



AGROBIODIVERSIDAD DE LEÑOSAS MULTIPROPÓSITO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS CAFETEROS

MULTIPURPOSE WOODY PLANTS DIVERSITY IN PRODUCTIVE COFFEE SYSTEMS

Iván A. Delgado-Vargas • ivan.delgado@udenar.edu.co

M.Sc. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación PIFIL. San Juan de Pasto, Colombia.

William Ballesteros Possú • wballesterosp@udenar.edu.co

Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación ARENA. San Juan de Pasto, Colombia.

Vanessa Arellano Chungana • vanessa.arellano@udenar.edu.co

Ing. Agroforestal. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación PIFIL. Pasto, Colombia.

Citación: Delgado-Vargas, I., Ballesteros, W., y Arellano, V. (2022). Agrobiodiversidad de leñosas multipropósito en sistemas productivos cafeteros. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 67 – 80. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4741>

RESUMEN

Contextualización: Procesos antropogénicos, como el inadecuado manejo de sistemas productivos y la ampliación de la frontera agropecuaria, son causa de la disminución en la productividad, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Como alternativa surge la agroforestería, la cual permite la obtención de bienes y servicios diferenciados en los ecosistemas en los que se aplica.

Vacío del conocimiento: La presencia de leñosas en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) contribuye a múltiples beneficios en las funciones ambientales, productivas, socioeconómicas, biológicas, etológicas, protectoras, estéticas, entre otras, del cultivo. Sin embargo, en el sur del departamento de Nariño se presenta un limitado conocimiento de los índices de biodiversidad y, por ende, de los bienes y servicios que proveen estos tipos de sistemas productivos al caficultor.

Propósito: El objetivo del presente estudio fue comparar 4 tipos de sistemas productivos y caracterizar el dosel de sombra, calcular los índices de diversidad y estimar el porcentaje de sombra para conocer la producción y volumen de madera resultado del asocio de leñosas en sistemas productivos cafeteros de tres municipios de Nariño.

Metodología: Se trabajó en cuatro sistemas productivos: T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café y leñosas multipropósito; T4: café, musáceas y leñosas perennes multipropósito. El estudio se realizó usando un diseño de bloques completos al azar (con tres bloques) y se midió densidad, índices de diversidad, porcentaje sombra, producción y volumen de madera.

Resultados y conclusiones: Se registró un total de 359 individuos, distribuidos en 37

especies. La mayor densidad se presentó en T4 (108 árboles/ ha) y la mayor abundancia (70 %) se encontró en T3, representado por la especie *Fraxinus chinensis* Roxb. En T4 se observaron índices altos de Shannon y bajos en Simpson (1,9 y 0,2), y mayor porcentaje de sombra (57,7 %). La producción del café osciló entre 1050 - 3300 kg ha⁻¹ año⁻¹. Se concluye que los sistemas productivos agroforestales consiguen una mejor estabilidad económica

y un aumento en los beneficios ambientales y sociales en los cultivos, siendo estos sistemas una herramienta en la adaptación y mitigación al cambio climático en fincas que pueden lograr una participación en el mercado de cafés especiales sostenibles. 

Palabras clave: riqueza; oclusión de sombra; café; agroforestería

ABSTRACT

Contextualization: Anthropogenic processes, as the inadequate management of productive systems, and the increase of the agricultural border are the causes of the reduction in productivity, biodiversity and ecosystemic services. As an alternative come up agroforestry, which allows obtaining different goods and services on the ecosystems where is applied.

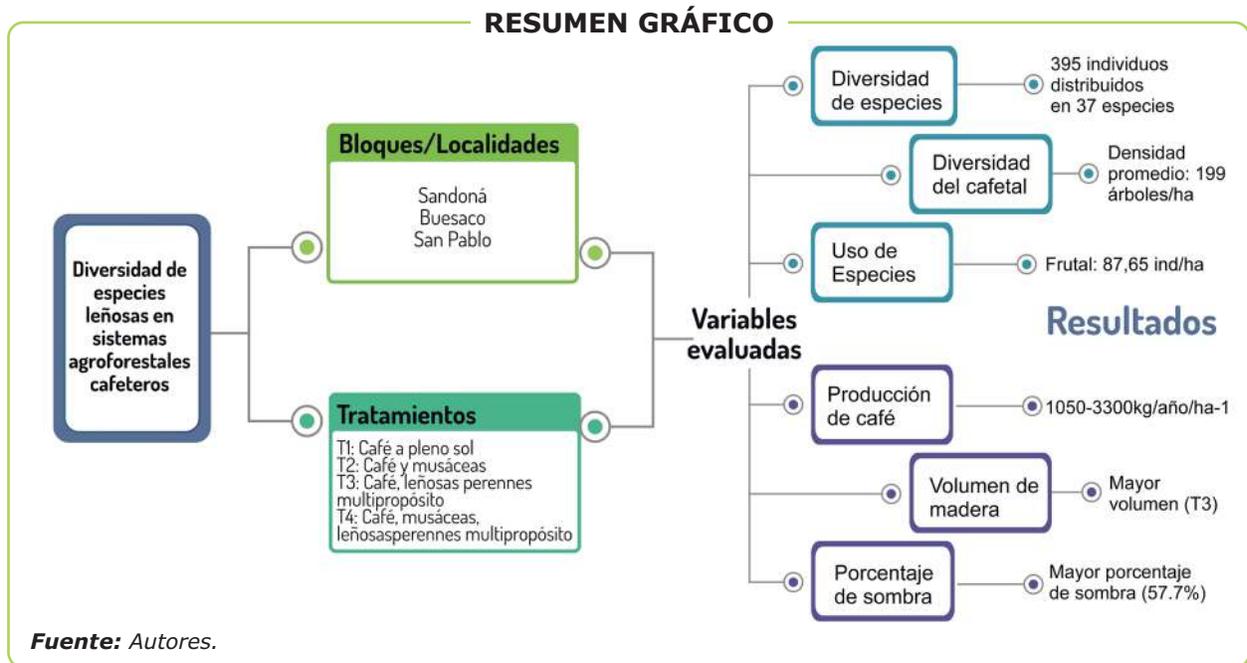
Knowledge gap: Woody plants in coffee cultivation (*Coffea arabica* L.), contributes to the sustainable development and conservation of the multiple benefits in the environmental, productive, socioeconomic, biological, ethological, protective, aesthetic functions, among others, of the crops. However, coffee cultivators of the south of the department of Nariño have a lack of knowledge about the biodiversity, and so of the services and goods provided by these kinds of productive systems.

Purpose: The purpose of this work was to compare four kinds of productive systems and characterize the shade canopy, calculate the diversity indices, and estimate the percentage of shade to know the production and volume resulting of woody associating on productive coffee systems in three municipalities of Nariño.

Methodology: Was developed in four productive systems a random complete blocks design (3 x 4), constituted by four treatments: T1: coffee in full sun; T2: coffee and *musaceae*; T3: coffee, woody multipurpose plants; T4: coffee, *musaceae*, woody multipurpose plants. Density, diversity indices, shade percentage, production and volume of wood were measured.

Results and conclusions: A total of 359 individuals were registered, distributed in 37 species. The highest density was obtained in T4 (108 trees/ha). The highest ecological weight (57.7 %) was found in T3, represented by the species *Fraxinus chinensis* Roxb. In T4, high Shannon indices, low Simpson indices (1.9 and 0.2) and a higher percentage of shade (57,7 %) were observed. Coffee production ranged between 1050-3300kg year⁻¹ ha⁻¹. As conclusion, the agroforestry systems obtain a better economic stability and increase the economic and social benefits of the plantations, being a great tool in the adaptation and mitigation of climatic change on farms that can obtain a great participation in the market of sustainable special coffee. 

Keywords: richness; shadow estimation; coffee; agroforestry



1. INTRODUCCIÓN

La agrobiodiversidad se define como el conjunto de factores bióticos que interactúan en los agroecosistemas, ofreciendo múltiples bienes y servicios a la humanidad (León, 2014). En los últimos años se ha renovado la importancia de los servicios ecosistémicos debido a los retos de la Pandemia del COVID-19 (DiMaio et al., 2020), la amenaza del cambio climático (Cárdenas y Tobón 2016) y la demanda creciente de bienes y servicios (Egal y Berry, 2020). La provisión de servicios ecosistémicos, por parte de la agrobiodiversidad, es innumerable (Phalan et al., 2011) y entre ellos se encuentran: polinización; recursos genéticos y bioquímicos (Cusser, Neff y Jha, 2016); mitigación de plagas (Wan et al., 2013); secuestro de carbono y fijación de nitrógeno (Jarvis et al., 2007); valores culturales y recreación (Landis, 2017), entre otros.

a nivel de paisaje, y específicamente en finca, las leñosas multipropósito (árboles y arbustos), proveen bienes y servicios que no se han cuantificado y que son una oportunidad para una producción más sostenible. Un caso específico son los agroecosistemas de producción cafeteros. En estos, la combinación del café (*Coffea arabica* L.) con diversos arboles provee múltiples funciones ambientales, ya

que son un indicador de seguridad alimentaria, además de un factor de gran relevancia en las características organolépticas del café (Farfán, 2014; Ordóñez et al., 2019). Adicionalmente, proveen protección del suelo (Somarriba, 1992), regulan los flujos hídricos (Lorenz y Lal, 2014), generan microclimas (Sereke et al., 2015), retienen y absorben nutrientes, controlan arvenses, regulan plagas y enfermedades, entre muchos otros servicios ambientales (Pinoargote et al., 2017). Todos estos beneficios contribuyen al desarrollo sostenible y a la conservación de los recursos naturales.

Por otra parte, la agrobiodiversidad de especies en los sistemas productivos de café permite obtener recursos a corto, mediano y largo plazo (Rosales-Adame et al., 2014) con una serie de interacciones que permite el desarrollo de estrategias morfológicas y biológicas para adaptarse a las condiciones ambientales adversas (Gillison et al., 2013). Características que los agricultores utilizan positivamente y que pueden ser un factor clave para el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático a través de la agricultura climáticamente inteligente (Cámara-Leret et al. 2019). Respecto a esto, en el suroccidente de Colombia se han desarrollado programas de cafés especiales, productos que son muy apreciados en el comercio internacional por su denominación

de origen y por estar sembrados en asocio con árboles y arbustos (Oberthür et al., 2011). Sin embargo, esta caficultura tiene un bajo nivel de tecnología (Criollo et al., 2016), presentando vulnerabilidad a los efectos del aumento de temperatura [en promedio de 2,8 °C y un incremento de las lluvias de 12,03 %] proyectados para el año 2050 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] et al., 2015). Esta vulnerabilidad coloca en riesgo la biodiversidad, los ingresos de los agricultores y el paisaje cafetero de la región andina (Corporación Autónoma Regional de Nariño [CORPONARIÑO] y World Wildlife Fund [WWF], 2016).

En este sentido, y en aras de potenciar la viabilidad de los cultivos de café, hay que prestar especial atención a la correlación que existe entre el nivel de sombra, las fertilizaciones y la productividad del café. Se establece que a medida que incrementa el sombrío en el cultivo de café, por encima del 40%, se disminuye la productividad (Farfán, 2014). Sin embargo, estos no son los únicos factores relevantes, puesto que varios estudios indican que la interacción árbol-cultivo tiene una influencia significativa sobre el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajamiento de frutos, la diversificación de la producción y la calidad del grano (Zapata, 2019; Villarreyña et al., 2020). Esto muestra que la interacción entre árboles y cultivos, además de aumentar la resiliencia de los cafetales, puede imprimir características diferenciadoras de sabor y aroma.

Algunos investigadores indican que las pérdidas que se presentan por el exceso de sombrío pueden ser compensadas por el precio de la almendra en pergamino seco, en mercados diferenciados (café de altura), y los productos que se obtienen de los árboles en asocio; por lo anterior, es imperante conocer estos índices de biodiversidad en los sistemas cafeteros en el sur de Nariño, los cuales causan incertidumbres sobre los bienes y servicios que puede proveer al caficultor. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la agrobiodiversidad de las leñosas como dosel de sombra en diferentes sistemas productivos cafeteros, lo anterior con el fin de conocer los índices de diversidad y

estimar el porcentaje de sombra en la región alto-andina. Para lograr esto, se analizó la producción de café pergamino ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) en los diferentes sistemas productivos y se estimó el volumen comercial de las leñosas en los sistemas agroforestales cafeteros, como bien y servicio que provee el sistema, en los municipios de Buesaco, San Pablo y Sandoná del departamento de Nariño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. La investigación se desarrolló en los municipios de Sandoná, 1°17'05"N y 77°28'16"W (veredas San Gabriel, Plan Ingenio, San Andrés y San Fernando); San Pablo, 1°36'06"N y 77°00'15"W (veredas El Alto y Alto Llano); y Buesaco, 1°23'05"N y 77°09'23"W (veredas Veracruz, Hatillo Medina y Medina espejo); en la zona norte del departamento de Nariño, Colombia. La región presenta un clima con una temperatura media (de 14 a 18°C), precipitaciones de 765 hasta 1 472 mm y una altitud entre los 1 700 y 1 959 m (IDEAM et al., 2015). Las localidades de estudio se seleccionaron de acuerdo con estos criterios: producción de café de altura, rendimiento, accesibilidad y representatividad cafetera en la región.

Unidades experimentales y medición de variables. Mediante visitas de campo, y en compañía de los caficultores, se seleccionaron los sistemas productivos cafeteros de acuerdo con su edad productiva: entre 4 a 6 años (Los sistemas SAF se establecieron a priori, cabe aclarar que dichos sistemas llevan bastante tiempo en las fincas y el cultivo de café se mantiene por soqueo o renovación completa), y la variedad de café. Se evaluó la composición botánica del dosel de sombra, adaptando las metodologías de Somarriba (2002), López et al. (2003) y Pinoargote et al. (2017) a este estudio.

El estudio se realizó en las localidades Buesaco, Sandoná y San Pablo, en las cuales se evaluaron cuatro tratamientos: T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café, leñosas multipropósito; T4: café, musáceas, leñosas multipropósito. Se utilizó una parcela útil de 250m² (15,81 x 15,81 m) donde se registraban las especies y se promediaban para 1 hectárea, según la metodología



propuesta por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2009). Se evaluaron estas variables: diversidad de especies en el cafetal, uso principal de las especies (frutal, forraje, leña, maderable, ornamental y musácea), porcentaje de sombra, producción de café y volumen de madera.

Caracterización de agrobiodiversidad, densidad de plantas y composición florística. Mediante inventario se tomaron las siguientes medidas dasométricas: diámetro del tallo a la altura del pecho (1,30 m), altura y área basal de las especies acompañantes en cada uno de los sistemas. Se determinó el índice valor de importancia (IVI) de las especies (Hurtado et al., 2017) a partir de la abundancia, frecuencia y dominancia relativa. Para caracterizar la composición y estructura de la vegetación se calculó la riqueza y abundancia de especies, los índices de diversidad de especies de Shannon-Weaver, el de dominancia de Simpson y la similitud de Jaccard.

El índice de Shannon-Weaver permite conocer la heterogeneidad de una comunidad con base en dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (González et al. 2018), así:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

h = Diversidad de Shannon

pi = (ni/N) Abundancia proporcional (relativa)

El índice de dominancia de Simpson enfatiza en las especies más comunes o aquellas que están mejor representadas (dominan) en el área de muestreo, y representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (González et al., 2018):

$$D = \sum p_i^2 \quad \text{o} \quad D = \sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

pi = Abundancia proporcional

ni = Número de individuos de la iésima especie

N = Número de individuos totales

El índice de Jaccard, por otra parte, expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (González et al. 2018):

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde:

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

Estimación de sombra. La incidencia de especies y la sombra sobre el cultivo de café se estimó con base en la oclusión, diámetro de copa y densidad poblacional de los árboles, para lo cual se tomó: Área total de la plantación o parcela de muestreo (at); número de árboles (n) en at; diámetro de copa promedio (d) o los diámetros de copa de cada árbol (di); oclusión promedio de las copas (o) o la oclusión de la copa de cada árbol (oi); de acuerdo a la metodología propuesta por Somarriba (2002).

Volumen y producción. Teniendo en cuenta el factor «forma» para cada especie evaluada (Cilíndrico: 1. Paraboloides: 0,5. Cono: 0,33. Neiloide: 0,25) y las mediciones dasométricas DAP y altura se realizó la cubicación de la cantidad de madera que se puede extraer (Cancino, 2006). Mediante el seguimiento a los sistemas se calculó la producción de café pergamino (kg ha⁻¹año⁻¹) en los diferentes sistemas productivos evaluados.

Análisis estadístico. Se realizaron análisis de varianza considerando como bloques a las tres localidades, con cuatro tratamientos en cada una (T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café, leñosas multipropósito; T4: café, musáceas, leñosas multipropósito). Las variables analizadas fueron la diversidad, la densidad de plantas y composición florística del dosel de sombra, la producción y el volumen de madera. Se compararon las medias mediante la prueba de Duncan, con un 5 % de probabilidad de error y se empleó en todos los análisis el software estadístico SAS V.9.4. (Universidad Complutense de Madrid, 2009).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agrobiodiversidad y composición florística del dosel de sombra en cafetales. Se registraron 1 396 individuos, distribuidos en 24 familias y 36 especies, para un promedio de 4,5 especies/cafetal en los diferentes sistemas (Tabla 1). Las especies más abundantes fueron *Trichanthera gigantea* (Bonpl.) Nees, *Musa × paradisiaca* L, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn, *Citrus limon* (L.) Osbeck, *Carica papaya* L, *Psidium guajava* L, *Ephorbia cotinifolia* L y *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. Se determinó

que los principales usos de los árboles en asocio con el sistema productivo con café fueron: frutales (77 %), seguidos de forraje (8 %), maderables (8 %), ornamentales (7 %) y leña (1 %), permitiendo inferir la importancia de las especies frutales para las familias caficultoras, pues sus productos (frutos, granos, entre otros) permiten tener en la finca alimentos para el autoconsumo, alimentación para especies pecuarias y obtención de un ingreso adicional diferente al café (Méndez et al., 2013).

Tabla 1. Caracterización de las leñosas multipropósito en asocio con el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

Nombre científico	Nombre común	N.º de individuos	Uso principal
<i>Annona cherimola</i> Miller	Chirimoya	8	Frutal
<i>Bixa orellana</i> L.	Achote	4	Frutal
<i>Carica papaya</i> L	Papaya	52	Frutal
<i>Citharexylum subflavescens</i> S.F.Blake	Cajeto	3	Ornamental
<i>Citrus latifolius</i> Tanaka ex Q. Jiménez	Lima	3	Frutal
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Limón	40	Frutal
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	28	Frutal
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Nogal cafetero	15	Maderable
<i>Cyphomandra betacea</i> (Cav.) Sendtn	Tomate de árbol	36	Frutal
<i>Eugenia jambos</i> L.	Pomarrosa	2	Maderable
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L	Pillo, liberal	27	Ornamental
<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb	Urapán	3	Maderable
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Chicharro	23	Ornamental
<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Pillo	16	Maderable
<i>Inga edulis</i> Mart.	Guamo	20	Frutal
<i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Guayacán	8	Maderable
<i>Mangifera indica</i> L	Mango	20	Frutal
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl	Níspero	29	Frutal
<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	Zapote	1	Frutal
<i>Musa × paradisiaca</i> L	Plátano	712	Frutal
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (K Mc V.)	Arrayan	25	Maderable
<i>Myrciaria dubia</i> (Kunth) McVaugh	Guayabo	7	Ornamental
<i>Myrsine</i> sp	Mote	2	Leña
<i>Persea americana</i> Mill. Var Hass	Aguacate	26	Frutal



Nombre científico	Nombre común	N.º de individuos	Uso principal
<i>Pinus patula</i> Schltldl. & Cham.	Pino	13	Maderable
<i>Pouteria lucuma</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Maco	3	Ornamental
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba	31	Frutal
<i>Saurauia parviflora</i> Triana & Planch.	Moquillo	1	Ornamental
<i>Senna pistaciifolia</i> (Kunth) H.S. Irwin & Barneby	Pichuelo	2	Ornamental
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby	Vainillo	5	Ornamental
<i>Solanum ovalifolium</i> Dunal	Cujaco	1	Ornamental
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	Guayacán amarillo	13	Maderable
<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	Nacedero	70	Forraje
<i>Vasconcellea cundinamarcensis</i>	Chilacuan	1	Frutal
<i>Verbesina arborea</i> Kunth	Colla blanca	27	Forraje
<i>Viburnum pichinchense</i> Benth	Pelotillo	6	Ornamental

Fuente: Autores

La diversidad de especies encontradas en cada finca coincide con lo encontrado por Pinoargote et al. (2017) en su investigación realizada en los municipios de Jinoteca y Matagalpa de Nicaragua, donde reporta un promedio de 4,9 especies/cafetal. En contraste, Gross et al. (2014), en la zona de Pico Duarte en República Dominicana, y De Souza et al. (2012), en la zona de Minas Gerais en el estado de Brasil, reportaron entre 2,8 a 10,8 especies/cafetal, respectivamente; estas cifras son un indicador de la diversidad.

El manejo y cantidad de especies de dosel de sombra varían, debido a que, en muchos casos, estos SAF no presentan un diseño o arreglo espacial específico (distancias de siembra), lo que se denomina sistemas agroforestales tradicionales (Sauvadet et al., 2019). Su implementación se debe a factores como el crecimiento de árboles dispersos (de relictos de bosques en la zona o regeneración) o la siembra de algún árbol de interés para la familia (Pinoargote et al., 2017).

El promedio de individuos de dosel de sombra fue de 115 árboles/ha (Tabla 2), de las cuales en su mayoría fueron especies frutales (20 árboles/ha). En los sistemas productivos

SAF T3 y T4, se reportó como uso principal los frutales. Al respecto, Vega-Orozco et al. (2014) y Van-Rikxoort et al. (2014) en estudios de cafetales en México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Colombia reportaron un promedio de 221 árboles/ha; mientras De Souza et al. (2012) encontraron 336 árboles/ha para la zona de Mata en Brasil, resultados que discrepan de los valores encontrados en este estudio. Según Zapata (2019), estas diferencias están relacionadas con las preferencias de los productores, asociadas al uso y características de las especies que determinan interacciones favorables en asocio con el café, y a las condiciones económicas, ambientales y sociales del medio. Además, es de resaltar que la zona de estudio se encuentra en zona andina ($1\ 700 \pm 1\ 959\text{m}$), por lo cual el número de árboles/hectárea disminuye para darle paso a la entrada de luz al cultivo de café.

Cabe resaltar que, en la zona de estudio, la introducción de leñosas multipropósito (cedro, laurel, leucaena, guamo, aguacate, cítricos, entre otros) en sistemas cafeteros es una actividad reciente, debido a que en esta región anteriormente se cultivó el café de forma tradicional, es decir como monocultivo

(Calpa et al., 2019). Esto ocurre porque la zona de estudio presenta una temperatura media ($14\pm 18^{\circ}\text{C}$) que limita la abundancia de especies de asocio con el cultivo de café. No obstante, los sistemas productivos que poseen diferentes leñosas forestales

(madera, leña, frutal, entre otros) permiten tener una diferenciación con respecto a la calidad del grano y una resiliencia de la unidad productiva ante eventos como el cambio climático (Pinoargote et al., 2017; Sauvadet et al., 2019).

Tabla 2. Promedio de las leñosas perennes por sistema productivo

Tipo de sistema/uso	Forraje	Frutal	Leña	Maderable	Ornamental	Promedio
T1						(Monocultivo)
T2						(Café y musáceas)
T3	28	208	8	40	24	61,6
T4	80	100	2	72	68	52,8

Fuente: Autores

Los resultados permiten establecer una importante presencia de la especie *Fraxinus chinensis* (70 %) en el sistema de cafetal y árboles multipropósito (T3), y de la especie *Trichanthera gigantea* (28,8 %) en el (T4), compuesto por cafetal, musáceas y árboles multipropósito con nacedero (Figuras 1 y 2). El mayor IVI presente en las especies *F. chinensis* y *T. gigantea* en este estudio estaría relacionado directamente con las preferencias de los productores, asociadas

al uso de estos árboles para sombrío en sus cafetales (Ospina, 2009). Por otro lado, las especies *Myrsine* sp y *S. ovalifolium* en los T3 y T4, presentaron un IVI bajo. Elevitch et al. (2018) afirman que los índices bajos en *Myrsine* sp. y *S. ovalifolium* están relacionados con aspectos productivos y económicos al momento de elegir la especie a sembrar con respecto a las características morfológicas de la especie, como rápido crecimiento, tipo de copa, rápido rebrote, profundidad de la raíz.

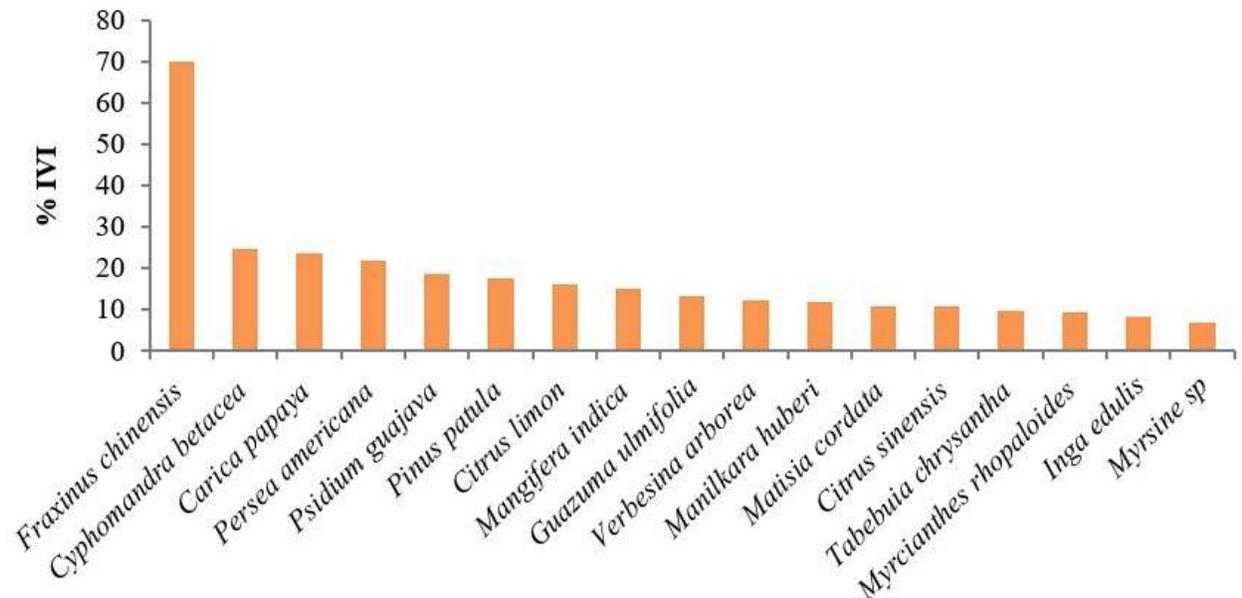


Figura 1. Índice valor de importancia (IVI) en T3. **Fuente:** Autores

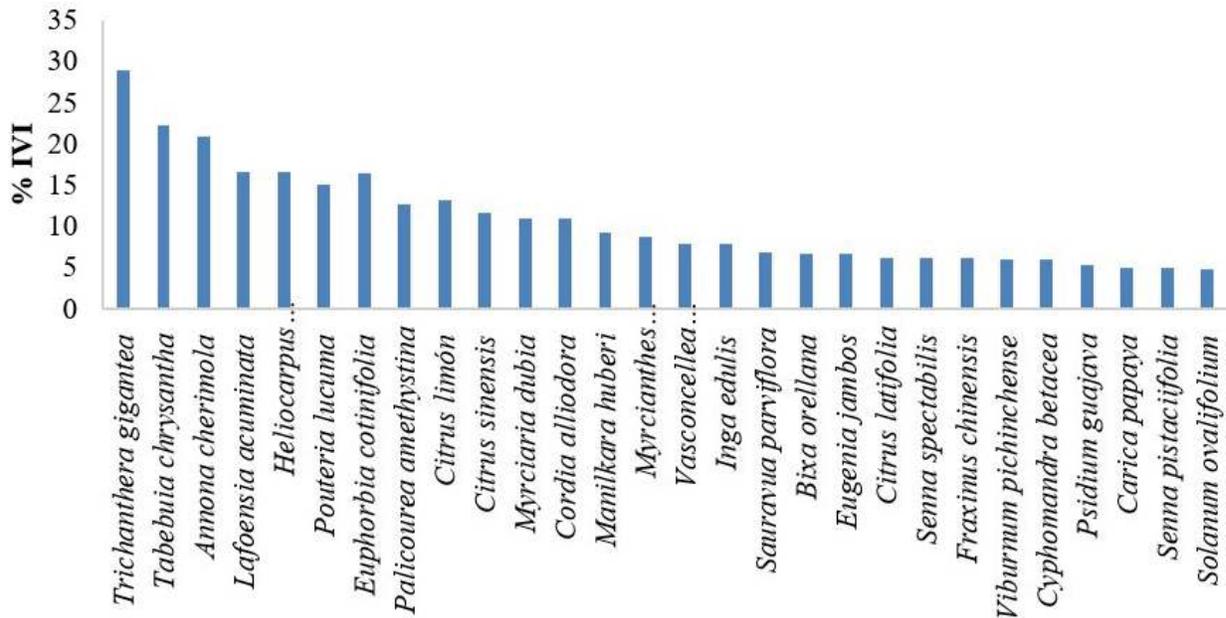


Figura 2. Índice valor de importancia (IVI) en T4. Fuente: Autores

El análisis de varianza presentó diferencias significativas para los índices de Shannon-W y Simpson ($P < 0,0001$). El T4 presentó mayor equidad y menor dominancia de especies; T3 presentó equidad y dominancia intermedia; el T2 presenta mayor dominancia y menor

equidad y el T1 no presenta diversidad debido a que existe dominancia de una sola especie (Tabla 3). El coeficiente de Jaccard tuvo un promedio de 0,14, presentando una baja cantidad de especies compartidas entre localidades.

Tabla 3. Índices de diversidad por localidad y tratamiento

ÍNDICES	BUESACO				SANDONÁ				SAN PABLO			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
S-W	0 b	0.65 b	1.4 a	2.2 a	0 b	0.6 b	2.1 a	1.85 a	0 b	0.54 b	1.9 a	1.7 a
S	1 b	0.5 b	0.2 a	0.1 a	1 b	0.5 b	0.12 a	0.21 a	1 b	0.64 b	0.14 a	0.19 a

Donde: **S-W**: Índice de Shannon-Weaver; **S**: Índice de Simpson. Índices estimados con letras diferentes difieren estadísticamente ($p < 0.05$). Fuente: Autores.

En concordancia con Campo y Duval (2014), el índice de Simpson fue de 0,10, indicando que no hay especies dominantes; el índice de Shannon-W fue de 2,51. No hay una diferencia notable, sin embargo, existe equidad para ambas investigaciones. Lores et al. (2009) reportaron un rango del índice de Shannon-Weaver entre 1,5 y 3,5, considerándose fincas con diversidad media. Estos servicios pueden potencializarse mediante el turismo rural; fortaleciendo, con esto, la calidad paisajística y ambiental en la región (WWF, 2010) y buscando el cuidado, conservación y reproducción de las leñosas nativas de la zona de estudio.

Maza et al. (2016) presentó similitud de 0,24, muy similar a este estudio, infiriendo la dependencia entre la formación de comunidades vegetales, la capacidad productiva del sitio y las condiciones climáticas. Esto lo corroboran Cano y Stevenson, (2009) cuando indican que, las unidades de paisaje son distintas unas de otras.

Estimación de sombra. No se presentaron diferencias significativas entre las diferentes localidades. Sin embargo, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,0325$) como se observa en la tabla 4, el mayor porcentaje

de sombra se reporta en el T4 con un valor de 57.70 %. Las especies que presentan mayor porcentaje de sombra en el cafetal son *Citharexylum subflavescens* S.F.Blake y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) & G.Nicholson con 90 % y 83 % respectivamente.

La mayor interacción del dosel sombra fue en la incidencia de la radiación solar sobre el cultivo del café, este influye directamente en la fisiología de las plantas, mejorando la calidad del grano a través de una maduración del fruto más lenta y disminuyendo el daño por antracnosis y mancha de hierro (Rapidel et al., 2015). Sin embargo, son de resaltar los bienes y servicios que provee el SAF (como leña, madera, frutos, entre otros) que permiten al caficultor contrarrestar la falta de árboles y, por ende, la producción directa del cultivo de café. En esta investigación se observa un impacto sobre estos aspectos, debido a la gran variabilidad fisiográfica y climática de la región cafetera Nariñense, considerada en la zona de estudio como café de altura, por lo cual es difícil generalizar y establecer un único patrón de sombra para el café (Cerdeira et al., 2017).

Tabla 4. Porcentaje de sombra (%) por tipo de sistema

Tipo de sistema	% Sombra
T4	57.70 ^a
T3	45.27 ^b
T2	46.67 ^{ab}
T1	0.0 ^c

Parámetros con letras diferentes difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

Fuente: Autores

Producción y beneficios del SAF con maderables. Para los tratamientos T3 y T4 se puede hacer una inferencia en cuanto a la producción del grano y los bienes y servicios (como la madera); así se puede conocer como el SAF permite equiparar a mediano y largo plazo la ganancia por parte del componente leñoso. Como resultado, el análisis de varianza presentó diferencias significativas

entre los tratamientos ($P < 0,0007$). El T1 evidenció una mayor productividad (2916,7 kg ha⁻¹ año⁻¹); mientras que el valor más bajo se presentó en T3 (1181,3 kg ha⁻¹ año⁻¹), con valores que superan el promedio de sistemas agroforestales de café en el departamento de Nariño (0,9t ha⁻¹) y de Colombia (0,8t ha⁻¹) (MADR, 2014). Por su parte, Farfán (2014) reportó rendimientos de café a plena exposición de 2500 a 4000 kg ha⁻¹ año⁻¹ y en sistemas agroforestales entre 500 y 1 000 kg ha⁻¹ año⁻¹.

El valor de la madera en pie representa para las familias una cuenta de ahorro y actúa como un reductor de riesgo de las actividades agrícolas. Por esto es de gran importancia promover el uso de árboles maderables de valor comercial como la *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.), Oken y *Cedrela odorata* L (Somarriva, 1992; Albertin y Nair, 2004). No se evidenció diferencias significativas entre tratamientos en la producción de madera; sin embargo, se observó una leve tendencia de presentar mayor volumen en T3.

El café obtenido en SAF, de acuerdo con Bosselmann et al. (2009), presenta características especiales (aunque la producción no es tan alta como en el sistema cafetero tradicional, en el que el café se encuentra a plena exposición solar) como cerezas de mayor tamaño y peso, color más oscuro y mayor densidad del mucílago. Esto genera mayor factor de rendimiento y cualidades organolépticas diferentes. Por su parte, los valores bajos de producción son compensados con el valor del café en el mercado, que sobrepasa hasta 3 o 4 veces el precio interno, obteniendo un perfil de taza por encima de 75 % (Agronet, 2011). Por otra parte, la comercialización de madera proveniente de SAF es una buena opción de ingresos, el valor de un árbol en pie oscila entre \$72000 a \$270000 mil pesos colombianos, dependiendo del tipo de madera (Farfán, 2014). Además, los SAF mejoran las condiciones ambientales dentro de los sistemas de producción (Murgueitio, 2009) y aumentan la provisión de servicios ecosistémicos.



CONCLUSIONES

La mayor densidad de especies en T3 y T4 (1396 individuos), en sistemas productivos cafeteros de trópico de altura, permiten inferir la importancia que tiene las leñosas multipropósito y su asocio en finca con el cultivo de café; para así obtener bienes y servicios (para autoconsumo y venta) diferenciados con el sistema de producción en monocultivo. Se presentó mayor agrobiodiversidad (Shannon-Weaver 1.9 y Simpson 0.2) que concuerda con un dosel de sombra alto (84 %). Se encontraron diversas especies, pero con una abundancia baja, sin embargo, es importante la planificación y diseño agroforestal para optimizar la

diversidad de productos y encaminar el sistema cafetero a una producción de calidad diferenciada.

Los sistemas cafeteros en asocio con sistemas agroforestales (T3 y T4) permiten al caficultor obtener mayor diversidad de bienes y servicios (frutales, madera, leña, entre otros), lo que permite una mayor estabilidad económica y un aumento en los beneficios ambientales y sociales. Se constituyen, así, en una herramienta para la adaptación y mitigación al cambio climático, en fincas que pueden beneficiarse con la participación en los mercados de cafés especiales sostenibles. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Iván A. Delgado-Vargas: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, administrador del proyecto, supervisión, revisión y edición.

William Ballesteros Possú: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Vanessa Arellano Chungana: Borrador original, conceptualización, escritura, logística, análisis de datos.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados [VIPRI] de la Universidad de Nariño por la financiación del presente trabajo. A Gloria Cristina Luna Cabrera, directora del grupo de investigación Plan de Investigación y Fortalecimiento Integral de las Comunidades- PIFIL de la Universidad de Nariño. A las familias caficultoras de los municipios de Buesaco (Corregimiento Medina Espejo, Hatillo Medina), Sandóná (Corregimiento el Ingenio y San Bernardo) y San Pablo (vereda La Chorrera) por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

LITERATURA CITADA

Agronet. (2011). *Nariño huele a cafés especiales*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Noticia438.aspx>

Albertin, A. & Nair, P. K. R. (2004). Farmers' perspectives on the role of shade

trees in coffee production systems: An assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human ecology*, 32(4), 443-463. <http://parrotlab.uga.edu/Tropag/CR2010/coffeelib/1farmer.pdf>

Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A. & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 253-260. doi: <http://10.1016/j.agee.2008.09.004>

Calpa, A. C. S., Ruíz, G. A. M. y Moncayo, C. R. T. (2019). Factores clave para el análisis de la responsabilidad social empresarial en el sector cafetero del departamento de Nariño. En S. R. Mondragón, M. Avendaño y J. A. Pacheco (Comp.), *Perspectivas y desafíos para la competitividad: una mirada global desde los territorios* (pp. 236-260). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://doi.org/10.22490/9789586516389.11>

Cámara-Leret, R., Fortuna, M. A. & Bascompte, J. (2019). Indigenous knowledge networks in the face of global change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9913-9918. <https://10.1073/pnas.1821843116>

Campo, A. y Duval, V. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural parque nacional Lihue Calel. *Anales de Geografía de la Universidad*

Complutense, 34(2), 25-42. http://10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071

Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción.

Cano, A. y Stevenson, P. R. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés. *Colombia forestal*, 12(1), 63-80.

Cárdenas, M. F. y Tobón, C. (2016). Evaluación de la vulnerabilidad biofísica de los servicios ecosistémicos ante el cambio climático: una aproximación conceptual y metodológica. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 163-178. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169446378011.pdf>

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2009). *Cómo realizar un diagnóstico productivo en nuestro cafetal*. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/819/Como_realizar_un_diagnostico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C. A., Krolczyk, L. & Avelino, J. (2017). Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 82, 308-319. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>

Criollo, H., Lagos, T., Bacca, T. y Muñoz, J. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista. U. D. C. A: Actualidad. & Divulgación Científica*, 19(1), 105-113. <http://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.260>

Corporación Autónoma Regional de Nariño. y World Wildlife Fund (2016). *Plan Territorial de Adaptación Climática del departamento de Nariño*. https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/Narino.pdf

Cusser, S., Neff, J. L. & Jha, S. (2016). Natural land cover drives pollinator abundance and richness, leading to reductions in pollen limitation in cotton agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 226, 33-42. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.020>

De Souza, H. N., De Goede, R. G., Brussaard, L., Cardoso, I. M., Duarte, E. M., Fernandes, R. B. & Pulleman, M. M. (2012). Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1), 179-196. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>

Dimaio, D., Enquist, W. & Dermody, T. (2020). A new coronavirus emerges, this time causing a pandemic. *Annual Review of Virology*, 7(1), 3-5. <http://doi.org/10.1146/annurev-vi-07-042020-100001>

Egal, F. & Berry, E. (2020). Moving Towards Sustainability—Bringing the Threads Together. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4(9), <http://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00009>

Elevitch, C., Mazaroli, D. & Ragone, D. (2018). Normas agroforestales para agricultura regenerativa. *Sostenibilidad*, 10(9), 33-37. <http://doi.org/10.3390/su10093337>

Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Gillison, A. N., Bignell, D. E., Brewer, K. R., Fernandes, E. C., Jones, D. T., Sheil, D. & Nunes, P. C. (2013). Plant functional types and traits as biodiversity indicators for tropical forests: two biogeographically separated case studies including birds, mammals and termites. *Biodiversity and Conservation*, 22(9), 1909-1930. <http://doi.org/10.1007/s10531-013-0517-1>

González, R., Treviño, E. J., González, M. A., Duque, Á., Gómez C, M. y Bautista-Cruz, A. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 36-65. <http://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>

Gross, L. H., Erickson, J. D. & Méndez, V. E. (2014). Supporting rural livelihoods and ecosystem services conservation in the Pico Duarte Coffee Region of the Dominican



- Republic. *Agroecology and sustainable food systems*, 38(9), 1078-1107. <http://doi.org/10.1080/21683565.2014.932883>
- Hurtado, C., Corte, C. y Triana, M. (2017). Estimación del carbono almacenado en el bosque natural en la cuenca media - baja. Municipio de río quito Chocó, Colombia. *Revista ingeniería e innovación*, 5(1), 32-42.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Programa de Naciones Unidas para el desarrollo., Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., Departamento Nacional de Población. y Ministerio de Relaciones Exteriores. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia* http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/Estudio_tecnico_completo.pdf
- Jarvis, D. I., Padoch, C. & Cooper, H. D. (2007). Biodiversity, agriculture, and ecosystem services. En D. I. Jarvis, C. Padoch & H. D. Cooper. (Eds.), *Managing biodiversity in agricultural ecosystems* (pp. 1-12). Columbia University Press <http://doi.org/10.7312/jarv13648-003>
- Landis, D. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1-12. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- León, T. (2014). *Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, A., Orozco, L., Somarriba, E. y Bonilla, G. (2003). Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 74-79.
- Lorenz, K. & Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443-454. <http://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>
- Lores, A., Leyva, A. y Tejeda, T. (2008). Evaluación espacial y temporal de la agrobiodiversidad en los sistemas campesinos de la comunidad "Zaragoza" en La Habana. *Cultivos Tropicales*, 29(1), 3-10.
- Maza, O. A. J., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C. y Gunter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia forestal*, 19(2), 121-142. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a01>
- Méndez, V. E., Bacon, C. M., Olson, M. B., Morris, K. S. y Shattuck, A. (2013). Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. *Revista Ecosistemas*, 22(1), 16-24. <http://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-1.04>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). *Evaluaciones agropecuarias municipales. Bogotá: Grupo de Estadísticas e Información Sectorial - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*.
- Murgueitio, E. (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13(1), 3-20.
- Oberthür, T., Läderach, P., Posada, H., Fisher, M. J., Samper, L. F., Illera, J. y Jarvis, A. (2011). Relaciones regionales entre la calidad inherente del café y el entorno de cultivo para las etiquetas de denominación de origen en Nariño y Cauca, Colombia. *Política alimentaria*, 36(6), 783-794. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.005> Obtenga derechos y contenido
- Ordóñez, H. R., Navia, J. F. y Ballesteros, W. (2019). Tipificación de sistemas de producción de café en La Unión Nariño, Colombia. *Temas Agrarios*, 24(1), 53-65. <http://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1779>
- Ospina, A. (2009). Aproximación a la conservación de las especies vegetales nativas en cafetales ecológicos con sombrío. http://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/sistemas_agroforestales/conservacion.pdf
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A. & Green, R. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289-1291. <http://doi.org/10.1126/science.1208742>

Pinoargote, M., Cerda, R., Mercado, L., Aguilar, A., Barrios, M. & Somarriba, E. (2017). Carbon stocks, net cash flow and family benefits from four small coffee plantation types in Nicaragua. *Forests, Trees and Livelihoods*, 26(3), 183-198. <http://doi.org/10.1080/14728028.2016.1268544>

Rapidel, B., Allinne, C., Cerdán, C., Meylan, L., Virginio, E. y Avelino, J. (2015). Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. En: F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, B. Eibl. (Eds.), *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CIRAD.

Rosales-Adame, J., Cuevas-Guzmán, R., Gliessman, S. & Benz, B. (2014). Tree diversity and structure in shaded pineapple agroforestry system in western México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 1-18.

Sauvadet, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., Virginio, E., Chauvat, M., Becquer, T., Tixier, P. & Harmand J-M. (2019). Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of the Total Environment*, (649), 1065-1074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.291>

Sereke, F., Graves, A. R., Dux, D., Palma, J. H. & Herzog, F. (2015). Innovative agroecosystem goods and services: key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 759-770. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2>

Somarriba, E. (1992). Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems*, 18, 69-82. <http://doi.org/10.1007/BF00114817>

Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas*, 9, 35-36.

Universidad Complutense de Madrid. (2009). *Curso de introducción a la programación SAS*. http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Progra/SAS_V8_V1_2.pdf

Villarreyna, R., Avelino, J. y Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.

Van-Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P. & Rodríguez-Sánchez, B. (2014). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy for sustainable development*, 34(4), 887-897. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0223-8>

Vega-Orozco, G., Ordoñez-Espinosa, C., Suarez-Salazar, J. y López-Pantoja, C. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 213-221. <http://doi.org/10.22490/21456453.956>

Wan, N. F., Ji, X. Y., Jiang, J. X., Deng, X., Huang, K. H., & Li, B. (2013). An eco-engineering assessment index for chemical pesticide pollution management strategies to complex agro-ecosystems. *Ecological engineering*, 52, 203-210. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.028>

World Wildlife Fund. (2010). *Propuesta de WWF y SEO/BirdLife para el desarrollo de un plan para luchar contra la pérdida de biodiversidad en España y el planeta*. http://awsassets.wwf.es/downloads/folleto_bio_verde.pdf

Zapata, P. C. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencia Florestal*, 29(2), 685-697. <http://doi.org/10.5902/1980509827037>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.