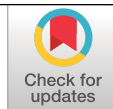


CALIDAD DEL CAFÉ DEL CESAR Y EFICIENCIA DE LAS RECOMENDACIONES TÉCNICAS DERIVADAS DEL DIAGNÓSTICO

Luz Fanny Echeverri Giraldo *, Luis Carlos Imbachí Quinchúa *, Jenny Paola Pabón Usaquén **,
Valentina Osorio Pérez ***

Echeverri, L. F., Imbachí, L. C., Pabón, J., & Osorio, V. (2025) Calidad del café del Cesar y eficiencia de las recomendaciones técnicas derivadas del diagnóstico. *Revista Cenicafé*, 76(2), e76202. <https://doi.org/10.38141/10778/76202>



Con el fin de fortalecer la competitividad y la producción de cafés especiales en el departamento del Cesar, esta investigación tuvo como objetivo diagnosticar la calidad del café y evaluar la eficiencia de las recomendaciones técnicas implementadas. Se evaluaron 3.058 muestras de 1.529 fincas distribuidas en 12 municipios cafeteros del departamento durante dos cosechas consecutivas (2021-2023). Inicialmente se diagnosticó la calidad física y sensorial del grano producido y a partir de los resultados, se generaron recomendaciones técnicas. En la segunda cosecha, se evaluaron los resultados de dichas recomendaciones, lo que demostró una mejora significativa en la calidad sensorial, aumentando las muestras sin defectos del 79,7% al 85,4%, un incremento del 5,7%. Para analizar la adopción y eficacia de las recomendaciones técnicas, se aplicó un Análisis Envolvente de Datos (DEA), usando el modelo CCR orientado a insumos, considerando calidad física y sensorial. Este análisis identificó a los productores más eficientes y estimó el margen de mejora. Los municipios de La Jagua de Ibirico (21%), Valledupar (17%), Pueblo Bello (16%) y Manaure (12%) mostraron las mayores ganancias en eficiencia. Estos resultados demuestran que el diagnóstico de la calidad y la aplicación de las recomendaciones técnicas son intervenciones efectivas para mejorar la calidad del café producido, resaltando la importancia de la adopción de estas prácticas por los caficultores.

Palabras clave. Calidad del café, Análisis Envolvente de Datos (DEA), Eficiencia técnica, Café del Cesar, Poscosecha, café, Cenicafé, Colombia.

COFFEE QUALITY IN CESAR: TECHNICAL RECOMMENDATION EFFICACY ASSESSMENT

To enhance the competitiveness and production of specialty coffees in the Cesar department, this research aimed to assess coffee quality and evaluate the effectiveness of the implemented technical recommendations. A total of 3,058 samples from 1,529 farms, spread across 12 coffee-producing municipalities throughout the department, were evaluated during two consecutive harvesting seasons (2021-2023). Initially, the physical and sensory quality of the produced bean was diagnosed, and based on the results, technical recommendations were generated. In the second harvest, the results of those recommendations were evaluated, showing a significant improvement in sensory quality, increasing the percentage of defect-free samples from 79.7% to 85.4%, an increment of 5.7%. To analyze the adoption and effectiveness of the technical recommendations, a Data Envelopment Analysis (DEA) was applied, using an input-oriented CCR model, considering good practices and sensory quality. This analysis identified the most efficient producers and estimated the margin for improvement. The municipalities of La Jagua de Ibirico (21%), Valledupar (17%), Pueblo Bello (16%), and Manaure (12%) recorded the most significant gains in efficiency. In conclusion, these results demonstrate that quality diagnosis and the application of technical recommendations are effective interventions for improving the quality of the coffee produced, highlighting the importance of coffee growers adopting these practices.

Keywords. Coffee quality, Data Envelopment Analysis (DEA), Technical efficiency, Cesar coffee, Post-harvest

* Asistente de Investigación, Disciplina de Calidad y Disciplina de Biometría, respectivamente, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9866-6147> y <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>

** Investigador Científico I. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>

*** Investigador Científico II. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>



Colombia es reconocida a nivel mundial como el principal productor de café suave lavado; una característica que se debe en gran parte a su procesamiento por vía húmeda. Este proceso inicia con la recolección selectiva de frutos maduros, práctica indispensable para asegurar la calidad final de la bebida (Osorio et al., 2022). Posteriormente se realiza el despulpado, la primera etapa de transformación del fruto, donde se retira la cáscara y se procede a la eliminación del mucílago, cuya degradación es facilitada por levaduras y bacterias presentes en el ambiente, proceso conocido como fermentación espontánea y necesario para el desarrollo de los atributos sensoriales del café procesado por esta vía (Peñuela-Martínez et al., 2010, 2023). Una vez finalizada la fermentación, el café es lavado para retirar los restos de mucílago y finalizar con la etapa de secado, donde se reduce el contenido de humedad desde 55% hasta valores entre el 10% y el 12%, asegurando su estabilidad y conservación durante el almacenamiento (Peñuela Martínez & Sanz-Urbe, 2021).

Las condiciones agroclimáticas particulares de cada departamento, en conjunto con las prácticas de poscosecha implementadas por los caficultores en sus fincas, inciden directamente en la calidad final del grano de café (Barbosa et al., 2012, 2019; Osorio et al., 2021; Puerta, 2016). Calidad que es expresada en la bebida como atributos sensoriales: fragancia/aroma, el sabor, sabor residual, la acidez, el dulzor y el cuerpo, los cuales pueden evaluarse cuantitativamente, mediante escalas de calidad e intensidad, y cualitativamente, a través de descriptores sensoriales que permiten caracterizar el perfil del café; sin embargo, la aceptación o rechazo del producto por parte de los consumidores responde principalmente a la percepción general, asociada a la ausencia de defectos y a la presencia de características sensoriales positivas.

Las principales características físicas del café incluyen la cantidad de almendra sana, el contenido de humedad y el tamaño del grano. Esta última es una característica física de importancia en la evaluación de su calidad, dado que influye en su valor comercial, la uniformidad del tueste y, en consecuencia, en las características sensoriales de la bebida (Cheserek et al., 2020). Además, el tamaño del grano está relacionado con factores genéticos, particularmente con la variedad de café cultivado (Bertrand et al., 2006). Adicionalmente, estudios han demostrado que variables como la altitud, el microclima y las prácticas agronómicas y de poscosecha pueden afectar significativamente la distribución granulométrica (DaMatta et al., 2007).

El departamento del Cesar es uno de los 23 departamentos productores de café en Colombia. Según datos del Sistema de Información Cafetera (SICA, 2024), el departamento cuenta con un área cultivada de 24.703 hectáreas y una densidad promedio de 5.276 plantas/ha. Los cultivos se distribuyen en los 19 municipios cafeteros del departamento en 9.455 fincas con un área promedio de 2,7 ha. La producción del departamento se concentra principalmente en cuatro municipios, que representan el 80% del total del departamento: Valledupar y Pueblo Bello, ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta; y Agustín Codazzi y La Paz, ubicados en la Serranía del Perijá, de la cordillera Oriental. El departamento del Cesar ha emergido como una región cafetera destacada, y su calidad ha sido validada en concursos como "Colombia Tierra de Diversidad". Durante la décima edición de este certamen, dos caficultores del municipio de Agustín Codazzi, clasificaron a la ronda internacional (FNC, 2025).

El comportamiento climático en esta región determina un patrón de cosecha concentrado en el segundo semestre del año, donde

aproximadamente el 90% de la producción se recolecta entre octubre y diciembre, mientras que el 10% restante, entre enero y febrero (Giraldo-Jaramillo et al., 2021). Las condiciones climáticas del departamento hacen necesario el uso de sistemas de producción bajo sombra (75,4%), salvo en altitudes superiores a 1.600 m (24,6%), donde es viable el cultivo a plena exposición solar (SICA, 2024).

La aplicación de buenas prácticas durante toda la cadena de valor del café es un factor determinante en el aseguramiento de su calidad, lo que a su vez se traduce en mejores ingresos para los caficultores (Osorio et al., 2021; Pabón & Osorio, 2019; Peñuela Martínez & Sanz-Urbe, 2021; Puerta, 2016). En este contexto, la calidad del café es determinada por un conjunto de características físicas y sensoriales asociadas no sólo a las buenas prácticas, sino también a factores asociados al cultivo y a los procesos de beneficio, los cuales pueden incidir en que un comprador pague un precio superior por el producto (SCA, 2024).

Con el objetivo de caracterizar y fortalecer la calidad del café de producido en el departamento del Cesar, este estudio evaluó la calidad física y sensorial del café procesado por vía húmeda y la efectividad de las recomendaciones técnicas implementadas por los caficultores. Adicionalmente, el estudio identificó a los productores más eficientes en la aplicación de buenas prácticas de poscosecha y estimó el margen de mejora en la producción de cafés de especialidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los caficultores se seleccionaron de manera aleatoria, siguiendo los criterios definidos en el protocolo metodológico realizado durante la implementación del proyecto, priorizando a quienes tenían sus fincas en los 12 municipios

participantes del departamento, estaban registrados en el Sistema de Información Cafetera (SICA) y formaban parte de alguna asociación. Adicionalmente, se verificó que sus fincas no estuvieran en zonas protegidas. En total se seleccionaron 1.529 caficultores, distribuidos proporcionalmente en cada uno de los municipios (Tabla 1). Las muestras fueron evaluadas en dos cosechas consecutivas (2021-2023), para un total de 3.058 muestras.

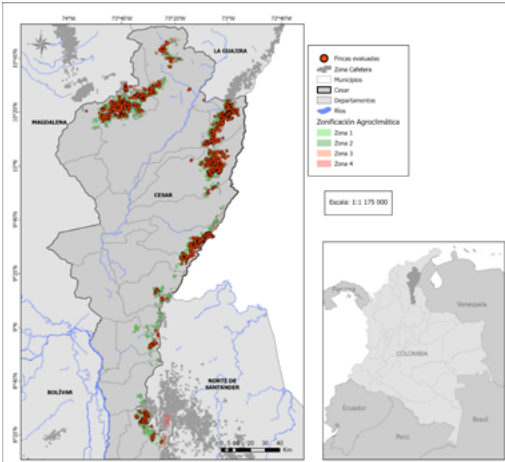
Diagnóstico inicial y procesamiento de muestras. Las muestras de la primera cosecha fueron procesadas por los caficultores de forma tradicional en sus fincas, mediante beneficio vía húmeda, posteriormente fueron entregadas al Laboratorio de Calidad del Comité de Cesar-Guajira, donde se analizó la calidad física y sensorial. Cada muestra se etiquetó con un código único para asegurar su trazabilidad. Las contra muestras se enviaron a Cenicafé para su custodia, en bolsas plásticas con cierre hermético, y se almacenaron en un cuarto frío a una temperatura promedio de 11,3°C y una humedad relativa del 72%.

Intervención y generación de recomendaciones. A partir de los resultados obtenidos en la Cosecha 1, se generaron recomendaciones técnicas a los caficultores a través de la entrega y socialización de reportes de su calidad física y sensorial, complementada con capacitaciones especializadas en calidad del café y adopción de buenas prácticas de cosecha y poscosecha (7P®).

Evaluación de la implementación (Cosecha 2). La aplicación de estas recomendaciones técnicas se evaluó en la Cosecha 2. El propósito fue determinar el impacto de la intervención y verificar si los productores lograron reducir los defectos en la calidad de sus muestras, optimizando sus prácticas de beneficio.

Tabla 1. Ubicación de las fincas en el departamento del Cesar.

Municipio	Número de fincas por municipio
Aguachica	77
Agustín Codazzi	370
Chiriguana	2
Curumani	18
El Copey	40
La Jagua de Ibirico	222
La Paz	259
Manauere Balcón del Cesar	52
Pailitas	25
Pueblo Bello	340
Río de Oro	15
Valledupar	109
Total	1.529



Caracterización de las fincas. La información sobre la identificación de la finca, el sistema de producción y las prácticas de beneficio se recopiló durante visitas técnicas en las fincas, realizadas por los promotores de campo, con el apoyo del Servicio de Extensión y con base en un formato modificado de identificación de muestras para registro de la trazabilidad del café en la finca (Puerta, 2007).

Análisis de la calidad física. Las variables de la calidad física del café que se midieron incluyeron la humedad del café pergamino seco, la merma (cantidad de cascarilla o pergamino resultante de la trilla), el porcentaje de almendra sana, la proporción de granos negros y vinagres, brocados, mordidos y/o cortados, decolorados y el contenido total de pasilla (representado por la sumatoria de todos los defectos físicos encontrados en el análisis físico de la almendra).

Los análisis físicos de las muestras de café se llevaron a cabo siguiendo las normativas de la Federación Nacional de Cafeteros y del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). El porcentaje

de humedad se determinó conforme a la norma NTC 2325 (2005) para café verde y pergamino y los defectos físicos en el café en almendra se identificaron y cuantificaron según lo establecido en la norma NTC 2324 (2021).

La distribución granulométrica del café se determinó mediante tamizado, de acuerdo con la norma NTC 5248 (2013) y se clasificó según su tamaño como: Premium (retenido en la malla #18), Supremo (retenido en la malla #17), Extra Especial (retenido en la malla #16), Europa (retenido en la malla #15) y "Usual Good Quality" (UGQ) (Calidad Usualmente Buena), retenido en la malla #14, (FNC, s.f.).

Análisis de la calidad sensorial. El análisis sensorial de las muestras de café, realizado sobre almendra sana, se llevó a cabo en los laboratorios de Calidad del Comité de Cesar-Guajira, por un panel de catadores Q-Grader. La evaluación siguió el protocolo de la Asociación de Cafés Especiales (SCA, 2018) que asigna un puntaje total basado en atributos como fragancia/aroma, sabor, acidez, cuerpo, balance, dulce, uniformidad y limpieza en taza. A partir

de la sumatoria de los atributos sensoriales y con base en el puntaje total, se establecieron las siguientes categorías de calidad para las muestras sin defectos: "No especial" (<80,00 puntos), "Buena" (80,00–82,99 puntos), "Muy buena" (83,00–84,99 puntos), "Excelente" (85,00–89,99 puntos) y "Excepcional" (90,00–100 puntos).

Rangos altitudinales de las fincas. En esta investigación, las fincas se clasificaron en cuatro grupos altitudinales mediante un análisis de conglomerados jerárquico. Para este análisis se empleó la distancia de Manhattan como medida de disimilitud y el método de Ward como criterio de vinculación.

Análisis de información. Para cada variable de interés de la calidad física y sensorial, se realizó una caracterización estadística descriptiva estratificada por municipio y cosecha, considerando medidas de tendencia central y dispersión, tales como media, desviación estándar, valor mínimo y máximo. A continuación, se implementó un Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre las variables relacionadas con defectos físicos del grano, con el propósito de explorar estructuras subyacentes y posibles asociaciones con las variables físicas. Posteriormente y con base en los rangos altitudinales definidos por el análisis de conglomerados, se aplicó nuevamente un

ACP de forma independiente sobre las variables de calidad sensorial y física, para identificar patrones de asociación entre los estratos de altitud y las características sensoriales y físicas del café. Finalmente, se llevó a cabo un Análisis Envoltorio de Datos (DEA), empleando el modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) orientado a insumos (input-oriented), para estimar la eficiencia técnica de cada unidad productiva (caficultor), considerando como variables las buenas prácticas de poscosecha y la calidad sensorial obtenida. Este análisis permitió evaluar el desempeño relativo de los productores en función de la implementación de dichas prácticas, identificando las unidades más eficientes y cuantificando los posibles niveles de mejora con respecto a la frontera de desempeño óptimo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas. El estudio de 1.529 caficultores indica que la producción está representada por pequeños productores, quienes constituyen el 77,6% del total. Estos cultivan en fincas de menos de 5,0 ha y 783 de ellos lo hacen en áreas inferiores a 3,0 ha. En contraste, los caficultores medianos con áreas entre 5,0 y 10,0 ha, representan solo el 19,8%, mientras que los grandes productores, con más de 10 ha, constituyen el 2,6% restante (Figura 1).

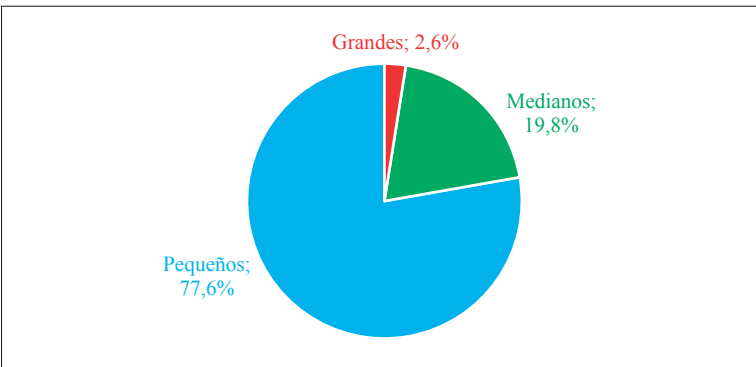


Figura 1. Distribución de la población de caficultores según área de cultivo.

En cuanto a las variedades de café sembradas, el 97,1% corresponde a variedades con resistencia a la roya, siendo Castillo® la más representativa, con una proporción del 74,7% en el total de fincas caracterizadas, le sigue la variedad Colombia, que representa el 16,5% de las siembras y el porcentaje restante corresponde a las variedades Tabi (3,9%) y Cenicafé 1 (2,0%).

Durante la caracterización, se encontró que el 55% de los caficultores utiliza fertilización química, mientras que el 23% no fertiliza sus cultivos, el 19% opta por fertilización orgánica y un 3,0% emplea una fertilización mixta.

Respecto al control de la broca, se encontró que la mayoría de los caficultores (70,8%) utiliza control cultural (Re-Re), un 25,4% no realiza ningún tipo de control, mientras que el 3,5% restante combina el control cultural con métodos biológicos.

Rangos altitudinales. A partir del análisis de conglomerados, se determinaron cuatro grupos altitudinales (Tabla 2), la mayor concentración de fincas se encontró en el Grupo 1 (altitudes entre 877 y 1.424 m), que representó el 53% del total de unidades productivas. Le siguió el Grupo 2 (altitudes entre 1.426 y 2.014 m), con

el 44% de las fincas. En conjunto, estos dos grupos abarcan el 97% del total de 1.529 fincas evaluadas. Los Grupos 3 y 4, correspondientes a los extremos altitudinales del territorio (2.034–2.629 y 637–857 m, respectivamente), representaron el 4,0% restante, indicando una distribución altitudinal menos frecuente en dichos rangos.

Prácticas en el proceso de beneficio

Determinación del punto de lavado. Con base en las 1.529 fincas caracterizadas, se identificaron diversos métodos para estimar el punto del lavado del café durante el proceso de beneficio por vía húmeda. El método predominante consiste en estimar el tiempo de fermentación entre 12 y 18 horas, práctica identificada en el 69,6% de los caficultores. En segundo lugar, se encuentra el método del tacto (19,6%), en el cual se toma una muestra del tanque de fermentación y si después del lavado se percibe una textura áspera y un sonido similar a "cascajo", se procede a lavar el café. Además, se identificó la aplicación de métodos sensoriales como el olor y color (4,8%) y prácticas menos frecuentes, como la prueba del orificio en la masa de café (2,4%) y, en casos excepcionales (0,6%), la omisión del punto de lavado.

Tabla 2. Distribución de fincas por grupo altitudinal según análisis de conglomerados jerárquico.

Rango de altitud	Grupo altitudinal	Fincas	Proporción según altitud
877 – 1.424 m	1	807	53%
1.426 – 2.014 m	2	667	44%
2.034 – 2.629 m	3	31	2%
637 -857 m	4	24	2%

En general, se observó que el 97,1% de los caficultores del departamento del Cesar recurren a métodos empíricos basados en la experiencia y tradición, y solo un 2,9% utiliza herramientas objetivas como el Fermaestro®.

Sistemas de secado. Las caracterizaciones realizadas en la finca indicaron que la mayor proporción de caficultores utilizan el secado solar (67%) con el fin de aprovechar la radiación y las condiciones del aire; mientras que un 4,5% utiliza secado mecánico, que consiste en hacer circular aire caliente a través de la masa de café mediante un sistema de ventilación (Peñuela Martínez & Sanz-Uribe, 2021). Sin embargo, un 6,7% de los caficultores combina ambos métodos. Se evidenció que hay un 21,7% de caficultores que no realizan proceso de secado y comercializan el café en estado húmedo (Figura 2).

Entre el 67% de los caficultores que utilizan el secado solar, el 32,0% no realiza el proceso en su finca, sino que seca el café en un lugar cercano o paga por el servicio. Mientras que el 35,1% restante emplea diversos métodos de secado solar, predominando las marquesinas (17,9%), seguidas por los patios de secado (9,6%), las paseras (3,5%) y los secadores tipo túnel (2,2%). Otros tipos de secado solar como la casa helda (1,4%), el secador parabólico (0,3%) y los carros secadores (0,1%), se usan en menor proporción.

Diagnóstico de la calidad física del café producido en el departamento

Los resultados del diagnóstico de la primera cosecha (Tabla 3) indican que la determinación del punto final del secado es uno de los aspectos a fortalecer entre los caficultores. Aunque la

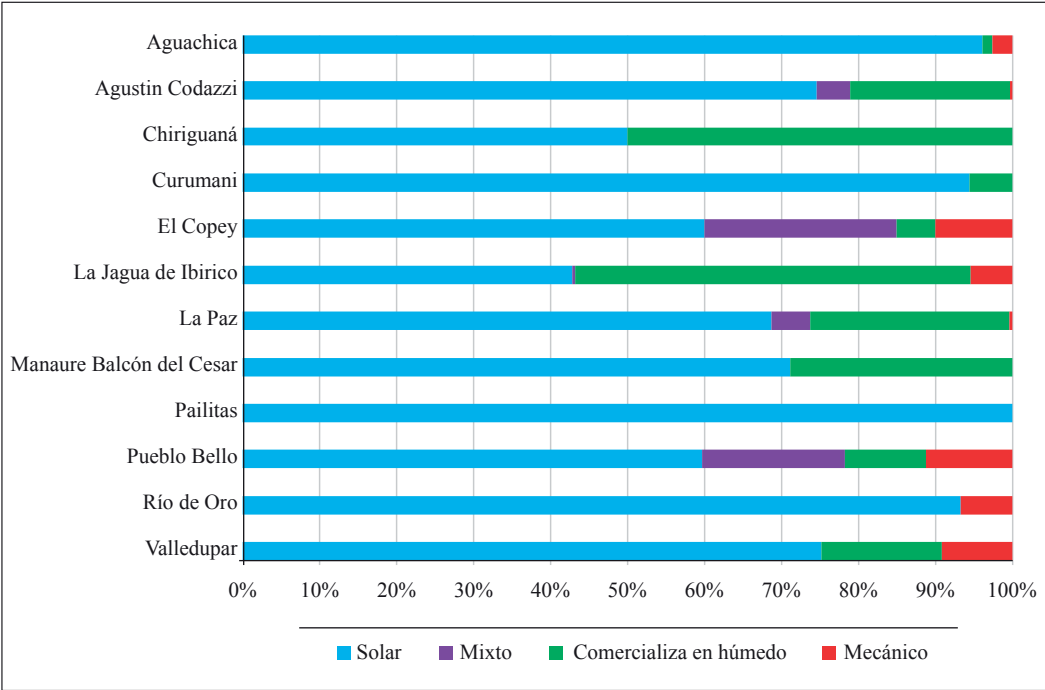


Figura 2. Métodos de secado empleados por los caficultores según el municipio en el departamento de Cesar.

humedad promedio del café pergamino seco (CPS) se encuentra en el rango recomendado para la conservación de la calidad (10% – 12 %), los valores mínimos y máximos muestran variabilidad significativa. De las 1.529 muestras evaluadas, 840 (55%) se encontraron fuera de este rango, de las cuales 491 estuvieron por debajo del 10% de humedad y 349 por encima del 12%, lo cual puede afectar significativamente la calidad del café producido.

En los defectos físicos evaluados del grupo I, se incluyeron los granos negros (llenos, parciales o secos) y granos vinagres (enteros o parciales), cuya presencia incide negativamente en la calidad sensorial, generando sabores y aromas indeseables en la bebida (Pabón & Osorio, 2019). Aunque la incidencia promedio de estos defectos fue baja (media de 0,63 %), se registraron valores máximos de 17,45%.

Una situación similar se presenta con los granos brocados, registrando un valor máximo de 23,55% de infestación. El daño por broca no solo genera pérdidas económicas en la

caficultura, sino que deteriora la calidad física del grano (apariencia y color) y altera la calidad de la bebida (Puerta, 2001). De forma similar, contenidos superiores al 25% de granos perforados por broca con daño superior al 30%, generan rechazo en taza con defectos, entre los más frecuentes, como el *stinker* (fragancia y sabor nauseabundo) (Montoya, 1999; Puerta, 2001).

Los promedios de defectos en granos mordidos, decolorados o pasillas, fueron relativamente bajos, registrando valores máximos de 43,09% en granos mordidos o cortados, 25,64% en decolorados y 18,96% en pasilla, lo que sugiere la necesidad de realizar nivelaciones técnicas orientadas a la adopción de buenas prácticas de cosecha y poscosecha.

El análisis de la almendra sana en las 1.529 muestras de café registró un promedio de 79,18%, lo cual indica que la calidad promedio del café es buena. Sin embargo, la desviación estándar de 3,81% y la amplia variación entre

Tabla 3. Diagnóstico de la calidad física del grano, primera cosecha de evaluación.

Variable calidad física	n	Media	D.E	Mínimo	Máximo
Humedad pergamino (%)	1.529	10,93	1,98	5,80	23,40
Merma (%)	1.529	16,62	1,49	11,48	26,45
Granos negros y vinagres (%)	1.529	0,63	1,08	0,00	17,45
Granos brocados (%)	1.529	1,38	2,06	0,00	23,55
Granos mordidos y/o cortados (%)	1.529	1,50	1,82	0,00	43,09
Granos decolorados (%)	1.529	0,82	1,73	0,00	25,64
Pasilla (%)	1.529	0,71	1,07	0,00	18,96
Almendra sana (%)	1.529	79,18	3,81	40,60	85,85

n: número de muestras analizadas; D.E: Desviación estándar.

un mínimo de 40,60% y un máximo de 85,85% revelan una gran inconsistencia en la calidad. Esto sugiere que, aunque la mayoría de las muestras evaluadas son de alta calidad, algunas presentan porcentajes significativamente bajos de almendras sanas.

Nivelaciones técnicas en calidad física. Para abordar las deficiencias identificadas en la evaluación de la calidad física del grano, fue importante implementar en los caficultores, un conjunto de nivelaciones técnicas que incluyeron aspectos como:

- Identificación y clasificación de granos defectuosos.
- Aplicación de buenas prácticas durante el proceso de beneficio basado en las recomendaciones de las 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022).
- Implementación de sistemas de trazabilidad que permitieran identificar puntos críticos durante el beneficio.
- El desarrollo de programas formativos enfocados en la comprensión integral de la calidad física del grano y las causas más comunes de sus defectos.

En la Figura 3 se presentan las recomendaciones generales con base en los resultados obtenidos durante el diagnóstico de la calidad física del grano, cada diagnóstico fue entregado al caficultor y explicado mediante jornadas técnicas desarrolladas en los distintos municipios del departamento del Cesar, con el apoyo de los promotores de campo, el equipo de calidades del Comité de Cafeteros del departamento y la Disciplina de Calidad de Cenicafé.

Diagnóstico de la calidad sensorial del café producido durante la primera cosecha

Del total de 1.529 muestras recibidas durante la primera cosecha, el 23% no fue evaluado sensorialmente por incumplir el rango de humedad (9%-13%) exigido por el Panel de Catación. Aunque este criterio no permitió el análisis sensorial para este grupo de muestras (23%), el dato de la humedad es un indicador clave del diagnóstico de calidad, ya que permite generar recomendaciones técnicas directas a los caficultores, enfocando las mejoras en procesos de poscosecha como el secado.

De las 1.173 muestras evaluadas sensorialmente, el 79,7% no presentó defecto sensorial mientras que el 20,3% fueron categorizadas con algún tipo de defecto (Tabla 4). Dentro del conjunto de muestras con defectos, la mayor proporción corresponde al grupo de terrosos (9,8%). Este grupo de defectos suele originarse por prácticas inadecuadas durante la poscosecha, como interrupciones en el secado, almacenamiento del grano con humedad superior al 12,5 %, o el contacto del café húmedo con suelos, paredes o materiales contaminantes. Estas condiciones favorecen el desarrollo de microorganismos que alteran el perfil sensorial del grano (Pabón & Osorio, 2022; Puerta, 2015).

A partir de este diagnóstico, las recomendaciones se centraron en prácticas para la determinación del punto óptimo de secado recomendado entre el 10% y el 12%, (Oliveros et al., 2009), así como el manejo correcto del Gravimet y la aplicación de buenas prácticas durante el almacenamiento del CPS.

El 5,1% de las muestras presentaron defectos del grupo de los sobrefermentados en la primera cosecha, los cuales se asocian

Variable	Concepto	Valor crítico	No. de muestras	Recomendación Técnica
 Almendra sana	Cantidad de granos sanos, sin ningún defecto físico, presentes en una cantidad determinada de café. Valor óptimo $\geq 75\%$	$< 75\%$	162 (10,6%)	Cuando el contenido de almendra sana es inferior al 75%, se deben realizar controles en la clasificación (flotes, despulpado).
 Granos brocados	Granos afectados por la broca (<i>Hypothenemus hampei</i>), un escarabajo que perfora la cereza y daña el grano Valor óptimo $\leq 1,5\%$	$> 1,5\%$	433 (28,3%)	Revise permanentemente los niveles de infestación de broca. Mantener el cafetal libre de frutos sobremaduros o secos en árboles y suelo.
 Granos negros y vinagres	Granos negros: presentan una tonalidad oscura y opaca. Granos vinagres: presentan una tonalidad amarilla. Valor óptimo $\leq 1,0\%$	$> 1,0\%$	284 (18,6%)	Controlar la fermentación, evitar la recolección de cerezas inmaduras o enfermas, y asegurar un secado y almacenamiento adecuados.
 Granos mordidos y cortados	Daño físico al grano causado por presencia de frutos verdes o inmaduros o despulpadoras mal calibradas. Valor óptimo $\leq 1,0\%$	$> 1,0\%$	822 (53,8%)	Evitar procesar el café con despulpadoras mal ajustadas o camisas defectuosas y evitar recolectar frutos verdes o pintones.
 Humedad en el grano	Se refiere al porcentaje de agua presente en el producto final. Valor óptimo 10% - 12%	$< 10\%$ $> 12\%$	491 (32,1%) 349 (22,8%)	Evitar el sobresecado (humedad $< 10\%$) ya que compromete su integridad física, reduce la retención de compuestos volátiles y dificulta el tueste uniforme. Evitar que la humedad del café supere el 12% ya que favorece el desarrollo de microorganismos, acelera procesos de deterioro y genera riesgos de hongos y micotoxinas, afectando la inocuidad y la calidad.

Figura 3. Recomendaciones técnicas según resultados del diagnóstico de la calidad física.

Tabla 4. Clasificación de defectos por grupos.

Sobrefermentados	Ásperos	Terrosos	Contaminados
Pulpa	Inmaduros	Moho	Fenol
Vinagre	Acre	Terroso	Humo
Fermento	Sucio	Reposo	Contaminado
Stinker	Áspero		Químico

con aromas y sabores desagradables, como cebolla, nauseabundo o hediondo, resultado de fermentaciones prolongadas o mal controladas, mezclas de lotes con diferentes tiempos de fermentación, uso de aguas sucias y deficiente remoción del mucilago (Pabón & Osorio, 2019; Puerta, 2015). Para su prevención, se recomienda realizar recolección selectiva, evitar mezclas de cafés despulpados de diferentes días, usar agua limpia, controlar el tiempo de fermentación del mucilago y utilizar herramientas como el Fermaestro® para establecer el punto óptimo de lavado del café (Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al., 2022).

Las muestras con defectos pertenecientes al grupo de contaminados representaron el 3,5%, incluyendo sabores como fenol, químico, contaminado y humo. Este grupo se origina por la exposición del café a agentes externos (fertilizantes, humo o aguas contaminadas) durante cualquier etapa de la producción. Sin embargo, los defectos fenol y químico están también ligados a las deficiencias de secado y almacenamiento (Puerta, 2015). La prevención requiere evitar el contacto del grano con estas sustancias y asegurar ambientes limpios en todas las etapas del proceso.

Finalmente, las muestras con presencia de defectos del grupo de los ásperos, representaron el 1,9%. Estos defectos afectan

la calidad sensorial al generar astringencia y una sensación secante en boca, los cuales se asocian a la presencia de pasillas y frutos inmaduros. Para prevenirlo, se recomienda realizar clasificaciones antes y después del despulpado, limpiar diariamente el beneficiadero y asegurar una cosecha con frutos en estados 5 y 6 de maduración (Guerrero et al., 2022; Osorio et al., 2022; Peñuela-Martínez, Guerrero et al., 2022).

Comparativo de la calidad física y sensorial para las dos cosechas

Calidad física. Durante la segunda cosecha (2022 – 2023) y después de las nivelaciones técnicas se realizó la evaluación física de las muestras de CPS. En la Tabla 5 se presenta el comparativo entre las dos cosechas de evaluación para las muestras procedentes de las 1.529 fincas de caficultores.

En la cosecha 1, si bien la humedad promedio fue óptima (10,9%), la variabilidad ($\pm 2,0$ D.E.) y el rango amplio de los promedios máximos (5,8% a 23,4%) sugieren falta de uniformidad en el secado. De manera similar, aunque los promedios de defectos como los granos brocados y mordidos fueron bajos, los promedios máximos extremos (23,5% y 43,1%, respectivamente) indican deficiencias en los procesos poscosecha.

Tabla 5. Comparación de resultados del promedio general de la calidad física de las muestras durante dos cosechas de evaluación (n = 1.529 muestras).

Variable calidad física	Cosecha 1				Cosecha 2			
	Media	D.E	Mínimo	Máximo	Media	D.E	Mínimo	Máximo
Humedad pergamino (%)	10,9	2,0	5,8	23,4	10,8	1,2	5,8	13,0
Merma (%)	16,6	1,5	11,5	26,4	16,9	1,4	13,0	21,4
Granos negros y vinagres (%)	0,6	1,1	0,0	17,4	0,7	1,3	0,0	20,2
Granos brocados (%)	1,4	2,1	0,0	23,5	0,9	1,6	0,0	21,5
Granos mordidos y/o cortados (%)	1,5	1,8	0,0	43,1	1,7	1,6	0,0	12,2
Granos decolorados (%)	0,8	1,7	0,0	25,6	1,0	1,9	0,0	42,4
Pasilla (%)	0,7	1,1	0,0	19,0	1,2	1,4	0,0	13,8
Almendra sana (%)	79,2	3,8	40,6	85,8	78,2	3,9	45,6	85,4

D.E: Desviación estándar; n: número de muestras analizadas por cosecha.

En contraste, la cosecha 2 demostró un mayor control en sus procesos, evidenciado por la reducción de la variabilidad en la humedad, que mantuvo un promedio de 10,8% y un rango que no superó el 13,0%. A pesar de esta mejora general, el análisis por municipios (Tabla 6), revela la necesidad de un mayor monitoreo en algunas zonas, especialmente en aquellas con limitaciones de infraestructura (Figura 4) y dado que la humedad es una variable crítica para disminuir defectos físicos (diez de los 14 defectos se pueden generar en el secado), es fundamental

generar en los caficultores la adopción de buenas prácticas promoviendo el uso de métodos como el Gravimet para alcanzar el punto óptimo de secado.

De igual forma, en la cosecha 2 se observa un incremento significativo en los granos decolorados. El promedio de este defecto aumentó de 0,8% a 1,0% y su valor máximo se incrementó hasta un 42,4%. Este hallazgo indica la necesidad de continuar no solo monitoreando el proceso de secado en algunas fincas del departamento, como se ha

indicado anteriormente, sino fortalecer las condiciones de infraestructura que presentan algunos caficultores.

En la cosecha 2 se observa también una reducción de defectos como granos brocados y

mordidos, donde tanto la desviación estándar como los valores máximos disminuyeron considerablemente. El porcentaje de almendra sana se mantuvo estable (78,2%) y el valor mínimo mejoró, incrementando 5,0 puntos porcentuales.

Tabla 6. Promedio de humedad por municipio (n=1.529).

Municipio	Cosecha 1				Cosecha 2			
	Prom.	D.E.	Mínimo	Máximo	Prom.	D.E.	Mínimo	Máximo
Aguachica	11,1	2,5	7,5	22,3	11,0	1,3	6,8	12,9
Agustín Codazzi	10,9	2,2	6,8	23,4	10,6	1,2	6,2	13,0
Chiriguaná	8,6	0,4	8,3	8,8	10,8	2,2	9,2	12,3
Curumaní	11,0	2,5	7,9	15,6	10,7	1,3	8,8	12,6
El Copey	10,9	1,8	7,2	19,0	10,8	0,9	8,6	12,4
La Jagua de Ibirico	10,9	2,0	6,3	17,4	10,6	1,3	5,8	13,0
La Paz	10,5	1,6	6,9	21,0	10,6	1,3	6,0	13,0
Manaure Balcón del Cesar	10,8	2,0	5,8	15,9	10,6	1,4	7,3	12,8
Pailitas	11,0	2,2	7,8	15,8	11,0	0,9	9,4	12,7
Pueblo Bello	11,3	1,7	6,8	18,6	11,0	1,1	8,1	13,0
Río de Oro	12,0	1,6	9,8	16,0	11,2	0,9	10,1	13,0
Valledupar	10,7	1,9	7,1	19,2	10,8	1,1	7,7	12,8
Promedio general	10,9	2,0	5,8	23,4	10,8	1,2	5,8	13,0

n: número de muestras analizadas por cosecha; D.E: Desviación estándar.



Figura 4. Nivelación en infraestructura de secado para algunas fincas del departamento del Cesar.

Calidad sensorial. Los resultados del análisis sensorial realizados por el Panel de Catación del Laboratorio de Calidad del Comité Departamental de Cafeteros de Cesar-Guajira (Tabla 7), muestran que, durante la primera cosecha (2021-2022), de 1.173 muestras evaluadas sensorialmente, el 79,7% no presentó defectos. En contraste, la segunda

cosecha (2022-2023) registró un aumento en las muestras analizadas sensorialmente (1.393). Este incremento, asociado a mejoras en el proceso de secado y la adopción de buenas prácticas, resultó en un porcentaje de muestras sin defectos sensoriales del 85,44%, lo que representa una mejora de 5,8 puntos porcentuales respecto a la primera cosecha.

Tabla 7. Comparativo de la calidad en taza para las dos cosechas del departamento.

Grupo sensorial	Cosecha 1 (2021 – 2022)	Cosecha 2 (2022 – 2023)
Número de muestras	1.173	1.393
Sin defecto	79,7%	85,4%
Terrosos	9,8%	8,8%
Sobrefermentados	5,1%	3,4%
Contaminados	3,5%	1,6%
Ásperos	1,9%	0,8%

El porcentaje de muestras con defectos sensoriales también mostró un comportamiento positivo, disminuyendo del 20,3% en la primera cosecha al 14,6% en la segunda. Esta reducción de 5,7 puntos porcentuales refleja una mejora significativa en la calidad.

En cuanto a la clasificación de la calidad de las muestras sin defectos sensoriales, los resultados del puntaje total SCA (Figura 5) confirman una tendencia de mejora significativa en la calidad sensorial. La segunda cosecha mostró un aumento considerable en la proporción de cafés con puntajes más altos, lo que afianza el impacto de las buenas prácticas en la obtención de un perfil sensorial superior y, por ende, de una mayor calidad.

Análisis por Componentes Principales

Variables de calidad física en relación a la altitud de la finca

Se realizó un Análisis por Componentes Principales (PCA) para explorar la relación entre las variables de tamaño de grano

(mallas), porcentaje de grano supremo (mallas 17 y 18) y porcentaje de almendra sana, en función de los cuatro grupos altitudinales definidos inicialmente (Tabla 8). El biplot resultante (Figura 6) muestra que el primer componente principal (Dim1) explica el 82,9% de la variabilidad total, mientras que el segundo (Dim2) explica el 16,6%. La varianza acumulada del 99,5% en el plano bidimensional evidencia una clara separación entre los grupos altitudinales en función de las variables de calidad física.

El análisis evidencia que el Grupo 4, representado por el color violeta o el símbolo cruz, que representa las fincas ubicadas entre 637–857 m, se asoció con el mayor porcentaje promedio de granos de calidad inferior y de menor tamaño. Esta relación está directamente influenciada por las condiciones agroclimáticas del cultivo, especialmente por la temperatura, que es un factor crítico en el desarrollo fenológico del grano.

Las altitudes bajas, a menudo asociadas con temperaturas más elevadas, pueden acelerar

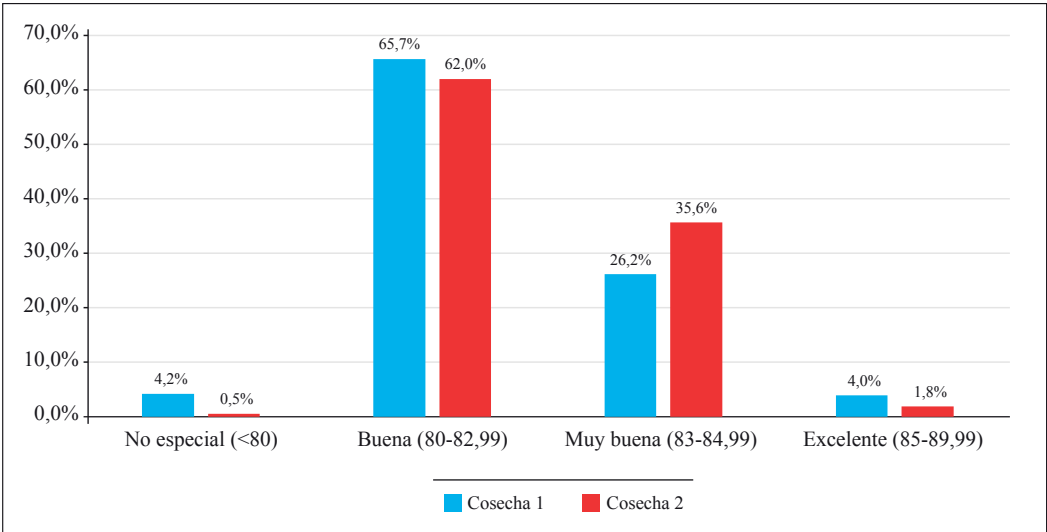


Figura 5. Comportamiento de la calidad sensorial por cosecha.

Tabla 8. Contenido de almendra sana y distribución granulométrica según altitud de la finca.

Grupo altitudinal	Rango (m)	N	Almendra sana (%)	Mallas (M, %)									Supremo
				#18	#17	#16	#15	#14	#13	#12	#0		
1	877 – 1.424	1.614	78,6	31,1	32,0	22,4	8,8	4,0	1,0	0,3	0,2	63,1	
2	1426 – 2014	1.334	78,7	31,1	33,1	22,1	8,3	3,9	1,0	0,2	0,2	64,2	
3	2.034 – 2.629	62	77,0	21,1	30,9	28,3	12,1	5,3	1,6	0,4	0,2	52,0	
4	637 -857	48	75,8	27,8	29,7	24,1	10,7	5,3	1,5	0,5	0,3	57,5	

n: número de fincas por grupo altitudinal.

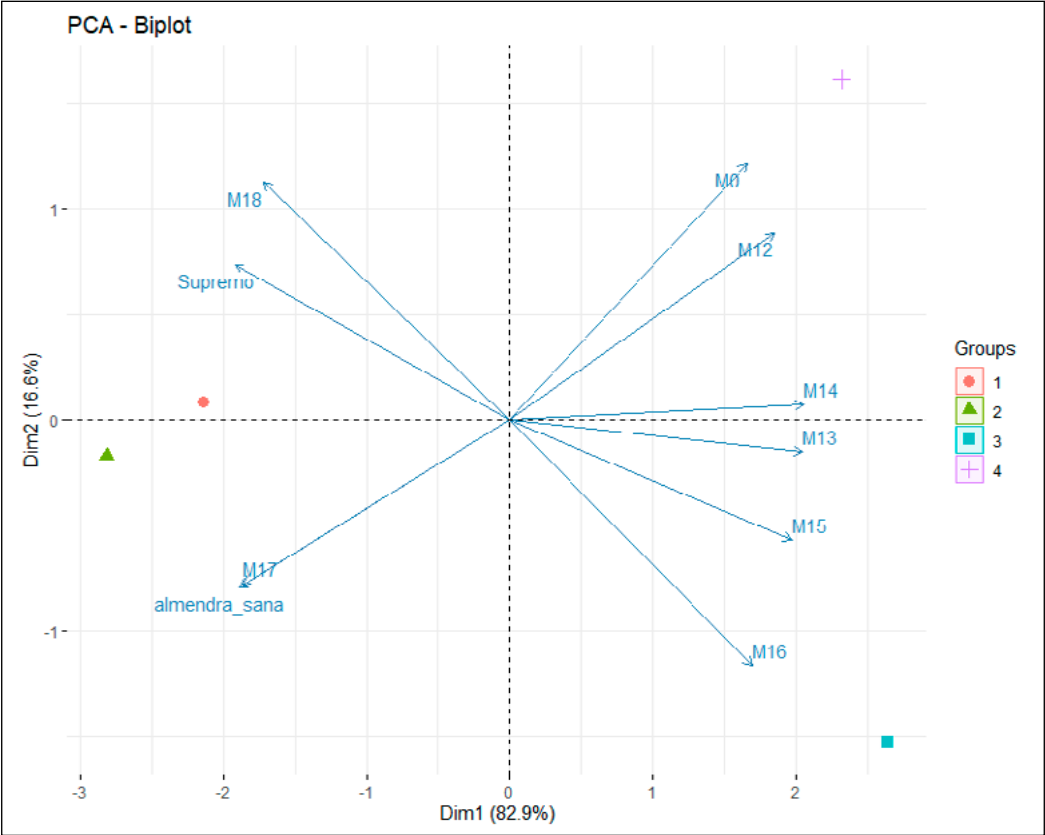


Figura 6. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la relación entre variables de calidad física del café y los cuatro grupos altitudinales.

la maduración de los frutos, lo que, según la literatura, afecta negativamente la densidad del grano y, en consecuencia, su tamaño y calidad física (Osorio et al., 2021) concuerda con estudios que señalan que el rango térmico óptimo para el café *Coffea arabica* L. se sitúa entre los 18°C y 21°C de temperatura media anual; fuera de este rango, especialmente cuando las temperaturas superan los 23°C, el desarrollo del grano puede verse comprometido (DaMatta et al., 2007; Laderach et al., 2011).

Defectos físicos en relación a la presencia de defectos sensoriales

Se aplicó un PCA para identificar la relación entre el tamaño en grano y el porcentaje de almendra sana con respecto a los resultados del análisis sensorial. El biplot de la Figura 7 presenta esta relación, incluyendo variables de defectos físicos y muestras agrupadas según los grupos de defectos predominantes (ásperos, contaminados, sobrefermentados y terrosos). Los dos primeros componentes explican el 75,7% de la variabilidad total (Dim1: 47,2%; Dim2: 28,5%). Esta representación bidimensional evidencia las asociaciones entre las variables físicas (tamaño y defectos) y la correspondencia con las características sensoriales observadas en la bebida. La asociación entre estas variables se fundamenta en el "**riesgo de pérdida de calidad**". Si los caficultores implementan correctamente las recomendaciones técnicas (reduciendo defectos físicos), minimizan la incidencia de defectos que podrían anular la calidad intrínseca del café producido, lo que se traduce en una mejora directa de la calidad sensorial final.

El análisis por componentes principales evidenció que la ocurrencia de defectos físicos del grano está estrechamente vinculada a defectos sensoriales específicos. Estos últimos, que incluyen sabores y aromas indeseables como fermento, reposo, fenólico, mohoso, terroso y

notas astringentes, comprometen gravemente la calidad y la inocuidad del café. Un ejemplo de esta relación es la asociación observada entre los defectos sensoriales sobrefermentado y contaminado que se vincularon a defectos físicos como la broca y los granos mordidos/cortados, mientras que los defectos ásperos y terrosos se relacionaron con granos decolorados y defectos pertenecientes al grupo I (negros y vinagres). Resultados similares fueron encontrados en trabajos de caracterización realizados en muestras del Oriente de Caldas y reportados por Pabón et al. (2021).

Los defectos sensoriales en el café, que incluyen sabores y aromas indeseables como fermento, reposo, fenólico, mohoso, terroso y notas astringentes, pueden comprometer la calidad de la bebida y la inocuidad del producto (Puerta & Pabón, 2018). Estos defectos se originan principalmente por prácticas inadecuadas durante el beneficio y el almacenamiento del grano (Puerta, 2015). Por ejemplo, el sabor a fermento y vinagre es causado por la recolección de granos inmaduros o sobremaduros, la sobrefermentación o el uso de agua sucia y recirculada durante el lavado (Puerta, 2001). El defecto fenólico y la contaminación pueden surgir del contacto con sustancias químicas o microorganismos, así como de un secado inadecuado o el almacenamiento de café húmedo, especialmente si está dañado por broca (Montoya, 1999; Puerta, 2001, 2015). El sabor a reposo se asocia con un almacenamiento prolongado bajo condiciones inadecuadas, como alta humedad y temperatura, o exposición al oxígeno y la luz, lo que provoca la oxidación de lípidos (Gallego & Valencia, 2021). El defecto mohoso se debe a la falta de control de la humedad del grano durante el secado y almacenamiento, y a una higiene deficiente en los equipos (Puerta, 2015). Autores como Pabón & Osorio (2022), confirmaron como la interrupción del secado

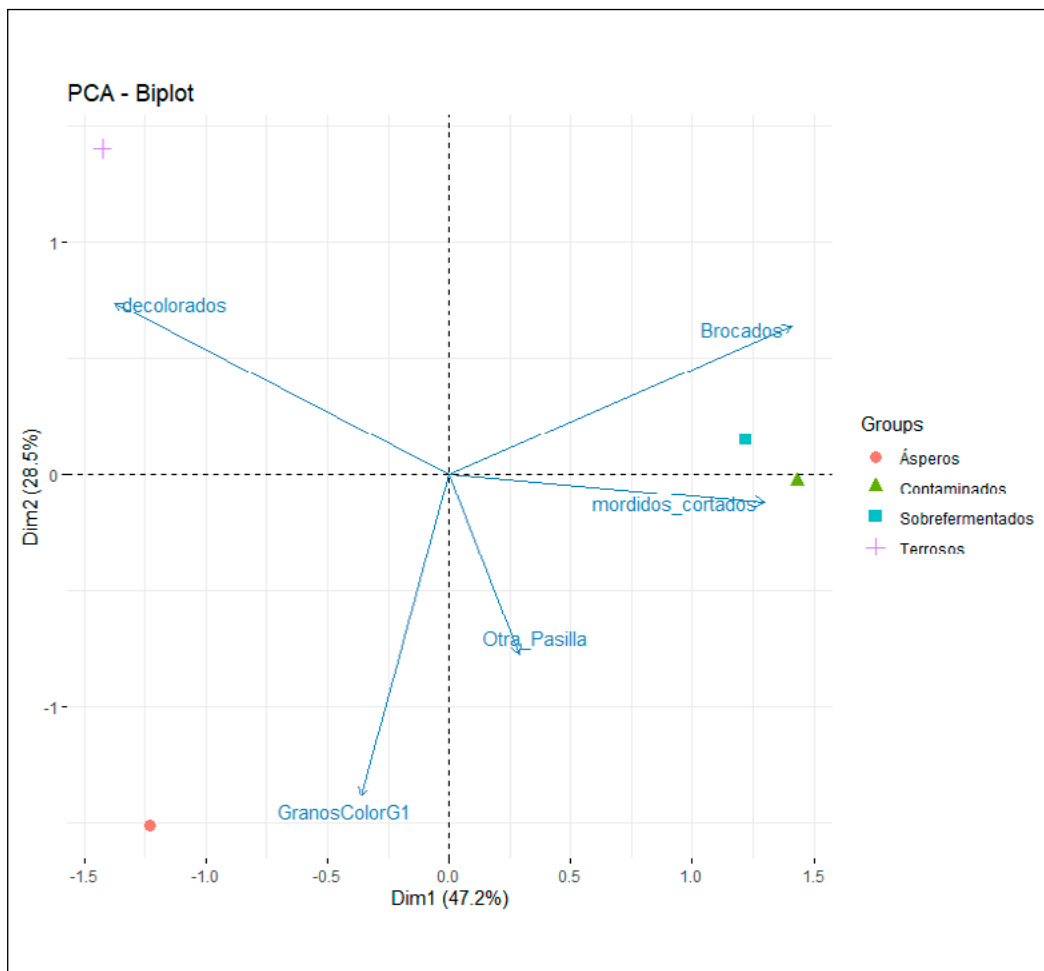


Figura 7. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la asociación entre defectos físicos del grano y grupos de defectos sensoriales en la bebida de café.

mecánico, puede generar el defecto sensorial terroso, especialmente con menores tiempos de secado inicial y periodos de interrupción prolongados.

Para prevenir el deterioro de la calidad física y sensorial, es fundamental aplicar buenas prácticas en todas las etapas de cosecha y beneficio (Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe et al., 2022). Esto incluye realizar un control efectivo

de plagas como la broca, cosechar únicamente granos maduros, controlar el proceso de fermentación, asegurar una completa remoción del mucílago y lavar el café con agua limpia. El secado debe ser continuo y uniforme hasta alcanzar el rango de humedad recomendado (10%-12%), sin superar los 50°C del grano. Finalmente, el almacenamiento debe realizarse en lugares frescos, secos y ventilados donde se evite el re-humedecimiento del grano.

Análisis de la eficiencia en las nivelaciones técnicas realizadas a los caficultores

En la Figura 9 y la Tabla 9 se presenta la evaluación de la eficiencia en 1.071 caficultores, cuyas muestras cumplieron con los criterios de humedad para ser evaluadas física y sensorialmente durante dos cosechas.

Para determinar la eficiencia de cada caficultor, se aplicó un DEA bajo el modelo CCR, orientado a los insumos (output). Las variables físicas de entrada fueron los granos brocados, con defectos negros y vinagres, ambas directamente asociadas con la calidad sensorial del café (Figura 7). Cuanto mayor es la proporción de estos defectos en una muestra, mayor es su impacto negativo en la calidad sensorial.

Los resultados demuestran que, en la cosecha 1, el 35% de los caficultores presentaba ineficiencias atribuidas a prácticas inadecuadas de cosecha y poscosecha, sin embargo, en la cosecha 2 se observó una mejora significativa, con una reducción del 15,6% en la proporción de caficultores que realizan prácticas inadecuadas, equivalente a 168 productores adicionales que mostraron una disminución en la presencia de granos brocados y granos negros y vinagres. Este avance se traduce en una mayor calidad sensorial de las muestras. Adicionalmente, los datos de la Tabla 9 muestran un incremento del 15% en la eficiencia de adopción de buenas prácticas, lo que contribuyó a la reducción de los porcentajes de broca y granos negros y vinagres en casi un 50%, ubicándolos por debajo de los niveles críticos establecidos.

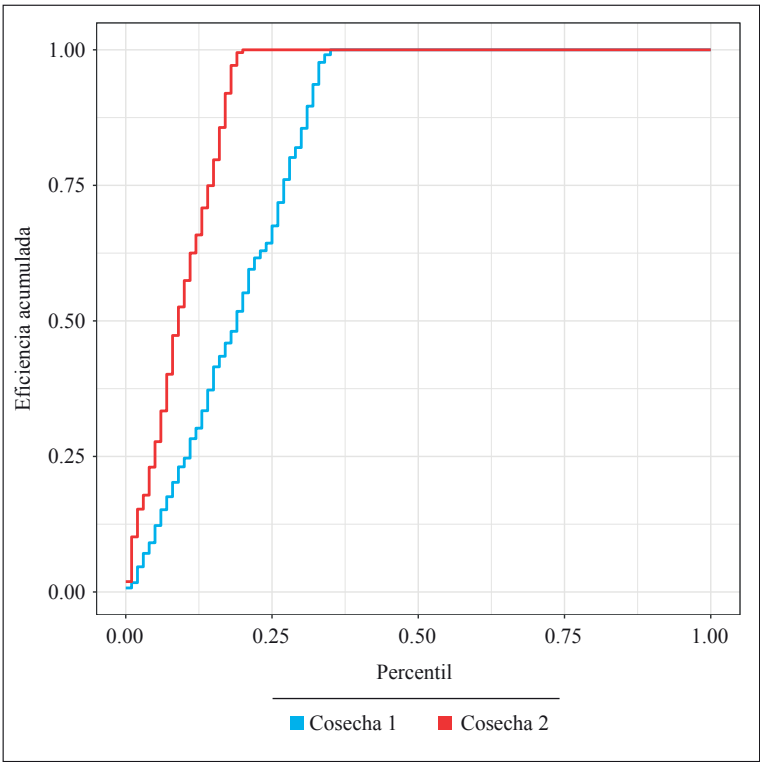


Figura 9. Distribución del análisis de percentiles acumulados de la eficiencia por cosecha.

Tabla 9. resultados de la calidad física promedio entre cosechas por caficultor.

Cosecha	Eficiencia	Caficultor	Granos negros y vinagres (%)	Brocados (%)
1	Ineficiente	375	0,97	1,85
	Eficiente	696	0,48	1,13
2	Ineficiente	207	1,02	1,73
	Eficiente	864	0,61	0,72

La mejora en las prácticas de cosecha y poscosecha fue evaluada aplicando una prueba de homogeneidad chi-cuadrado al 5% de significancia, la prueba evidenció que la distribución de caficultores en los niveles de eficiencia fue diferente en cada cosecha, es decir, que una vez realizado el diagnóstico de la calidad del café producido por cada caficultor en su finca (cosecha 1) y socializados los resultados, se generaron las recomendaciones para la mejora de la calidad física y sensorial a tener en cuenta en la segunda cosecha. En la Tabla 9 se muestran los resultados de la prueba realizada:

No eficiente: Número de caficultores con una eficiencia menor a 1

Eficientes: Número de caficultores con una eficiencia igual a 1

Tabla 9. Eficiencia en la adopción de recomendaciones.

Eficiencia aplicación de prácticas	Cosecha	
	1	2
No eficiente	375	207
Eficiente	696	864

Test de homogeneidad chi-cuadrado con corrección de Yates'
 $X^2 = 65.797$, $df = 1$, $p\text{-valor} = 4.999e^{-16}$

La Tabla 10 muestra una disminución del 11% en la eficiencia promedio para las fincas ubicadas en el rango de altitud más bajo (637 – 857 m). Esta reducción se asocia a un probable incremento de la infestación por *Hypothenemus hampei* (broca), dado que el aumento de la temperatura a baja altitud potencia la aptitud reproductiva de esta plaga (Constantino, 2010). Dicho rango altitudinal, enmarcado en la zona agroclimática 1 por la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé y una temperatura promedio de 22,8°C, con máximas de 28,2°C, es ideal para el ataque por broca, ya que su desarrollo óptimo ocurre entre los 22,0 °C y 28,0°C (Giraldo-Jaramillo et al., 2021). Por lo tanto, en esta zona específica, el factor ambiental superó los efectos de las intervenciones técnicas. Mientras las temperaturas altas penalizaron la eficiencia y calidad en las zonas marginales bajas, las altitudes medias y altas (zonas agroclimáticas 2 y 3) ofrecieron un ambiente térmico más favorable que permitió que las recomendaciones tuvieran un mayor impacto positivo. Esta relación es confirmada por estudios previos realizados por Osorio et al. (2021), en el departamento del Huila, donde las zonas de baja altitud (ZAE4) con alta temperatura y menor disponibilidad hídrica registraron un mayor porcentaje de granos defectuosos (pasillas) y un alto factor de rendimiento.

Tabla 10. Eficiencia de caficultores según rango altitudinal.

Rango de altitud	Grupo altitudinal	Caficultores	Cosecha		Diferencia
			1	2	
637 -857	4	17	0,93	0,82	-0,11
877 – 1.424	1	572	0,81	0,90	0,09
1.426 – 2.014	2	462	0,83	0,92	0,09
2.034 – 2.629	3	20	0,87	0,98	0,11

Revisando los resultados promedio de la eficiencia en la mejora de la calidad a través de la aplicación de las buenas prácticas de cosecha y poscosecha por cada uno de los municipios del departamento del Cesar (Tabla 11), puede evidenciarse que los municipios con mayor aceptación o puesta en práctica de las recomendaciones fueron La Jagua de Ibirico, Valledupar, Pueblo Bello y Manaure con un 21%, 17%, 16% y 12% de ganancia en la eficiencia, respectivamente. Por otra

parte, municipios como Agustín Codazzi, El Copey, Pailitas y La Paz fluctuaron entre 3,0% y 4,0% de ganancia en la eficiencia. Por el contrario, Aguachica evidenció una disminución en su calidad física, lo cual podría estar asociado a las condiciones agroclimáticas de los cultivos, dado que, de las 59 fincas ubicadas en el municipio, el 92% se encuentran por debajo de los 1.400 m de altitud favoreciendo el ataque por *H. hampei*.

Tabla 11. Eficiencia en la adopción de prácticas por municipio.

Departamento	n	Cosecha		Diferencia
		1	2	
Aguachica	59	0,95	0,79	-0,15
Agustín Codazzi	236	0,86	0,90	0,03
Curumaní	8	0,91	0,89	-0,03
El Copey	35	0,85	0,90	0,04
La Jagua De Ibirico	144	0,72	0,93	0,21
La Paz	187	0,85	0,89	0,04
Manaure Balcón del Cesar	34	0,83	0,95	0,12
Pailitas	18	0,91	0,95	0,04
Pueblo Bello	260	0,77	0,94	0,16
Río de Oro	11	0,82	0,83	0,01
Valledupar	79	0,79	0,96	0,17

Puede concluirse que:

El diagnóstico de la calidad del café a nivel regional es una estrategia fundamental para identificar los factores de riesgo y las prácticas a mejorar durante la producción y procesamiento del café. Al correlacionar los atributos de calidad física y sensorial con las prácticas de los caficultores, es posible generar recomendaciones técnicas precisas para mejorar los procesos de cosecha y poscosecha. Esto se refleja directamente en los resultados positivos de la calidad obtenida y, por ende, en una reducción de pérdidas económicas para el productor. Adicionalmente, el balance climático entre zonas actúa como un factor diferencial en la eficiencia, ya que las condiciones moderadas a frías de las zonas medias y altas preservaron y potenciaron la eficacia de las buenas prácticas implementadas. En este sentido, la segmentación de los productores por grupos altitudinales sugiere la importancia de generar estrategias de extensión diferenciadas, orientadas al manejo de plagas en las zonas bajas, y a la optimización sensorial en las zonas altas. Finalmente, se identificó que la infraestructura de beneficio y secado es un factor limitante crítico no cuantificado en este estudio, por lo que su inclusión como variable de entrada en futuros análisis de eficiencia es clave para determinar el impacto real de las intervenciones y las inversiones en el sector cafetero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo técnico de promotores y al Equipo del Laboratorio de Calidad de café – Comité Cesar-Guajira en especial a los profesionales Liseth Javela, Jamir Rodríguez, Helí Santiago Castaño y su grupo de trabajo por su valioso apoyo durante el desarrollo de la investigación. Al Dr. Benjamín Pardo y Dr. Álvaro Osorio. Se extiende un especial agradecimiento y reconocimiento a

los integrantes de la Disciplina de Calidad y al personal vinculado al proyecto: Erika Patricia Corredor, Lady Julieth Vargas y Claudia Tabares, por su compromiso y colaboración en las distintas etapas del trabajo. Los resultados de esta publicación hacen parte de la investigación CAL101006 que se desarrolló en el marco del proyecto: *Desarrollo Experimental para la Competitividad del Sector Cafetero del Departamento del Cesar*, código 2017000100036, financiado por el Sistema General de Regalías, Gobernación de Cesar en convenio con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Cenicafé–Crossref Funder ID 100019597).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación y Metodología: **LFEG**; Análisis formal: **LFEG** y **LCI**; Redacción–borrador original: **LFEG**; Redacción–revisión y edición: **LFEG**, **JPPU** y **VOP**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Barbosa, J. N., Borem, F. M., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., & Alves, H. M. R. (2012). Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 181–190. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>
- Barbosa, M. de S. G., Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. *Food Chemistry*, 292, 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.072>
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., & Charmetant, P. (2006). Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*, 26(9), 1239–1248. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.9.1239>

- Cheserek, J. J., Ngugi, K., Muthomi, J. W., & Omondi, C. O. (2020). Assessment of Arabusta coffee hybrids [*Coffea arabica* L. X Tetraploid Robusta (*Coffea canephora*)] for green bean physical properties and cup quality. *African Journal of Food Science*, 14(5), 119–127. <https://doi.org/10.5897/AJFS2019.1852>
- Constantino, L. M. (2010). La broca del café un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. *Brocarta*, 39, 1–2. <https://doi.org/10.38141/10785/039>
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485–510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- Gallego, C. P., & Rodríguez, 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>
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa-Osorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., & Benavides Machado, P. (2021). Vulnerabilidad de la caficultura de los departamentos de Cesar, La Guajira y Bolívar a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 527, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0527>
- Guerrero, Á., Sanz-Urbe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Ramírez, C. A. (2022). Mediverdes®: Un método para medir la calidad de la recolección del café en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 536, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0536>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). NTC 2325: *afé verde. Determinación de la pérdida de masa a 105 °C*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verdedeterminacion-de-la-perdida-de-masa-a-105-c-ntc2325-2005.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2013). NTC 5248: *Café verde. Análisis del tamaño. Tamizado manual y mecánico*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-analisis-del-tamano-tamizado-manual-y-mecanico-ntc5248-2013.html>
- 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>
- Montoya, E. C. (1999). Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, 50(4), 245–258.
- Oliveros-Tascón, C., Peñuela-Martínez, A. E., & Jurado-Chana, J. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravímetro. *Avances Técnicos Cenicafé*, 387, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0387>
- Osorio Pérez, V., Álvarez-Barreto, C. I., Matallana, L. G., Acuña, J. R., Echeverri, L. F., & Imbachi, L. C. (2022). Effect of Prolonged Fermentations of Coffee Mucilage with Different Stages of Maturity on the Quality and Chemical Composition of the Bean. *Fermentation*, 8(10), 519. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100519>
- Osorio, V., Pabón, J., Calderón, P. A., & Imbachi, L. C. (2021). Calidad física, sensorial y composición química del café cultivado en el departamento del Huila. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72201. <https://doi.org/10.38141/10778/72201>
- Pabón, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 162–187). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_7
- Pabón, J., & Osorio, V. (2022). Efecto de la interrupción del secado mecánico en la calidad física y sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73201. <https://doi.org/10.38141/10778/73201>
- Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2010). Remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. *Revista Cenicafé*, 61(2), 159–173. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/494>
- Peñuela-Martínez, A. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3.ª ed., pp. 189–218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, Á., & Sanz-Urbe, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>
- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Urbe, J. R., Guerrero, A., & Ramírez, C. A. (2022). Siete prácticas en el

- beneficio para obtener café de buena calidad–Proceso 7P®. *Avances Técnicos Cenicafé*, 546, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0546>
- Peñuela-Martínez, A. E., Velasquez-Emiliani, A. V., & Angel, C. A. (2023). Microbial Diversity Using a Metataxonomic Approach, Associated with Coffee Fermentation Processes in the Department of Quindío, Colombia. *Fermentation*, 9(4), 343. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040343>
- Puerta, G. I. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Avance Técnico*, 284, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/562>
- Puerta, G. I. (2007). Registro de la trazabilidad del café en la finca. *Avance Técnico*, 355, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/375>
- 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. <https://doi.org/10.38141/10779/0461>
- Puerta, G. I. (2016). Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. *Revista Cenicafé*, 67(1), 7–40. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/676>
- Puerta, G. I., & Pabón, J. (2018). Calidad física y sensorial del café cultivado en el paisaje cultural cafetero de Colombia en Caldas. *Revista Cenicafé*, 69(1), 16–31. <https://doi.org/10.38141/10778/69102>
- Specialty Coffee Association. (2018). Protocols & Best Practices. Cupping Protocols. URL
- Specialty Coffee Association. (2024). *A System to Assess Coffee Value: Understanding the SCA's Coffee Value Assessment*. [https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/667182ffde8a5081afc2d8c/1718715138872/SCA+-+A+System+to+Assess+Coffee+Value+-+June+2024+\(Secured\).pdf](https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/667182ffde8a5081afc2d8c/1718715138872/SCA+-+A+System+to+Assess+Coffee+Value+-+June+2024+(Secured).pdf)