medina y Esther Cecilia Montoya. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y Jhon Félix Trejos. Al doctor Juan Rodrigo Sanz de la Disciplina de Poscosecha. En la Disciplina de Calidad a Jenny Pabón, Paola Calderón, Wilson Vargas, Víctor Castañeda y el personal de apoyo Benjamín Sánchez. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número CAL102003.

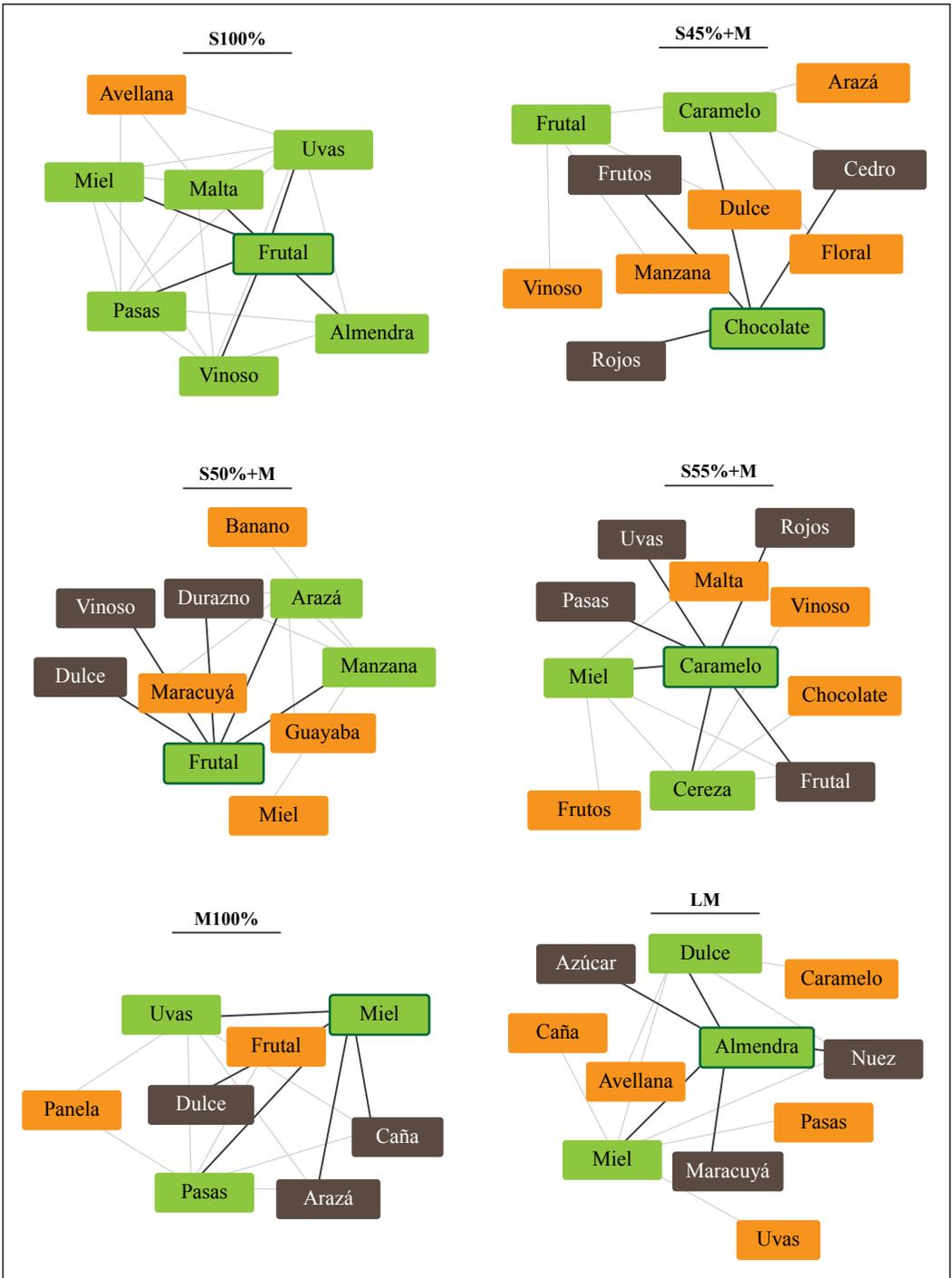


Figura 7. Minería de texto en los tratamientos de proceso de café natural y del café lavado (testigo). Cajas con color similar indican correspondencia directa entre los atributos evaluados.

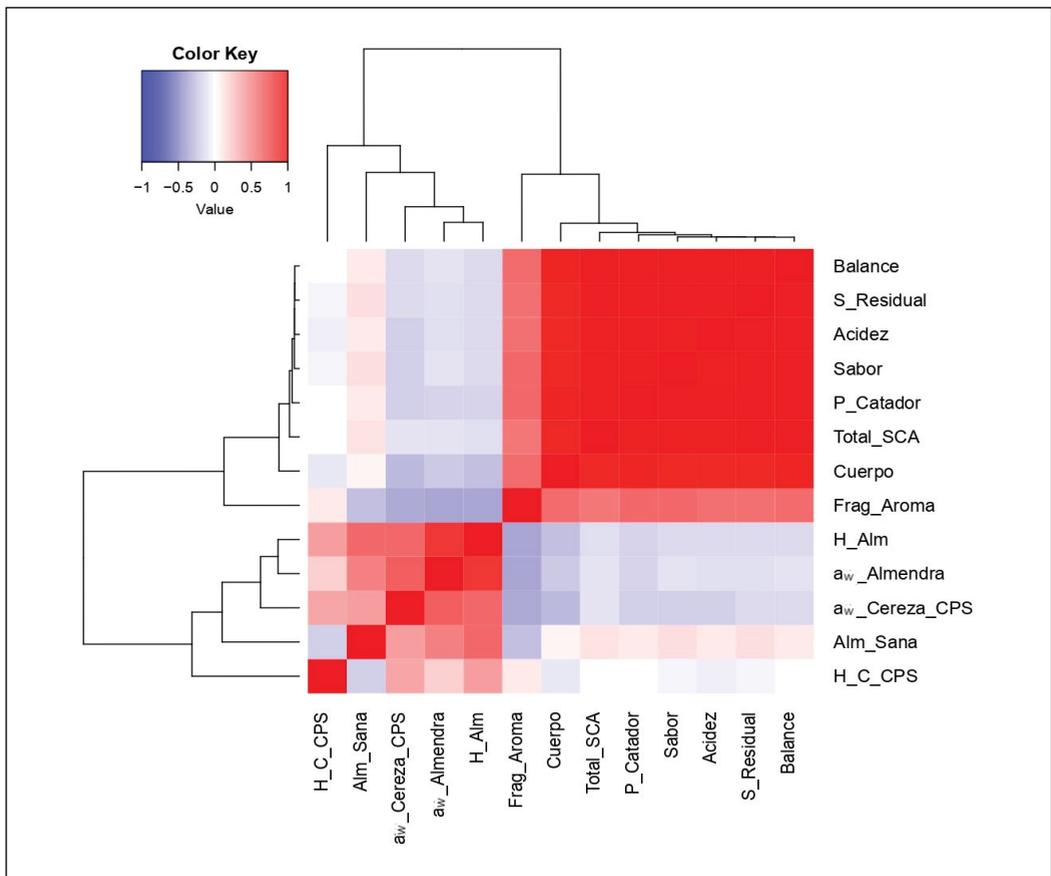


Figura 8. Mapa de calor de las correlaciones entre las variables sensoriales y las físicas. "Color key" presentado en la parte superior, indica la escala de valores correspondientes a los colores de la figura.

LITERATURA CITADA

- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Alves, G. E., Ribeiro, D. E., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. (2018). Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates. *Coffee Science*, 13(2), 159–167. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1410>
- Borém, F. M., Reinato, C. H. R., & Andrade, E. T. (2007). Secagem do café. En F. M. Borém (Ed.), *Póscolheita do café* (pp. 203–240). Editora UFLA.
- Borém, F. M., Marques, E. R., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 99(1), 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.027>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2021). Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. *International Journal of Food Microbiology*, 343, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109107>
- 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
- Coste, R. (1989). *Caféiers et cafés*. Maisonneuve et Larose.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2021). *Informe de gestión 2020*. <https://doi.org/10.38141/10793/2020>
- International Organization for Standardization. (2003). *ISO 6673:2003—Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Isquierdo, E., Borém, F. M., Andrade, E. T., Corrêa, J. L., Oliveira, P., & Alves, G. (2013). Drying Kinetics and Quality of Natural Coffee. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56, 1003–1010. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13031/trans.56.9794>
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/188>
- Kulapichitr, F., Borompichaichartkul, C., Suppavorasatit, I., & Cadwallader, K. R. (2019). Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry*, 291, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.152>
- Malta, M. R., Rosa, S. D. V. F. da, Lima, P. M., Fassio, L. de O., & Santos, J. B. (2013). Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. *Revista Engenharia na Agricultura*, 21(5), 431–440. <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i5.450>
- Nilnont, W., Thepa, S., Janjai, S., Kasayapanand, N., Thamrongmas, C., & Bala, B. K. (2012). Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. *Food and Bioprocess Processing*, 90(2), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.007>
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. da S., Lima, R. R. de, & Cardoso, R. A. (2013). Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science*, 8(2), 203–211. <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>
- 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>
- Peñuela, A. E., Pabón, J. P., & Sanz, J. R. (2013). Método fermaestro: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucilago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/479>
- Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- 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>
- Resende, O., Rodrigues, S., Siqueira, V. C., & Arcanjo, R. V. (2010). Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. *Acta Amazonica*, 40(2), 247–255. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200002>
- Rodríguez, R. A., Sánchez, J. L., & García, J. M. R. (2020). Evaluation of coffee pulp 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>
- Siqueira, V. C., Borém, F. M., Alves, G. E., Isquierdo, E. P., Pinto, A. C. F., Ribeiro, D. E., & Ribeiro, F. C. (2017). Drying kinetics of processed natural coffee with high moisture content. *Coffee Science*, 12(3), 400–409. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1320>
- Specialty Coffee Association SCA. (2003). *Cupping Protocols*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Villela, T. (2002). *Qualidade de café despulpado, desmucilado, descascado e natural, durante o processo de secagem* [Tesis de Maestría]. Universidade Federal de Lavras.
- Vincent, J.-C. (1987). Green Coffee Processing. En R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Volume 2: Technology* (pp. 1–33). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3417-7_1