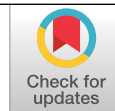


IDENTIFICACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS ASOCIADAS CON EL DEFECTO REPOSO EN EL CAFÉ

Claudia Patricia Gallego Agudelo *, Nelson Rodríguez Valencia **

Gallego, C. P., & Rodríguez-Valencia, N. (2021). Identificación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con el defecto reposo en el café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72105. <https://doi.org/10.38141/10778/72105>



Con el objetivo de identificar la relación de algunas características físico-químicas y microbiológicas asociadas al defecto reposo en café, se desarrolló esta investigación en etapas: I) café pergamino seco con defecto (CD) y sin defecto (SD), donde se evaluaron variables físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales; II) las características citadas se evaluaron para encontrar la asociación con las muestras CD; III) se verificó el efecto del almacenamiento del café pergamino en el defecto reposo, en el tiempo. Con respecto a la calidad sensorial (escala SCA), las muestras CD presentaron menores calificaciones en las variables sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance. El café CD presentó menores valores en porcentaje de almendra sana y de humedad, y mayor factor de rendimiento en trilla. El contenido de lípidos totales y ácido esteárico en CD fue 11,9% y 7,9%, respectivamente. El ácido linoleico predominó en café SD (37,43%). La evaluación microbiológica no mostró variaciones en los dos tipos de café. En la etapa II, el defecto reposo fue más frecuente en el café con contenido de almendra sana menor al 71%. A partir de los 60 días de almacenamiento en pergamino, hubo incrementos en el contenido de ácido esteárico en las muestras almacenadas (no significativos), y a los 120 días hubo cambios significativos en el puntaje del análisis sensorial, asociados con la aparición del defecto reposo. El porcentaje de almendra sana, el contenido de ácido esteárico y la actividad de la polifenoloxidasas se identificaron como indicadores de la presencia del defecto reposo en café.

Palabras claves: Café, defecto reposo, almacenamiento, ácido esteárico, lípidos, factor de rendimiento, almendra sana, calidad sensorial, polifenoloxidasas.

IDENTIFICATION OF SOME PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL VARIABLES RELATED TO AGED COFFEE

In order to identify the relation among some physicochemical and microbiological characteristics associated to aged coffee, this research was carried out in three stages: I) The physical, chemical, microbiological and sensory variables of dry coffee with defect (CD) and without defect (SD) were evaluated. II) The relation of such characteristics to the CD samples were analyzed, and III) The storage effect on dry coffee regarding the aged defect over time was verified. With respect to the sensory quality evaluated with the SCA scale, the CD samples showed lower percentage values in the variables taste, residual taste, acidity, body and balance. CD coffee showed lower percentage values of healthy green beans and moisture, and higher threshing yield factor. The content of total lipids and stearic acid in CD was 11.9% and 7.9%, respectively. Linoleic acid predominated in SD (37.43%). The microbiological evaluation did not indicate variations in the two types of coffee. In stage II, the aged coffee defect was more frequent in coffee with less than 71% of healthy green coffee. After 60 days of storage, dry coffee showed an increase (not meaningful) of stearic acid content in the stored samples, and after 120 days there were statistically significant changes in the score of the sensory analysis associated with the appearance of the aged coffee defect. The percentage of healthy green coffee, the content of stearic acid and the activity of polyphenoloxidase (PFO) were identified as possible indicators of aged coffee.

Keywords: Coffee, aged coffee defect, storage, stearic acid, lipids, yield factor, healthy green coffee, sensory quality, polyphenoloxidase.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055>

** Investigador Científico III. Disciplina de Poscosecha, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>



El cultivo del café representa uno de los productos agrícolas de mayor importancia de Colombia, dado que contribuye con la economía nacional, al tiempo de ser el sustento de más de 540.000 familias que se dedican a su producción, el cual se cultiva en las zonas montañosas del país y es reconocido en el mundo, no solo por la cantidad que se exporta, sino por su calidad. Hasta la fecha se han reportado alrededor de 126 especies de café, pero solo la especie *Coffea arabica* L representa importancia económica para Colombia; esta especie es responsable de cerca del 70% de la producción mundial del grano, la producción restante se le atribuye a la especie *Coffea canephora*.

Actualmente, todos los actores de la cadena productiva de café se encuentran en búsqueda de estrategias que apunten al sostenimiento de la producción y al mantenimiento de la calidad del café colombiano, en todo el sistema de producción. Sobre este aspecto, se destaca el seguimiento a las variables asociadas con el aspecto físico del grano, las cuales se reflejan significativamente en la calidad en taza. Almacafé, que es el operador logístico de la Federación Nacional de Cafeteros-FNC, registra que, del total de defectos sensoriales encontrados en el café para comercialización en los centros de acopio del país, el reposo constituye el tercer defecto más predominante (14,8%), solo superado por el fermento (41,9%) y el químico y fenol (33,5%) (Almacafé, 2015). El defecto reposo se caracteriza por el aspecto decolorado (verde muy claro) en los granos de café almendra y un sabor a madera, amargo, sucio y pesado en la bebida de café (Puerta, 2015).

Las características físicas, químicas y biológicas del grano pueden variar en el tiempo, a lo largo de todo el proceso productivo y de comercialización, y durante el almacenamiento, alterando la composición química de los granos

y sus características sensoriales. Desde el punto de vista físico-químico, el contenido de lípidos (Amorim, 1978), la acidez titulable, la actividad enzimática, la actividad del agua (Multon, 1991) y el contenido proteico (Borem et al., 2013; Coelho et al., 2001) entre otros, constituyen un importante conjunto de condiciones de particular atención, pues de sus niveles en el grano, depende significativamente la calidad en taza. Así mismo, el contenido de ácidos grasos libres y de ácidos grasos poli-insaturados influyen significativamente en la calidad durante el almacenamiento de los granos de café verde (Nikolova-Damyanova et al., 1998).

Hasta el momento, la detección del defecto reposo ha estado centrada en el análisis sensorial o prueba en taza, haciéndose necesario identificar cuáles son los principales cambios que ocurren en el grano durante su envejecimiento, mediante pruebas físico-químicas. Algunos trabajos reportados, en este aspecto, son los realizados en Brasil por Rendón et al. (2014), quienes estudiaron los cambios sensoriales en el almacenamiento de los granos de café durante 15 meses, concluyendo que estos ocurren principalmente debido a la oxidación de lípidos y son responsables por la pérdida del valor comercial del café. Durante el período de almacenamiento, se registraron cambios en el contenido de ácidos grasos libres, con incrementos entre 1,78 y 2,47 mg g⁻¹ de aceite. De igual forma, la intensidad del sabor a café reposado, en la infusión de café, aumentó durante el almacenamiento entre 3,4 y 3,5 unidades, en la escala utilizada en la evaluación, y la concentración del ácido 5-cafeoilquinico disminuyó en el almacenamiento entre el 6,12% y el 11,54%. También hubo pérdidas en la viabilidad de la semilla, el color de la almendra y la estructura celular. Concluyendo que la oxidación sería la responsable de la pérdida de estructura celular, viabilidad de la semilla y los cambios sensoriales.

En Colombia, Pazmiño-Arteaga et al. (2019), realizaron estudios para discriminar entre café con defecto reposo y sin defecto, utilizando *Coffea arabica* colombiano argumentando que el defecto reposo se presenta por el almacenamiento prolongado y por cambios en los perfiles lipídicos del grano. Dado que el análisis de componentes (PCA) fue insuficiente para clasificar entre muestras con y sin el defecto reposo, desarrollaron un modelo forestal, que demostró una especificidad del 72% para detectar café con defecto reposo.

Esta investigación tuvo como objetivo identificar algunas de las variables fisico-químicas, enzimáticas y microbiológicas asociadas a la aparición del defecto reposo en el café, buscando, a través de la hipótesis de trabajo, una o varias variables que se constituyeran en indicadores de la presencia del defecto reposo en la bebida de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa I. Se identificaron las variables físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas asociadas al defecto reposo. Para tal fin, se evaluaron muestras de café con calidad sensorial y procedencia conocida. Para ello, se emplearon 30 muestras de café pergamino seco así: 15 muestras con la presencia del defecto reposo y 15 muestras sin el defecto; cada una constituyó la unidad experimental. Una vez clasificados los dos grupos de muestras con y sin defecto reposo, se determinaron las siguientes variables de respuesta, en cada una de ellas: análisis físico (granulometría, porcentaje de granos decolorados, humedad del grano); análisis químico (ácidos clorogénicos totales, pH, acidez titulable, proteínas solubles, lípidos totales, ácidos grasos); análisis microbiológico (recuento total de bacterias aerobias mesófilas, recuento de hongos y levaduras); actividad enzimática de la polifenoloxidasas; análisis sensorial del café, el cual se realizó bajo los

criterios de calificación de la escala SCA (*Specialty Coffee Association*) para el café.

Etapa II. En esta etapa se corroboraron las variables que fueron identificadas en la etapa I, asociadas al defecto reposo, en 30 muestras de café codificadas “*blind test*”.

Etapa III. Se hizo una verificación donde las variables identificadas, en las etapas anteriores, se asociaron con la aparición del defecto reposo durante el almacenamiento. Para ello, se recibieron diez muestras de café sin defecto, las cuales fueron almacenadas bajo condiciones de temperatura en el intervalo entre 16 y 18°C y humedad relativa entre 65% y 75%. Estas muestras se sometieron a pruebas fisico-químicas y enzimáticas, en periodos de 0 – 60 – 120 y 210 días en almacenamiento.

Análisis de la información. Se realizaron las determinaciones analíticas al café almendra como una contribución directa de la evaluación de los cambios durante el almacenamiento del café pergamino. En la Tabla 1 se presentan los tipos de análisis, la matriz (tipo de muestra) y los métodos empleados para cada grupo. Para las variables de interés se estimaron el promedio y el error estándar. Se aplicó el análisis de varianza de una vía, al 5%, para evaluar los grupos, con todas y cada una de las variables de interés. Se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa, al 5%, en aquellos casos donde el análisis mostró efecto de grupo.

Después de determinar el efecto de cada una de las variables sobre el defecto reposo, se evaluó el efecto conjunto de las variables de estudio a partir de un análisis discriminante, con el fin de determinar si hay una relación entre variables que permitan determinar a qué grupo pertenece la muestra (con defecto o sin defecto). Además, se realizó un análisis discriminante cuadrático (QDA) y un análisis

discriminante por pasos, para seleccionar un subconjunto de las variables cuantitativas, que pudieran usarse en la discriminación entre los grupos de muestras.

Análisis físico y granulométrico. Este análisis se realizó bajo los estándares y procedimientos del laboratorio de la Disciplina de Calidad de Cenicafé (PACFS-11-12). La muestra de café se homogeneizó en dos momentos seguidos, en el equipo divisor Boemer. Se tomaron 400 g del café homogeneizado y se determinó la humedad en el medidor KAPPA. A través de criterios

visuales y olfativos, se efectuó la calificación de la masa del café en sus aspectos: color, olor y apariencia. Seguido, se extendió el café en una superficie plana para identificar, separar y tomar peso de los granos pelados, tipo guayaba y semi-despulpados e impurezas en general. Posteriormente, la muestra de café pergamino seco con sus defectos, pero sin las impurezas, se homogeneizó nuevamente. Se trillaron 250 g de café, tanto el cisco como el café almendra resultantes se discriminaron por separado para tomar sus respectivos pesos. Este procedimiento permitió calcular el porcentaje de merma.

Tabla 1. Variables y métodos empleados para su determinación.

Variable a medir	Tipo de muestra	Método/Fuente
Análisis sensorial	Café tostado molido	Calidad sensorial/SCA
Análisis físico/granulometría	Café pergamino /almendra	Calidad física grano decolorado/ PACFS-11-12
Humedad del grano	Café pergamino /almendra	Gravimétrico/ISO6673/AOAC 925.45
pH	Café tostado molido	Potenciométrico/AOAC 973.46
Acidez titulable	Café tostado molido	Titulométrico/AOAC 942.15
Hongos y levaduras	Café almendra	Microbiológico conteo en placa/NTC 4132/ AOAC 997.02
Aerobios mesófilos	Café almendra	Microbiológico conteo en placa/AOAC 966.23/AOAC 2002.07
Lípidos totales	Café almendra molido	Gravimétrico Soxhlet/ AOAC 945.16 (Latimer & Horwitz, 2005)
Ácidos grasos libres	Café almendra molido	Cromatografía de gases/Espectrometría de masas (GC/MS) AOAC 969.33
Ácidos clorogénicos totales	Café almendra molido	Espectrofotométrico/AOAC 14.025
Proteínas solubles	Café almendra molido	Espectrofotométrico/(Bradford, 1976)
Actividad enzimática (PFO)	Café almendra molido	Espectrofotométrico UV/VIS

Análisis sensorial. Se realizó en el Panel de Catación de Cenicafé, siguiendo el protocolo de preparación y análisis sensorial SCA. En las muestras se evaluaron atributos del sabor del café, como: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje del catador y puntaje total. Estos atributos fueron evaluados en una escala de 16 puntos, representando el nivel de calidad en una tabla entre 6 y 9 puntos.

Humedad del grano. Se basó en la pérdida de peso del café verde en grano. En una caja de Petri se pesaron 10 g de café verde y se dejaron en una estufa a una temperatura de 105°C, durante 16 horas (Método ISO 1447).

Lípidos totales. Consistió en una extracción sólido-líquido. Se utilizó éter de petróleo 40-60 como solvente de extracción. Se tomaron 10 g de café verde molido, se transfirieron a un dedal de celulosa, el cual se colocó en contacto con 450 mL de éter de petróleo (40-60) en un montaje Soxhlet, durante 24 h, en dos fases de extracción; una en caliente (en contacto directo con el solvente) y otra posterior, en frío con recirculación del solvente. El contenido de grasa se cuantificó por diferencia de peso (AOAC 945.16) (Latimer & Horwitz, 2005).

Ácidos grasos. Se tomaron 100 µL de muestra a partir del extracto lipídico de café, se adicionó 1 mL de trifloruro de boro al 20% en metanol. Se dejó en reacción por 40 min a 80°C. Se realizó una extracción de los metilésteres de ácidos grasos con dos extracciones sucesivas de 1 mL de hexano. Posteriormente, se inyectó en el cromatógrafo de gases acoplado al detector de masas (AOAC 969.33). La identificación de los metilésteres de ácidos grasos en el aceite de café se realizó mediante la comparación de los tiempos de retención de sus ésteres metílicos, con los de una mezcla de estándares de metilésteres de ácidos grasos, analizados bajo las mismas condiciones cromatográficas.

Ácidos clorogénicos totales. Se determinó cuantitativamente por medio de espectrofotometría de UV-VIS mediante la absorción ultravioleta a longitudes de onda cercanas a 265, 328 y 380 nm.

Proteínas solubles. Se determinó con base a una curva de calibración de concentración de proteína vs absorbancia, por medio del método de análisis Bradford, y se expresó como microgramos de proteína por mililitro de solución de extracto de café verde (µg mL⁻¹). Se evaluó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 595 nm.

Actividad de la polifenoloxidas. Se determinó en café verde molido diluido en búfer fosfato a pH 6,0. La mezcla se filtró y centrifugó a 10.000 rpm, se llevó a una columna de filtración con vacío en una cámara de extracción, aplicando presión se vació gradualmente. El extracto obtenido se colocó en reacción con L-DOPA (3 mg mL⁻¹ en solución búfer fosfato) en relación 2:1 (v/v). El cambio de absorbancia se midió en un espectrofotómetro a 480 nm, cada minuto, durante 10 min. Dicho procedimiento permitió determinar las micro moles extinguidas por segundo y se relacionó con el contenido proteico de la muestra.

Análisis microbiológicos. Se tomaron asépticamente, en un frasco, 50 g de café y se sumergieron en 450 mL de agua peptonada al 0,1%. Se agitó la muestra y se realizaron diluciones seriales de esta preparación, desde 10⁻¹ hasta 10⁻⁴. Se realizó la siembra de la muestra en superficie en dos cajas de agar plate count y agar nutritivo. Se incubaron las cajas a una temperatura de 37°C, durante 24 a 48 h. Se seleccionaron las colonias que crecieron y se aislaron en agar plate count y agar nutritivo, hasta la obtención de un cultivo puro. Posteriormente, se realizaron observaciones macro y microscópicas y pruebas bioquímicas (AOAC 966.23-997.02-2002.07).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I

Los resultados del análisis sensorial permitieron establecer las siguientes tendencias: para las muestras con el defecto reposo (CD) se presentaron descriptivamente menores calificaciones en las variables sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance, respecto a las muestras sin el defecto reposo (SD), recibiendo el puntaje más bajo de la escala por atributo, que es 6. El puntaje total de las muestras sin defecto fue de 81,3 en promedio, valor que las clasifica como café con calidad especial, y para muestras con defecto el puntaje fue de 53,2, valor por debajo del grado de especial (Figura 1). El puntaje total permitió establecer un diferencial de 28 puntos. Los valores en

las muestras sin defecto se encuentran dentro de los rangos reportados para cafés lavados de buena calidad por fermentación natural (Ribeiro et al., 2017).

Los resultados obtenidos están en concordancia con lo expresado por Puerta (2015), quien define que el café con defecto reposo presenta un envejecimiento irreversible, detectable en la evaluación sensorial, dando como resultado sabores a madera, viejo y moho (Puerta, 2001). Investigaciones previas demuestran cómo los atributos de la calidad sensorial están claramente determinados por las condiciones agroecológicas donde se desarrolla el sistema de producción (Bote & Vos, 2017), y queda en evidencia que el almacenamiento constituye una etapa decisiva que preserva o modifica las características del café.

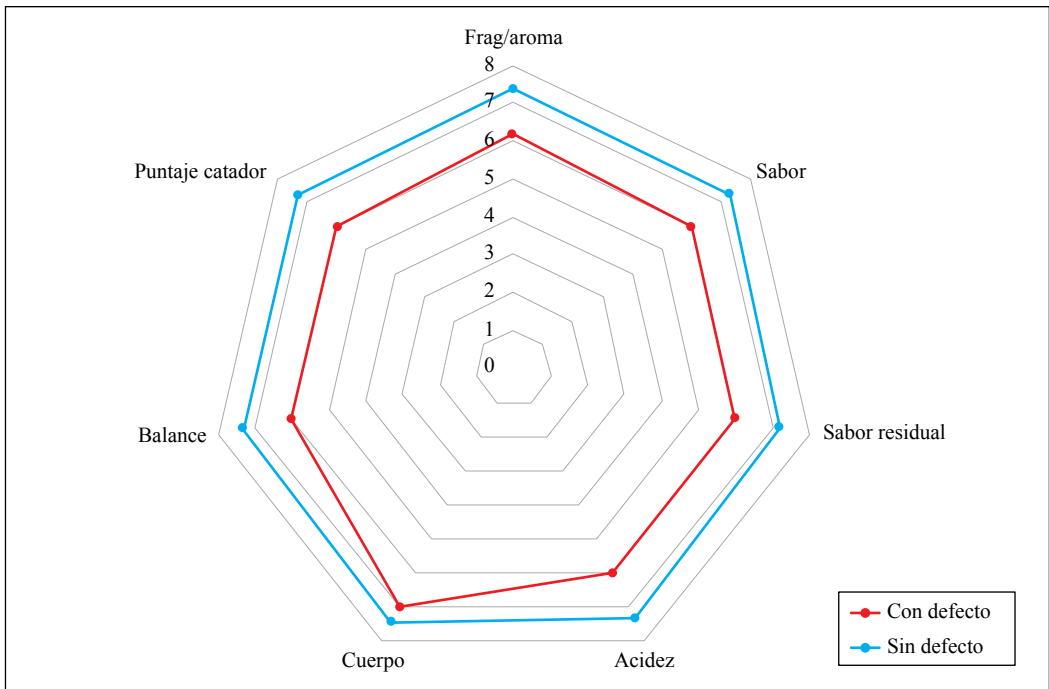


Figura 1. Calidad de la bebida de café con y sin defecto reposo. Escala de calificación SCA: 6,00 (buena), 7,00 (muy buena), 8,00 (excelente), 9,00 (sobresaliente).

Calidad física del grano. El grano de café sano y seco debe tener un contenido de humedad entre 10% y el 12%, con el fin de conservar el café almacenado hasta 10 meses y con una humedad relativa entre el 65% y el 70% en bodega de almacenamiento (Puerta, 2013). Aunque estas condiciones se cumplieron en el almacenamiento de las muestras, con un contenido de humedad dentro del rango establecido, aquellas muestras con un porcentaje de humedad inferior presentaron defecto reposo con mayor frecuencia. Las muestras con defecto presentaron una disminución del porcentaje de almendra sana y un aumento en el factor de rendimiento en trilla, con valores de 71,19% y 99,24 kg, respectivamente (Figura 2). Para las demás variables físicas no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Composición química y enzimática del grano (lípidos totales, ácidos grasos y ácidos clorogénicos, proteínas totales y actividad de la polifenoloxidasasa PFO). Los contenidos de lípidos totales y ácidos grasos libres en las muestras evaluadas, con defecto y sin defecto reposo (muestras previamente separadas de las pasillas), presentan diferencias estadísticas

significativas, siendo mayor el contenido de lípidos para las muestras con defecto reposo (Figura 3). Los lípidos totales presentaron un porcentaje promedio del $11,87\% \pm 0,15$ en café con defecto reposo y $11,00\% \pm 0,15$ en café sin defecto.

Los resultados obtenidos son coherentes con los de Rendón et al. (2014), en Brasil, quienes reportan valores iniciales de lípidos del 12% en los granos de café, antes del almacenamiento, y establecen que se presenta una oxidación de lípidos en el grano después de 15 meses de almacenamiento, debido a cambios en el contenido de ácidos grasos libres entre 1,78 y 2,47 mg g⁻¹ de aceite, pasando de valores iniciales entre 1,37 y 1,89 mg g⁻¹ de aceite en los granos antes del almacenamiento a valores de 3,84 y 3,67 mg g⁻¹ de aceite, después del almacenamiento.

Con relación a los ácidos grasos libres presentes en la fracción lipídica, el ácido linoleico se encontró en mayor contenido en las muestras sin defecto reposo (37,43%), mientras que en las muestras con defecto el ácido esteárico fue el que presentó el mayor

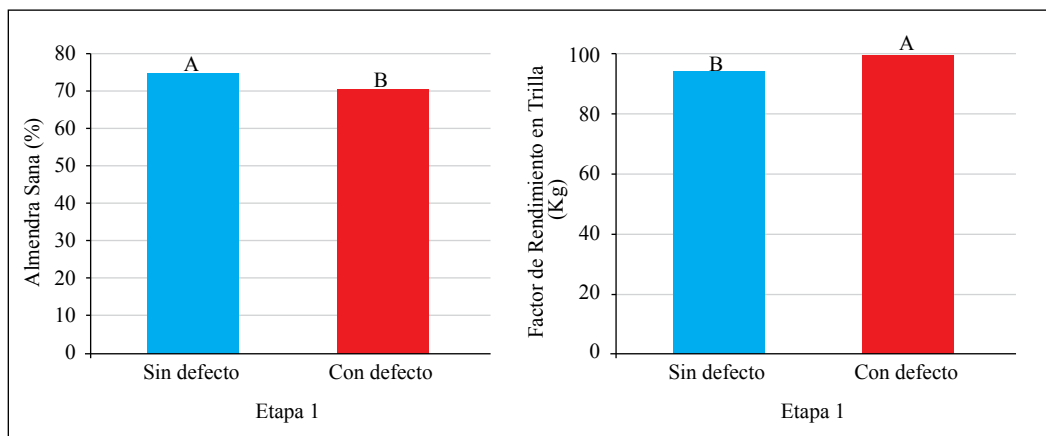


Figura 2. Porcentaje de almendra sana y factor de rendimiento en trilla para café con y sin defecto reposo. Letras distintas indican diferencia estadística según prueba DMS al 5%.

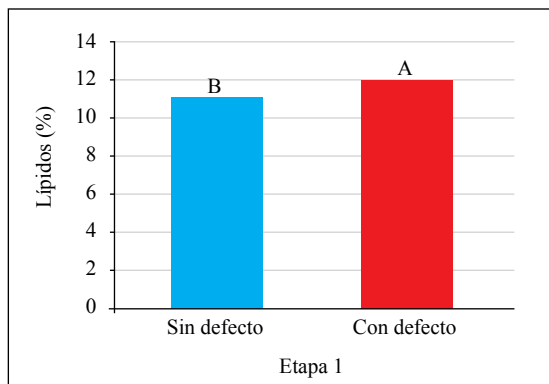


Figura 3. Contenido de lípidos totales en café, con y sin defecto reposo. Letras distintas indican diferencia estadística según prueba DMS al 5%.

valor (7,9%), con diferencias estadísticas para estos dos ácidos grasos en las muestras de café con y sin defecto. Para los demás ácidos grasos libres como el araquídico, oleico y palmítico no hubo diferencias significativas (Figura 4).

Respecto a los contenidos de ácidos clorogénicos totales, en la Figura 5 se observa que no hubo diferencias significativas en muestras con y sin defecto reposo. En promedio, las muestras de café presentaron 4,5% de ácidos clorogénicos totales, valor por debajo de los promedios reportados por Puerta (2013), para café arábica de frutos maduros que lo sitúa en el rango entre 5,24% y 7,61%.

En cuanto a los ácidos clorogénicos, Rendón et al. (2014) reportan que son los componentes principales de la fracción fenólica de los granos de café, siendo el compuesto principal el 5-CQA (Ácido 5-cafeoilquinico), el cual disminuyó entre 6,12% a 11,54% durante 15 meses de almacenamiento de los granos de café, pasando de valores iniciales en el café antes del almacenamiento entre 4,9 g/100 g y 5,2 g/100 g a valores de 4,6 g/100 g después del almacenamiento. La disminución en el contenido de 5-CQA durante el almacenamiento se debe probablemente a oxidación enzimática y no enzimática.

Para el contenido de proteína total, el promedio fluctuó entre 5,20% y 5,37% para las muestras sin y con defecto reposo, respectivamente (Figura 6), sin registrarse diferencias significativas entre uno y otro tipo de café.

Análisis microbiológico de los granos. Desde el punto microbiológico, defectos como el reposo pueden ser consecuencia del crecimiento de microorganismos, que pueden conducir a la manifestación de toxinas en el café como la ochratoxina A (OTA), entre las que se destaca la presencia de *Aspergillus* sp. (Perrone et al., 2007).

El recuento de hongos, levaduras y bacterias mesófilas en las muestras con y sin defecto fue estadísticamente igual; sin embargo, descriptivamente, se observó que el género *Penicillium* spp. (73%) fue el de mayor porcentaje de frecuencia en las muestras con defecto respecto a los otros tipos de hongos evaluados para este tipo de café, con un valor inferior al registrado en las muestras sin defecto (93%). En el recuento de hongos, en las muestras de café con el defecto reposo se registraron *Penicillium* spp, seguido de *Aspergillus* spp. y *Fusarium* spp., cuyos porcentajes de aparición fueron de 53% y 47%, respectivamente, y de 33%

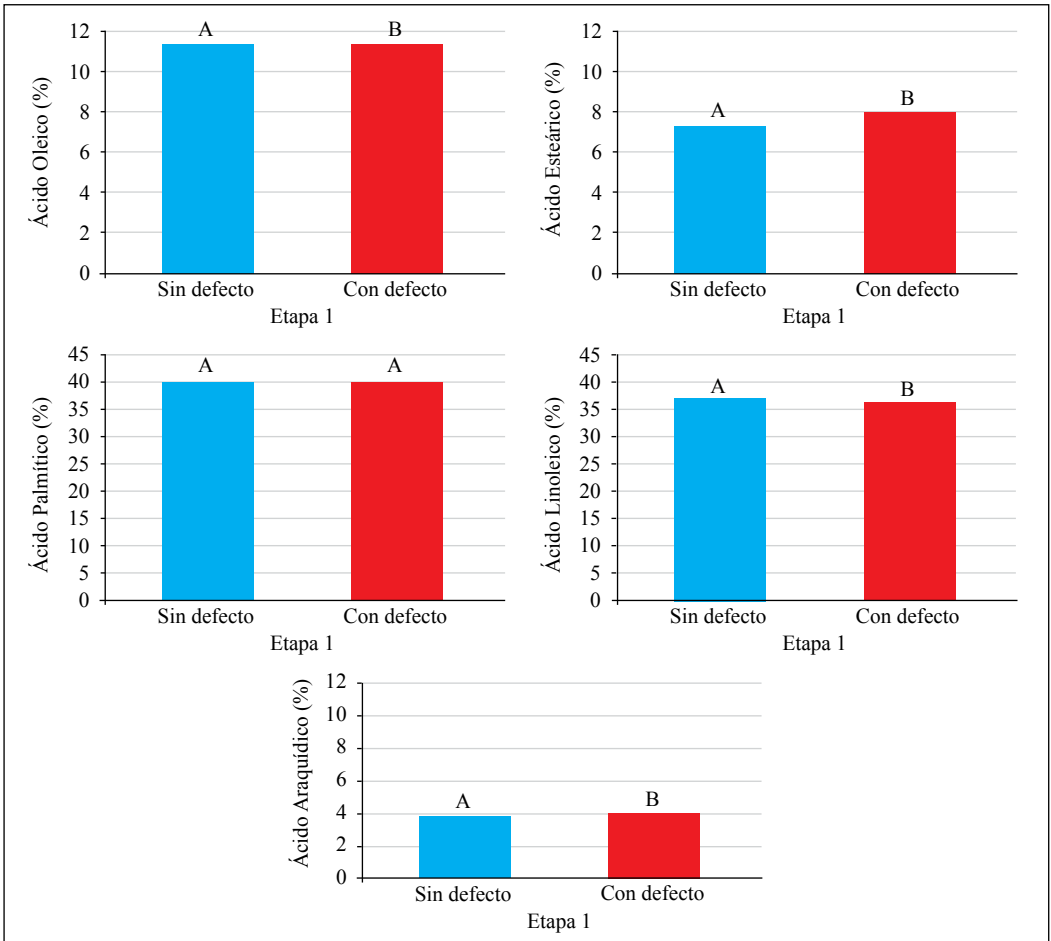


Figura 4. Composición de ácidos grasos en café con y sin defecto reposo. Letras distintas indican diferencia estadística según prueba DMS al 5%.

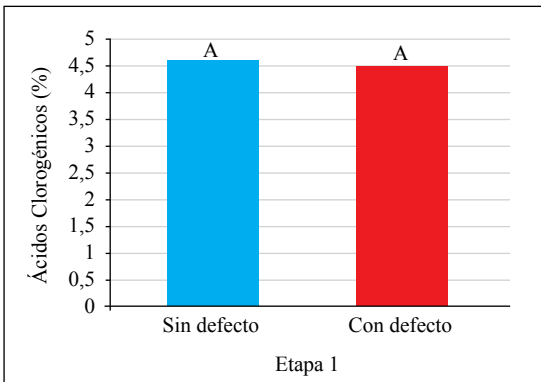


Figura 5. Contenido de ácidos clorogénicos totales en café con y sin defecto reposo. Letras distintas indican diferencia estadística según prueba DMS al 5%.

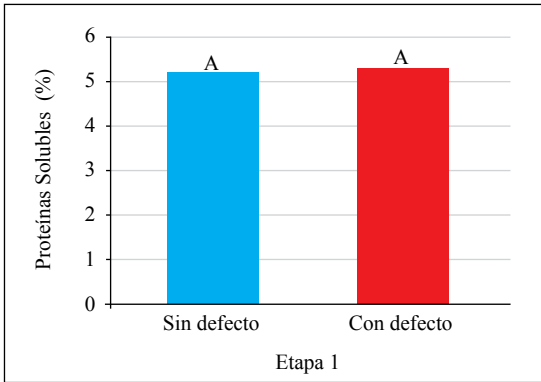


Figura 6. Porcentaje de proteínas solubles en café con y sin defecto reposo. Letras distintas indican diferencia estadística según prueba DMS al 5%.

y 40%, en las muestras de café sin defecto. Los demás géneros de hongos evaluados en el café con defecto se presentaron en un porcentaje inferior al 33%. Las bacterias mesófilas y levaduras estuvieron en un mismo nivel de frecuencia en el café con el defecto reposo (67%), estando las bacterias mesófilas con una frecuencia de aparición menor en el café sin defecto (60%) y las levaduras

con una frecuencia de aparición mayor en el café sin defecto (80%) (Tabla 2). De otro lado, para el recuento de hongos en las muestras de café sin defecto, exceptuando a los géneros *Penicillium* spp y *Aspergillus niger* que se manifestaron en más del 60% de las muestras, los demás géneros encontrados se observaron con una frecuencia inferior del 40%.

Tabla 2. Porcentaje de microorganismos en muestras con y sin defecto reposo. Etapa I.

Microorganismos	Con defecto		Sin defecto	
	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia
<i>Penicillium</i> spp	27	73	7	93
<i>Aspergillus</i> spp	47	53	67	33
<i>Aspergillus niger</i>	73	27	40	60
<i>Aspergillus ochraceus</i>	73	27	73	27
Hongos <i>Aspergillus fumigatus</i>	93	7	93	7
<i>Aspergillus flavus</i>	67	33	67	33
<i>Rhizopus</i> spp	93	7	80	20
<i>Cladosporium</i> spp	87	13	80	20
<i>Fusarium</i> spp	53	47	60	40
Bacterias Bacterias mesófilas	33	67	40	60
Levaduras Levaduras	33	67	20	80

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las características físicas, químicas y microbiológicas evaluadas en la Etapa I del estudio, para el café con y sin el defecto reposo.

De acuerdo con los resultados condensados en la Tabla 3, para la Etapa I del estudio se observan diferencias estadísticas, a un nivel de significancia del 5%, entre el café con y sin el defecto reposo en las variables físicas almendra sana y factor de rendimiento; en

las variables químicas, lípidos totales, ácido linoleico y ácido esteárico; en la variable enzimática de la polifenoloxidasas; y en la prueba sensorial.

La prueba de diferencia mínima significativa indicó diferencias a favor de las muestras sin defecto reposo en las variables: almendra sana, prueba en taza, factor de rendimiento y ácido linoleico; el análisis de varianza mostró efecto de grupos, para al menos una de las variables fisicoquímicas y enzimáticas.

Tabla 3. Promedio y desviación estándar (D.E.) para cada una de las variables evaluadas en muestras de café, con y sin defecto reposo, en la Etapa I del estudio.

Variables	Con defecto		Sin defecto		
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.	
Físicas	Almendra sana (%)	71,19 B	2,63	75,42 A	3,59
	Factor de rendimiento trilla (kg)	99,24 A	3,53	93,61 B	4,51
	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	1763,93 A	308,65	1822,87 A	273,74
	pH (Unidades)	4,87 A	0,10	4,87 A	0,10
	Humedad (%)	11,81 A	0,24	11,95 A	0,43
	Grano decolorado (%)	5,36 A	1,85	4,06 A	3,32
Sensorial	Prueba sensorial (SCA)	53,14 B	0,36	81,37 A	1,11
Químicas	Lípidos totales (%)	11,87 A	0,86	11,06 B	1,01
	Ácido linoleico (%)	36,34 B	1,37	37,43 A	1,27
	Ácido esteárico (%)	7,89 A	0,38	7,36 B	0,48
	Ácido palmítico (%)	40,28 A	1,00	40,02 A	0,86
	Ácido oleico (%)	11,33 A	0,31	11,35 A	0,71
	Ácido araquídico (%)	4,01 A	0,37	3,85 A	0,23
	Ácidos clorogénicos (%)	4,49 A	0,57	4,60 A	0,59
	Proteínas totales (%)	5,37 A	0,45	5,20 A	0,30
Enzimática	Polifenoloxidasas (UE)	0,000167 B	0,00008	0,00019 A	0,0001
Microbiológicos	Hongos (UFC/mL)	58643 A	60035	107000 A	0,30
	Levaduras (UFC/mL)	8429 A	26404	31133 A	0,0001
	Bacterias mesófilas (UFC/mL)	18571 A	40765	64700 A	0,00005

Lo anterior permitió corroborar la hipótesis de investigación, donde por lo menos con una variable fisicoquímica o enzimática se identifica el defecto reposo del café.

Etapa II

Con base en la identificación de las variables, realizada en la primera etapa del estudio, en la Etapa II se corroboraron las variables fisicoquímicas y enzimática para 30 muestras de café (muestras “a ciegas”), las cuales presentaron el defecto reposo.

Calidad física del grano. Para la variable almendra sana, el promedio obtenido para el café con el defecto reposo fue del 75,22%, mayor al promedio obtenido en la Etapa I (71,19%) y ligeramente inferior al valor promedio encontrado en la primera etapa para el café sin defecto, que fue de 75,42%. Se infiere que el defecto reposo tiende a generarse, con mayor frecuencia, en la medida en que el café presente bajos porcentajes de almendra sana, con lo cual se desarrollan granos decolorados/reposados.

Con relación al factor de rendimiento en trilla (FRT), las muestras con defecto presentaron un valor promedio de 95,11 kg, menor al valor promedio encontrado en la

Etapa I, que fue de 99,24 kg y mayor al valor promedio encontrado en la primera etapa para el café sin defecto, que fue de 93,61 kg (Figura 7, Tabla 4). Esta condición ratifica que el café con el defecto reposo puede presentarse con una mayor probabilidad en el café con altos factores de rendimiento en trilla; con base en lo anterior, puede inferirse que el defecto reposo guarda una estrecha relación con la calidad física del grano y, por ende, se refleja en la calidad sensorial de la bebida.

Composición química del grano (lípidos totales y ácidos grasos libres). La evaluación de la composición química del café con defecto reposo en sus variables, lípidos totales y ácidos grasos (esteárico, y linoleico) permitió detectar que, con la manifestación del defecto reposo disminuye el contenido de ácido linoleico (37,42% en la Etapa II y 36,34% en la Etapa I), comparado con el valor presentado en el café sin defecto (37,43%), se incrementa el contenido de ácido esteárico (8,10% en la Etapa II y 7,89% en la Etapa I), comparado con el valor presentado en el café sin defecto (7,36%), y se incrementa el contenido de lípidos totales (13,19% en la Etapa II y 11,87% en la Etapa I), comparado con el valor presentado en el café sin defecto (11,06%), tal como se presenta en la Figura 8 y en la Tabla 4.

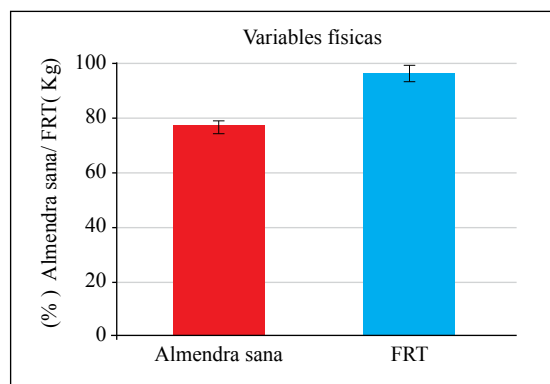


Figura 7. Promedios e intervalos de confianza al 95% para el porcentaje de almendra sana y el factor de rendimiento en trilla (FRT) en café con defecto reposo. Etapa II.

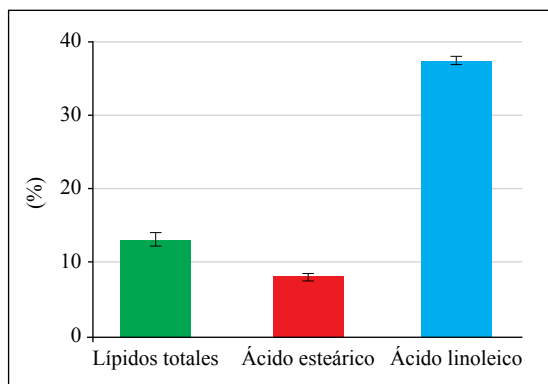


Figura 8. Promedios e intervalos de confianza al 95% en la variación en el contenido de lípidos totales y de los ácidos grasos linoleico y esteárico en el café con defecto reposo.

Tabla 4. Promedio e intervalos de confianza para las variables estudiadas asociadas al defecto reposo.

Variable	Intervalos de confianza al 95%		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
Almendra sana (%)	75,22	73,26	77,18
Factor rendimiento (kg)	95,11	91,90	98,33
Lípidos (%)	13,19	12,46	13,94
Ácido linoleico (%)	37,42	36,94	37,89
Ácido esteárico (%)	8,10	7,87	8,32

Luego de determinar el efecto de cada una de las variables estudiadas sobre el defecto reposo en el café, se evaluó el efecto conjunto de las variables objeto de estudio, a partir de un análisis discriminante, con el fin de determinar si se presentaba una relación entre variables que permitiera inferir a qué grupo pertenece una muestra (con defecto o sin defecto reposo). Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis discriminante por pasos, para seleccionar un subconjunto de las variables cuantitativas fisicoquímicas, que pudieran usarse en la discriminación entre los grupos de muestras.

Con el análisis discriminante se determinó que las variables que más explican la

condición de reposo en el café son: el factor de rendimiento en trilla, el contenido de ácido esteárico y la actividad enzimática de la polifenoloxidasas (PFO) (Tabla 5, Figura 9). Para el factor de rendimiento en trilla se encontró homogeneidad en las matrices de covarianza interna ($P < 0,7530$). Teniendo en cuenta que el factor de rendimiento en trilla está relacionado con la variable almendra sana, empleada en la comercialización de café, se utilizó esta variable para realizar el análisis discriminante, usando una función lineal discriminante, con una clasificación del 93,3% para las muestras con defecto reposo y del 86,7% para las muestras sin defecto, con errores de clasificación del 6,7% y 13,3%, respectivamente.

Tabla 5. Análisis discriminante por pasos en variables cuantitativas.

Resumen de selección paso a paso								
Paso	Ingreso	Parcial R-cuadrado	F valor	Pr> F	Wilks' Lambda	Pr < Lambda	Correlación Prom. cuadrado	Pr > ASCC
1	Factor rendimiento	0,3442	14,70	0,0007	0,65575924	0,0007	0,34424076	0,0007
2	Ácido esteárico	0,3196	12,68	0,0014	0,44621010	<0,0001	0,55378990	<0,0001
3	Polifenol oxidasa	0,2128	7,03	0,0135	0,35124109	<0,0001	0,64875891	<0,0001

Con las muestras de la Etapa II de la investigación (muestras a ciegas), se validó la función discriminante obtenida, logrando una clasificación correcta del 76,7% de las muestras, a partir de las variables ácido esteárico y la actividad enzimática de la polifenoloxidasa (PFO), confirmando los resultados de la primera fase del estudio.

Los análisis y procedimientos estadísticos efectuados, durante las fases del estudio, reafirman que la variable enzimática definida como actividad de la PFO y la variable química determinada como ácido esteárico son indicadores de la presencia del defecto reposo en la almendra de café. En la Figura 9 se evidencia la discriminación del café con y sin el defecto reposo, en función de la almendra sana, la actividad enzimática de la polifenoloxidasa (PFO) y el contenido de ácido esteárico en los granos de café.

Etapa III

Para verificar la aplicabilidad de las pruebas que identifican el defecto reposo, se recibieron diez muestras de café sin el defecto reposo. A estas muestras se les realizaron las pruebas fisicoquímicas y enzimáticas, en periodos de 0, 60, 120, 210 días en almacenamiento, con

condiciones de temperatura entre 16 y 18°C, y de humedad relativa entre 65% y 75% durante la etapa de almacenamiento.

Análisis sensorial, fisicoquímico (lípidos totales y ácidos grasos). Con base en la identificación de las variables en las Etapas I y II del estudio, para diez muestras sin defecto reposo, a través de un análisis de varianza y la prueba *t* student al 5%, se determinó que la calificación sensorial fue la única variable que presentó cambios estadísticamente significativos en su valor promedio durante el almacenamiento por 210 días, evidenciando el cambio a los 120 días de almacenamiento. El contenido de ácido esteárico empezó a incrementarse a los 60 días, alcanzando su mayor valor a los 210 días (7,53%), aunque estos cambios no fueron estadísticamente significativos (Figura 10). Para las demás variables relacionadas en las Etapa I y II con el defecto reposo, como el contenido de lípidos totales, el factor de rendimiento en trilla y el contenido de almendra sana, los cambios durante el tiempo de almacenamiento no fueron estadísticamente significativos (Tabla 6). Cabe anotar que, inicialmente la calidad del café de las muestras recibidas presentó una clasificación por debajo de café especial, según el puntaje total de calidad (SCA).

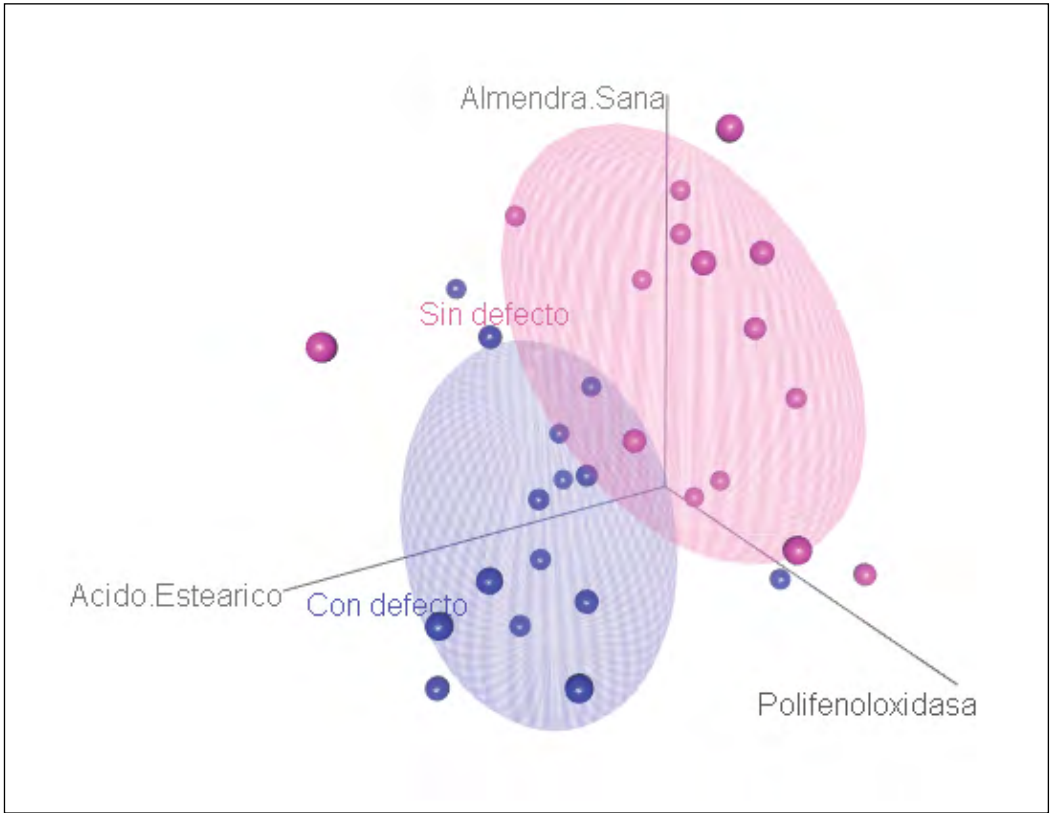


Figura 9. Variables que explican el defecto reposo en el café

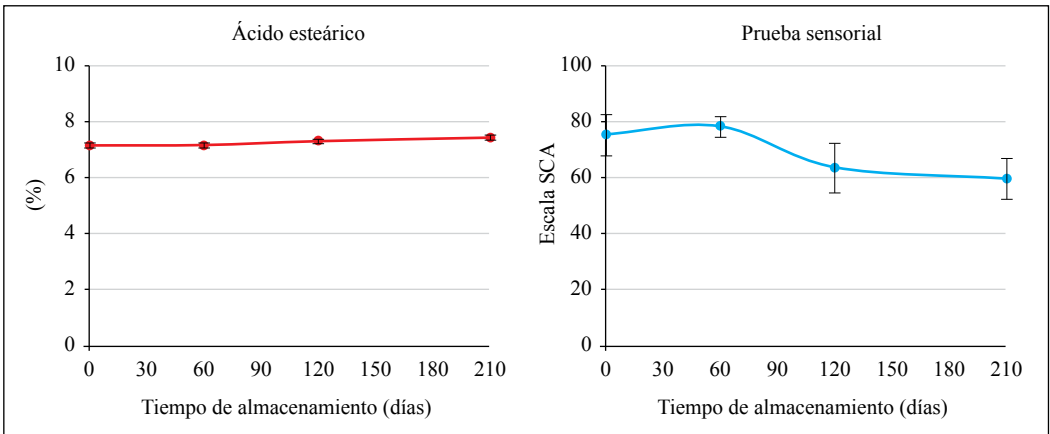


Figura 10. Cambios en el contenido de ácido esteárico y el puntaje total (SCA) de calidad sensorial para las muestras de café durante 210 días de almacenamiento.

Desde un punto de vista descriptivo y a pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la variable factor de rendimiento, esta variable disminuyó en el tiempo, con un menor valor de la misma asociada al café sin el defecto reposo. Otra variable que no presentó diferencias estadísticas significativas durante el almacenamiento del café fueron los lípidos totales, de forma descriptiva hubo un incremento durante el tiempo de almacenamiento, pasando del 11,75% al inicio del almacenamiento y finalizando en un valor de 12,29% a los 210 días de almacenamiento (incremento del 4,60%), resultado similar al reportado por Rendón et al. (2014), en café almacenado durante 15 meses.

El incremento del contenido de ácido esteárico, en los primeros 60 días, pasando de 7,23% a 7,25% (fue del 0,28%); sin embargo, este pequeño cambio no se reflejó en la calificación sensorial, la cual se incrementó de un valor de 75,32 a 78,20.

Posteriormente, para los días 120 y 240, los contenidos de ácido esteárico fueron de 7,39% y de 7,53%, respectivamente, presentando incrementos, respecto a la muestra original, del 2,21% y 4,15%, respectivamente; para estos valores se evidenció una disminución en la calificación sensorial con valores 63,70 y 59,65, identificando el defecto reposo.

Los valores iniciales de ácido esteárico encontrados en la Etapa III, para el café sin el defecto reposo, fueron de 7,23%, concordantes con los encontrados en la Etapa I para este tipo de muestras. De igual forma, valores de ácido esteárico de 7,53% al final de la etapa de almacenamiento y para los cuales se encontró el defecto reposo en la prueba sensorial, son consistentes con los encontrados en la Etapa I para café con el defecto reposo (7,89%).

De acuerdo con los registros de temperatura y humedad relativa del cuarto de almacenamiento, se encontró que la temperatura estuvo entre 16 y 18°C y la humedad relativa

Tabla 6. Promedios e intervalo para las variables asociadas al defecto reposo durante el almacenamiento.

Variable	0 días		60 días		120 días		210 días	
	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo
Almendra sana	77,18 A	0,86	78,86 A	0,70	78,96 A	0,58	79,81 A	1,11
Factor de rendimiento	92,26 A	1,15	89,94 A	0,88	89,91 A	0,73	88,99 A	1,35
Lípidos totales	11,75 A	0,15	12,40 A	0,21	12,35 A	0,21	12,29 A	0,42
Ácido linoleico	36,59 A	0,62	37,41 A	0,47	37,45 A	0,16	38,25 A	0,44
Ácido esteárico	7,23 A	0,24	7,25 A	0,20	7,39 A	0,13	7,53 A	0,22
Prueba sensorial	75,32 A	3,67	78,20 A	1,84	63,70 B	4,44	59,65 B	3,80

Para cada variable, letras no comunes implica diferencia entre promedios de tiempos de almacenamiento, de acuerdo con la prueba de Duncan al 5%.

entre el 65% y 75%. A partir de los 60 días de almacenamiento, una temperatura de 16°C y humedad relativa del 65% se comenzó a detectar un incremento del contenido de lípidos totales y del contenido de ácido esteárico, con el subsiguiente deterioro de la calidad sensorial de la bebida.

Los cambios encontrados en la calificación sensorial para el café en almacenamiento, durante 210 días, pasando de valores en la escala SCA, de 75,32 al inicio del almacenamiento a valores de 59,65 al final del almacenamiento, son coherentes con los reportados por Rendón et al. (2014), en Brasil, quienes reportan que la intensidad del "sabor a reposado" en la infusión de café aumentó entre 3,4 y 3,5 unidades en la escala de medición, pasando de valores entre 2,1 y 3,2 a valores de 5,5 y 6,7; indicando que la oxidación sería la responsable de la pérdida de estructura celular, viabilidad de la semilla y los cambios sensoriales.

En este estudio se puede concluir que:

- El nivel de acidez en la bebida de café, el porcentaje de merma, el contenido de ácidos clorogénicos totales, así como el nivel de proteínas y la frecuencia de

aparición de hongos, levaduras y bacterias, no presentaron diferencias estadísticas para un nivel de significancia del 5% entre las muestras de café, con y sin el defecto reposo.

- Se encontró que las muestras con el defecto reposo presentaron una disminución del porcentaje de almendra sana y un aumento en el factor de rendimiento en trilla. De igual manera, presentaron mayores contenidos de lípidos totales y de ácido esteárico respecto a muestras de café sin el defecto.
- De las 39 variables evaluadas, el porcentaje de almendra sana, el contenido de ácido esteárico y la actividad de la polifenoloxidasas (PFO) se identificaron como posibles indicadores para detectar la presencia del defecto reposo en el café.

AGRADECIMIENTOS

A Rodrigo Alarcón y Jhon Ehider Espitia de Almacafé; a Rubén Darío Medina, Esther Cecilia Montoya, Luis Imbachí, Valentina Osorio, Luz Fanny Echeverri, Paola Calderón, Hernán González y Aristóteles Ortiz, colaboradores de Cenicafé; a Gloria Inés Puerta y Gustavo Echeverry.

LITERATURA CITADA

- Almacafé. (2015). *Café pergamino presentado, separado por problemas de taza y rechazado—Ss. 40 kg.* [Presentación]. Informe de gerencia general a gerencia técnica.
- Amorim, H. D. (1978). *Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grãos de café verde relacionados com a determinação da qualidade* [Tesis de Pregrado], Universidad de Sao Paulo.
- Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Fortunato, V. A., & Isquierdo, E. P. (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, 52, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>
- Bote, A. D., & Vos, J. (2017). Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 83, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2017.09.002>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

- Coelho, K. F., Pereira, R. G. F. A., & Vilella, E. R. (2001). Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 2(1), 22–27.
- Latimer, G. W., & Horwitz, W. (Eds.). (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC.
- Multon, J. L. (1991). Basics of moisture measurement in grain. En L. D. Hill (Ed.), *Uniformity by 2000: Highlights of an International Workshop on Maize and Soybean Quality* (pp. 35–67). Scherer Communications.
- Nikolova-Damyanova, B., Velikova, R., & Jham, G. N. (1998). Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species in crude coffee beans harvested in Brazil. *Food Research International*, 31(6–7), 479–486. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00016-2)
- Pazmiño-Arteaga, J. D., Chagolla, A., Gallardo-Cabrera, C., Ruiz-Márquez, A. F., González-Rodríguez, A. T., Camargo-Escalante, M. O., Tiessen, A., & Winkler, R. (2019). Screening for Green Coffee with Sensorial Defects Due to Aging During Storage by MALDI-ToF Mass Fingerprinting. *Food Analytical Methods*, 12(7), 1571–1576. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01485-9>
- Perrone, G., Susca, A., Cozzi, G., Ehrlich, K., Varga, J., Frisvad, J. C., Meijer, M., Noonim, P., Mahakarnchanakul, W., & Samson, R. A. (2007). Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. *Studies in Mycology*, 59, 53–66. <https://doi.org/10.3114/sim.2007.59.07>
- Puerta, G. I. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 284, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/562>
- Puerta, G. I. (2020). *Procedimiento para el análisis de la calidad física del café: Servicio de análisis café pergamino* (PACFS-11). Cenicafé.
- Puerta, G. I. (2001). *Procedimiento para el análisis de la calidad física del café: Servicio de análisis café almendra* (PACFS-12). Cenicafé.
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/340>
- Puerta, G. I. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: Fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafé*, 461, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/675>
- Rendón, M. Y., Salva, T., & Bragagnolo, N. (2014). Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chemistry*, 147, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.123>
- Ribeiro, L. S., Ribeiro, D. E., Evangelista, S. R., Miguel, M. G., Pinheiro, A. C., Borém, F. M., & Schwan, R. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. *LWT—Food Science and Technology*, 82, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols. Protocols & Best Practices*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>