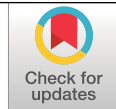


ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EL PROCESO DE BENEFICIO DE CAFÉ

Diego Fernando Arango Cardona *, Beatriz Eugenia Mira Rada **, Hugo Mauricio Salazar Echeverry *

Arango-Cardona, D. F., Mira-Rada, B. E., & Salazar, H. M. (2025). Estimación de pérdidas económicas en el proceso de beneficio de café. *Revista Cenicafé*, 76(2), e76203. <https://doi.org/10.38141/10778/76203>



Cenicafé ha identificado siete prácticas clave para optimizar el proceso de beneficio húmedo y seco del café, con el propósito de mejorar los factores de conversión y rendimiento, así como preservar la calidad del grano. Sin embargo, hasta ahora no se había cuantificado el impacto económico de no implementar estas recomendaciones técnicas en las fincas cafeteras. Este estudio evaluó las prácticas que generan mayores pérdidas físicas y económicas durante el beneficio, enfocándose en dos aspectos: 1) el efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y las pérdidas en el proceso de beneficio, y 2) el efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Así mismo, se comparó el proceso realizado por caficultores con el modelo estandarizado de las siete prácticas clave (7P®) recomendadas por Cenicafé, analizando su impacto sobre la cantidad y calidad física del café pergamino seco y su valor comercial según los precios de la Cooperativa de Caficultores. Los resultados revelan que un proceso técnico estandarizado reduce la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café excelsa, y que la recuperación de pasillas puede aumentar los ingresos hasta en un 8,8%. Por otro lado, la falta de calibración de equipos puede ocasionar pérdidas de hasta un 73,86% de la producción. Estos hallazgos destacan la importancia de adoptar prácticas técnicas adecuadas para mejorar el rendimiento y la rentabilidad económica para los caficultores.

Palabras clave: Rentabilidad, proceso 7P®, clasificación, pasillas, calibración, factor de rendimiento, factor de conversión, café, Cenicafé, Colombia.

ECONOMIC LOSSES ESTIMATION IN THE COFFEE WET-MILLING PROCESS

Cenicafé has identified seven key practices to optimize both the wet and dry coffee processing processes, improving conversion factors and yield while preserving bean quality. However, until now, the economic impact of not implementing these technical recommendations on coffee farms had not been quantified. This study evaluated the practices that generate the most significant physical and economic losses during the processing process, focusing on two aspects: 1) the effect of coffee grading on physical quality and losses during the processing process, and 2) the effect of pulper maintenance, cleaning, and calibration. The process performed by coffee growers was also compared with the standardized model of the seven key practices (7P®) recommended by Cenicafé, analyzing their impact on the quantity and physical quality of dry parchment coffee, as well as its commercial value, according to the prices set by the Coffee Growers' Cooperative. The results reveal that a standardized technical process reduces the amount of parchment coffee required to obtain a 70 kg bag of Excelso coffee, and that the recovery of coffee beans can increase revenue by up to 8,8%. Furthermore, poor equipment calibration can lead to losses of up to 73,86% of production. These findings underscore the importance of adopting suitable technical practices to enhance yield and economic profitability for coffee growers.

Keywords: Profitability, 7P® process, grading, byproducts, calibration, yield factor, conversion factor, coffee, Cenicafe, Colombia.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0594-728X>, <https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>

** Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5683-7190>

La calidad física en taza y el rendimiento en trilla del café pergamino seco obtenido durante el proceso del beneficio dependen, en gran medida, de la calidad de la materia prima, la tecnología utilizada en cada etapa del beneficio, la calibración y mantenimiento de los equipos, y el nivel de entrenamiento de los operarios (Oliveros-Tascón et al., 2009). Durante más de cuatro décadas, Cenicafé ha generado y validado recomendaciones y tecnologías para optimizar el proceso de beneficio húmedo, promoviendo sistemas eficientes, ambientalmente sostenibles y adaptados a las exigencias del mercado (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022).

Como resultado de estas investigaciones, y en el marco de la estrategia más agronomía, más productividad, más calidad (Cenicafé, 2021), se han identificado siete prácticas clave para el beneficio húmedo y seco del café que mejoran los factores de conversión y rendimiento, y preservan la calidad del grano. Estas prácticas, conocidas como el proceso 7P®, son:

1. Asegurar la calidad de la recolección del café.
2. Procesar cada tanda de café de manera independiente.
3. Retirar frutos y granos de inferior calidad.
4. Limpiar y calibrar los equipos de beneficio del café.
5. Monitorear la fermentación con Fermaestro®.
6. Retirar el mucílago realizando un buen lavado.
7. Obtener y mantener el café pergamino seco con una humedad entre el 10% y el 12%.

De forma complementaria Isaza, et al. (2021) recomiendan fortalecer la capacitación de los productores, impulsar el uso de tecnologías actualizadas y operar bajo principios de sostenibilidad ambiental, social y económica, con el fin de mejorar la toma de decisiones y garantizar la trazabilidad del producto.

El café es uno de los productos más consumidos en el mundo, solo superado por el agua, con un consumo global estimado en 2,25 mil millones de tazas diarias. Su importancia económica es notable: se cultiva en más de 80 países, la mayoría de ellos en vías de desarrollo (Fernández-Cortés et al., 2020). En Colombia, el cultivo de café abarca aproximadamente 837.685 hectáreas y representa el sustento de unas 557.311 familias, constituyéndose como una actividad clave para la economía rural y las exportaciones nacionales (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2024).

Dentro de las prácticas recomendadas, la calibración de la despulpadora (Práctica 4) es esencial. Debe asegurarse la separación entre el pechero de la despulpadora y la camisa del cilindro de acuerdo con el tamaño de los frutos para evitar pérdidas de granos en la pulpa o daños mecánicos durante el despulpado (Peñuela-Martínez & Sanz-Urbe, 2021; Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1985; Oliveros-Tascón et al., 2020).

El **factor de conversión** corresponde a la relación entre la cantidad de frutos frescos y el café pergamino seco obtenido (kg de cereza/kg de pergamino seco), mientras que el **factor de rendimiento en trilla** indica cuántos kilogramos de pergamino seco se requieren para obtener 70 kg de café excelso (Montilla-Pérez et al., 2008). Este último se utiliza como base para calcular el precio de venta en la Cooperativa de Caficultores.

Actualmente, el valor de referencia del factor de rendimiento es de 94, lo que implica que se necesitan 94 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso y 6,3 kg de pasilla. A menor factor de rendimiento, mayor es la calidad del café y, por tanto, su precio. Un factor alto, por el contrario, refleja menor calidad y conlleva descuentos en el precio (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2022a, 2022b).

Si un caficultor tiene una productividad de 200 @ ha-año⁻¹, y el 4,00% de pérdida en la producción por equipos de despulpado descalibrados (frutos de buena calidad mordidos o que pasan a masa de la pulpa), podrían dejar de percibirse aproximadamente \$1.760.000 por hectárea al año (Duque-Orrago et al., 2021).

El análisis costo-beneficio (ACB) es una herramienta económica utilizada para evaluar la rentabilidad de diferentes alternativas en procesos productivos. Según Aguilera Díaz (2017), este análisis permite determinar costos y beneficios de todas las alternativas disponibles para seleccionar la opción más rentable. Dentro del ACB, la Relación Beneficio-Costo (B/C) es una métrica ampliamente empleada que cuantifica los beneficios netos obtenidos frente a los costos requeridos.

Este artículo tiene como objetivo estimar las pérdidas económicas derivadas de un proceso de beneficio inadecuado, evaluando aquellas prácticas que generan mayores pérdidas físicas y afectan la calidad física del grano a nivel de finca. En particular, se enfoca en dos prácticas del proceso 7P®: la clasificación de frutos (Práctica 3) y el mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora (Práctica 4), según lo establecido por Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al. (2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), específicamente en la planta de beneficio de café La Granja, ubicada a 1.300 m s. n. m., con una temperatura promedio de 21,5°C, una precipitación anual de 2.660 mm y una humedad relativa del 79,5%. Se utilizaron frutos de café provenientes de las estaciones experimentales Naranjal y La Catalina, así como de fincas cafeteras localizadas en los municipios de Chinchiná y Villamaría, departamento de Caldas.

El estudio se enfocó en la evaluación de dos actividades principales: 1. Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio y 2. Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Evaluando café recolectado tanto en la cosecha principal como en la travesía. Adicionalmente, se comparó el proceso de beneficio implementado por los caficultores con el proceso 7P® recomendado por Cenicafé.

Actividad 1. Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio

Se evaluaron las pérdidas asociadas a la ausencia de clasificación del café en tres puntos críticos del proceso de beneficio:

1. Clasificación por densidad de frutos de café antes del despulpado.
2. Clasificación por tamaño mediante zaranda, inmediatamente después del despulpado.
3. Clasificación por densidad durante el proceso de lavado.

Para ello, se definieron cinco tratamientos (Figura 1), todos implementados bajo las practicas implícitas en las 7P®.

El experimento se diseñó como un bloque completo al azar, con la procedencia del café como factor de bloqueo. Cada unidad experimental consistió en 500 kg de frutos de café, divididos aleatoriamente en cinco partes iguales de 100 kg, asignadas a los tratamientos. Se realizaron cinco repeticiones durante la cosecha principal y cinco durante la travesía, totalizando diez repeticiones por tratamiento.

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamiento 1 (TT1): Clasificación en los tres puntos del proceso de beneficio.

Tratamiento 2 (TT2): Ausencia total de clasificación.

Tratamiento 3 (TT3): Clasificación únicamente antes del despulpado.

Tratamiento 4 (TT4): Clasificación únicamente por tamaño, posterior al despulpado.

Tratamiento 5 (TT5): Clasificación únicamente durante el proceso de lavado.

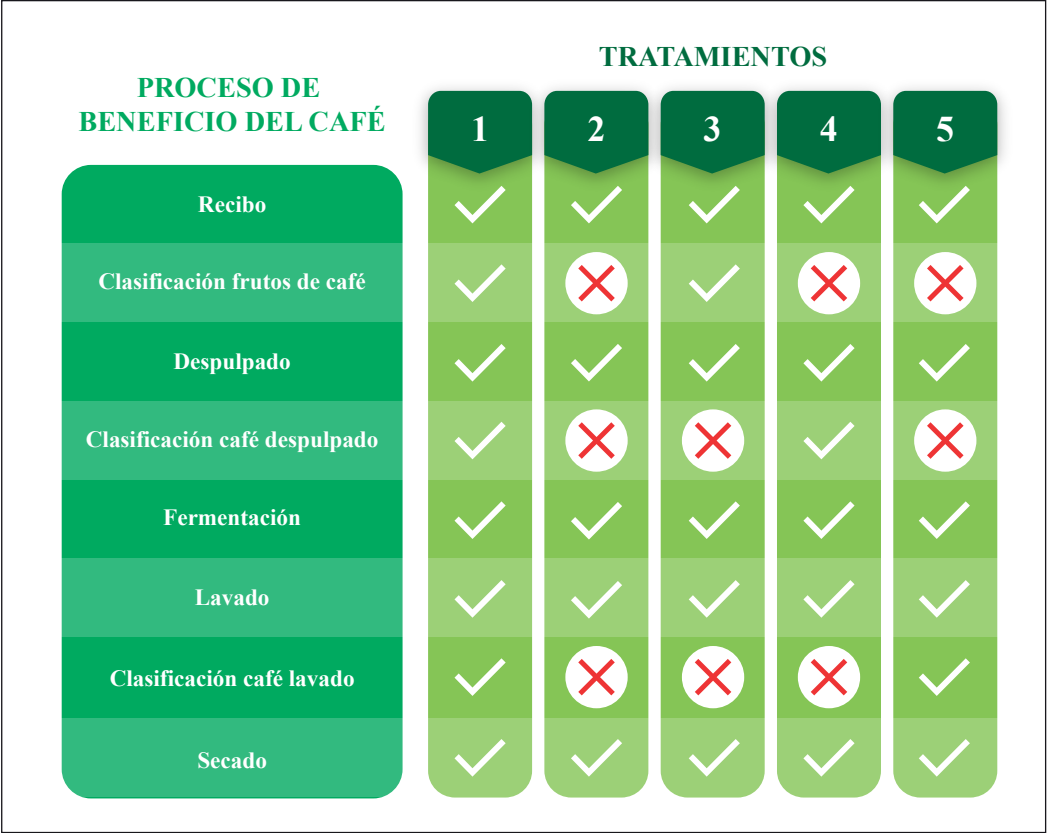


Figura 1. Descripción de la secuencia de los tratamientos de clasificación del café en el beneficio húmedo, Actividad 1.

Actividad 2. Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora

Se cuantificaron las pérdidas atribuibles a la falta de mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Para esto se usó un equipo que presentaba fallas causadas por la ausencia de mantenimiento, limpieza y calibración, específicamente rodamientos y/o pecheros en mal estado, lo que agravaba su funcionamiento. Se establecieron dos tratamientos (Figura 2), manteniendo constantes las demás condiciones técnicas del proceso 7P®:

Tratamiento 1 (TT1): Despulpadora con mantenimiento, limpieza y calibración.

Tratamiento 2 (TT2): Despulpadora sin mantenimiento, limpieza ni calibración.

Cada unidad experimental consistió en 200 kg de frutos de café provenientes de un mismo

pase de cosecha, divididos aleatoriamente en dos partes iguales de 100 kg, asignadas a los tratamientos. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones en la cosecha principal y cinco en la travesía, para un total de diez repeticiones por tratamiento.

La calibración de la máquina despulpadora se realizó conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2090 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1985), la cual exige que la masa despulpada contenga:

- Menos de 0,5% de granos mordidos.
- Menos de 0,5% de granos trillados.
- Menos del 1,0 de frutos sin despulpar.
- Menos de 2,0% de pulpa residual.
- 0% de granos en la pulpa.

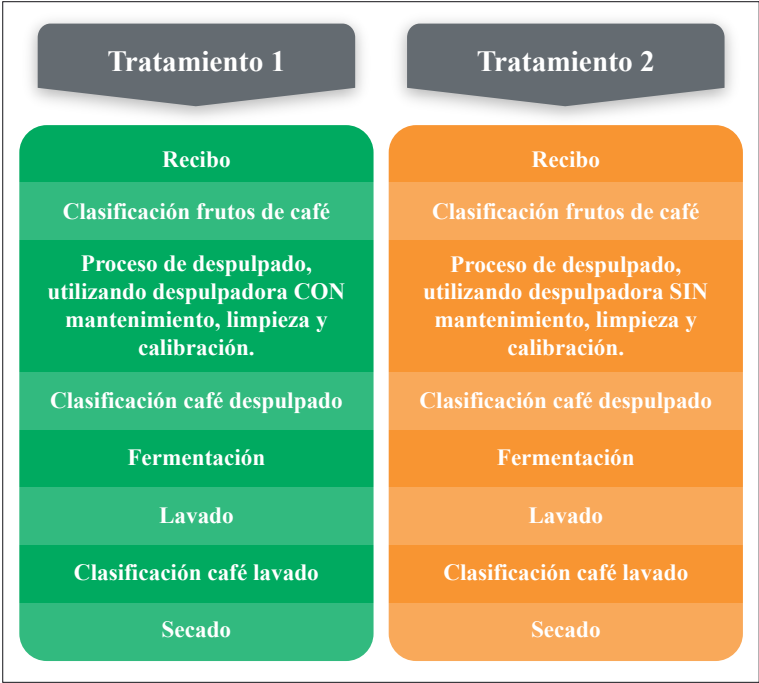


Figura 2. Descripción de la secuencia de los tratamientos con y sin calibración de la despulpadora, Actividad 2.

El desarrollo experimental tanto en la actividad 1 como en la actividad 2 siguió la secuencia técnica del proceso de beneficio descrita por Puerta (2006).

Evaluación del proceso de beneficio de los caficultores frente al proceso 7P®

Con el fin de comparar el proceso realizado en finca con el proceso 7P® estandarizado por Cenicafé, se seleccionaron ocho caficultores del centro del departamento de Caldas, en colaboración con el Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros departamental. De acuerdo con el criterio de los técnicos estos caficultores no implementaban las prácticas de beneficio recomendadas.

En cada finca, tanto en la cosecha principal como en la travesía, se recolectaron 200 kg de frutos de café, que se dividieron en dos muestras de 100 kg. Una fue procesada por el caficultor en condiciones normales de finca llevando a cabo el seguimiento para analizar el café resultante en cada etapa del proceso de beneficio, y la otra se trasladó a la planta de beneficio de Cenicafé, donde se aplicaron las siete prácticas clave del proceso 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al., 2022; Peñuela-Martínez & Sanz-Urbe, 2021).

Con el apoyo de la Cooperativa de Caficultores de Manizales, se realizó el análisis físico, tanto para el café pergamino seco, como para las pasillas obtenidas en cada una de las actividades, evaluando los siguientes aspectos:

- Calidad física del grano.
- Factor de rendimiento en trilla.
- Precio de venta.

Análisis de la información

Análisis Estadístico. El efecto de los tratamientos de las actividades 1 y 2 se midió a partir de un análisis de varianza (ANOVA) para un modelo de bloques completos al azar de acuerdo con el diseño experimental establecido previamente. A partir de los resultados del ANOVA en la actividad 1, se aplicó prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) para identificar las diferencias entre los tratamientos. Para la actividad adicional (caficultores respecto a proceso 7P®) se realizó seguimiento y documentación para describir y caracterizar descriptivamente la práctica de los caficultores y concluir frente a los resultados obtenidos por Cenicafé.

Análisis económico. Para la evaluación económica de los tratamientos aplicados durante el beneficio del café, se utilizó el método de Relación Beneficio-Costo (B/C). Esta herramienta permitió comparar los ingresos generados por carga de café pergamino seco frente a los costos incurridos en el proceso de beneficio, con el fin de cuantificar si los resultados obtenidos a partir de las recomendaciones implementadas en el proceso justifican su adopción. Se calculó la relación B/C parcial, considerando únicamente el costo directo del beneficio, con el fin de recomendar prácticas económicamente viables que reduzcan pérdidas y mejoren los ingresos del caficultor.

Para realizar los análisis económicos en las actividades desarrolladas se usaron los datos básicos descritos en la Tabla 1. Los datos básicos se construyeron con el registro de la información real de mano de obra empleada en el beneficio húmedo y secado del café.

Tabla 1. Datos básicos para el análisis económico en los procesos de beneficio

Variable	Unidad	Valor	Observacion
Mano de obra	jornal	\$56.000,00	zona central cafetera 2024
Precio de venta	\$/CargaCPS	\$1.880.440,00	Precio interno promedio año 2024 (FR94)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la calidad de recolección

Antes de iniciar con el proceso, a cada una de las masas de café que conformaron las diez repeticiones del experimento, se les evaluó de forma general la calidad de la recolección. La unidad experimental número 9 presentó la mejor calidad, con un factor de rendimiento en trilla superior al promedio. Esta unidad presentó un 81,26% de frutos en los estados de madurez 4, 5 y 6, y solo 1,78% en los estados 1 y 2, de acuerdo con la escala cromática de la herramienta Cromacafé® (Peñuela-Martínez, Guerrero, et al., 2022).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Guerrero et al. (2022), Peñuela-Martínez,

Sanz-Uribe, et al. (2022) y Puerta (2000), quienes destacan que una recolección adecuada influye positivamente en la calidad física del café pergamino seco, impactando directamente el precio de venta.

Actividad 1: Efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y pérdidas en el beneficio

Factor de rendimiento en trilla (FR) y factor de conversión (FC)

El análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completos al azar, con un nivel de significancia de 0,05, mostró un efecto significativo del tratamiento sobre el factor de rendimiento. Es decir, al menos uno de los tratamientos de clasificación produjo un FR significativamente diferente. (Tabla 2).

Tabla 2. Factor de rendimiento promedio obtenidos en cada uno de los tratamientos, variabilidad y cuartiles.

Tratamientos	Promedio	Des. Estándar	Q1	Q2	Q3	Mínimo	Máximo
TT1	97,22	6,29	95,02	96,62	101,41	84,95	107,03
TT2	104,70	8,93	98,93	103,71	111,84	90,09	117,06
TT3	98,63	6,47	94,34	98,53	102,14	88,38	111,46
TT4	97,56	5,08	93,84	99,72	101,22	88,72	102,04
TT5	99,49	6,47	96,64	98,88	102,99	87,94	112,00

La **ausencia total de clasificación (TT2)** presentó la mayor variabilidad en el FR (Figura 3). En este tratamiento, el 75% de las unidades evaluadas tuvo un FR entre 90,09 kg y 111,84 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. En contraste, los demás tratamientos registraron valores mínimos inferiores a 88,7 kg. El Tratamiento 1 presentó una distribución más compacta y consistente, lo cual favorece la estabilidad del proceso y facilita la planificación productiva. En contraste, el Tratamiento 2 exhibió una mayor dispersión en los datos, indicando una variabilidad significativa que puede afectar negativamente tanto la calidad física del café como la rentabilidad del producto final.

Estos resultados respaldan los hallazgos de Oliveros-Tascón et al. (2007, 2020) y de Peñuela-Martínez, Sanz-Urbe, et al. (2022) quienes señalan que una clasificación adecuada reduce defectos físicos y mejora el FR.

La prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) reveló diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento TT2 (sin clasificación) presentó

un FR promedio de 7,48 kg mayor al tratamiento TT1 (clasificación en los tres puntos). Esto implica que, en promedio, se requieren 7,48 kg adicionales de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso cuando no se realiza ninguna clasificación. De igual forma se encontraron diferencias en el FR entre el TT2 y los tratamientos TT3 y TT4 (clasificación únicamente antes del despulpado y clasificación únicamente por tamaño, posterior al despulpado) en ambos casos también a favor de los procedimientos de beneficio que incluyen la clasificación (Tabla 3).

El factor de conversión reflejó la eficiencia del proceso en términos de insumo-producto. Como se observa en la Figura 4, en el tratamiento sin clasificación (TT2), se obtuvo un FC promedio de 4,33 kg de frutos de café por cada kilogramo de pergamino seco. Aunque este valor es bajo, aparentemente eficiente, se acompañó de un FR elevado (104,7 kg) con respecto al FR de referencia actual (94 kg), indicando un mayor contenido de pasillas y una calidad inferior del café pergamino seco.

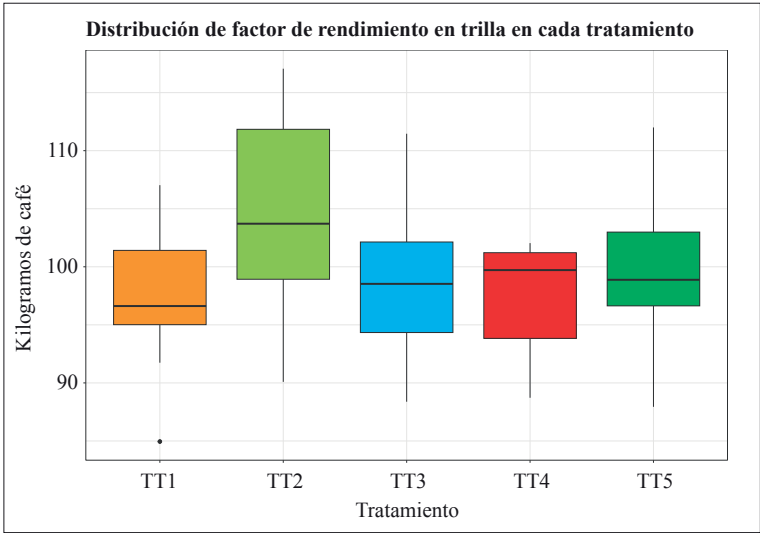


Figura 3. Distribución del factor de rendimiento por tratamiento.

Tabla 3. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), diferencia del factor de rendimiento promedio entre pares de tratamientos.

TTO	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-adj	
TT2-TT1	7,48	1,70	13,25	0,01	***
TT3-TT1	1,41	-4,37	7,18	0,96	
TT4-TT1	0,34	-5,44	6,11	1,00	
TT5-TT1	2,27	-3,50	8,05	0,79	
TT3-TT2	-6,07	-11,85	-0,29	0,04	***
TT4-TT2	-7,14	-12,91	-1,36	0,01	***
TT5-TT2	-5,20	-10,98	0,57	0,09	
TT4-TT3	-1,07	-6,85	4,71	0,98	
TT5-TT3	0,87	-4,91	6,64	0,99	
TT5-TT4	1,94	-3,84	7,71	0,87	

*** Indica diferencia estadística entre los tratamientos

En contraste, el tratamiento TT1 (clasificación en los tres puntos del proceso de beneficio) tuvo un FC promedio de 5,87 kg y un FR de 97,22 kg. Esto evidencia que la clasificación retiene impurezas en las etapas tempranas del proceso, mejora la calidad del grano y, en consecuencia, permite obtener más café excelso por unidad de pergamino seco, aunque se requieran más frutos inicialmente. Los factores de conversión obtenidos en este estudio presentan características similares a los reportados por (Montilla-Pérez et al., 2008).

Considerando un rendimiento de mano de obra de 3,43 jornales en el beneficio húmedo y secado por carga de café pergamino seco lo que coincide con lo reportado por (Salazar et al.,

2019) el cual tiene un precio de \$192.118,30, se calculó la Relación Beneficio-Costo (B/C) para cada tratamiento con base en los ingresos según el factor de rendimiento (FR). El tratamiento TT1 presentó la mayor rentabilidad (B/C = 9,57), seguido por TT4 (9,54) y TT3 (9,47), todos ellos estadísticamente similares en términos del FR según la prueba de Tukey. Aunque el tratamiento TT5 obtuvo una relación B/C ligeramente menor (9,36), aún se mantuvo dentro de un rango competitivo. En contraste, el tratamiento TT2, que no implementó prácticas de clasificación ni recuperación, presentó la menor relación B/C de 9,0. Estos resultados evidencian que, la aplicación de las prácticas 7P® en el beneficio, mejora consistentemente la calidad física del café y en consecuencia la rentabilidad para el productor.

Desde una perspectiva económica, un menor FC puede parecer ventajoso por requerir menos frutos de café, pero los descuentos asociados a la baja calidad del pergamino seco cuestionan esa apreciación. Mientras que, un proceso más riguroso, como el de los tratamientos TT1, TT3, TT4 y TT5, garantiza un producto con mayores estándares de calidad y un precio superior en el mercado.

Análisis de los tratamientos de pasillas

Sanz-Uribe et al. (2018) recomiendan procesar las pasillas por separado para agregar valor al subproducto y mejorar los ingresos del productor. Dado que esta actividad no implica costos adicionales significativos, la recuperación de café de buena calidad desde las pasillas representa una ganancia neta, lo que mejora la relación beneficio-costeo del proceso.

Los tratamientos en los cuales se utilizó zaranda (TT1 y TT4), registraron porcentajes de café pergamino en buen estado dentro de las pasillas iguales a 49,54% y 56,29%, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Imbachí et al. (2023),

quienes destacan que las nuevas variedades de café desarrolladas por Cenicafé tienden a presentar granos de mayor tamaño exigiendo perforaciones de la zaranda entre 8,0 y 8,5 mm. En este contexto, una selección inadecuada del tamaño de perforación en la zaranda puede ocasionar pérdidas considerables de granos de buena calidad. Lo anterior sugiere que una parte significativa del grano descartado puede ser recuperado. Incluso en el tratamiento TT5, donde no se usó zaranda, se obtuvo un 30,79% de granos buenos, lo que resalta la importancia económica de recuperar este café de buena calidad.

Desde una perspectiva más amplia, esta estrategia puede entenderse como una medida de adaptación dentro de un sistema productivo resiliente. En línea con el enfoque de sistemas adaptativos complejos propuesto por Holling (1973), prácticas como la selección adecuada de zarandas y el procesamiento diferenciado de pasillas permiten al beneficio de café ajustarse a nuevas condiciones como las características físicas de las nuevas variedades, sin comprometer su estabilidad ni aumentar su vulnerabilidad operativa.

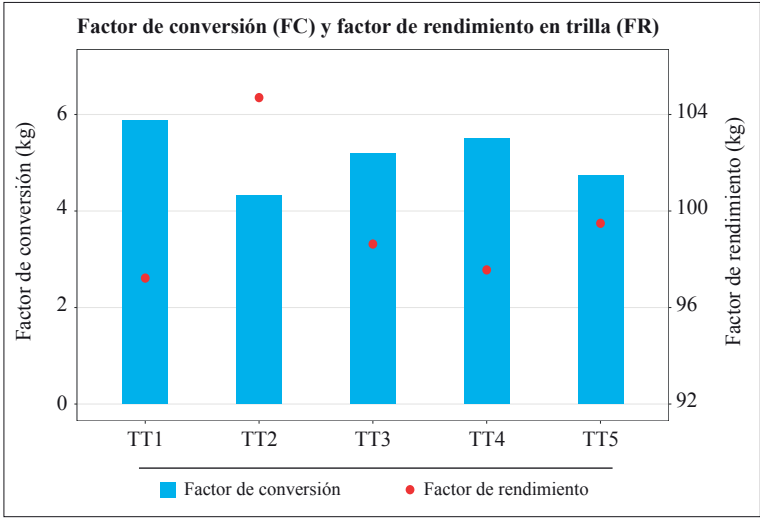


Figura 4. Comportamiento del factor de conversión (barras azules) y el factor de rendimiento (puntos rojos) en cada uno de los tratamientos.

Con base en el precio interno promedio para 2024 por carga de 125 kg de café pergamino seco (FR = 94), la Figura 5 ilustra el precio de venta (PV), los ingresos recuperados (IR) por la recuperación de granos buenos en la pasilla, el total de ingresos ajustados (PVIR) y el porcentaje de recuperación para cada tratamiento. En particular, el tratamiento TT1 generó un ingreso adicional de \$137.116,93, alcanzando un total de \$1.687.502,91 (incremento del 8,8%). El tratamiento TT4 generó un 7,1% adicional, y el tratamiento TT3 un 4,6%. Aunque el tratamiento TT5 tuvo el mayor precio de venta (PV) inicial, su recuperación fue de apenas 1,6%. El tratamiento TT2 no generó pasillas y, por tanto, no aplicó para esta evaluación.

Estos resultados indican que la rentabilidad del proceso de beneficio no depende únicamente del precio base del café pergamino seco, sino

también de la capacidad del sistema para recuperar café de buena calidad presente en las pasillas. La adopción de estrategias de clasificación y recuperación permite incrementar los ingresos sin necesidad de mayores insumos ni inversión adicional.

Actividad 2: Efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0,05$) en términos del precio del café pergamino seco obtenido por cada 100 kg de frutos. El tratamiento con despulpadora calibrada (TT1) presentó un precio promedio de \$286.855,70, mientras que el tratamiento sin calibración (TT2) obtuvo un valor promedio de \$188.336,30, además de una mayor variabilidad entre repeticiones (Tabla 4).

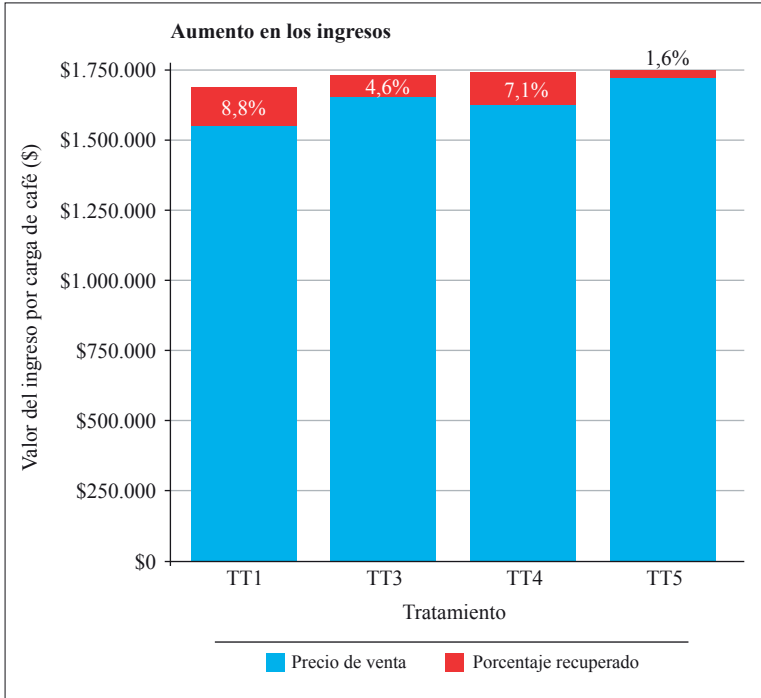


Figura 5. Aumento en los ingresos al implementar proceso de recuperación de pasilla.

Tabla 4. Precio promedio del café pergamino seco (por 100 kg de frutos) según tratamiento, con medidas de dispersión.

Trata- mientos	Promedio	Des. Estándar	Q1	Q2	Q3	Mínimo	Máximo
TT1	\$ 286.855,70	\$ 26.668,76	\$ 271.330,40	\$ 285.482,30	\$ 298.624,10	\$ 253.666,20	\$ 339.206,20
TT2	\$ 188.336,30	\$ 61.447,00	\$ 130.663,10	\$ 181.420,10	\$ 241.175,70	\$ 122.027,80	\$ 278.577,80

Esta diferencia de precios puede explicarse, en parte, por la pérdida de grano de buena calidad observada en el tratamiento sin calibración (TT2). En este caso, se encontró que la pulpa contenía entre 11,11% y 42,86% de granos en buen estado, con un promedio del 26,55%, lo que generó una pérdida física de café del 30,93% y una disminución promedio en los ingresos del 40,56%. La Figura 6 ilustra la variación en los ingresos entre tratamientos. En el TT2 (sin mantenimiento), las pérdidas oscilaron entre un 3,16% y un 73,83%, mientras que en el TT1 (con mantenimiento) se observó una producción estable y eficiente.

Estos hallazgos resaltan la importancia de realizar mantenimiento, limpieza y calibración periódicos a la despulpadora. La falta de mantenimiento y calibración ocasiona pérdidas directas de café de buena calidad, ya sea por su paso a la pulpa o por daño físico del grano. Así mismo, la ausencia de limpieza favorece la acumulación de mucílago, pulpa y material en descomposición, lo cual induce desgaste prematuro de los componentes, reduce la eficiencia del despulpado y provoca pérdidas adicionales de grano por expulsión inadecuada o deslizamiento sobre superficies contaminadas. Esto disminuye la eficiencia del proceso y compromete la rentabilidad del cultivo, además de generar un desperdicio de recursos productivos, tierra, fertilizantes y mano de obra, que incrementa el costo por arroba producida.

A partir de los precios promedio obtenidos por cada tratamiento, se calculó la Relación Beneficio-Costo (B/C) para evaluar el efecto económico de realizar mantenimiento, limpieza y calibración a la despulpadora. El tratamiento con calibración (TT1) generó ingresos promedio de \$286.855,70 por cada 100 kg de frutos, mientras que el tratamiento sin calibración (TT2) apenas alcanzó \$188.336,30. Considerando un costo de beneficio proporcional de \$26.666,66 por cada 100 kg de frutos, la relación B/C fue de 10,76 para TT1 y de 7,06 para TT2. Esta diferencia representa un incremento del 52,3% en la relación B/C a favor del tratamiento calibrado, lo que demuestra que el mantenimiento preventivo de la despulpadora mejora significativamente la rentabilidad del proceso al reducir las pérdidas por defectos, sin necesidad de incurrir en nuevos costos fijos.

Replicando el modelo de simulación propuesto por Duque-Orrego et al. (2021), considerando un precio promedio de venta para 2024 de \$188.044/@ y productividad nacional promedio de 125@ ha⁻¹, se estimó que, con una pérdida del 40,56% como la observada en este estudio, un caficultor dejaría de percibir aproximadamente \$9.580.841,80 ha⁻¹, y el costo de realizar mantenimiento, limpieza y calibración de la maquina despulpadora se cubre con el 2% del dinero que está dejando de percibir.

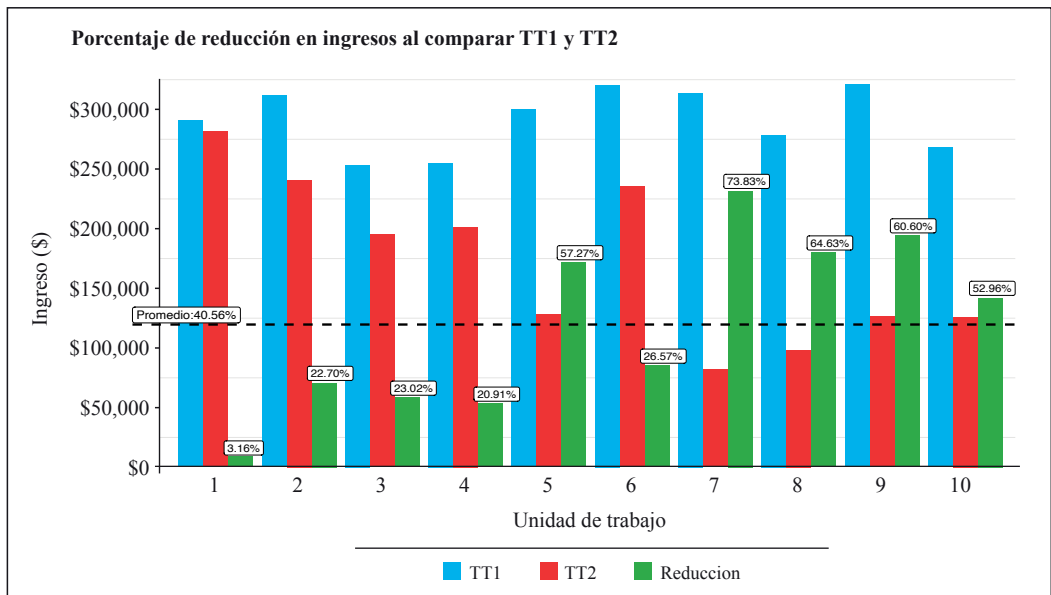


Figura 6. Reducción porcentual de los ingresos por repetición o unidad de trabajo.

Evaluación del proceso de beneficio realizado por los caficultores, frente al proceso de beneficio recomendado por Cenicafé, conocido como las 7 P

- En la comparación entre el proceso del caficultor y el proceso 7P®, se encontró que:
- El 100% de los caficultores clasifican el café durante el lavado.
- Solo el 33% aplica clasificación en las tres etapas del beneficio.
- El 25% cuenta con desmucilagador y tolva húmeda, mientras que el 75% restante utiliza tolva seca y lavado en tanque con la técnica de los cuatro enjuagues.
- Cuando el volumen de café es reducido, los productores tienden a juntar café despulpado de varios días.

- Ninguno de los caficultores hacía uso de la herramienta Fermaestro®, la cual indica el momento ideal de lavado del grano (Peñuela-Martínez et al., 2013).

Estos resultados difieren de los reportados por Aristizabal & Duque-Orrego (2005), quienes señalaron que el 94% de los caficultores clasifican el café. A partir de estos resultados se procedió a indagar en qué momento se realizaba el subproceso, encontraron que el 56% de los productores clasifica el café después del despulpado y el 90% de ellos lo hace al momento de lavar el café.

Respecto a la calidad de recolección, todos los productores evaluados lograron altos estándares según Cromacafé® desarrollado por Peñuela-Martínez, Guerrero, et al. (2022). con más del 85% de frutos en estados 4, 5 y 6, y menos del 1,5% en estados 1 y 2.

La Figura 7, muestra la dispersión de los FR obtenidos en finca, en la cual se observa una variabilidad más alta (con valores extremos como 122,38), es decir, hay una inconsistencia en la eficiencia del proceso, causada por fallas en el manejo del beneficio. Esta variabilidad genera incertidumbre en los costos y en los rendimientos al productor. Comparando el FR, entre los dos métodos de procesamiento: el método ejecutado por cada caficultor en finca y el recomendado por Cenicafé en las 7P® (Peñuela-Martínez, Sanz-Uribe, et al., 2022). El FR óptimo en finca fue de 92,33 kg, mientras que en la central de beneficio fue de 90,01 kg, lo que indica que se necesita menos café pergamino seco para obtener la misma cantidad de café excelso si se sigue el proceso técnico estandarizado.

Finalmente, al comparar el proceso de beneficio realizado por los caficultores

con el proceso técnico estandarizado 7P® recomendado por Cenicafé, se evidenció una mejora económica integral. El ingreso promedio por carga de café pergamino seco fue de \$1.942.374,83 bajo el proceso 7P®, frente a \$1.894.294,29 en el proceso de beneficio realizado por los caficultores, lo que representa una ganancia directa de \$48.080,54 por carga. Sin embargo, al considerar también la recuperación de granos buenos presentes en las pasillas, valorada en \$137.116,93 por carga según los resultados obtenidos anteriormente, el ingreso total ajustado del proceso 7P® asciende a \$2.079.491,76.

La Relación Beneficio-Costo (B/C) a 10,82 para el proceso 7P®, frente a 9,86 del proceso realizado por los caficultores, considerando un costo de beneficio constante de \$192.118,30 por carga.

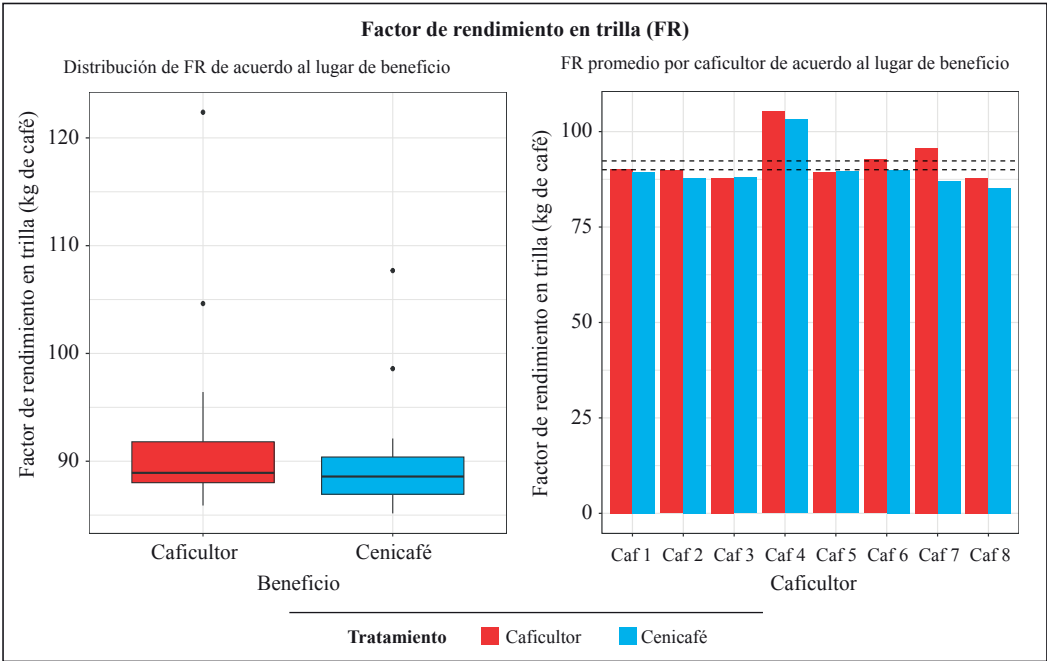


Figura 7. Factores de rendimiento caficultores vs. Proceso 7P®

Estos resultados demuestran que la implementación de prácticas estandarizadas como la clasificación en todas las etapas del beneficio, el uso de la herramienta Fermaestro® y el procesamiento separado de pasillas mejora la calidad física y reduce pérdidas económicas, así mismo, maximiza los ingresos del productor con inversiones mínimas adicionales. En efecto, el proceso 7P® constituye una estrategia técnica y económicamente rentable.

Puede concluirse que:

Los resultados de este estudio evidencian que el uso de prácticas técnicas estandarizadas durante el proceso de beneficio del café tiene un impacto positivo y significativo en la calidad del producto y en la rentabilidad económica para el caficultor. En particular:

La ausencia de clasificación en el beneficio húmedo incrementa el factor de rendimiento, disminuye la calidad del grano y genera pérdidas económicas, al requerir mayor cantidad de pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. La implementación de clasificación en los tres puntos del proceso (TT1) mejoró notablemente los indicadores técnicos y comerciales.

La recuperación de pasillas con contenido de café de buena calidad, especialmente en tratamientos con uso de zaranda, demostró ser una estrategia viable para aumentar los ingresos hasta en un 8,8%, sin necesidad de inversiones adicionales.

La falta de mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora se asoció con pérdidas físicas de café superiores al 30% y reducciones en los ingresos promedio del 40,56%, con impactos económicos que podrían superar los \$9.500.000 por hectárea al año.

En la comparación entre el proceso del caficultor en finca y el modelo 7P®, se evidenció que el proceso estandarizado permite alcanzar un mejor factor de rendimiento, asociado a mayores ingresos por carga comercializada y mayor estabilidad productiva.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de promover la adopción del proceso 7P® en los sistemas productivos cafeteros, así como de fortalecer los programas de capacitación y transferencia tecnológica que garanticen su implementación. La optimización del proceso de beneficio no solo mejora la calidad del café colombiano, sino que representa una oportunidad concreta para aumentar los ingresos y sostenibilidad económica del sector.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores que participaron en el estudio. Al personal de apoyo The People Company. A las disciplinas de Poscosecha y Experimentación. Al Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de Caldas y la Cooperativa de Caficultores de Manizales. Esta investigación fue financiada con recursos del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (Crossref Funder ID 100019597), proyecto ECO102008.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: **HMSE**, **DFAC**; Administración de proyecto, Curación de datos: **DFAC**; Análisis formal: **DFAC**, **BEMR** y **HMSE**; Redacción - borrador original: **DFAC** y **BEMR**; Redacción - revisión y edición: **HMSE**, **DFAC** y **BEMR**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 12(2), 322-343. <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v11n2/cofin22217.pdf>
- Aristizabal, C., & Duque-Orrego, H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Revista Cenicafé*, 56(4), 299-318.
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022a). *Aprenda a vender su café*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022b). *Tabla precio interno de referencia para la compra de café en Colombia*. https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/precio_cafe.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2024). *SIC@—Sistema de Información Cafetera de Colombia [Plataforma]*. <https://sica.cafedecolombia.com/sica/faces/index.jsp>
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93–110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- 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>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Imbachí, L. C., Medina-Rivera, R., & Sanz-Urbe, J. R. (2023). Caracterización del tamaño de los granos de café despulpados en nuevas variedades de café. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74206. <https://doi.org/10.38141/10778/74206>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1985). *NTC 2090. Maquinaria agrícola. Despulpadoras de café*. <https://tienda.icontec.org/gp-maquinaria-agricola-despulpadoras-de-cafe-ntc2090-1985.html>
- López, G. A., Correa Vallejo, M. J., & Estrada-Márquez, M. L. (2021). Caracterización de la cadena de suministro de los cafés especiales de Belén de Umbria, Risaralda, Colombia. *Scientia et Technica*, 26(04), 449–460. <https://doi.org/10.22517/23447214.23911>
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizabal-Loaiza, M., Montoya, E. C., Puerta-Quintero, G. I., & Oliveros-Tascón, C. E. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé*, 370, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0370>
- Oliveros-Tascón, C. E., Rodríguez-Valencia, N., Ramírez, C. A., Sanz-Urbe, J. R., & Velásquez-Henao, J. (2020). Método de las dos canecas: Para separar flotes en pequeños lotes de frutos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 519, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0519>
- Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Montoya-Restrepo, E. C., & Moreno-Cárdenas, E. L. (2010). Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. *Revista Cenicafé*, 60(3), 229-238. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/226>
- Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez-Gómez, C. A., & Mejía-González, C. A. (2007). Separador hidráulico de tolva Y tornillo sinfin. *Avances Técnicos Cenicafé*, 360, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0360>
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, A., & 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., Pabón, J., & Sanz-Urbe, J. R. (2013). Método fermaestro: Para determinar la finalización de la fermentación del mucílago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0431>
- Peñuela, 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 (3a ed., pp. 189–218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Uribe, 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>
- Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136–150. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/65>
- Puerta, G. I. (2006). Sistema de aseguramiento de la calidad y la inocuidad del café en la finca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 351, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0351>
- Salazar, H. M., Gallego, C. H., Castrillón-García, J. R., Álvarez, L. A., & Marín, S. M. (2019). *Indicadores de rendimiento de mano de obra—Café* [Aplicación móvil]. <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/sof/article/view/2227>
- Sanz-Uribe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). *Cómo agregar valor a las pasillas en las fincas cafeteras*. Cenicafé.