




Evaluación de los sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.) y su calidad, bajo indicadores de sostenibilidad en Pitalito (Huila, Colombia)

Evaluation of coffee (*Coffea arabica* L.) production systems and quality using sustainability indicators in Pitalito (Huila, Colombia)

Karen Sirley Murcia Artunduaga ^{1,2}, Oscar Fernando Gómez Morales ^{1,3}.

¹Universidad de Manizales. Manizales, Colombia. ²  karenmurcia47a@gmail.com; ³  oscarfernando.gomez@gmail.com



<https://doi.org/10.15446/acag.v74n1.121147>

2025 | 74-1 p 25-33 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2025-06-25 Acep.: 2026-01-19

Resumen

La sostenibilidad de los sistemas productivos cafeteros y la calidad sensorial del café constituyen factores determinantes para la competitividad y la diferenciación en los mercados especializados. Sin embargo, la relación entre ambos factores ha sido poco explorada. En este contexto, se evaluaron los sistemas productivos cafeteros del corregimiento de Bruselas, municipio de Pitalito (Huila, Colombia), con el propósito de evaluar la correlación entre la sostenibilidad y la calidad de la taza de café. La sostenibilidad se estimó mediante un índice sintético construido a partir de variables sociales, ambientales y económicas; la calidad del café se tomó de registros previos de análisis sensorial por finca mediante una encuesta estructurada a 30 caficultores. Las variables fueron normalizadas y ponderadas para estimar el desempeño sostenible por dimensión. Además, se aplicaron técnicas multivariadas para identificar patrones productivos y agrupar las fincas según su nivel de sostenibilidad. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la calidad de taza entre fincas, con valores promedio que oscilaron entre rangos comerciales y de café especial. El índice de sostenibilidad presentó un valor promedio de 0.62 ± 0.04 , con mejor desempeño en la dimensión ambiental. Así mismo, se identificó una relación positiva y significativa entre la sostenibilidad del sistema productivo y la calidad sensorial del café. Se concluye que la sostenibilidad constituye un factor relevante en la estabilidad, diferenciación y valorización del café producido en sistemas cafeteros locales.

Palabras claves: caficultura sostenible, calidad del grano, *Coffea arabica* L., indicadores de sostenibilidad.

Abstract

The sustainability of coffee production systems and the sensory quality of coffee are key determinants of competitiveness and differentiation in specialty markets. However, the relationship between these two factors has been little explored. In this context, coffee production systems in the Bruselas district of the municipality of Pitalito (Huila, Colombia) were evaluated to assess the correlation between sustainability and cup quality. Sustainability was estimated using a synthetic index based on social, environmental, and economic variables, while coffee quality was determined from previous sensory analysis records for each farm, collected through a structured survey of 30 coffee growers. Variables were normalized and weighted to estimate sustainability performance by dimension. Multivariate techniques were applied to identify production patterns and to group farms according to their sustainability level. Results showed significant differences in cup quality among farms, with mean values ranging from commercial to specialty coffee. The sustainability index showed an average value 0.62 ± 0.04 with the best performance in the environmental dimension. A positive and statistically significant relationship was identified between production-system sustainability and sensory quality of coffee. It is concluded that sustainability contributes to the stability, differentiation, and value of coffee produced in local coffee-growing systems.

Keywords: bean quality, *Coffea arabica* L., sustainability indicators, sustainable coffee farming.

Introducción

La producción de cafetera en Colombia ha sido históricamente un pilar fundamental de la economía rural, no solo por su valor comercial, sino también por su impacto social y ambiental. Los modelos de producción varían significativamente a lo largo del territorio nacional, y adaptan a la oferta ambiental y a las condiciones específicas de cada región (Federación Nacional de Cafeteros - Cenicafé, 2023). Tradicionalmente, se han promovido esquemas de alta productividad en café como los monocultivos a plena exposición, característicos de la región andina central, donde la densidad de siembra tiene un rango de 6000 a 10 000 plantas/ha (Farfán, 2014; Ordóñez *et al.*, 2018). Aunque esto puede resultar económicamente favorable para pequeños y medianos productores (Fernández *et al.*, 2020), afecta negativamente la biodiversidad y reduce los servicios ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad ambiental (Guhl, 2004). En respuesta, en años recientes ha crecido el interés por evaluar la caficultura bajo criterios de sostenibilidad integral, entendida como la capacidad de mantener la productividad sin comprometer recursos naturales ni el bienestar socioeconómico de los productores (Altieri *et al.*, 2015), especialmente en regiones como el Huila, donde el café (*Coffea arabica* L.) se cultiva principalmente en unidades familiares de pequeña escala (Risueño *et al.*, 2023).

La sostenibilidad en la caficultura abarca múltiples dimensiones: económica, ambiental, social y técnica. Evaluar estas dimensiones permite comprender el panorama integral de las unidades de producción rural (Uribe *et al.*, 2021). Paralelamente a la sostenibilidad, la calidad sensorial del café ha cobrado una importancia creciente, siendo un factor clave para la diferenciación en el mercado y la mejora de la rentabilidad para los caficultores, además está influenciada por múltiples factores, incluida la variedad cultivada, las condiciones agroclimáticas, el grado de madurez del fruto al momento de la cosecha y, crucialmente, las prácticas de poscosecha, como la fermentación y el secado (Fondo Nacional de Cafeteros - Cenicafé, 2023). Sin embargo, la relación entre sostenibilidad y calidad sensorial ha sido poco estudiada, a pesar de que ambas son esenciales para la competitividad y la rentabilidad; es decir, integrar prácticas sostenibles que potencien la calidad organoléptica puede representar un desafío metodológico y un área con gran potencial para innovación y la mejora en la producción cafetera.

El municipio de Pitalito, ubicado en la zona sur del departamento del Huila, se caracteriza por tener condiciones agroecológicas favorables para el desarrollo del cultivo del café; igualmente, según datos oficiales de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2022), ha sido de los mayores productores de café en Colombia en la última década. Esto puede ser resultado de la implementación de

procesos diferenciados en cosecha y beneficio del café (Agencia UNAL, 2022), además de un trabajo y esfuerzo continuo del talento humano encargado de cada proceso, combinado con la adopción y el uso de prácticas de producción, procesamiento y preparación del grano (Puerta y Pabón, 2018). Sin embargo, a pesar de su potencial, existen pocos estudios que integren información sobre prácticas sostenibles, calidad sensorial del grano y características productivas de las fincas cafeteras de esta región (Bermeo *et al.*, 2020).

En este contexto, el índice sintético de sostenibilidad (ISS) se presenta como una herramienta metodológica útil para sintetizar múltiples indicadores sociales, ambientales y económicos en un único valor compuesto entre 0 y 1, que permite comparaciones entre unidades productivas y facilitado la toma de decisiones orientadas hacia modelos más sostenibles (Marti y Puerta, 2020). Esta metodología ha sido aplicada en otras zonas cafeteras del país, y ha mostrado resultados relevantes en la identificación de buenas prácticas y patrones de diferenciación entre sistemas productivos orientados a la toma de decisiones hacia modelos más sostenibles (Andrade *et al.*, 2021).

Por otro lado, la calidad sensorial del café se ha convertido en un factor clave para el posicionamiento competitivo en mercados internacionales especializados. La demanda global por cafés especiales ha impulsado la necesidad de mejorar procesos poscosecha, fermentación, secado y clasificación del grano, elementos que inciden directamente en el perfil organoléptico del producto final (Cao *et al.*, 2023). La evaluación de la calidad sensorial del café ha sido estandarizada internacionalmente a través del protocolo de catación de la Specialty Coffee Association (SCA), reconocido como referencia para garantizar consistencia y comparabilidad en la cadena de valor (Specialty Coffee Association, 2023). Estudios recientes han demostrado que existe una relación positiva entre prácticas sostenibles y la obtención de calificaciones superiores en catación vinculada a procesos poscosecha (Torrez *et al.*, 2023; Haro *et al.*, 2025). Criollo *et al.* (2020) demostraron que la oferta ambiental influye de manera significativa en la calidad de taza del café (*Coffea arabica* L. Var. Castillo), lo cual evidencia que las condiciones ecológicas del sistema productivo determinan atributos sensoriales diferenciados.

Estos antecedentes muestran que, aunque existen estudios que relacionan sostenibilidad y calidad sensorial, aún faltan enfoques integradores que incluyan variables sociales, ambientales y económicas en contextos locales. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo general analizar los sistemas productivos de café en el municipio de Pitalito bajo indicadores de sostenibilidad y su impacto en la calidad sensorial. Para ello, se formuló una hipótesis sobre la existencia de una relación significativa entre prácticas sostenibles y la

calidad sensorial del café en sistemas productivos de *Coffea arabica* L. a través del ISS y el uso de técnicas estadísticas avanzadas como, análisis clúster, análisis de componentes principales (ACP) y ANOVA, para identificar patrones de las unidades productivas, que llevaron a la comprensión de los factores diferenciadores y prácticas sostenibles de los sistemas cafeteros, y aportaron insumos para diseñar políticas públicas y estrategias técnicas enfocadas en la sostenibilidad integral y en la mejora de la calidad del café.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en corregimiento de Bruselas, ubicado en el municipio de Pitalito a 06°46'08"N y 73°18'28"O, sobre 1318 m. s n m, precipitación promedio 1300 mm, temperatura 18.8 °C y brillo solar 5.3 h/luz/día. La zona corresponde a la formación de bosque húmedo premontano, dentro de la provincia biogeográfica Andina, caracterizada por su alta diversidad florística y condiciones edáficas favorables para la caficultura. Los suelos son de origen ígneo, con buena fertilidad y aptitud para cultivos permanentes y transitorios (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014).

Para el análisis, se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo; se tomó información mediante una encuesta estructurada, que incluyó variables relacionadas con la caracterización socioeconómica del agricultor, el manejo agronómico del cultivo, las prácticas sostenibles y la calidad sensorial del café. El tamaño muestral constó de 30 fincas cafeteras, seleccionadas mediante un muestreo intencional con criterios técnicos. Se priorizó la inclusión de unidades productivas que contaron con mínimo 3 registros tomados bajo la metodología estandarizada SCA, de la calidad del café, garantizando así la posibilidad de relacionar prácticas productivas con resultados sensoriales verificables. Según Hernández *et al.* (2014), en estudios de carácter exploratorio-descriptivo, una muestra de este tamaño permite identificar patrones significativos sin comprometer la validez interna del análisis. Además, este número facilitó la aplicación de técnicas estadísticas multivariadas, como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis clúster, adecuados para este tipo de diseño.

Para evaluar el nivel de sostenibilidad integral de cada finca cafetera, se utilizó el ISS, y se adaptó la metodología propuesta por Oviedo y Castro (2021). Este índice permitió sintetizar múltiples indicadores en un valor único entre 0 y 1, que representó niveles de sostenibilidad desde mínimos hasta máximos. Para ello, se seleccionaron indicadores clave distribuidos equitativamente en 3 dimensiones (Tabla 1).

Para normalizar los valores de los indicadores, se utilizó la técnica min-max (Ecuación 1), comúnmente aplicada en estudios de índices sintéticos, como

el ISS (Navarro y Thiel, 2018). Esto permitió transformar los datos a una escala común entre 0 (mínima sostenibilidad) y 1 (máxima sostenibilidad), lo cual permitió comparar las fincas bajo criterios multidimensionales:

$$N_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde N_i es el valor normalizado del indicador i , x_i es el valor original, x_{\min} y x_{\max} representan los valores extremos observados en la base de datos. Posteriormente, se calculó el ISS, siguiendo el método propuesto por Oviedo y Castro (2021) (Ecuación 2):

$$\text{ISS total} = \sum_{i=1}^n W_i * N_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde w_i representa el peso asignado al indicador i , N_i su valor normalizado y n es el número total de indicadores considerados. Las ecuaciones 1 y 2 fueron adaptadas de Oviedo y Castro (2021), quienes validaron su uso en estudios de sostenibilidad aplicados a sistemas cafeteros colombianos.

Por último, en el presente estudio se formuló H_0 como hipótesis nula, la cual planteó que no existe relación significativa entre las prácticas sostenibles implementadas en las fincas cafeteras y la calidad

Tabla 1. Dimensiones e indicadores de estudio para la evaluación de la sostenibilidad

Dimensión	Indicador
Social	Nivel educativo del agricultor; acceso a educación para trabajadores rurales; acceso a salud para trabajadores; tamaño del núcleo familiar; afiliación a organización productiva; participación en capacitaciones técnicas, género del agricultor; y edad del agricultor.
Ambiental	Uso de energía renovable; manejo de residuos agroindustriales; cultivo bajo sombra/agroforestal; diversidad de cultivos asociados al café; conservación de suelos; gestión responsable del agua; manejo fitosanitario sostenible; certificaciones internacionales; control sanitario del cultivo; frecuencia de controles sanitarios (días); problemas sanitarios que controla; manejo de malezas; tiempo entre recolección y beneficio; procesamiento poscosecha del café; fermentación en beneficio; descripción de la fermentación; tipo de secado utilizado; duración del secado; manejo de residuos sólidos; sistemas de siembra utilizados; y cultivos de asociación con café.
Económico	Canal de comercialización; porcentaje de producción vendida; producción para consumo familiar; ingresos anuales estimados; principales gastos de la finca; acceso a mercados de venta; frecuencia de venta; satisfacción con precios del grano; prácticas de ahorro y gestión financiera; comercialización de cafés especiales; calificación sensorial del grano; participación en concursos regionales; certificaciones del café; canales de comercialización; mercado de destino de cafés especiales; acceso a financiamiento; institución financiera utilizada; tipo de financiamiento; y capacitación en café.

Nota: estos indicadores fueron adaptados siguiendo criterios de relevancia, disponibilidad de información y aplicabilidad en sistemas cafeteros pequeños.

Fuente: elaboración propia.

sensorial del café obtenido, mientras que la hipótesis alterna (H_1) propuso que sí existe una relación positiva. Para contrastar dichas hipótesis, se aplicaron varios análisis estadísticos, identificando las variables con mayor incidencia en la diferenciación de los sistemas productivos, mediante un análisis de componentes principales (ACP), con estandarización previa de los datos para extraer los componentes principales explicativos del 70 % o más de la variación total. Con base en ello, se aplicó el método de clústeres k-means para clasificar las fincas en grupos homogéneos, según características productivas y sostenibles.

Por otro lado, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar medianas entre los grupos de fincas identificadas, especialmente en variables que no siguieron una distribución normal. Finalmente, se aplicó el análisis de varianza ANOVA para validar la significancia estadística de los componentes principales y de las variables seleccionadas. Se verificó el cumplimiento de supuestos como normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene), con nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Estos métodos permitieron establecer con rigor estadístico si las prácticas sostenibles se asocian significativamente con mejores calificaciones sensoriales y mayor desempeño sostenible en los sistemas productivos de café evaluados.

Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el software R versión 4.3.1 (R Core Team, 2023) y Microsoft Excel® para gráficas, edición, y visualización preliminar de datos.

Resultados

Los datos obtenidos permitieron caracterizar los sistemas productivos bajo 3 dimensiones: social, ambiental y económica; además, se pudo analizar su relación con la calidad sensorial del grano. En promedio, las unidades productivas ($n = 30$) tienen una extensión de 2.6 hectáreas, de las cuales dedican al cultivo del café aproximadamente el 75 % del área total. La mayoría son operaciones familiares, con predominio de agricultores hombres (73 %) y niveles educativos medios (40 % con secundaria completa o superior). Las variedades más cultivadas incluyen Castillo, Caturra, Colombia y F6.

En cuanto a la comercialización, el 93 % de las fincas vende más del 90 % de su producción, principalmente a través de intermediarios (57 %), aunque un grupo importante (33 %) ha adoptado canales directos con compradores especializados, lo que facilita el acceso a mercados de cafés especiales (exportación e internos certificados).

De igual manera, se identificaron diversas prácticas sostenibles en las fincas estudiadas, especialmente en el componente ambiental (Figura 1), que corresponden a:

- (1) Uso de energía renovable: varias unidades productivas emplean biomasa derivada del beneficio del café como fuente energética, lo que reduce su dependencia de insumos externos y contribuye al manejo integral de residuos.
- (2) Manejo agroforestal: las fincas emplean sistemas de siembra bajo sombra o asociado con árboles maderables y frutales.
- (3) Manejo de residuos: el compostaje es una práctica extendida en las fincas evaluadas (53 %).

Los resultados obtenidos a partir del ISS (Figura 2) muestran niveles moderados a altos de sostenibilidad (0.62 ± 0.04), con valores que oscilan entre 0.48 y 0.69, lo cual refleja una tendencia hacia prácticas productivas responsables en esta región cafetalera. La dimensión ambiental mostró el mejor desempeño promedio (0.67 ± 0.04), seguida por la económica (0.61 ± 0.05) y la social (0.58 ± 0.05). Además, la Figura 2 evidencia las fincas con mayor ISS, como F11 (0.69) y F7 (0.67), destacadas por la implementación de prácticas como el uso de energía renovable, la presencia de certificaciones internacionales y la comercialización directa del producto al distribuidor, lo cual contribuyó a su alto nivel de sostenibilidad. El 90 % de las fincas con ISS > 0.5 tuvieron en común la integración de prácticas agroforestales, la diversificación de cultivos, el uso de energía renovable y el acceso a mercados especializados, especialmente para cafés especiales exportados. La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en ingresos anuales y calificación sensorial según el tipo de comercialización. En particular, las fincas que venden bajo esquemas de comercio directo o acuerdos con compradores internacionales obtuvieron mejores puntajes en ISS y mayor estabilidad económica.

La evaluación de los datos colectados sobre la calidad sensorial del café osciló entre 78.7 y 85.8 (Tabla 2), con una media general de 82.0 puntos. Fincas como la 11 (85.8 ± 0.29), la 17 (85.3 ± 0.76) y la 18 (84.4 ± 0.52) destacaron por sus altos puntajes, mientras que otras, como la 26 (78.7 ± 0.76) y la 28 (79.2 ± 1.04), presentaron valores inferiores. El análisis estadístico comparativo mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al promedio general. Las fincas 11 y 17 se ubicaron en el grupo *a*, con los valores más altos. En el grupo *ab* se ubicaron fincas como la 7, 13, 18, 10, 16, 14, 19, 24, 22, 23, 12, 21 y 2, con promedios entre 82.3 y 84.4 puntos. En los grupos intermedios *bc* y *cd* se concentraron fincas con valores cercanos al promedio general, mientras que las fincas 26, 28, 6, 5 y 8 se agruparon en el nivel inferior *d*, con promedios entre 78.7 y 79.8 puntos.

Finalmente, el cálculo del ISS permitió aplicar clústeres y analizar la distribución de estos datos. También se observó la presencia de tendencias o

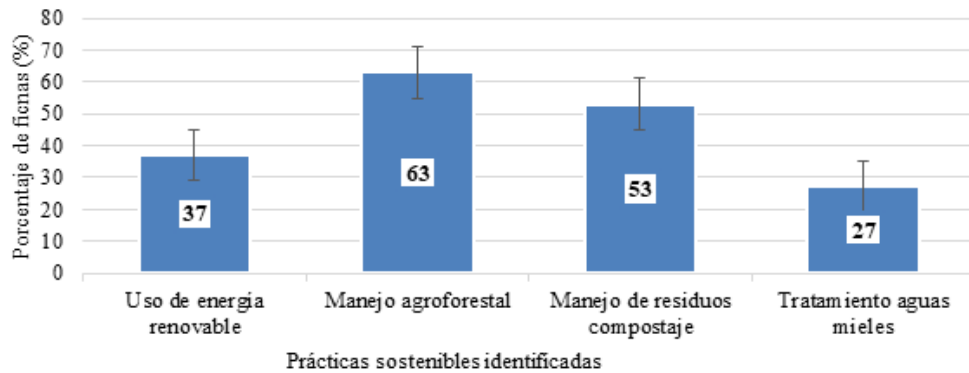


Figura 1. Presencia de prácticas ambientales sostenibles en las fincas cafeteras estudiadas (n = 30).

Nota: los resultados muestran que más del 60 % de las fincas utilizan al menos tres prácticas sostenibles, destacando el manejo de residuos y la producción bajo sombra.

Fuente: elaboración propia.

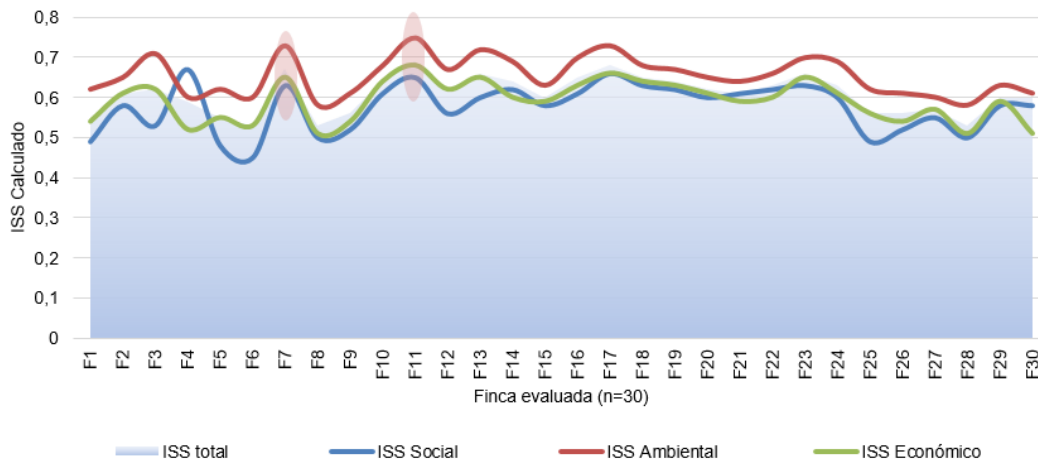


Figura 2. Promedio del Índice Sintético de Sostenibilidad por dimensión y total.

Fuente: elaboración propia.

rangos claros que diferenciaban a las fincas según sus niveles de sostenibilidad y se lograron clasificar las fincas en 3 grupos: sostenibles ($ISS \geq 0.65$), transicionales (0.55-0.64) y tradicionales ($ISS < 0.55$), lo cual facilitó el análisis multivariado posterior. Un análisis detallado de las variables mediante el ACP reveló que los 3 primeros componentes explican el 76 % de la varianza total, y que los principales indicadores influyentes fueron (Figura 3):

- PC1 (32 %): uso de energía renovable, certificaciones internacionales (Fair Trade, Rainforest Alliance) y diversidad de cultivos asociados al café.

- PC2 (24 %): asociado principalmente a la calificación sensorial del café y al tipo de procesamiento poscosecha.
- PC3 (20 %): relacionado con acceso a financiamiento, comercialización directa y satisfacción con los precios del grano.

En cuanto a la relación entre prácticas sostenibles y calidad sensorial del café, se obtuvo una calificación positiva moderada ($r = 0.42$, $p < 0.05$), lo cual indica que las fincas con mayores niveles de sostenibilidad tenderán a obtener calificaciones superiores en catación. Estos resultados permitieron rechazar la hipótesis nula y confirmar la existencia de una relación significativa entre sostenibilidad y calidad sensorial en la caficultura.

Discusión

Por otro lado, el ANOVA validó la significancia estadística de los componentes principales identificados en el ACP, lo cual confirma que las dimensiones seleccionadas son representativas para diferenciar los sistemas productivos.

La caracterización de los sistemas productivos de café confirma la necesidad de abordar la sostenibilidad desde una perspectiva multidimensional, integrando factores sociales, ambientales y económicos, junto con la calidad sensorial del grano. Este enfoque coincide con lo planteado por Viana *et al.*, (2025), quienes destacan que las prácticas productivas sostenibles, como los sistemas agroforestales, el manejo responsable del suelo y los procesos de beneficio controlados se asocian con perfiles sensoriales más complejos y con mayores puntajes en catación. Los resultados obtenidos mediante el ISS mostraron niveles de moderados a altos, con predominio de la dimensión ambiental, lo que refleja la importancia de implementar prácticas como el manejo agroforestal, el compostaje y el uso de energías renovables. Gliessman (2015) sostiene que la transición agroecológica se construye mediante la transformación progresiva de los sistemas agrícolas, desde la sustitución de insumos hasta la reconstrucción de ecosistemas funcionales. En este sentido, ejemplos como el descrito por Rodríguez Valencia y Zambrano (2010) para el aprovechamiento de biomasa derivada del café como fuente energética, en el que subproductos como pulpa, mucílago, pergamino y cáscara se usan como fuente energía térmica o eléctrica; o lo comprobado por Carneiro *et al.* (2025), quienes demostraron que las briquetas de café presentan una mayor eficiencia energética y menor emisión de contaminantes en comparación con la leña, constituyen ejemplos concretos de economía circular, que reducen la dependencia de combustibles fósiles y fortalecen la resiliencia energética rural. Asimismo, el manejo

Tabla 2. Calidad sensorial del café por finca

Finca	Puntuación SCA	Finca	Puntuación SCA
Finca 1	80.7 ± 1.61cd	Finca 16	83.7 ± 1.16ab
Finca 2	82.5 ± 0.87ab	Finca 17	85.3 ± 0.76a
Finca 3	81.3 ± 1.04bc	Finca 18	84.4 ± 0.52ab
Finca 4	81.5 ± 0.50bc	Finca 19	83.3 ± 0.76ab
Finca 5	79.5 ± 1.32d	Finca 20	81.5 ± 0.87bc
Finca 6	79.2 ± 1.02d	Finca 21	82.3 ± 0.76ab
Finca 7	84.2 ± 0.76ab	Finca 22	82.8 ± 0.58ab
Finca 8	79.8 ± 2.08d	Finca 23	82.7 ± 2.36ab
Finca 9	80.3 ± 1.53cd	Finca 24	83.2 ± 1.04ab
Finca 10	84.0 ± 1.00ab	Finca 25	80.5 ± 0.87cd
Finca 11	85.8 ± 0.29a	Finca 26	78.7 ± 0.76d
Finca 12	82.3 ± 0.76ab	Finca 27	80.3 ± 2.08cd
Finca 13	84.1 ± 0.88ab	Finca 28	79.2 ± 1.04d
Finca 14	83.2 ± 0.76ab	Finca 29	80.7 ± 0.29cd
Finca 15	81.5 ± 0.50bc	Finca 30	80.8 ± 0.76cd

Nota: promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

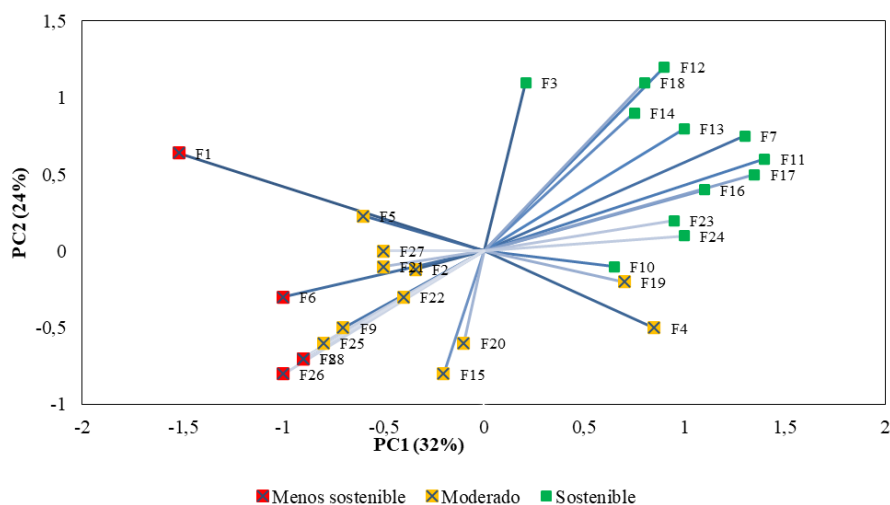


Figura 3. Biplot del análisis de componentes principales.

Nota: representa la relación entre las variables más influyentes y la posición relativa de cada finca. Componente 1 (32%): relacionado principalmente con prácticas ambientales responsables (uso de energías limpias, manejo de residuos y diversidad de cultivos); componente 2 (24%): asociado a la calificación sensorial del café y al tipo de procesamiento postcosecha.

Fuente: elaboración propia.

agroforestal, descrito por Cerda *et al.* (2020) y De Leijster *et al.* (2021) ha demostrado que los cafetales bajo sombra no solo soportan mejor los eventos climáticos extremos, sino que también mejoran la calidad del fruto, gracias a una maduración más lenta y uniforme. La sombra moderada incrementa los niveles de azúcares y acidez en el grano, aspectos determinantes para mejorar la calificación sensorial.

Estas prácticas favorecen una transición hacia modelos circulares y resilientes en sistemas cafeteros familiares, e incrementa el valor económico del sistema productivo, pues la eficiencia se logra mediante la optimización de recursos internos, como un proceso de intensificación ecológica, no mediante la sobreexplotación de externos (Pretty, 2008).

El componente social, como una de las dimensiones más débiles, indica que persisten brechas relevantes en aspectos sociales, tales como bajo nivel educativo, acceso limitado a servicios de salud para trabajadores rurales y escasa participación femenina en decisiones técnicas y comerciales. Esto concuerda con Risueño *et al.* (2016), quienes señalan que las dimensiones sociales suelen ser las más débiles en sistemas cafeteros pequeños y familiares.

En cuanto al componente económico, la comercialización directa y la vinculación institucional aparecen como factores determinantes para mejorar la sostenibilidad integral, lo cual concuerda con Oviedo y Castro (2021), quienes destacan que el acceso a redes comerciales diferenciadas incrementa la rentabilidad y favorece la adopción de prácticas sostenibles. A su vez, Criollo *et al.* (2016), quienes caracterizaron prácticas que influyen en la sostenibilidad de sus ecotipos de café, encontraron patrones de sostenibilidad similares, con fortalezas ambientales y desafíos socioeconómicos, aunque con particularidades propias de cada región y metodologías de evaluación diferente. Los sistemas cafeteros contribuyeron a la conservación del paisaje y la biodiversidad, un beneficio ambiental claro. Sin embargo, se indica que las ineficiencias y los altos costos productivos derivados de la falta de análisis de suelos, se presentan como limitaciones en la dimensión económica.

Los puntajes de calidad sensorial que oscilaron entre 78.7 y 85.8 reflejan variaciones en los atributos físico-químicos del grano. Según la SCA, los cafés que superan los 80 puntos son clasificados como cafés especiales, mientras que aquellos por debajo de este umbral se consideran comerciales o convencionales (SCA, 2023). La media general de 82.0 confirma que la mayoría de las fincas evaluadas producen café dentro de la categoría de especialidad, aunque con variaciones significativas entre grupos. Las fincas con puntajes superiores a 85, como la 11 y la 17, se ubican en el rango de cafés de alta especialidad. En contraste, el agrupamiento estadístico de fincas con puntajes altos (grupo a y ab) frente a fincas con

puntajes inferiores (grupo d) evidencian variación en las características del sistema productivo. Oliva *et al.* (2025) mencionan que esto puede deberse a variables asociadas a prácticas de manejo y condiciones ambientales, como manejo poscosecha, fertilización, selección de granos y técnicas de beneficio, que constituyen factores influyentes en la calidad sensorial del café y, por lo tanto, en las diferencias significativas observadas. Este patrón respalda la necesidad de considerar factores sistémicos de sostenibilidad y manejo técnico como determinantes de resultados sensoriales superiores. Estos resultados evidencian que, bajo la escala SCA, la caficultura de Pitalito presenta un potencial consolidado en cafés especiales, pero requiere fortalecer la gestión poscosecha y la trazabilidad para garantizar estabilidad en los puntajes sensoriales y acceder de manera sostenida a mercados diferenciados. La articulación con estándares como la SCA, permite no solo garantizar la calidad del producto mediante criterios estandarizados de aroma, sabor, acidez, cuerpo y balance, sino también generar confianza, lo cual juega un rol clave para agregar valor y obtener mayores precios, al ofrecer transparencia sobre cada fase desde la finca hasta la taza, asegurando que los atributos sensoriales reconocidos internacionalmente se mantengan consistentes y verificables (Fernández Anchundia *et al.*, 2025). La relación positiva encontrada entre sostenibilidad y calidad de taza coincide con estudios que muestran cómo las prácticas agroecológicas son claves en la calidad de la taza y la estabilidad económica. Sin embargo, es importante reconocer la limitación de la unidad experimental por el tamaño muestral ($n= 30$) y la falta de representatividad estadística general, ya que la muestra se enfocó en productores con trazabilidad en calidad del café, lo que puede sesgar los resultados hacia unidades más avanzadas. No obstante, el enfoque cualitativo-cuantitativo permite identificar patrones relevantes y proponer intervenciones técnicas y sociales basadas en evidencia, relevante para la discusión académica y práctica.

En síntesis, la combinación de acciones orientadas a la sostenibilidad, como la incorporación de energías limpias, la implementación de sistemas agroforestales y el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante compostaje, sumada a mecanismos de comercialización directa y la obtención de certificaciones internacionales, constituye un eje fundamental para elevar tanto la sostenibilidad integral, como la calidad sensorial del café. Estos resultados resaltan la necesidad de que productores y responsables de políticas públicas impulsen procesos de transición agroecológica, fomenten modelos de economía circular y fortalezcan el acceso a nichos de mercado especializados. Tales estrategias se perfilan como esenciales para garantizar la competitividad y la capacidad de adaptación de la caficultura en Pitalito y en otras regiones con condiciones similares.

Conclusiones

El análisis permitió identificar niveles desde moderados a altos de sostenibilidad, con un ISS promedio de 0.62 ± 0.04 y predominio de la dimensión ambiental (0.67 ± 0.04), sustentada en prácticas como el uso de biomasa, manejo agroforestal y compostaje. El ACP reveló que los principales factores asociados a la sostenibilidad integral incluyen certificaciones internacionales, diversidad de cultivos, calidad sensorial y acceso a mercados especializados. Además, se confirmó una correlación positiva moderada entre sostenibilidad y calidad, lo que sugiere que las buenas prácticas agrícolas mejoran el perfil organoléptico del café.

La evidencia confirma que la sostenibilidad y la calidad sensorial no son dimensiones independientes, sino componentes interrelacionados que, al integrarse, potencian la competitividad y la resiliencia de la caficultura. En consecuencia, se recomienda promover estrategias que fortalezcan la transición agroecológica, incentiven la economía circular y garanticen procesos poscosecha trazables bajo estándares internacionales como los de la SCA. Estas acciones pueden consolidar la posición del café de Pitalito en mercados especializados de alto valor, lo que contribuye al desarrollo sostenible de la región.

Agradecimientos

Agradecemos a los docentes de la Universidad de Manizales y de la Universidad Corhuila - Sede Neiva, por brindar el respaldo académico y formativo que hizo posible realizar este trabajo, el cual es resultado del proyecto de grado de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, y se desarrolló gracias al valioso programa de becas de la convocatoria 001, de septiembre 29 de 2022, denominada “Formación de capital humano de alto nivel que fortalezca los sectores priorizados en la agenda regional de productividad y competitividad del departamento Huila”, que fue ofertada en el marco de la ejecución del proyecto denominado “Formación de alto nivel para fortalecer los sectores priorizados en la agenda regional de productividad y competitividad y las demandas territoriales del departamento del Huila” BPIN 20200000100133. Esta oportunidad no solo fortaleció el desarrollo profesional, sino que también reafirmó el compromiso de la institución con la formación de talento regional con visión investigativa y socialmente comprometida.

Referencias

Agencia UNAL. (2022). *Innovación técnica y asociatividad, secreto de la producción cafetera en Pitalito*. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/innovacion-tecnica-y-asociatividad-secreto-de-la-produccion-cafetera-en-pitalito>

- Altieri, M. A.; Nicholls, C. I.; Henao, A. y Marcos, L. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 869-890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Andrade Arango, Y.; Castro Escobar, E. y Ramírez Ospina, D. E. (2021). Certificaciones e iniciativas de sostenibilidad en el sector cafetero: un análisis desde la auditoría ambiental en el departamento de Caldas, Colombia. *Contaduría y Administración*, 66(4), e2488. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-10422021000400103
- Bermeo-Andrade, H.; Bahamón-Monje, A. F.; Aragón-Calderón, R.; Beltrán-Vargas, Y. y Gutiérrez-Guzmán, N. (2020). Is coffee (*Coffea arabica* L.) quality related to a combined farmer-farm profile? *Sustainability*, 12(22), 9518. <https://doi.org/10.3390/su12229518>
- Cao, X.; Wu, H.; Viejo, C. G.; Dunshea, F. R. y Suleria, H. A. R. (2023). Effects of postharvest processing on aroma formation in roasted coffee. A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(3), 1007-1027. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16261>
- Carneiro, A. d. C. O.; Zanoncio, A. J. V.; Carvalho, A. G.; Jorge, J. A. C. G.; Dos Santos, R. J. C.; Demuner, I. F.; Peres, L. C.; Winter, S. G.; De Castro, V. R.; Branco-Vieira, M. y Araújo, S. d. O. (2025). Sustainable production of coffee husk pellets: Applying circular economy in waste management and renewable energy production. *Resources*, 14(2), 26. <https://doi.org/10.3390/resources14020026>
- Cerda, R.; Avelino, J.; Harvey, C. A.; Gary, C.; Tixier, P. y Allinne, C. (2020). Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection*, 134(105149), 105149. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105149>
- Criollo Velásquez, C. P.; Muñoz-Belalcázar, J. A. y Lagos-Burbano, T. C. (2020). Environmental offering and coffee cup quality (*Coffea arabica* L.) Var. Castillo in southern Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(2), 78-90. <https://doi.org/10.22267/rcia.203702.140>
- De Leijster, V.; Santos, M. J.; Wassen, M. W.; Camargo García, J. C.; Llorca Fernández, I.; Verkuil, L.; Scheper, A.; Steenhuis, M. y Verweij, P. A. (2021). Ecosystem services trajectories in coffee agroforestry in Colombia over 40 years. *Ecosystem Services*, 48(101246), 101246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101246>
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0081>
- Federación Nacional de Cafeteros - Cenicafé. (2023). *Informe anual de actividades de Cenicafé 2022*. FNC - Cenicafé.
- Fernández Anchundia, F. M.; Calderón Peña, E. D.; Chuquimarca Aigaje, E. J.; Llor Solórzano, R. G.; García Rodríguez, J. A. y Duicela Guambi, L. A. (2025). Evaluación sensorial de clones de café robusta amazónicos con los estándares SCA. *Revista ESPAMCIENCIA*, 16(1), 26-33. <https://doi.org/10.51260/1390597X.566>
- Fernández, Y.; Sotto, K. y Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/2333>
- Guhl, A. (2004). Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. *Cenicafé*, 55(1), 29-44. <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/5.Cafeycambiodepaisajeenlazonacafeteracolombiana1970-1997.pdf>

- Haro, N.; Meza-Mori, G.; Zuta López, J. L.; Pariente, E.; García Cruz, H. D.; Juárez-Contreras, L.; Coronel Castro, E.; Rivera López, R. Y. y Oliva-Cruz, M. (2025). Standardization of tree species in agroforestry systems of *Coffea arabica* L. at different altitudes in Amazonas, Peru. *Trees, Forests and People*, 20, 100878. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100878>
- Hernández-Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: Departamento del Huila*. IGAC.
- Marti, L. y Puertas, R. (2020). Assessment of sustainability using a synthetic index. *Environmental Impact Assessment Review*, 84(106375), 106375. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106375>
- Navarro Jurado, E. y Thiel Ellul, D. F. (2018). *Medición y análisis de la sostenibilidad: indicadores sintéticos a través de métodos multicriterio y su relación con el turismo en el litoral de Andalucía*. Editorial Síntesis.
- Oliva-Cruz, M.; Silva-Valqui, R. Y.; Santillán-Culquimboz, H.; Juárez-Contreras, L.; Oliva-Cruz, C.; Méndez-Fasabi, L. D.; Rojas Ventura, H. M. y Silva-Valqui, G. (2024a). Calidad sensorial del café (*Coffea arabica* L.): influencia de la diversidad arbórea y la segmentación de la cosecha en sistemas agroforestales. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101347. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101347>
- Ordóñez, H.; Navia, J. y Ballesteros, W. (2018). Tipificación de sistemas de producción de café en La Unión Nariño, Colombia. *Temas Agrarios*, 24(1), 53-65. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1779>
- Oviedo Celis, R. A. y Castro Escobar, E. S. (2021). Un análisis comparativo de la sostenibilidad de sistemas para la producción de café en fincas de Santander y Caldas, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2230. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2230
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491), 447-465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Puerta, G. I. y Pabón, J. (2018). Calidad física y sensorial del café cultivado en el paisaje cultural. *Cenicafé*, 69(1), 16-31. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1089>.
- R Core Team. (2023). *R: The R Project for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Risueño Solarte, M.; Findji, M. T.; Grass, J. F. y Montes, C. (2023). Elementos para el rediseño de estrategias de sostenibilidad con grupos de pequeños productores de café. *Sustainability*, 15 (20), 14805. <https://doi.org/10.3390/su152014805>
- Rodríguez Valencia, N. y Zambrano, D. A. (2010). *Los subproductos del café: fuente de energía renovable*. *Cenicafé* <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>
- Specialty Coffee Association. (2023). *Annual report 2023*. <https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/66184657ab60374c72e804a2/1712866910676/2023+SCA+Annual+Report+++Reduced+++Secured.pdf>
- Torrez, V.; Benavides-Frias, C.; Jacobi, J. y Speranza, C. I. (2023). Ecological quality as a coffee quality enhancer. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00874-z>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2022). *Innovación técnica y asociatividad, secreto de la producción cafetera en Pitalito*. Agronet. <https://agronet.gov.co/noticias/innovacion-tecnica-y-asociatividad-secreto-de-la-produccion-cafetera-en-pitalito>
- Uribe Trujillo, F.; Mesa Arboleda, H. F.; Solarte Pabón, L. H.; Bothía Manosalva, J. L.; Alfaro Robles, J. C. y Vanegas López, J. D. (2021). *Guía para la planificación predial participativa de fincas ganaderas*. CIPAV.
- Viana, G. S.; Santana, D. B.; Pereira, Ld. A.; Tieghi, H.; Da Silva, V. F.; Ayer, J. E. B.; Dias, D. F.; Soares, M. G.; Chagas-Paula, D. A.; Mincato, R. L. y Bueno, P. C. P. (2025). Association between higher coffee quality, bioactive chemical profile and sustainable practices. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1645329. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1645329>