

Gestión y sostenibilidad ambiental

Artículo de investigación científica y tecnológica

Un análisis comparativo de la sostenibilidad de sistemas para la producción de café en fincas de Santander y Caldas, Colombia

 Ricardo Andrés Oviedo-Celis^{1*},  Edison Stiven Castro-Escobar²

¹Universidad Industrial de Santander, Málaga. Colombia.

²Universidad de Manizales, Manizales. Colombia.

*Autor de correspondencia: Universidad Industrial de Santander. Calle 20 No. 6 – 20. Málaga, Colombia.
raovicel@correo.uis.edu.co

Editor temático: Judith del Carmen Martínez Atencia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 17 de septiembre de 2020

Aprobado: 12 de abril de 2021

Publicado: 28 de octubre de 2021

Para citar este artículo: Oviedo-Celis, R. A., & 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



Resumen

Los modelos para la producción de café en Colombia son variados como respuesta a la oferta ambiental de las regiones, donde son establecidos como principal actividad productiva rural. Se analizaron, las condiciones de sostenibilidad en las dimensiones económica, ambiental, social y técnica, del sistema agroforestal, asocio con otros cultivos, y monocultivo, en 1 municipio de Santander y 5 municipios del departamento de Caldas. La información fue obtenida de entrevistas directas a 81 productores, y procesada mediante análisis estadístico descriptivo y clúster, que definió la escala de valoración de sostenibilidad. Los resultados indican que el modelo agroforestal impacta en la rentabilidad y productividad del cultivo, en comparación con los otros dos modelos, mostrando incluso, que este, siendo menos sostenible técnica y económicamente, tiene condiciones de sostenibilidad favorables en los indicadores ambientales, estratégicos para la adaptación y mitigación al cambio climático en las regiones.

Palabras clave: agricultura sostenible, desarrollo rural, explotación agrícola familiar, industria cafetera, sistemas de producción

A comparative analysis of the sustainability of coffee production system in farms of Santander and Caldas, Colombia

Abstract

The approaches for coffee production in Colombia are diverse in response to the environmental offer of the regions where they are established as the main rural productive activity. Sustainability conditions in economic, environmental, social, and technical dimensions of an agroforestry system in association with other crops and monoculture were analyzed in one municipality of Santander and five municipalities of the department of Caldas. The information was obtained from direct interviews with 81 producers and processed through descriptive statistical and cluster analyses to define the sustainability assessment scale. The results indicate that the agroforestry model impacts the profitability and productivity of the crop compared to the other two models, showing that even being less sustainable in technical and economic terms, it has favorable sustainability conditions in environmental indicators, strategic for climate change adaptation and mitigation in the regions.

Keywords: coffee industry, family farm, production systems, rural development, sustainable agriculture

Introducción

La tendencia global de crecimiento poblacional no solo representa un aumento de habitantes y ocupación de espacio, implica también el mayor uso de recursos naturales, necesarios para cubrir la demanda nutricional de origen vegetal y animal en los territorios (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019). Este escenario poblacional, demandará mayor extracción de materias primas naturales y energéticas que son limitadas, colocando en riesgo los ecosistemas y la sostenibilidad intergeneracional del planeta (Montes & Sala, 2007). Los temas ambientales como preocupación del contexto mundial surgen en los años ochenta, época que marcó el inicio de las discusiones en torno a la forma en que la humanidad debía establecer un vínculo diferente de uso y manejo de las materias primas naturales disponibles en el planeta. Para finales de esta década, surge el concepto de Desarrollo Sostenible (DS) entendido como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987, p. 59).

Posterior a su introducción, se incrementa la frecuencia y cantidad de espacios globales gubernamentales donde el DS es el centro de discusiones orientadas a establecer nuevos lineamientos para su materialización, mediante instrumentos como la Agenda 21, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); estos últimos actualmente vigentes y sobre los cuales se proyecta la sostenibilidad a escalas diferentes del territorio (Rodríguez, 2018; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2015). Este marco de actuación reconoce el impacto generado por los modelos actuales de alta mecanización en la producción, caracterizados por el incremento de emisiones de gases efecto invernadero, la pérdida de fauna silvestre, erosión, desertificación, salinización del suelo, deforestación y contaminación de fuentes hídricas, que impactan no solo en la agricultura, sino también de forma secuencial en los demás pilares de sostenibilidad (García et al., 2012; Marín et al., 2008). En este contexto, la agricultura sustentable implementada mediante sistemas de producción rural integral invierte el panorama, aprovechando los recursos naturales de manera óptima, al tiempo que se disminuye el impacto ambiental, fortaleciendo el tejido social y la dinámica económica local (Mazuela, 2011; Osorio, 2008).

Los sistemas agroforestales son uno de esos modelos productivos de uso del suelo que han contribuido al desarrollo agrícola y forestal, en zonas tropicales donde la oferta ambiental es escasa, y donde el impacto antrópico ha reducido el potencial productivo del suelo. Estos modelos “son sistemas de uso de la tierra con interacciones de árboles y cultivos, practicados durante miles de años, y tradicionalmente han sido elementos importantes del paisaje agrícola en las regiones tropicales y templadas de todo el mundo” (Farfán, 2014, p. 25). La existencia de estos modelos en comunidades rurales es de origen ancestral, combina los elementos arbóreos, pecuarios y agrícolas disponibles en las fincas, para satisfacer necesidades básicas como la alimentación y disponibilidad en recursos económicos (López, 2010). En otras palabras, se trata de sistemas basados en la aplicación de técnicas de uso del suelo, que integran en una misma unidad productiva especies leñosas perennes, agrícolas transitorias y pecuarias, de forma simultánea o secuencial, a fin de lograr la utilización integral de los recursos naturales en la búsqueda de condiciones favorables de productividad y rentabilidad para las actividades comerciales de familias rurales, ubicadas en zonas donde las condiciones del clima son

cambiantes (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2019; Navia et al., 2003). El establecimiento de sistemas agroforestales presenta variaciones que han permitido su evolución como respuesta a cambios en el sector rural, producto de las experiencias propias de los agricultores, y la disponibilidad de recursos (Bannister & Nair, 2003, citados por Marlay, 2015).

El cultivo de café, *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) en Colombia, es la base económica para 660.000 familias que lo producen en 600 municipios y 20 departamentos. En la actualidad el área sembrada supera las 853.698 ha, establecidas principalmente con las variedades Castillo, Colombia, Caturra, Típica, Borbón, Tabí, Maragogipe y Catuai; con una producción de 14.572 sacos de 60 kg (Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2020). En algunas zonas los sistemas agroforestales con café se han implementado como un modelo que permite la producción del grano en condiciones de escasez hídrica, o donde los suelos son altamente erodables. Para el caso colombiano, la agroforestería ha sido común en regiones donde la producción de cacao y café es la base de la economía rural. Esta alternativa de uso del suelo favorece la protección de los recursos naturales, reduce la dependencia de insumos agrícolas, permite ahorros en los costos de producción, pero también implica en algunos casos menores tasas de rentabilidad (DaMatta & Rodríguez, 2007). Como característica común de este sistema, se reconoce el establecimiento del café con distancias no estandarizadas, aunque en algunas fincas es posible encontrar cultivos sin trazado (Ordóñez et al., 2018).

Santander es uno de los departamentos donde la actividad cafetera ha sido importante como región de la economía y la tradición cultural; su cultivo está presente en 75 municipios donde 32.442 cafeteros lo desarrollan en 37.820 fincas, alcanzando un área total establecida de 51.196 ha (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC], 2020). El área cafetera del departamento se caracteriza por estar en un 97 % tecnificada (FNC, 2020), empleando variedades resistentes a la roya *Hemileia vastatrix*, en asocio con especies arbóreas que contribuyen al equilibrio ecológico favoreciendo la conservación de la biodiversidad, la regulación climática, la protección del suelo y la regulación de caudales; con lo cual, se convierten en una valiosa forma de aprovechamiento del suelo en la región Oriental del país (FNC, 2007).

Se estima que la producción bajo este sistema agroforestal ha tenido resultados importantes en materia ambiental en el departamento, máxime cuando en Colombia se han promovido esquemas de alta productividad en café como los monocultivos a plena exposición, característicos de la región Andina central en departamentos como Caldas, donde la densidad de siembra tiene un rango de 6.000 a 10.000 plantas/ha (Farfán, 2014; Ordóñez et al., 2018). Aunque los monocultivos pueden tener resultados favorables en términos económicos para pequeños y medianos productores (Fernández et al., 2020), estarían afectando las condiciones ecosistémicas de la biodiversidad, y reduciendo los servicios ambientales que contribuyen al soporte de la vida (Guhl, 2004). Sin embargo, no es claro cómo el sistema de producción, y otros factores asociados al cultivo del café, influyen en las condiciones de sostenibilidad del negocio cafetero a escala de finca, en los dos departamentos mencionados. Por esta razón, el objeto del estudio es analizar el panorama de sostenibilidad en algunas localidades de Santander y Caldas, donde la caficultura es desarrollada bajo 3 modelos de producción. Se propone un análisis comparativo entre los 3 modelos, a partir de la caracterización de propietarios y unidades

productivas, y de las condiciones de producción en aspectos, económicos, ambientales, sociales y técnicos. Los resultados aportan elementos que contribuyen a la discusión en torno a los retos que tienen la caficultura y los modelos de producción en las regiones, para ser un referente de sostenibilidad en cada una de las unidades de producción rural, donde son la base y sustento del núcleo familiar.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos regiones de Colombia con tradición cafetera, una localizada en el departamento de Santander en fincas del municipio de Zapatoca, vereda la Guayana ubicada a 06°46'08"N y 73°18'28"O, sobre 1.743 m s.n.m., precipitación promedio 1.300 mm, temperatura 18,8 °C y brillo solar 5,3 h/luz/día. Los suelos predominantes corresponden a Andisoles, típicos de la región andina oriental, caracterizados por fuentes pendientes y alto porcentaje de materia orgánica, frecuentes para usos agrícolas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2014). El paisaje rural lo configuran coberturas agrícolas, bosques altoandinos y algunas áreas destinadas para ganadería. En el departamento de Caldas las fincas estudiadas se localizan en cinco municipios: Aguadas, ubicado a 05°36'33"N y 75°28'28"O, sobre 1.935 m s.n.m., 1.500 mm de precipitación, y 14,7 °C de temperatura media; Samaná a 05°24'47"N y 74°59'29"O, 1743 m s.n.m., 1.800 mm y 14,7 °C; Pacora a 05°32'09"N y 75°28'50"O, 1.792 m s.n.m., 1.500 mm y 14,7 °C; La Merced a 05°24'00"N y 75°32'44"O, 1.781 m s.n.m., 1.270 mm y 20 °C; y Marmato a 05°32'09"N y 75°28'50"O, 1.792 m s.n.m., 1.500 mm y 14,7 °C de temperatura. Los suelos son de origen ígneo, aptos para el desarrollo de la caficultura y otros cultivos agrícolas transitorios o permanentes (IGAC, 2014), la topografía en los cinco municipios es quebrada a ondulada, siendo los mosaicos del cultivos y áreas naturales, pastos y bosques altoandinos las coberturas que tipifican el paisaje de la región (figura 1).

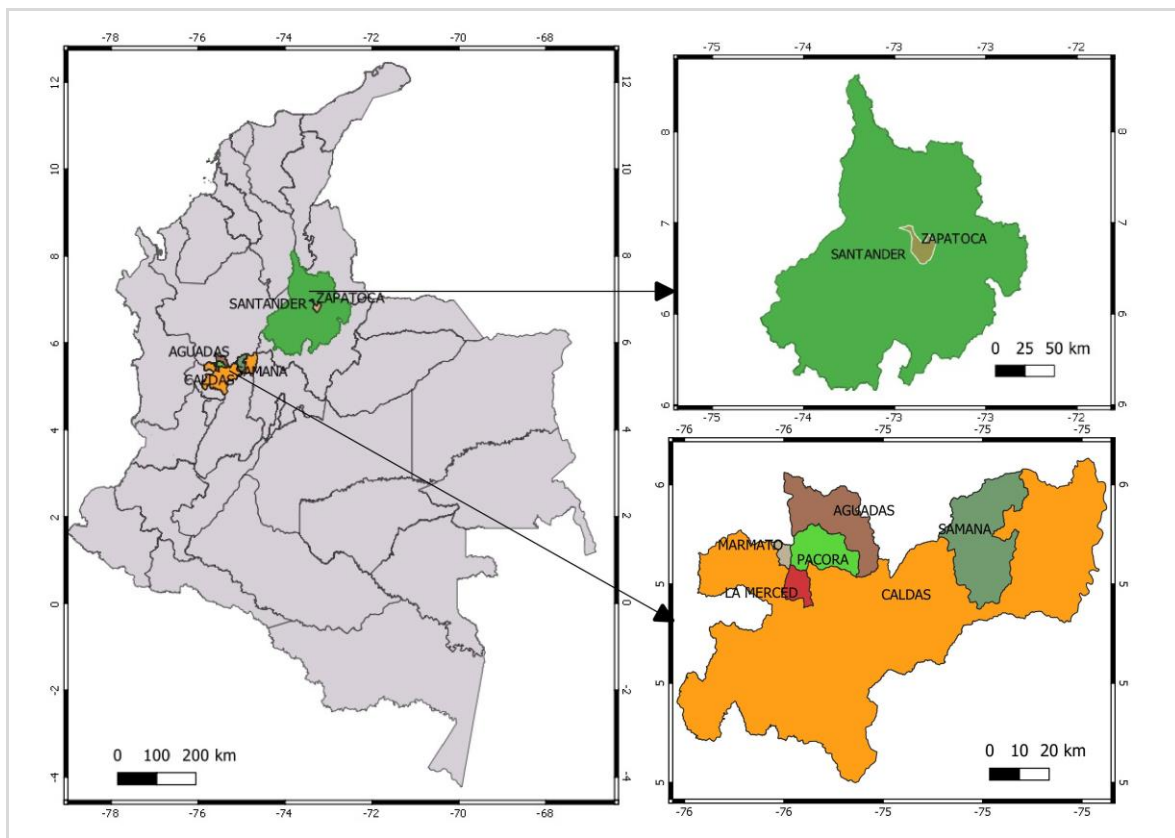


Figura 1. Localización área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Selección muestra

Para Zapatoca el sistema de muestreo empleado fue simple al azar, con un 95 % de confiabilidad, y un error de muestreo igual a 5 %. El tamaño muestra se calculó a partir de la ecuación propuesta por Murray y Larry (2005), para una población finita conformada por 58 fincas, de las cuales 32 fueron seleccionadas. La información recolectada fue comparada con una muestra de 49 fincas de Caldas. En este caso, no se siguieron los mismos parámetros técnicos de muestreo, por ser una prueba piloto del proyecto de investigación de la Universidad de Manizales sobre el “Análisis de prácticas sostenibles bajo estándares de calidad en la producción de café en Caldas”, a partir del cual se siguieron los lineamientos metodológicos y las técnicas de análisis.

$$n = \frac{Z^2 N.p.q}{i^2 (N - 1) + Z^2.p.q}$$

Ecuación 1

Donde:

n : tamaño de muestra

N : tamaño de la población

Z : para 95% = 1,96

p : probabilidad de éxito 95% = 0,95

q : $1 - p = 0,05$

$\hat{\alpha}$: error 5 % = 0,05

Indicadores de análisis

El instrumento de campo aplicado fue estructurado en cuatro dimensiones que permitieron caracterizar el productor, las fincas y las prácticas sostenibles más comunes en la caficultura colombiana, descritas por Castro (2014), y Andrade y Castro (2014). Los indicadores de sostenibilidad seleccionados para cada dimensión (tabla 1), se analizaron bajo tres parámetros de segmentación: 1) departamento, 2) sistema productivo y 3) asistencia técnica. En el primero, se consideran las diferencias técnicas de la caficultura que existen entre Caldas y Santander; en el segundo, se compararon el sistema agroforestal, cultivo en asocio y monocultivo. Para el caso del agroforestal se espera un aprovechamiento potencial del suelo inferior al 33 % en café (distancias de siembra 1,8 m $\times$ 1,5 m); el sistema en asocio con otros cultivos o especies maderables puede tener un aprovechamiento potencial del suelo entre el 33 % y 70 % en café (distancias de siembra 1,5 m $\times$ 1,5 m); y para el monocultivo las densidades de siembra permiten un aprovechamiento potencial del suelo por encima del 70 % en café (distancias de siembra de 1,3 m $\times$ 1,3 m). Como indicador relevante de la dimensión ambiental se cuantificó la captura de carbono que realizan las especies arbóreas en su biomasa aérea en los tres sistemas, el estudio solo tuvo en cuenta este compartimiento de los sistemas en los individuos con un diámetro a la altura de pecho (DAP) > 10 cm y altura > 5 m, sin desconocer como las plantas de café que lo conforman, generan igualmente aportes como sumideros. Finalmente, en el tercer parámetro de segmentación se tomó en cuenta si el productor recibe o no, asistencia técnica.

Tabla 1. Indicadores de sostenibilidad

Dimensión	Indicador	Descripción
Económica	Costos de producción	Estimación del productor por arroba
	Rentabilidad económica	Ingresos - Costos por arroba
	Percepción sobre precio de venta	Valoración del productor (escala Likert)
	Intermediación comercial	Tipo de comprador a quien se vende el café
	Facilidad de comercialización	Tiempo para llevar el café al punto de venta
	Diversificación del ingreso	Productos comerciables diferentes al café
Ambiental	Cantidad de bosques y guaduales	Áreas con cobertura boscosa (escala Likert)
	Diversidad de especies para sombrío	Número de especies para sombra del café
	Diversidad de fauna silvestre	Percepción sobre presencia de especies de fauna silvestre en la finca (escala Likert)
	Protección de fauna silvestre	Cacería de fauna silvestre (escala Likert)
	Erosión	Porcentaje de área erosionada en la finca
	Cobertura del suelo	Porcentaje de cobertura del suelo en la finca
	Manejo de malezas	Tipo de prácticas para el control de malezas en lotes de café
	Manejo de residuos sólidos	Prácticas de disposición de basuras en la finca
	Manejo de aguas residuales	Tipo de estructura para disposición de aguas residuales domésticas y de beneficio del café
	Cuidado agua	Presencia de cercas vivas en la finca
	Ronda hídrica	Distancia de los cultivos a los cuerpos de agua
	Captura de carbono	Potencial de almacenamiento de carbono de las especies de sombrío estimado a partir de ecuaciones alométricas
Social	Relevo generacional	Promedio de edad del productor de café
	Condiciones vivienda	Percepción sobre nivel de habitabilidad de la vivienda en la finca (escala Likert)
	Combustible	Tipo de combustible empleado al cocinar
	Agua segura	Fuente de abastecimiento del agua para consumo doméstico y beneficio del café
	Abastecimiento de agua	Disponibilidad recurso hídrico (escala Likert)
	Seguridad social	Afiliación al sistema de salud y pensión por parte del productor
	Pago de salarios	Brecha del pago de jornales en la finca y vereda
	Grado de asociatividad	Participación en agremiaciones de productores
Técnico	Manejo de registros	Control de ingresos y gastos
	Edad del café	Promedio de edad del café
	Beneficio del café	Tipo de beneficiadero en la finca
	Potencial productivo	Potencial de árboles en producción (3 a 8 años) según total de árboles de café en la finca
	Densidad de siembra	Número de plantas/ha
	Diversificación de cultivos	Porcentaje de usos del suelo en otros cultivos
	Calidad del café	Porcentaje de pasilla
	Producción	Promedio producción en últimos 3 años (arroba/ha)

Fuente: Elaboración propia

El índice sintético del panorama de sostenibilidad se determinó a partir del promedio de los indicadores de la tabla 1, cuyos valores se estimaron en el paquete estadístico *Data Analysis Statistical Software*

(STATA), empleando el comando Análisis Clúster (k), método utilizado para la formación de grupos de unidades básicas, con características similares a partir de las similitudes o disimilitudes que se presentan entre pares de estas unidades (Johnson, 1998, citado por Núñez & Escobedo, 2011). De esta forma se obtuvo la escala de valoración (1 a 5), que definió el nivel de sostenibilidad esperado en cada una de las cuatro dimensiones (tabla 2), y que posteriormente se graficó en diagramas de radar o ameba que permitieron hacer comparaciones del comportamiento de los indicadores en cada una de las dimensiones por parámetros de segmentación.

Tabla 2. Escala de valoración indicadores de sostenibilidad

Nivel de Sostenibilidad	Valor
Sostenibilidad alta	5
Sostenibilidad moderada	4
Sostenibilidad media	3
Sostenibilidad baja	2
No sostenible	1

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Caracterización de propietarios y unidades productivas

La caficultura de los municipios estudiados es liderada en un 85,5 % por hombres, quienes figuran como cabezas de hogar y principales administradores de la finca, tendencia similar reportan para Santander Trejos et al. (2011) sobre una participación en relación 3:1 (hombres – mujeres) en hogares cafeteros. A nivel nacional, (Perfetti, 2014) indica que la figura de jefe en hogares rurales es en mayor proporción masculina, limitando el rol de la mujer solo a labores de hogar, reduciendo la capacidad de decisión en los aspectos administrativos, que terminan influyendo sobre los económicos (Rodríguez, 2013). Los núcleos familiares presentaron similitud en la cantidad de miembros que los conforman con un promedio de 4 personas distribuidas en dos padres y dos hijos (hogares nucleares). La tenencia de la tierra en Santander y Caldas es en mayor proporción de propietarios con el 81,2 % y 89,7 %, respectivamente; otras formas de tenencia como administrador y agregado no son comunes en los dos departamentos, considerando que en ambas regiones no predomina el minifundio. Los valores mantienen coherencia respecto de los resultados del Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2014, que identifica en la relación de tenencia de la tierra a la figura de propietario-productor, a nivel nacional con

el 72,7 %, valor que aumentó en comparación con los resultados obtenidos en el CNA de 1970 donde fue del 68,7 % (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] 2014).

Las fincas en Santander tienen en promedio 9 ha, de éstas el 37 % se destina al cultivo de café, mientras en Caldas las fincas tienen una media de 6 ha, de las cuales el 25 % se usa para caficultura. Esta relación entre área total y área en caficultura se da de forma similar al sur del departamento del Tolima, en las cuencas de los ríos Ponce y Chinchiná donde los predios no superan las 5 ha, de las cuales 3,5 ha son para café (Moreno & Osorio, 2017; Turbay et al., 2014). Reportes de FNC (2007), señalan que los predios rurales con un área promedio similar, representan el 3,6 % de las fincas cafeteras del país, las cuales concentran el 15,8 % de la producción nacional de café. Según la clasificación de Aristizabal y Duque (2008), las fincas estudiadas no son consideradas como minifundios ya que superan las 3 ha; sin embargo, coinciden en que su manejo se lleva a cabo por el núcleo familiar que no solo desarrolla el cultivo del café, sino que se complementa con los cultivos de pancoger, u otros cultivos establecidos en asocio en el área restante de la finca, por ejemplo, plátano, aguacate, cítricos, pastos y frutales (figura 2).

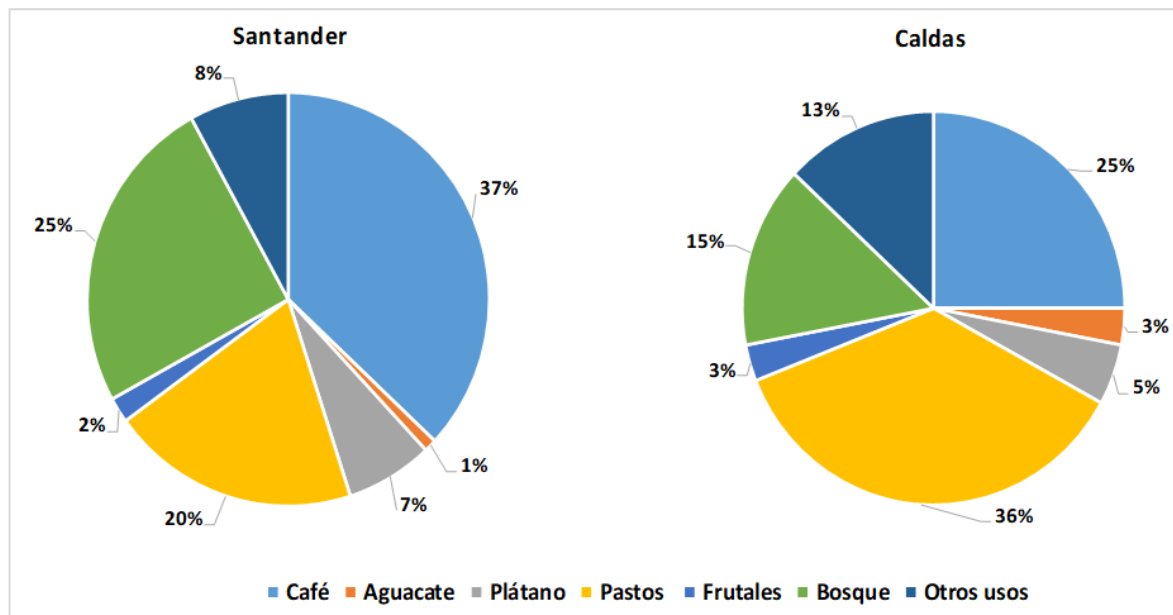


Figura 2. Distribución del área de las fincas.

Fuente: Elaboración propia

Una situación similar es reportada por Figueroa (2016) en el municipio Linares (Nariño), donde familias cafeteras recurren a otras actividades para complementar ingresos y poder sobrevivir, tales como fabricación de sombreros, cría de animales, ventas de alimentos procesados y trabajos a jornal en fincas vecinas entre otros. Estas actividades agrícolas permiten a las familias disponer de nuevos ingresos, suplir necesidades económicas y personales, además de mejorar condiciones de autosuficiencia, logrando la estabilidad y seguridad alimentaria de sus integrantes, siendo fundamental que dichas

actividades se mantengan como transversales al cultivo de café (Ponce et al., 2018). El sistema productivo empleado en Santander se distribuye de forma equitativa en agroforestería 50 % y asocio con otros cultivos 50 %, el monocultivo no es una alternativa para la caficultura en esta zona de la región Andina, donde periodos largos y relativamente secos combinados con alta radiación solar, hacen que el cultivo solo sea posible bajo sombra (Guhl, 2009). En el departamento de Caldas el monocultivo representa el 96 % del área cultivada en café, y el 4 % restante de las fincas emplean el sistema de asocio.

Panorama de sostenibilidad

Dimensión económica

Esta dimensión analizó 6 indicadores que establecen el comportamiento de las fincas en aspectos de rentabilidad, comercialización y costos, entre otros elementos importantes de la actividad productiva en los dos departamentos estudiados (figuras 3 y 4). Santander presentó valores de sostenibilidad media en intermediación comercial (3,9), costos de producción (3,5), rentabilidad del cultivo (3,1) y la percepción de precios de venta (3,0). Por su parte Caldas mostró un comportamiento menor en costos de producción (2,8), indicador relacionado con el valor de insumos y el pago de jornales, que son fijos o variables según los requerimientos del cultivo en el transcurso del año, generando diferencias en cada una de las regiones cafeteras. En Caldas, Ospina et al. (2003), determinaron que los costos fijos (CF) y costos unitarios (CU) son mayores en fincas en proceso de transición a producción orgánica, que en aquellas que tienen una producción convencional; siendo la causa del costo adicional la certificación que deben asumir las primeras. Las fincas orgánicas en Santander presentan un CF del 28 % y CU del 8,2 % que son superiores a los costos en fincas convencionales (Ospina et al., 2003), valores asociados a una mayor densidad de plantas por ha, adecuación de infraestructura según requerimientos de las certificadoras, y a las condiciones demográficas que influyen en la productividad de las fincas; los demás indicadores presentan diferencias mínimas. La facilidad para comercializar el café en Caldas tiene un mejor comportamiento (3,0), situación que se debe a mejores condiciones de interconexión vial, mejorando la movilidad de vehículos y demás formas de entrega del producto a los centros de comercialización, disponibles por entidades como cooperativas de caficultores y compradores independientes en los municipios; de igual forma el indicador está asociado al menor tamaño del departamento, siendo Caldas apenas el 25,8 % de la extensión de Santander.

Ambos departamentos se clasifican en sostenibilidad baja, respecto a la diversificación del ingreso, confirmando la dependencia que tienen los productores del café, siendo este un aspecto que afecta la estabilidad económica al interior del núcleo familiar, ya que los retornos del café se concentran en las temporadas de cosecha, según Aguirre et al. (2016), esta condición compromete en algunas regiones la subsistencia o permanencia productiva de las fincas, aumentando la dependencia de ingresos externos, que permitan mantener la estructura y formas de organización de las familias cafeteras. En este sentido, se considera que el uso del suelo no es totalmente aprovechable en las fincas, teniendo cuenta que en promedio el 50 % de estas tiene establecidos otros cultivos, que no aportan significativamente ingresos de reserva durante el año, exceptuando cultivo de plátano. El comportamiento general de la dimensión

económica por departamento, valida los resultados obtenidos por Villavicencio (2012), sobre la influencia que tienen los medios de transporte rural y los escasos mecanismos de comercialización en la cadena de valor del cultivo; aspectos comunes en los municipios objeto de estudio, generando que los productores se adapten a las ofertas locales de venta del producto, en condiciones no favorables en la mayoría de los casos, restando así valor agregado a la actividad productiva (figura 3).

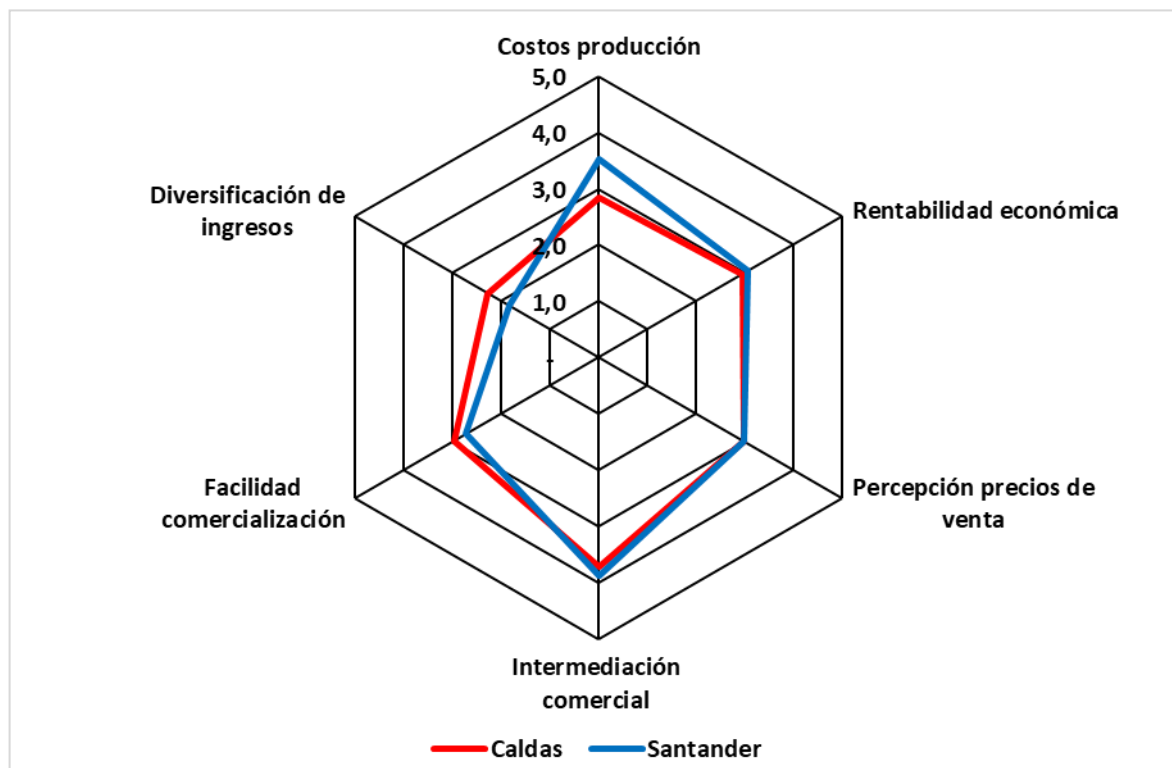


Figura 3. Resultados análisis de la sostenibilidad económica en fincas cafeteras en los departamentos de Caldas y Santander (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

El análisis por sistemas productivos permitió identificar que el agroforestal genera condiciones de sostenibilidad moderada en intermediación comercial (4,0) y media para costos de producción (3,7); los demás indicadores muestran un panorama de sostenibilidad baja, siendo la diversificación de ingresos, el que menor valor registra (2,0). El sistema de asocio, supera al agroforestal a nivel de percepción de precios (3,2) y rentabilidad económica (3,2); sin embargo, costos de producción (3,4) e intermediación comercial (3,6) son menores. Para el monocultivo los indicadores de intermediación comercial (3,8), percepción precios de venta (3,0), rentabilidad económica (3,0) y facilidad de comercialización (3,0), lo ubican en un nivel de sostenibilidad media. Este sistema, presentó valoraciones de sostenibilidad baja en costos de producción (2,8) al igual que en la diversificación de ingresos (2,3). En términos generales, los tres sistemas tienen un patrón de comportamiento similar, ya que no se hallaron diferencias que permitan sugerir en términos económicos, cuál sería más sostenible. Sin embargo, se destaca el impacto

positivo sobre los costos de producción de los modelos agroforestal y en asocio, donde las condiciones fitosanitarias favorecen la calidad, cantidad y precio del grano en épocas de recolección (Turbay et al., 2014).

Respecto de la diversificación de ingresos, en Caldas, aunque exista una mayor área de la finca en monocultivo, la destinada a pastos, aguacate y frutales (figura 2) le permite al propietario complementar ingresos con cosechas periódicas en el transcurso del año; de esta forma los productores de esta zona del país adaptan diferentes mecanismos que les posibilitan establecer acciones de manejo administrativo eficientes, y evitar así riesgos económicos (Aristizabal & Duque, 2008). En Santander, donde predominan los sistemas agroforestal y en asocio, esto no implica que las fincas tengan mejores ingresos de otros productos, debido básicamente a que solo se cuenta con especies maderables cuya función es el sombrío, y no la comercialización ni transformación de la madera o subproductos de los árboles; sin embargo, cuando el sombrío lo conforman especies de alto valor comercial el ingreso puede incrementarse (Villavicencio, 2012), siendo este el caso de *Cedrela odorata* L. (figura 4).

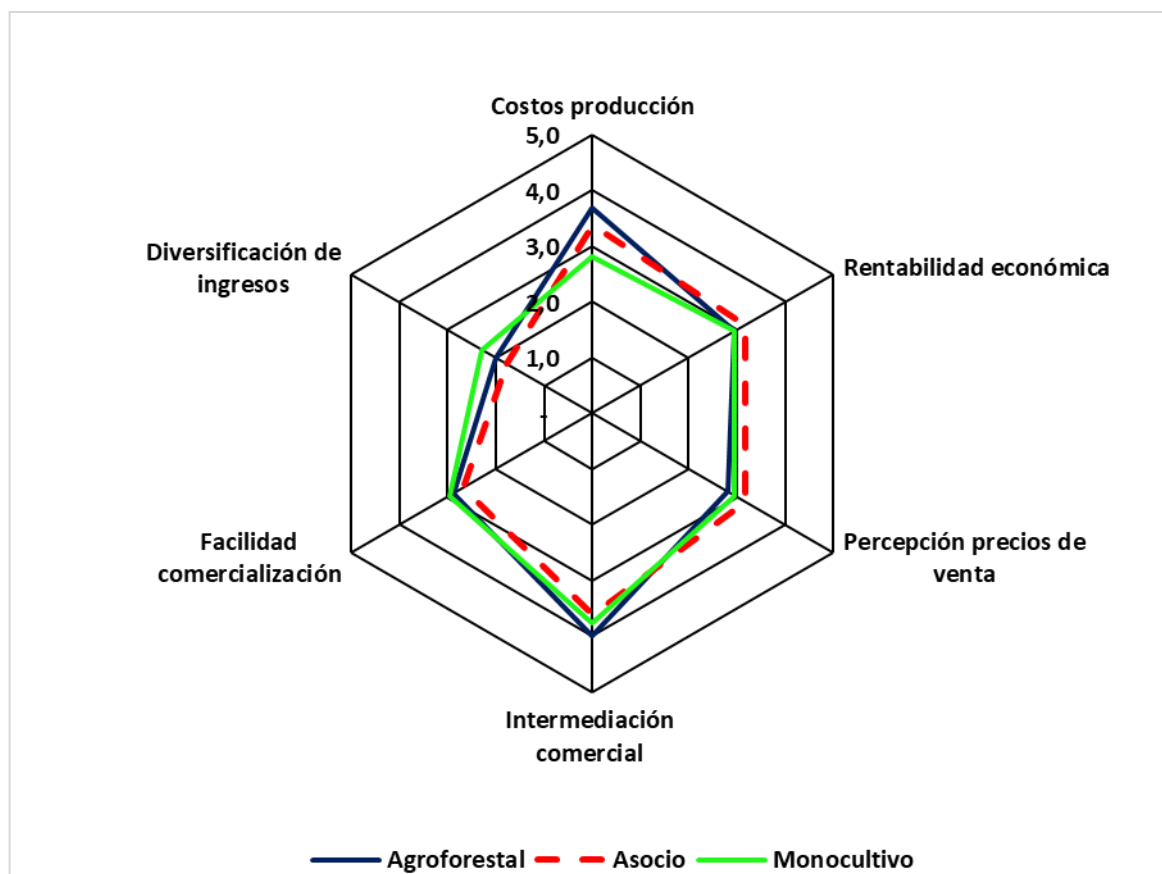


Figura 4. Resultados análisis de la sostenibilidad económica en fincas cafeteras por sistema de producción.

Fuente: Elaboración propia

Los productores en los departamentos cuentan con servicio de asistencia técnica prestado por instituciones como el gremio cafetero y las administraciones municipales. En este sentido, la cobertura en Caldas es del 85 %, y en Santander lo reciben el 90 % de los caficultores en las fincas estudiadas. Este nivel de cobertura favorece la interacción entre las entidades y los caficultores, sin embargo, los retos para mejorar la administración y tecnificación de los predios rurales, aun demanda que estos servicios tengan mayor impacto, de tal forma que la agricultura no quede reducida solo a la producción de cosechas en las fincas (Perfetti et al., 2013).

La asistencia técnica recibida, sin tener en cuenta la entidad que la realiza, mostró que las unidades productivas donde se tiene este tipo de acompañamiento son más sostenibles respecto de los costos de producción (3,3), la rentabilidad económica (3,2), la percepción de precios de venta (3,0) y la intermediación comercial (3,9); valores que permiten agruparlas en un nivel medio de sostenibilidad. No obstante, la diversificación de ingresos fue un indicador clasificado como bajo (2,0), aun para fincas con asistencia técnica, lo cual se explica por el enfoque del acompañamiento técnico, que no tiene alcance en los demás usos del suelo en los predios. En cuanto a la sostenibilidad, solamente la intermediación comercial muestra una valoración media (3,2) comparando con unidades productivas que reciben asistencia técnica, ya que los productores tienen mayor posibilidad de generar mecanismos de comunicación con empresas o asociaciones, que cuentan con personal para procesos de acompañamiento en la comercialización. Sin embargo, en la mayoría de los casos los productores están condicionados a certificaciones que terminan incrementando los niveles de inversión en infraestructura, limitando el acceso en función de la disponibilidad de recursos (Guhl, 2009), sin que exista claridad en los tiempos de retorno de los mismos. En términos generales, los resultados indican que las fincas que cuentan con acompañamiento técnico pueden tener condiciones de sostenibilidad media, siendo este un referente para reformular las estrategias de acercamiento a los caficultores, y lograr mejores escenarios en los indicadores analizados.

Dimensión ambiental

Esta dimensión expresa la relación constante de las acciones antrópicas con el patrimonio ambiental, soportada en el potencial de los agroecosistemas de generar bienes y servicios, que deben ser objeto de valoración por parte de la sociedad en un marco de responsabilidad cultural con el medio ambiente (Vega, 2013). Para el caso de las fincas estudiadas, en seis de los doce indicadores, Santander tiene un comportamiento alto en términos de sostenibilidad comparado con Caldas, especialmente en las categorías de cuidado del agua (5,0), cantidad de bosques y guaduales (4,8), protección de fauna silvestre (4,8), diversidad de especies de fauna (4,6), captura de carbono (4,5) y ronda hídrica (4,4); valores que ubican a la vereda Guayana en un rango de moderado a altamente sostenible.

Este escenario de la caficultura en Santander reafirma la importancia de incrementar las áreas sembradas bajo el modelo actual, sobre bases agroecológicas que impacten de forma favorable en la protección y conservación del patrimonio ambiental (Ponce et al., 2018). Sin embargo, indicadores como: cobertura del suelo (3,9), erosión (3,1), diversidad de especies para sombrío (3,0) y manejo de malezas (3,0), lo ubican como medianamente sostenible. El manejo del agua residual y basuras en las

fincas presentan el comportamiento más bajo para la dimensión (2,6), lo que se asocia a la ausencia de infraestructura para la disposición de aguas domésticas y del beneficio del café (en Santander solo el 51 % de las fincas tienen un sistema de pozo séptico que permita el tratamiento de aguas negras domesticas); aspectos que influyen sobre la calidad del recurso en los cuerpos de agua donde finalmente llegan los vertimientos de aguas residuales domésticas, mal tratadas o sin tratar (FNC, 2011).

En Caldas la dimensión ambiental mostró mejores resultados respecto a la erosión (4,5) y el manejo de malezas (3,6), basuras (3,3) y agua residual (3,0); sin embargo, su nivel de sostenibilidad es medio. La captura de carbono como servicio ambiental (1,9) fue el indicador con menor valoración, hecho que tiene relación directa con el tipo, estructura y composición del sistema productivo empleado (figura 5).

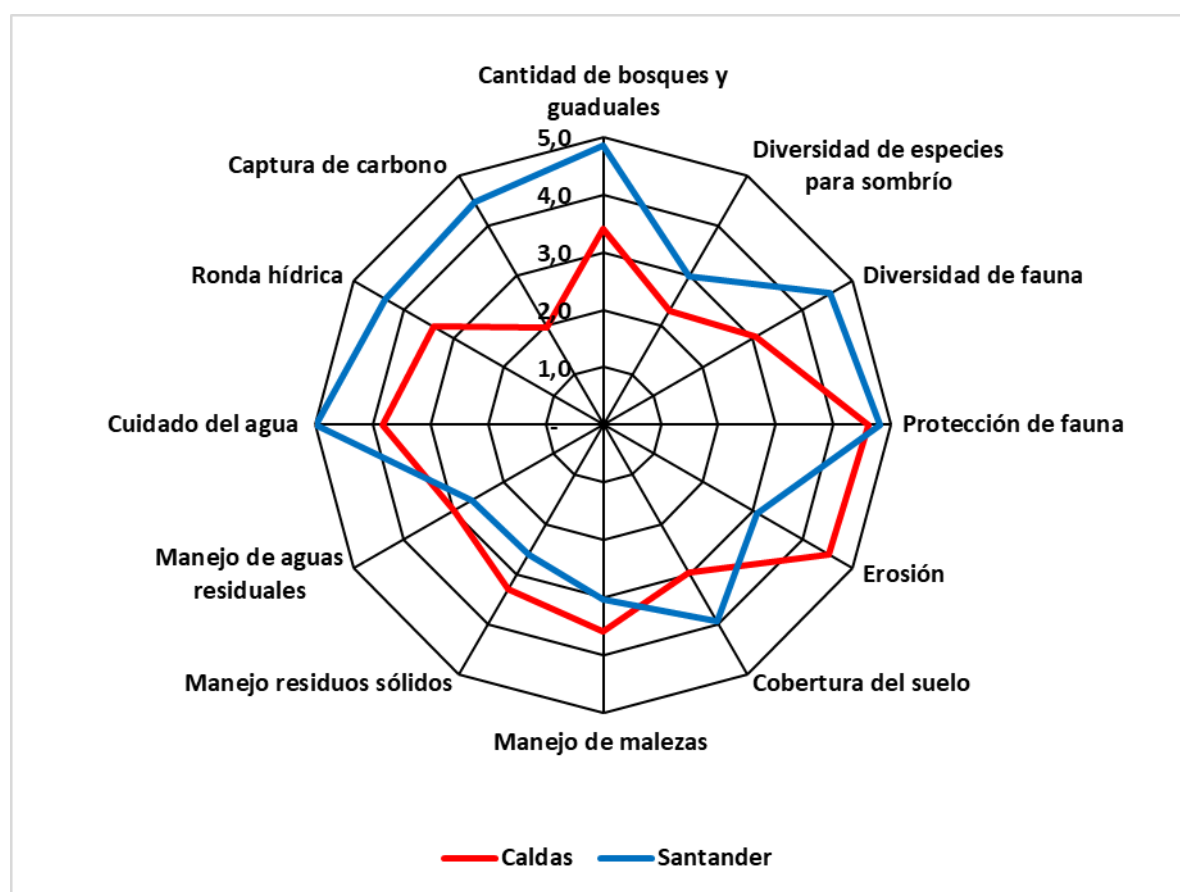


Figura 5. Resultados análisis de la sostenibilidad ambiental en fincas cafeteras en los departamentos Caldas y Santander (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

El análisis según el tipo sistema productivo implementado en las fincas, mantiene un comportamiento similar al mostrado por departamentos; ninguno de los tres sistemas definidos para el estudio, tiene la totalidad de los indicadores sobre valores altos. Sin embargo, los valores obtenidos por el sistema

agroforestal en relación con el cuidado del agua (5,0), protección de fauna silvestre (4,9), cantidad de bosques y guaduales (4,7), captura de carbono (4,9), ronda hídrica (4,8) y diversidad de fauna silvestre (4,8), permiten establecer que este genera escenarios de sostenibilidad moderada a alta respecto del comportamiento obtenido por los otros sistemas. Se destacan las ventajas del modelo agroforestal sobre la eficiencia ecofisiológica, composición florística y regulación de recursos, como aspectos estratégicos para mitigar los efectos del cambio climático (Ayala et al., 2020) (figura 6).

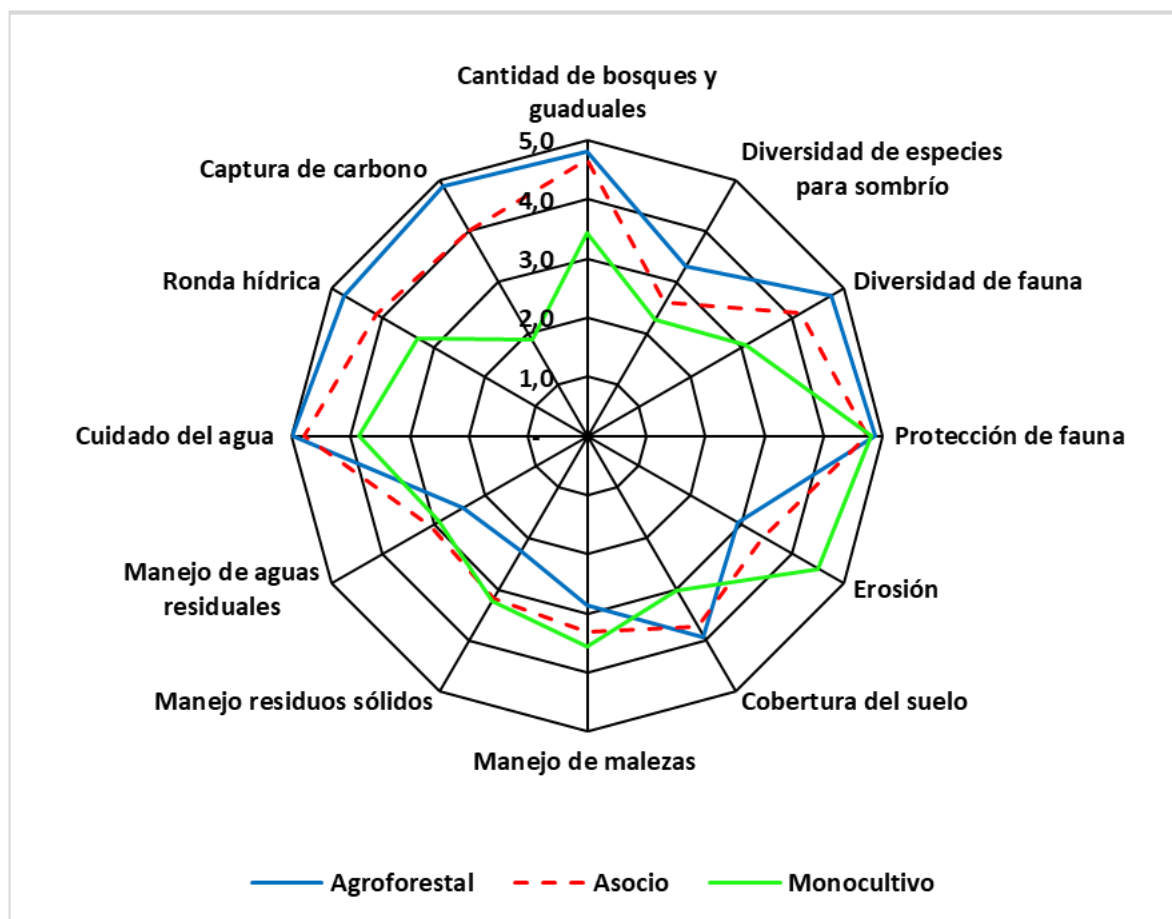


Figura 6. Resultados análisis de la sostenibilidad ambiental en fincas cafeteras por sistema de producción.

Fuente: Elaboración propia

El almacenamiento de carbono en el componente arbóreo de los tres modelos analizados mostró el alto potencial de los sistemas agroforestal y de cultivo en asocio respecto del monocultivo. Estudios adelantados en el municipio del Líbano (Tolima) por Andrade et al. (2014), indican que el componente arbustivo representa el 34 % del potencial de fijación de carbono en sistemas de producción, donde se combinan árboles maderables como sombrío para el cultivo de café (*C. arabica*). Tomando como referente los valores obtenidos de 71,9 t/C/ha en los árboles de sombra empleados en Zapatoca, se

estima que el café realizaría una fijación de 37,03 t/C/ha para un total de 108,9 t/C/ha en todo el sistema. Resultados similares en el plano internacional obtuvieron (Domínguez et al., 2012), quienes cuantificaron el carbono aéreo, en la región de Huatusco, estado de Veracruz en México, a partir de modelos alométricos en sistemas (café - Cedro Rosado) obteniendo un valor de 114 t/C/ha, cercano al registrado en un sistema agroforestal (laurel-café); ubicado en la región de Talamanca en Costa Rica, donde las reservas fueron de 113,2 t/C/ha (Mena et al., 2011). La función de regulación climática asociada al indicador, muestra como el sistema agroforestal, y el de asocio con otros cultivos, representan el 86,6 % del potencial de almacenamiento con 115,5 t/C/ha en las especies arbóreas que son empleadas como sombra; las cuales crean microclimas estables al interior de los lotes que reducen el impacto del cambio climático, como la baja en el rendimiento anual, que puede llegar a ser del orden de $137 \pm 16,87$ kg/ha cuando la temperatura mínima se incrementa en 1 °C (Guerrero et al., 2020). No obstante, el indicador de diversidad de especies para sombrío es bajo en los lotes (3,3), pero aun así favorece la presencia de la fauna y flora del paisaje rural cafetero en la región (figura 5). En este sentido, son estrategias de uso del suelo que permiten mitigar los efectos del cambio climático en las fincas (Turbay et al., 2014), de igual forma pueden ser replicadas en función de las condiciones de oferta ambiental, a zonas donde los impactos de estos procesos pongan en riesgo a las familias cafeteras y sus unidades de producción. En Caldas, las reservas de almacenamiento representan el 13,02 % del carbono que se captura en Santander, sin embargo, tienen un nivel de importancia ambiental dentro del alcance de la sostenibilidad para el sector agrícola cafetero (tabla 3).

Tabla 3. Relación captura de carbono por sistema productivo

Sistema productivo	n.º Árboles/finca	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/C/ha)
Agroforestal	120	143,7	71,9
Asocio con cultivos	71	87,3	43,6
Monocultivo	8	34,7	17,3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados para la dimensión en fincas donde se recibe asistencia técnica tienen un impacto relevante, especialmente en la protección de fauna silvestre (4,7), el cuidado del agua (4,4) y la cantidad de bosques y guaduales (4,1); valores que expresan el compromiso de los cafeteros con el cuidado de la biodiversidad, y la conservación de los recursos naturales en sus predios. No obstante, el acompañamiento a los productores no garantiza buenos resultados en todas las áreas de la dimensión ambiental, en efecto siete de los indicadores presentan valores bajos de sostenibilidad, siendo fundamentales para el equilibrio ecosistémico de las fincas. Dentro de éstos, el manejo de aguas residuales (2,7), basuras (2,9) y la diversidad de especies para sombrío (2,7), muestran un panorama bajo de sostenibilidad. Este comportamiento, compromete la integridad de la unidad de producción, por el

efecto negativo que pueden tener los indicadores; de esta forma, es importante que la extensión rural se lleve a cabo bajo una visión holista en las fincas.

Dimensión social

El análisis desde la perspectiva social no presenta diferencias marcadas por departamento. Esta dimensión de la sostenibilidad genera una estrecha relación de bienestar humano que le permite a las comunidades fortalecer la integración de sus miembros, y reducir brechas de pobreza, que influyen en las condiciones y calidad de vida de las personas. El problema de la dimensión social según Arias (2006), radica en que es la más débil en la discusión de sostenibilidad en sistemas productivos rurales, donde predominan lo económico y ambiental. Del conjunto de indicadores seleccionados para la dimensión, el 85 % muestra una tendencia de igualdad respecto de la escala de valoración establecida. El comportamiento destacó a Santander como una región donde las viviendas tienen mejores condiciones de habitabilidad (4,1), lo que corresponde a estructuras con pisos, paredes y techos en condiciones seguras, por el tipo de material empleado en la construcción (Trejos et al., 2011). Otro de los indicadores relevantes, fue el tipo combustible para la preparación de alimentos (3,8), tales como estufas a gas o gasolina, que disminuyen en gran proporción la dependencia de la leña como fuente de combustión, reduciendo percances en la salud de las familias, al tiempo que mitigan la presión antrópica sobre las áreas naturales.

El indicador de agua segura no presentó variaciones significativas, en Caldas el valor fue de (3,8), siendo mejor que los resultados obtenidos para Santander (3,2). Este indicador, expresa las condiciones óptimas de acceso al recurso hídrico, para ser empleado en diferentes actividades domésticas habituales, incluido el cuidado personal (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006). Los resultados indican que las dos regiones cafeteras estudiadas no cuentan con acceso al agua en condiciones de saneamiento ideales, lo que se traduce en la presencia potencial de agentes biológicos nocivos para la salud, comunes en fincas no vinculadas a procesos de certificación (Manrique & Rosique, 2014). Dicho comportamiento según Carrasco (2016), se relaciona con el desequilibrio en la calidad del recurso hídrico al que acceden habitantes rurales, donde los factores de riesgo de calidad son altos comparados con los bajos niveles en áreas urbanizadas, donde existe la posibilidad de mejorar las condiciones de uso del líquido.

Por otra parte, en términos de remuneración, Caldas también tiene mejores condiciones que Santander frente a los pagos de jornales que demanda el cultivo de café en el transcurso del año (2,9); no obstante, la valoración general para ambos departamentos es media respecto de la escala de sostenibilidad. Siendo los bajos ingresos netos por cosecha, una de las causas para generar ajustes en los valores pagados para cubrir la mano de obra de las labores que requiere la finca (Guerrero et al., 2020), situación que intensifica la vinculación de miembros del hogar a las labores del cultivo. Los restantes indicadores mantienen un grado de semejanza que clasifica en términos generales la dimensión como medianamente sostenible a nivel de seguridad social, donde es frecuente la afiliación en salud a entidades públicas, pero no a pensión. Finalmente, el indicador de asociatividad fue menor en Caldas,

aspecto que reduce las posibilidades de acceso a beneficios para afrontar y sobrellevar las dificultades económicas, ambientales y técnicas propias de la actividad productiva (Turbay et al., 2014) (figura 7).

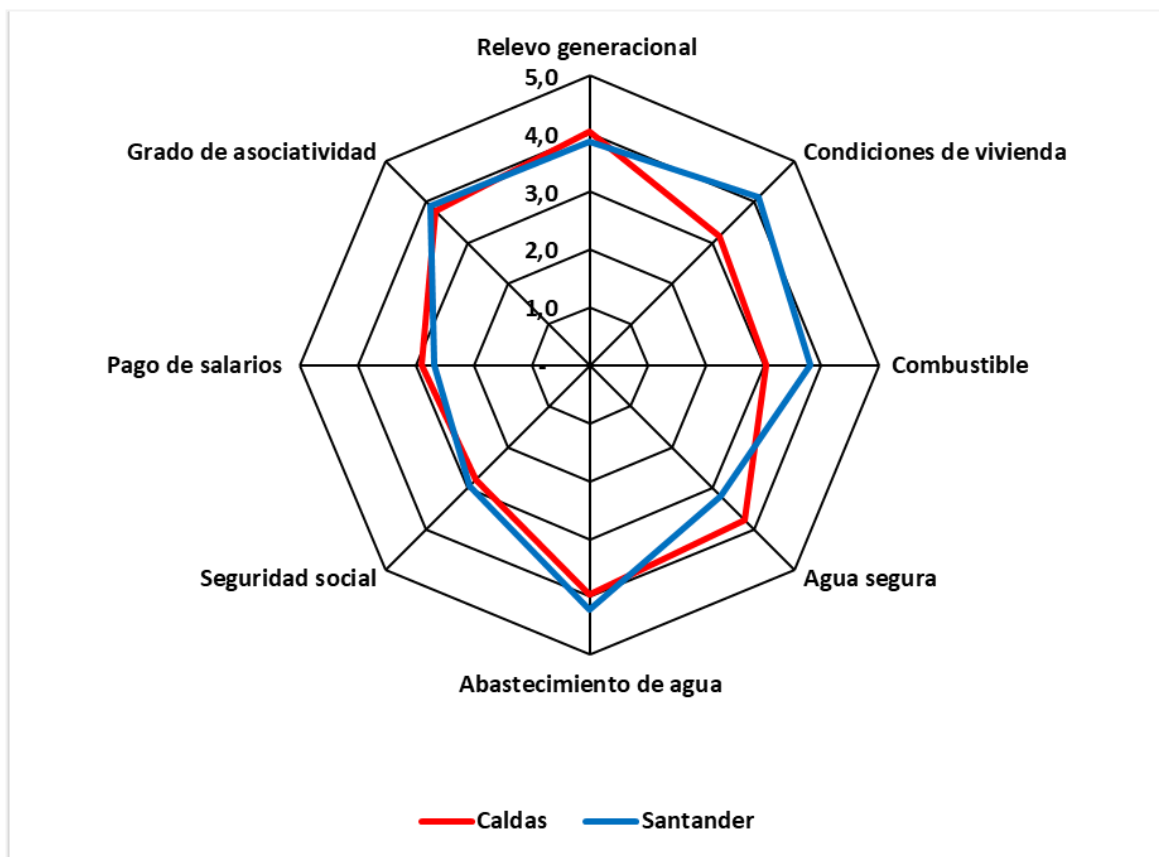


Figura 7. Resultados análisis de la sostenibilidad social en fincas cafeteras en los departamentos Caldas y Santander (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

Al estudiar los sistemas productivos empleados, se indica que las fincas donde predomina el agroforestal, presentan un mejor comportamiento en abastecimiento de agua (4,5), condiciones de vivienda (4,2), combustibles para preparación de alimentos (4,0) y seguridad social (3,0). El modelo de asocio con otros cultivos muestra condición similar e inferior en los indicadores de la dimensión social, que lo ubican en un rango de sostenibilidad media. Los resultados que expresan las bondades de los modelos en Santander, respecto del impacto favorable sobre los recursos naturales, les permiten a los caficultores que los establecen tener fincas con un valor agregado desde la sostenibilidad. Por su parte, en el monocultivo los indicadores que mejor comportamiento presentaron fueron agua segura (3,8) y relevó generacional (4,0) (figura 8).

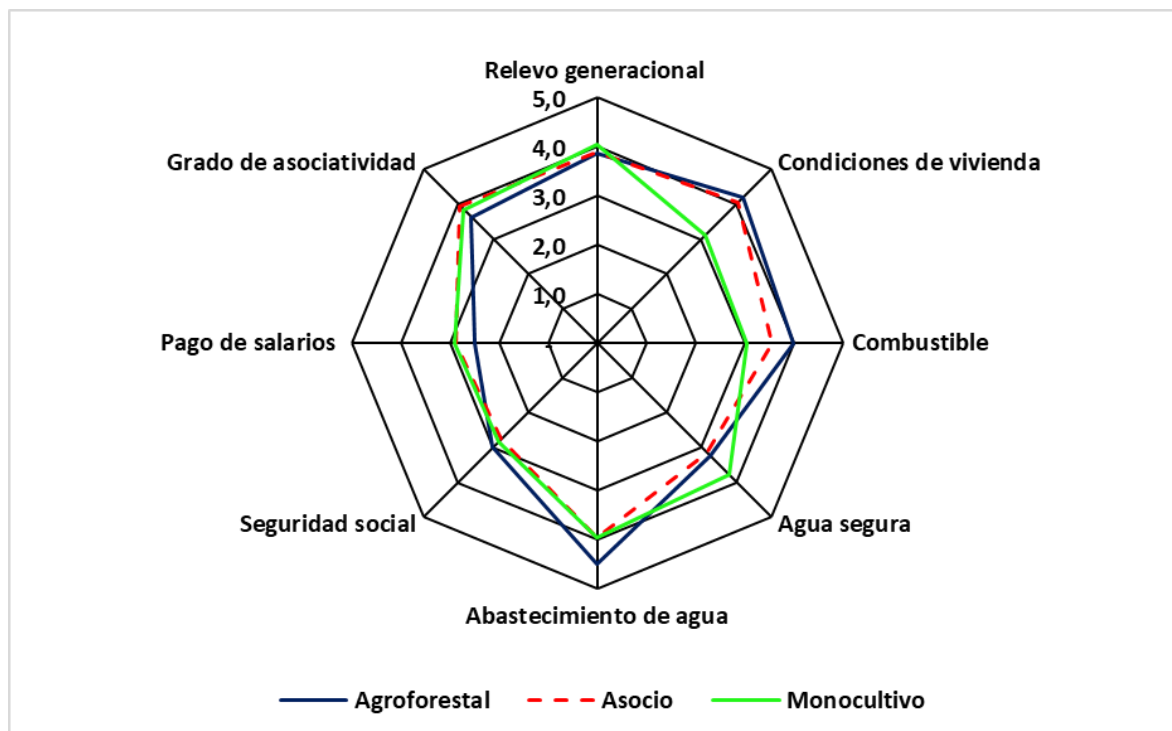


Figura 8. Resultados análisis de la sostenibilidad social en fincas cafeteras por sistema de producción.
Fuente: Elaboración propia

La asistencia técnica en la dimensión social tiene como indicador relevante el abastecimiento de agua (4,2) y el grado de asociatividad (4,0), hecho que se relaciona con los enfoques de capacitación y empoderamiento del gremio cafetero en estos aspectos. En caso de no recibir asistencia técnica el relevo generacional (4,2), el agua segura (3,8), el tipo de combustible empleado (3,6) y pago de salarios (3,0), muestran un panorama de sostenibilidad moderado. Los demás indicadores mantienen un comportamiento similar.

Dimensión técnica

Esta dimensión relaciona indicadores que definen la estructura de la caficultura con su sostenibilidad, a partir de parámetros en la tecnificación de cultivos y buenas prácticas administrativas y agrícolas de las fincas. Los dos departamentos analizados presentan valores altos en el potencial productivo, la densidad de siembra y la edad de los cafetales; este comportamiento indica que, en las zonas cafeteras de los municipios estudiados, los propietarios ejecutan acciones de renovación de lotes en tiempos adecuados y usando variedades acordes a la oferta biofísica de las fincas. Este proceso cuenta con proyecciones para intervenir 32.000 ha, que le permitan al país disponer de un 10 % de cafetales jóvenes para mantener estable la producción nacional (González, 2021), siendo los productores del grano en Caldas y Santander, actores relevantes en el cumplimiento de esta meta en el país.

El proceso de beneficio del café no obtuvo una valoración alta, situación generada por la ausencia de sistemas eficientes para el uso y tratamiento del agua empleada en el despulpado, lavado y clasificación, que reduzca el impacto ambiental, y mejore la calidad del grano al final del proceso; la no implementación de tecnologías con este principio de funcionamiento se da por los altos costos de inversión inicial (Arango, 1999; Giraldo et al., 2017). En Santander el 84,3 % de fincas usa el sistema convencional y 15,6 % tanque tina, situación que es similar en Caldas ya que el 80 % usa beneficiaderos convencionales y el 20 % sistemas de tanque tina; además ninguna de las fincas estudiadas cuenta con un sistema Becolsub (Beneficio Ecológico del café y de los Subproductos) desarrollado por Cenicafé, y considerado como tecnología de alto costo para los pequeños caficultores.

Indicadores como calidad del café y diversidad de cultivos, obtuvieron mejor valoración en Santander (3,8 y 3,6, respectivamente). No obstante, en esta región, el manejo administrativo de las fincas es menos sostenible, ya que solo el 40,6 % de los productores realiza controles sobre ingresos y egresos, el porcentaje restante llevan a cabo esta labor mediante registros en bitácoras no estructuras para tal fin, que en ocasiones se traduce en notas dispersas, carentes de fechas y detalles de las inversiones o gastos realizados, condición que afecta la contabilidad de la cosecha en el año, y la trazabilidad financiera de la finca, que con el paso del tiempo agudiza los niveles de rentabilidad de la actividad productiva. El indicador de producción presentó un bajo valor de sostenibilidad en Santander (2,1), situación asociada a la no disponibilidad transversal de recursos económicos en el año, que suplan gastos de mantenimiento y fertilización en los lotes, labores determinantes para lograr una alta productividad del cultivo. Además, las variaciones del precio del café en los últimos años ponen a los productores en un escenario de vulnerabilidad preocupante, respecto a la sostenibilidad del cultivo y todo lo que este implica en un contexto territorial como el analizado.

Para Caldas los indicadores más altos comparados con los de Santander fueron el manejo de registros (3,7) y la edad del café cuya valoración fue de (3,1), lo cual muestra que los procesos de renovación están dentro de la planificación general de las fincas, pero no son considerados dentro de una escala definida como alta en términos de sostenibilidad. Finalmente, el potencial productivo para los dos departamentos es similar, este mantiene relación con la edad del café, tomando como referente un rango óptimo entre los 3 y 8 años, como tiempo donde la planta expresa su mayor grado de producción del grano, aspecto que para el estudio presenta un comportamiento favorable (figura 9).

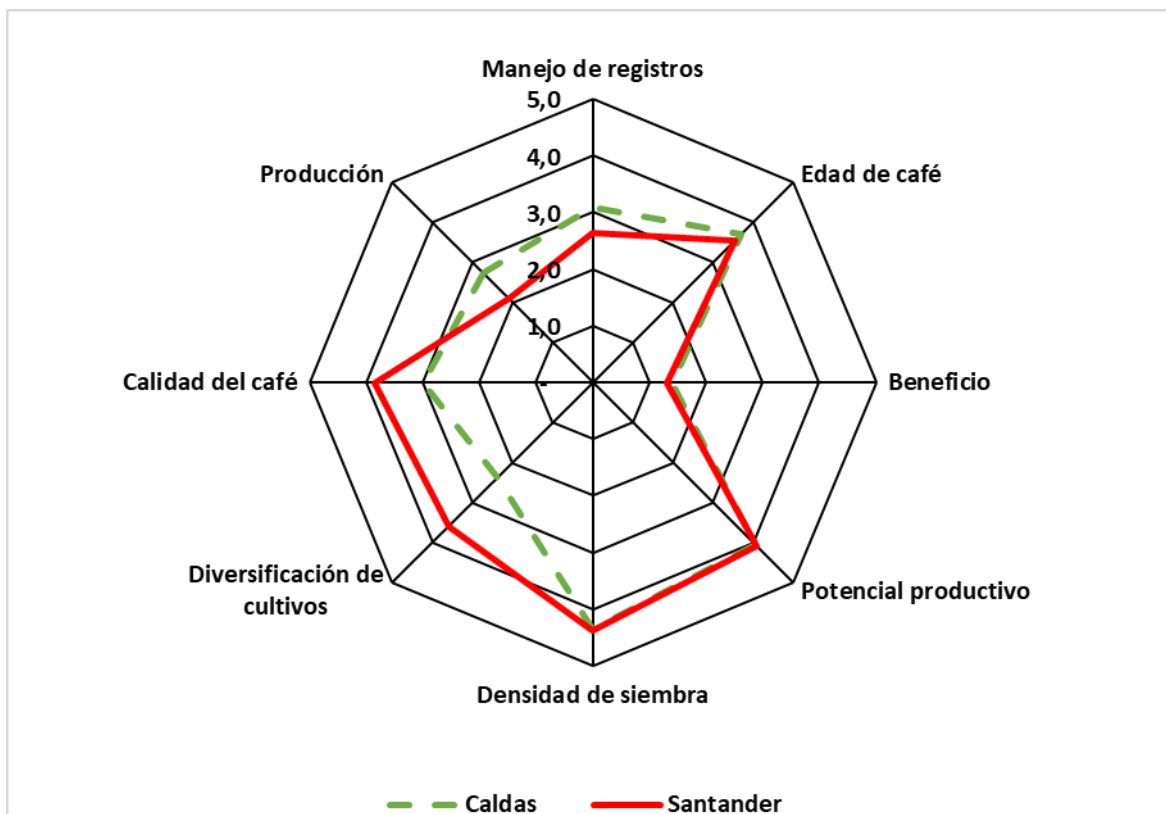


Figura 9. Resultados análisis de la sostenibilidad técnica en fincas cafeteras en los departamentos Caldas y Santander (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

El análisis del sistema agroforestal tiene como indicadores relevantes, la calidad del café (3,8) y diversidad de cultivos (3,7), en los demás se presentan altas similitudes con el sistema de asocio y el monocultivo. En el sistema de asocio se destaca la diversidad de especies (4,8), diferencia que está relacionada con la heterogeneidad en las especies de sombra empleadas. En los tres sistemas, la densidad de siembra y el potencial de producción son similares, el primero es un parámetro técnico fundamental para definir la cantidad de cafetos a plantar, que, según la variedad y condiciones ambientales, darán los resultados en la productividad a futuro en la unidad rural de producción. El monocultivo mantiene los indicadores de manejo de registros y productividad en valores superiores respecto a los otros dos sistemas. Para los demás indicadores su comportamiento muestra una tendencia que define los tres sistemas en un rango de baja a media sostenibilidad, (figura 10).

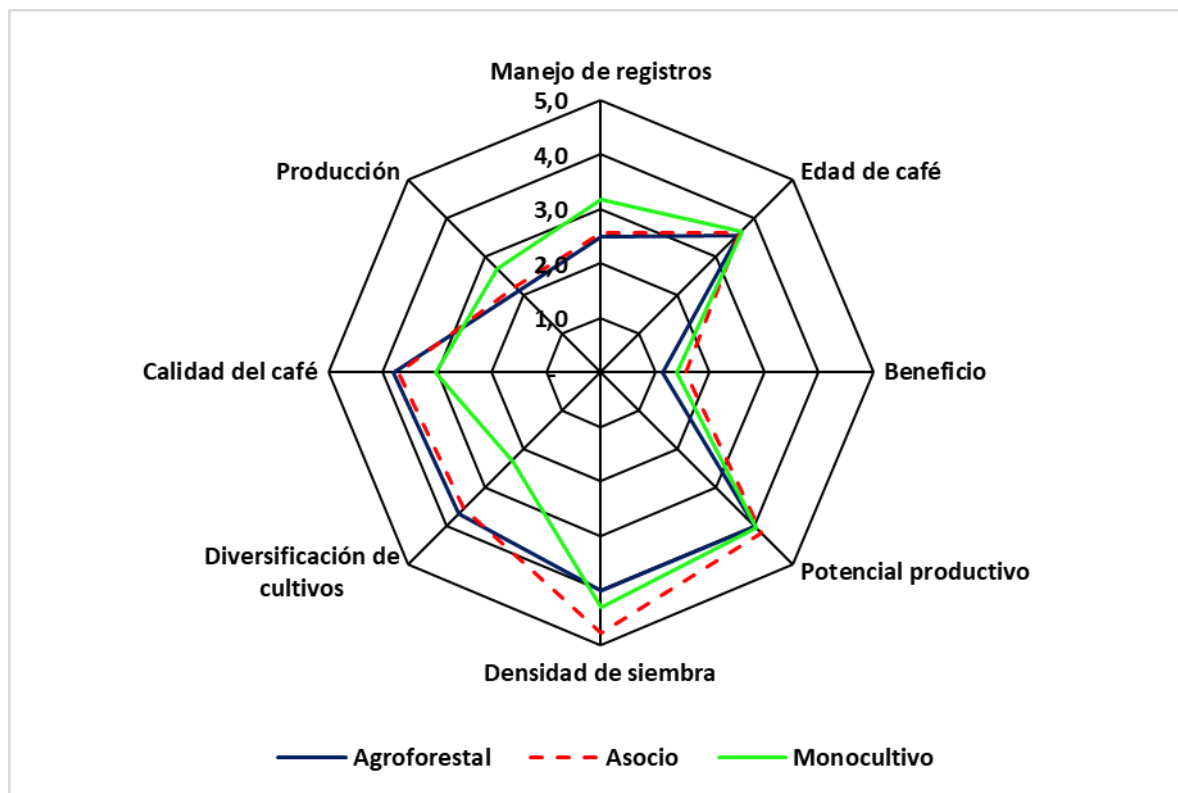


Figura 10. Resultados análisis de la sostenibilidad social en fincas cafeteras por sistema de producción.
Fuente: Elaboración propia

En la dimensión técnica, los servicios de asistencia no muestran cambios en el comportamiento general de los indicadores asociados a la tecnificación, producción y administración de la finca. Los valores más altos cuando hay servicio de asistencia técnica, se presentan en las densidades de siembra (4,4) y el potencial productivo (4,1). Para el resto de los indicadores, como el sistema de beneficio, la edad y calidad del café, y la diversidad de especies no tienen un efecto marginal, por el hecho de no recibir asistencia técnica. La máxima diferencia se observa en el indicador de manejo de registros el cual es mayor cuando se realiza asistencia técnica, comparado con el hecho de no hacerlo (3,1 y 1,9, respectivamente); sin embargo, los resultados evidencian que la prestación del servicio de acompañamiento técnico no logra un efecto integral sobre este aspecto relevante para la administración del cultivo en las fincas.

Índice sintético de sostenibilidad

Las cuatro dimensiones analizadas por departamento, sistema productivo y servicios de asistencia técnica no presentaron un comportamiento que resalte diferencias marcadas entre estas. El sistema productivo empleado obtuvo mayor valoración en los índices ambiental (3,7) y social (3,5), siendo bajas las puntuaciones de este a nivel técnico y económico, con (3,2) y (3,0) respectivamente. Se destaca la influencia que puede tener el sistema agroforestal y en asocio con otros cultivos en el cuidado de los

recursos naturales, el almacenamiento de carbono y la generación de otros servicios ambientales, que, si se logran internalizar, pueden traducirse en mejores condiciones sociales. Sin embargo, en este mismo escenario el sistema agroforestal, aunque tiene buenos resultados en lo ambiental, en la dimensión económica presenta la más baja puntuación, debido en parte al manejo tecnificado que implicaría un sistema de alta productividad, y que en condiciones de un bosque de café, como se le conoce en Santander, sería imposible de adaptar, especialmente por la alta densidad de árboles que podrían afectar la productividad del café, reduciendo su actividad fisiológica e incrementando la competencia por disponibilidad de agua, nutrientes y espacio para el desarrollo de los cafetos.

Tabla 4. Índice sintético de sostenibilidad por dimensiones

		Económica	Ambiental	Social	Técnica
Región	Caldas	3,0	3,3	3,4	3,1
	Santander	3,0	3,9	3,6	3,2
Sistema productivo	Agroforestal	3,1	3,9	3,6	3,1
	Asocio	3,0	3,8	3,5	3,3
	Monocultivo	3,0	3,3	3,4	3,1
Asistencia	No	2,7	3,4	3,5	2,9
técnica	Sí	3,1	3,6	3,4	3,2
Promedio		2,9	3,6	3,5	3,1

Fuente: Elaboración propia

La asistencia técnica presentó igualmente valores bajos, tan solo en lo social y ambiental (3,5) se observan mejores condiciones de sostenibilidad, que comparadas con las dimensiones técnica (3,1) y económica (2,9), muestran cómo estos aspectos ligados a la rentabilidad nula o baja del cultivo hacen que el propietario no encuentre una relación favorable entre la producción y los procesos de acompañamiento técnico. El panorama no es el esperado, lo que requiere de un cambio en la visión del acompañamiento que reciben los cafeteros, de tal forma que se fortalezcan los pilares de la sostenibilidad en las veredas estudiadas. No obstante, el tamaño de las muestras no tiene representatividad estadística para generalizar esta situación en todos los municipios y los departamentos seleccionados.

En términos generales, las fincas de Santander y Caldas donde se realizó el estudio tienen un valor de sostenibilidad media de 3,3 en las cuatro dimensiones. Este contexto crea un escenario de reflexión en

torno a la brecha generada entre actividades rurales productivas, y las metas ODS para los habitantes de estos sectores, donde se refleja un panorama no favorable a partir de los indicadores analizados. Su condición de pequeños caficultores hace que la actividad productiva sea vulnerable, por los elevados e inestables costos de producción del grano, y la fluctuación constante de los precios internacionales del café (Hausermann, 2014, citado por Machado & Ríos, 2016). De esta forma, se hace visible la situación de los cafeteros en regiones apartadas del país, donde las condiciones geográficas, sociales y biofísicas se convierten en un elemento que influye sobre la relación con el medio ambiente, el desarrollo de actividades económicas y la calidad de vida.

Conclusiones

Las fincas cafeteras en Santander y Caldas que fueron objeto de estudio presentaron similitudes respecto de la conformación de las familias, titularidad de predios, distribución del suelo con destino a usos diversificados, y el desarrollo del cultivo en propiedades de tamaño considerable, que destacan el aporte de estos productores a la caficultura nacional. Los parámetros de segmentación para el análisis de la sostenibilidad en cada una de las dimensiones no presentaron diferencias marcadas que conduzcan a la estabilidad económica, ambiental, social y técnica de los predios estudiados donde el café es la principal actividad productiva. La dimensión económica no reveló un escenario de equilibrio, siendo frecuente el balance no positivo de los aspectos financieros al finalizar los tiempos de comercialización, situación generada por múltiples variables que influyen sobre los gastos que demanda el cultivo, y la forma en que se lleva a cabo la administración de las fincas. Para el caso de la dimensión ambiental, algunas diferencias puntuales se evidenciaron respecto de la contribución que tienen los modelos agroforestales y en asocio, hacia la mitigación y adaptación del cambio climático en las regiones, a causa de un mayor potencial como sumideros de carbono; sin embargo, desde la sostenibilidad ninguno de los modelos analizados presentó un panorama favorable al respecto.

La dimensión social mostró los vacíos que existen en las fincas cafeteras, en cuanto a las condiciones ideales para que los productores y sus familias tengan una calidad de vida que les permita gozar de una buena salud, al tiempo que desarrollan la actividad productiva. Se hace necesario implementar acciones orientadas a favorecer a las generaciones presentes y futuras en estos aspectos, ya que tendrán igualmente un vínculo directo con el cultivo, siendo importante reconocer por parte de los padres el valor del relevo generacional. La dimensión técnica del índice estimado en las fincas confirmó la importancia de mantener y fortalecer los aspectos técnicos del cultivo, con desafíos en la creación de una visión holística de las fincas que impacte no solo al cultivo del café. De esta forma, se hace necesario planificar la reconfiguración rural de la caficultura en los municipios estudiados, integrando enfoques que permitan reconocer los límites ambientales del territorio, la productividad de estos, y la calidad de vida al interior de las fincas cafeteras, de tal modo que la sostenibilidad no sea un ideal social, sino una realidad para los agricultores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Manizales, a la maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, y a los caficultores de los municipios seleccionados para el estudio. Igualmente, a la revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria y a quienes desarrollaron la labor de revisión y aprobación de documento final.

Descargos de responsabilidad

El presente artículo se elaboró como parte de la Tesis de maestría de Ricardo Andrés Oviedo Celis. Su construcción fue producto del aporte integral de los autores, quienes están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Aguirre, C. F., Cadena, I. J., Ramírez, V. B., Trejo, B. I., Juárez, J. P., & Morales, F. J. (2016). Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. *Acta Universitaria*, 26(1), 30-38. <https://dx.doi.org/10.15174/au.2016.833>
- Andrade, H. J., Marín, L. M., & Pachón, D. L. (2014). Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro*, 26(2), 127-132. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612014000200008&script=sci_abstract
- Andrade, Y., & Castro, E. S. (2014). *Certificación y auditoría ambiental. Una reflexión sobre las certificaciones e iniciativas de sostenibilidad en la caficultura colombiana* [Ponencia]. V Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática Administrativa Sustentabilidad y desarrollo empresarial (Universidad MICHOACANA), San Nicolás de Hidalgo, México.
- Arango, M. (1999). El beneficio ecológico del café en Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 42, 2-27
- Arias, F. (2006). Desarrollo sostenible y sus indicadores. *Revista Sociedad y Economía*, 11, 200-229. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99616177008>
- Aristizabal, A. C., & Duque, H. (2008). Identificación de los patrones de ingreso en fincas de economía campesina en la zona central cafetera de Colombia. *Cenicafé*, 59(4), 343-360. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(04\)343-360.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(04)343-360.pdf)
- Ayala, D., Monterroso, A., Baca-Del, J., Escamila, E., Sánchez, R., Pérez, J., Rajagopal, I., Alegre, J., & Valdés, E. (2020). Identificación de necesidades de investigación sobre la dinámica del carbono y nitrógeno en sistemas agroforestales de café en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(99), 1-16.
- Castro, E. (2014). Sustentabilidad en la agrocadena de producción de café en los Andes Colombianos. En L. Ibarra, E. Casas, E. Valdez, C. Jacobo, & B. Leyva (Eds.), *Sustentabilidad, empresa y agroindustria: reflexiones y aplicaciones* (pp. 189 -206). Editorial Umbral.
- Carrasco, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 44, 46-53. <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121046459008.pdf>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2015). *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe. Textos seleccionados 2012-2014*. CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37791/LCM23_es.pdf
- DaMatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, 1(25), 113-123. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14411>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2014). *3er Censo Nacional Agropecuario. Entrega de resultados CNA 2014, cifras definitivas* [Boletín 1- Uso del suelo]. DANE. <http://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-1-Uso-del-suelo/1-Boletin.pdf>
- Domínguez, W. E., Krishnamurthy, L., Vázquez, A. A., & Torres, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1), 57-70. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.04.030>
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia; Cenicafe. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2007). *Informe Comité departamental de cafeteros de Santander* (73). FNC. <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Santander3.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2011). *Construyendo el modelo para la gestión integral del recurso hídrico en la caficultura colombiana*. FNC; Cenicafe. https://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2020). *Café Santander. Comité de Cafeteros de Santander*. FNC: <https://santander.federaciondecafeteros.org/cafe-de-santander/>
- Fernández, Y., Sotto, K., & 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://doi.org/10.22507/pml>
- Figuerola, O. (2016). Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción de café en fincas-hogar del Sector San José, municipio de Linares-Nariño. *Revista Tendencias*, 17(2), 111-125. <https://doi.org/10.22267/rtend.161702.6>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942012000200001&script=sci_abstract
- Giraldo, J., Niño, D., & Vianchá, Z. (2017). Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 13(22), 121-135. <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1839>
- González, X. (2001, febrero 15). Programa de renovación de cafetales este año contará con recursos por \$ 25.019 Millones. *Agronegocios*. <https://n9.cl/fxloy>
- Guerrero, J., Jaramillo, J., Mora, J., Bustamante, Á., Vargas, S., & Chulim, N. (2020). Impactos del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(71), 1-18.
- Guhl, A. (2004). Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. *Cenicafe*, 55(1), 29-44. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc055%2801%29029-044.pdf>

- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 114-125. <http://journals.openedition.org/revestudsoc/16644>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2014). *Manejo de suelos colombianos*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2019). *Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana*. IICA. Inexus Printing. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8726>
- López, J. (2010). *Manual de sistemas agroforestales para el desarrollo rural sostenible agroforestería, silvopastoril, agrosilvopastoril*. [Proyecto JIRCAS - Estudio de validación de medidas contra el calentamiento global basado en la forestación y reforestación en el Paraguay]. Centro Internacional de Investigación de las Ciencias Agropecuarias del Japón (JIRCAS). https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual_guideline/manual_guideline-_42.pdf
- Machado, M. M., & Ríos, L. A. (2016). Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática. *Idesia*, 34(2), 15-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002>
- Marín, E., Mahecha, H., & Carrasco, S. (2008). Producción sostenible en la agricultura colombiana. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 7, 48-56. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231116372006.pdf>
- Manrique, O., & Rosique, J. (2014). Seguridad e inocuidad alimentaria en hogares de jornaleros de fincas cafeteras con y sin certificación del suroeste de Antioquia Colombia. *Vitae*, 21(1), 20-29. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042014000100003
- Marlay, S. (2015). Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios ambientales y socioeconómicos en zonas rurales de Haití. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl (Eds.), *Sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (pp. 203-230). Feriva S.A.
- Mazuela, P. (2011). Agricultura sustentable. *Idesia*, 29(3), 3-5. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000300001>
- Mena, V. E., Andrade, J. H., & Navarro, C. M. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforesteria Neotropical*, 1(1), 2-20. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/11>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. (2020). *Cadena café* [Presentación 1.º Trimestre 2020]. Dirección de cadenas agrícolas y forestales - [Minagricultura. <https://n9.cl/l1sbr>
- Montes, C., & Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Revista Ecosistemas*, 16(3), 137-147. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/120>
- Moreno, J., & Osorio, J. (2017). Balance económico de la agricultura familiar cafetera en el sur del Tolima: Estudio de caso en el municipio de Chaparral. *Agroforesteria Neotropical*, 1(7), 38-48. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/1342>
- Murray, S., & Larry, S. (2005). *Estadística Schaum*. The McGraw-Hill

- Navia, J., Restrepo, J., Villada, D., & Ojeda, P. (2003). *Agroforestería: opción tecnológica para el manejo de suelos en zonas de ladera*. [Manual de capacitación en el manejo de sistemas agrícolas sostenibles en la región Andina]. Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDAR). <http://hdl.handle.net/11348/4869>
- Núñez, C. A., & Escobedo, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesopotámica*, 22(2), 415-427. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212011000200018&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. ONU. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1987). *Asamblea general informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo. Nota del Secretario General*. ONU. <http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE LECTURE 1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. OMS. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- Ordóñez, H., Navia, J., & 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>
- Ospina, O., Duque, H., & Farfán, F. (2003). Análisis económico de la producción de fincas cafeteras convencionales y en transición, en el departamento de Caldas. *Cenicafé*, 54(4), 197-207. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054%2803%29197-207.pdf>
- Osorio, G. (2008). Agricultura sustentable. Una alternativa de alto rendimiento. *Ciencia UANL*, 11(1), 77-81. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40211113.pdf>
- Perfetti, J. (2014, diciembre). *Diagnóstico de la asistencia técnica agropecuaria (ata): brechas tecnológicas, capacidades de Investigación y entidades prestadoras del servicio de asistencia técnica agropecuaria (EPSAGROS)*. Repositorio institucional Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (FEDESARROLLO). <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3647>
- Perfetti, J., Balcázar, J., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Repositorio institucional Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (FEDESARROLLO). <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/61>
- Ponce, L., Acuña, I., Proaño, P., & Orellana, K. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(1), 116-129. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2310-34692018000100116&lng=es&nrm=iso
- Rodríguez, L. (2013). Mujeres cafeteras y los cambios en su rol tradicional. *Sociedad y Economía*, 24, 71-94. <https://www.redalyc.org/pdf/996/99629534004.pdf>
- Trejos, J., Serna, C., Cruz, G., & Calderón, P. (2011). Ventajas sociales y ambientales de la adopción de la norma de agricultura sostenible en dos regiones cafeteras de Colombia. *Cenicafé*, 62(2): 111-131. <https://www.cenicafe.org/es/documents/9.pdf>
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J., & Ocampo, O. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas* 85, 95-112. <https://doi.org/10.14350/rig.42298>

- Rodríguez, M. (2018). El desarrollo sostenible en los albores de los ods y del acuerdo de país. En M. Rodríguez & M. Vélez (Eds.), *Gobernanza y gerencia del desarrollo sostenible* (pp. 3-36). Ediciones Uniandes.
- Vega, L. (2013). *Dimensión Ambiental, Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo* [Ponencia]. 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity (Universidad Quintana Roo; Instituto Tecnológico de Monterrey), Cancún, México.
- Villavicencio, L. (2012). Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rustico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 67-80. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.051>