

Estimación de indicadores de rendimiento y costos para el manejo del sombrío en Sistemas Agroforestales con Café

Uno de los principales componentes para el manejo agronómico de los sistemas agroforestales con café en Colombia, es el control del exceso de sombra promovido por los árboles (Farfán, 2020; Cenicafé, 2021). Esta práctica se realiza por medio de podas de formación y mantenimiento, para organizar la estructura del dosel de los árboles de sombrío, con el propósito de mejorar la disponibilidad de la radiación solar que incide en el cultivo de café (Farfán, 2019). En consecuencia, la regulación de la sombra es una labor determinante para la producción del cultivo y puede afectarla si no es realizada de forma oportuna (Unigarro et al., 2021; Koutouleas et al., 2022). No obstante, las labores de poda tienen implicaciones legales relacionadas con requisitos ambientales y de seguridad de las personas, que deben considerarse al momento de planificar el manejo del sombrío en estos sistemas de producción.





Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Andrés Felipe León-Burgos

Asistente de Investigación – Fitotecnia
<https://orcid.org/0000-0002-9765-0223>

Hugo Mauricio Salazar Echeverry

Investigador Científico II – Economía
<https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>

José Raúl Rendón Sáenz

Investigador Científico I – Fitotecnia
<https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

Alexander Jaramillo Jiménez

Auxiliar de Investigación – Fitotecnia
<https://orcid.org/0000-0003-4580-1613>

Centro Nacional de Investigaciones
de Café, Cenicafe
Manizales, Caldas, Colombia

DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0553>

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafe

Diagramación

Luz Adriana Álvarez Monsalve

Imprenta

—

ISSN-0120-0178

ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8500707
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

Para implementar las podas en los sistemas agroforestales con café en Colombia, se han definido **criterios técnicos** como la valoración del porcentaje de sombra y las épocas recomendadas para la labor (Farfán, 2014), el cumplimiento de **requisitos ambientales** como el registro del sistema de producción o permisos de aprovechamiento de los recursos maderables, así como **aspectos operativos y de competencia de las personas que ejecutan la labor**, con el fin de ofrecer al caficultor herramientas que le permitan cumplir con los requerimientos para: **1) obtener ingresos económicos a partir de los recursos maderables; 2) garantizar la seguridad de los trabajadores; y 3) promover la sostenibilidad de estos sistemas de producción** (Farfán, 2020; Cassamo et al., 2023). Aunque el cumplimiento de todos estos aspectos puede afectar la estructura de costos de producción y los indicadores de rendimiento.

Sumado a lo anterior, la especie de árbol que se establezca como sombrío también puede ser un factor que influye en la intensidad y frecuencia de las podas, por lo tanto, puede alterar los costos del manejo agronómico de los sistemas agroforestales con café. En este Avance Técnico se presenta información de referencia de los indicadores de rendimiento de mano de obra y de la estimación de costos de implementación, como una herramienta para que el caficultor apoye las decisiones vinculadas con el mantenimiento del sombrío.

Estimación de indicadores de rendimiento de la mano de obra

El estudio fue realizado en las Estaciones Experimentales Naranjal (Caldas) y El Rosario (Antioquia) en sistemas agroforestales estratificados establecidos con especies de árboles *Erythrina fusca* L. (búcaro), *Inga edulis* M. (guamo santafereño), *Inga densiflora* B. (guamo macheto) y *Cordia alliodora* R. & P. O. (nogal cafetero). Estos árboles son usados comúnmente en sistemas agroforestales con café en Colombia, con diferentes formas y arquitectura del dosel, así: **esparcido** para guamo santafereño, guamo macheto y búcaro, y dosel **cónico** para nogal cafetero (Farfán, 2007).

En la Estación Naranjal el sistema de producción correspondió a un lote programado para renovación del cultivo de café por siembra, con árboles de sombrío entre 13 y 14 años de edad y una distancia de siembra de 12 x 12 m (70 árboles/ha). En la Estación El Rosario, los lotes estaban establecidos con árboles de sombrío entre 7 y 8 años de edad, asociados con café variedad Tabi, en etapa de producción (entre 3 a 4 años) y una distancia de siembra de 6 x 6 m (278 árboles/ha).

Para determinar los indicadores de rendimiento de mano de obra por cada especie de árbol de sombrío intervenida, en los sistemas agroforestales de las dos localidades, se seleccionaron de forma aleatoria diez árboles por cada especie. Se registró el tiempo invertido en cuatro subactividades fundamentales para el desarrollo del mantenimiento de los árboles de sombrío. Desde las labores de **preparación**, en las cuales se tuvo en cuenta el desplazamiento al sitio, la inspección de los equipos y elementos de protección, así como la

verificación del uso correcto de los elementos de seguridad. Luego, se cuantificaron los **desplazamientos** del personal con todos los equipos y herramientas en el lote. Durante la **poda** se realizaron tareas como la instalación de las escaleras, el ascenso por el árbol, corte de ramas, aplicación de pintura y descenso. Por último, las labores de **repique** donde se realizó el corte de las ramas podadas, para facilitar su encarre en el tronco del árbol. También, se estimó el área del dosel de los árboles, como una medida de crecimiento que puede influir con la intensidad de las podas de mantenimiento en los árboles de sombrero, la cual se calculó con la **Ecuación <1>**, propuesta por Andrade et al. (2014):

$$EAD = \frac{\pi}{2} * (DPD)^2 \quad <1>$$

$$DPD = \sum_{n=1}^4 Dn$$

Donde: EAD es la estimación del área del dosel de los árboles, $\pi = 3,1415$ y DPD es el diámetro promedio del dosel de los árboles, el cual fue calculado con cuatro medidas de diámetro en cada árbol, dado que las coberturas del dosel son irregulares.

En las Estaciones Naranjal y El Rosario, la estimación del área del dosel de los árboles de sombrero establecidos en los sistemas agroforestales registraron los valores promedio más altos, entre 5,36 a 8,36 m² para el guamo santafereño y 4,24 a 5,81 m² para el búcaro, mientras que en el guamo macheto y nogal cafetero los valores promedio fueron bajos desde 3,39 a 4,70 m² y 2,38 hasta 3,79 m², respectivamente (Figura 1). Entre tanto, las diferencias en el área del dosel de los árboles de acuerdo con la localidad, se asocian con la edad de los árboles, las condiciones climáticas y características de

los sistemas de producción como densidad de siembra de los árboles y podas de formación, que pueden alterar o modificar la estructura del dosel de los árboles (Somarriba et al., 2023).

En cuanto a las subactividades asociadas al mantenimiento de los árboles de sombrero, en la Figura 2, se reporta la distribución según el tiempo de ejecución de cada labor. De manera general, se destaca que hubo una mayor demanda en la ejecución de las labores de poda (50%), seguidas por el repique (27%) y preparación (20%), y finalmente, las labores de desplazamiento con el menor valor (3%). Aunque estos resultados varían según la especie de árbol, particularmente, por el manejo agronómico del sistema de producción, que determina las condiciones de crecimiento como forma y área del dosel de los árboles de sombrero.

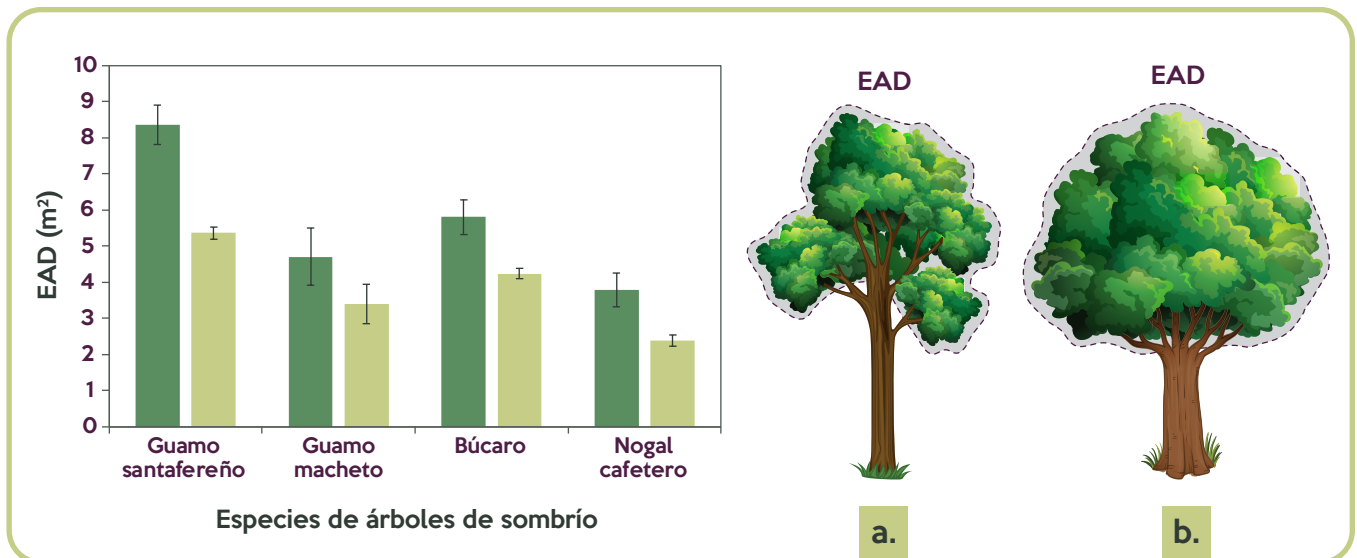


Figura 1. Estimación del área de la cobertura del dosel de los árboles de sombrero (EAD) establecidos en sistemas agroforestales estratificados con café en las Estaciones Experimentales de Naranjal (color verde oscuro) y El Rosario (color verde claro). Cada barra representa la media (n=10) ± error estándar. **a.** Árbol con dosel heterogéneo; **b.** Árbol con dosel homogéneo.

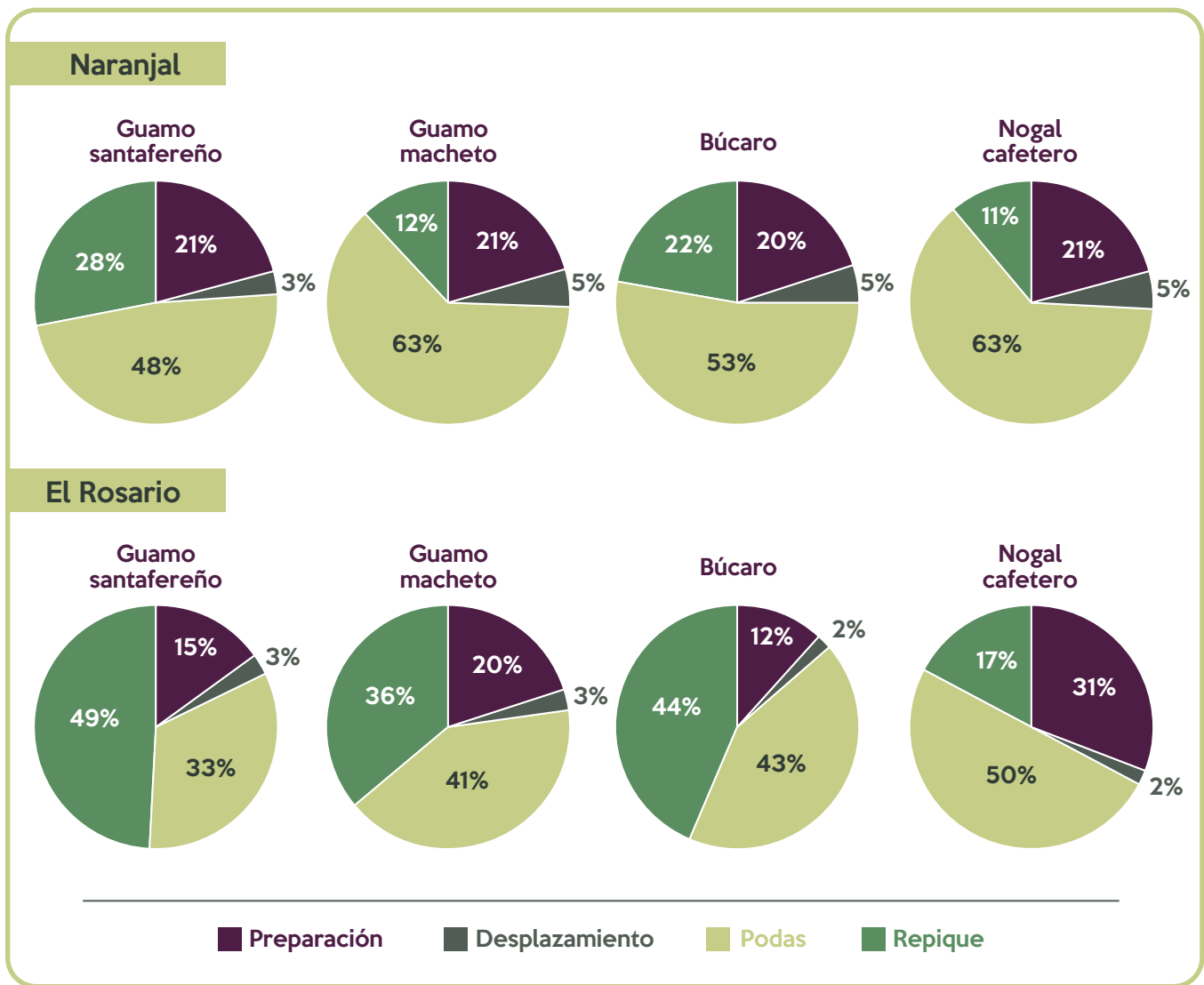


Figura 2. Distribución de labores asociadas al mantenimiento de los árboles de sombrío en los sistemas agroforestales con café establecidos en las Estaciones Experimentales Naranjal y El Rosario. Los datos corresponden a la media (n=10).

De acuerdo con la información anterior, se estimaron los indicadores de rendimiento de mano de obra con base en la cantidad de jornales empleada para el mantenimiento de los árboles de sombrío por cada especie. En las condiciones del sistema de producción de la Estación Experimental Naranjal, se reporta la mayor cantidad de jornales para guamo santafereño y búcaro, mientras que en guamo macheto y nogal cafetero se

necesitaron menos jornales (Tabla 1). Los resultados registrados en la Estación Experimental El Rosario, mostraron una mayor cantidad de jornales para las labores de mantenimiento de los árboles de búcaro, valores similares para guamo santafereño y guamo macheto y el menor indicador para nogal cafetero (Tabla 2).

Los indicadores de rendimiento de mano de obra construidos en este

estudio, tienen relación con la forma y área del dosel de los árboles de sombrío descritos anteriormente, debido a la influencia en el tiempo invertido tanto para las labores de poda como de repique. Esto permitió identificar las diferencias encontradas en los jornales empleados por cada especie. Así mismo, puede considerarse que la densidad de siembra de los árboles y la oportunidad en la realización de las podas de formación, son

Tabla 1. Estimación de la cantidad de jornales asociada a las labores de podas de mantenimiento, en los árboles de sombrío establecidos en un sistema agroforestal estratificado en la Estación Experimental de Naranjal (Caldas).

Especie de árbol	Jornales (árbol)*		
	Mín.	Prom.	Máx.
Guamo santafereño, <i>Inga edulis</i> M.	0,6	1,7	2,2
Guamo macheto, <i>Inga densiflora</i> B.	0,4	0,6	1,3
Búcaro, <i>Erythrina fusca</i> L.	0,4	0,9	1,6
Nogal cafetero, <i>Cordia alliodora</i> [R & P.] O.	0,4	0,5	0,8

* Los jornales corresponden a 9 horas de trabajo.

Tabla 2. Estimación de la cantidad de jornales asociada a las labores de podas de mantenimiento, en los árboles de sombrío establecidos en un sistema agroforestal estratificado en la Estación Experimental El Rosario (Antioquia).

Especie de árbol	Jornales (árbol)*		
	Mín.	Prom.	Máx.
Guamo santafereño, <i>Inga edulis</i> M.	0,3	0,5	0,7
Guamo macheto, <i>Inga densiflora</i> B.	0,2	0,5	0,8
Búcaro, <i>Erythrina fusca</i> L.	0,5	0,9	1,3
Nogal cafetero, <i>Cordia alliodora</i> [R & P.] O.	0,2	0,3	0,5

*Los jornales corresponden a 9 horas de trabajo.

aspectos determinantes para el mantenimiento de los árboles de sombrío.

Costos de implementación de la labor de mantenimiento de los árboles de sombrío

Con el propósito de conocer los costos para realizar el mantenimiento de los árboles de sombrío en los

sistemas agroforestales de acuerdo con las recomendaciones técnicas y normas de seguridad para adelantar trabajos en alturas, se realizó un inventario de los equipos, herramientas, materiales, elementos de seguridad, requisitos legales (capacitación, exámenes médicos) y cantidad de jornales empleados en la labor, en las dos localidades después de haber intervenido los diez árboles por cada especie. Para realizar los cálculos del costo

de la labor, se tomaron en cuenta las consideraciones propuestas por Duque et al. (2021), quienes trabajaron con precios de equipos, herramientas, insumos y materiales vigentes en agosto del 2022 y con un valor promedio del jornal de \$45.000 pesos colombianos reportado en la zona central cafetera. Así mismo, para el costo de operar los equipos en una jornada de trabajo, se consideró el valor de los equipos y herramientas, su vida

útil, la depreciación, el mantenimiento, el precio del combustible y el lubricante.

En la estructura de costos para el mantenimiento de los árboles de sombrío en sistemas agroforestales con café, de acuerdo con el presente estudio, la mano de obra representa alrededor del 52%, debido a los tiempos que deben invertirse en cada árbol, por tratarse de una actividad de alto riesgo y porque necesariamente debe abordarse con un equipo mínimo de tres personas. En la Figura 3 es posible ver la participación de los diferentes componentes de la labor de mantenimiento de los árboles de sombrío.

Después de la mano de obra, el componente con mayor participación en los costos de la labor es el de elementos de seguridad (20%) que debe usar el equipo que adelanta las tareas de poda de los árboles. En tercer lugar (17%) está el costo de los equipos, seguido de herramientas, capacitación de operarios y exámenes médicos de aptitud para la actividad de trabajo en alturas.

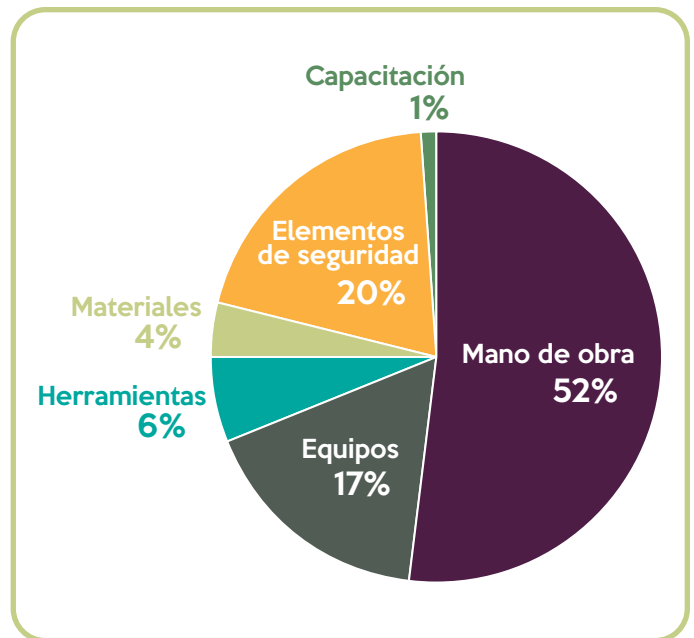


Figura 3. Estructura de costos para las labores de mantenimiento de los árboles de sombrío en los sistemas agroforestales con café.

Estación Experimental Naranjal

En esta localidad el sistema agroforestal presentó como principal característica el cultivo de café en etapa de establecimiento (renovación por siembra) y los árboles de sombrío con edades superiores a 13 años, situación que explica la mayor demanda en tiempo para efectuar las labores de mantenimiento del sombrío.

Según el análisis realizado, el guamo santafereño fue la especie que requirió mayores tiempos en las labores de poda, así el costo de intervención para esta especie estuvo entre \$50.194 y \$189.061, de acuerdo con el área y forma del dosel de cada uno de los diez árboles podados, en contraste, el nogal cafetero por sus hábitos de crecimiento y forma del dosel presentó los menores costos de manejo, entre \$33.231 y \$65.110, debido a que requirió menores tiempos de labor para su mantenimiento (Tabla 3).

Tabla 3. Costo de la labor de mantenimiento y poda de los árboles de sombrío en sistemas agroforestales con café en la Estación Experimental Naranjal.

Especie de árbol	Costo/árbol/vez	
	Min.	Máx.
Guamo Santafereno	\$ 50.194	\$ 189.061
Guamo Macheto	\$ 34.725	\$ 112.858
Búcaro	\$ 38.026	\$ 141.426
Nogal cafetero	\$ 33.231	\$ 65.110

Estación Experimental El Rosario

El sistema agroforestal intervenido en la Estación Experimental El Rosario, difiere al evaluado en la Estación Naranjal, en la edad de los árboles de sombrero (7 a 8 años) y las características del cultivo de café en etapa de producción.

En general, los tiempos requeridos para ejecutar la labor de mantenimiento que permitieron regular los niveles sombra, de acuerdo con las recomendaciones técnicas para las cuatro especies de árboles seleccionadas, fueron inferiores a los reportados en la Estación Naranjal.

Los árboles de cámbulo intervenidos en El Rosario demandaron mayor tiempo en promedio que los árboles de las otras tres especies del sistema agroforestal, con costos entre \$45.143 y \$108.517. En cuanto al nogal cafetero igual que en Naranjal, requirió menores tiempos de la labor y, por lo tanto, el costo por árbol podado osciló entre \$17.363 y \$43.407. En la Tabla 4 se presentan los costos de mantenimiento por árbol para cada especie.

Tabla 4. Costo de la labor de mantenimiento y poda de los árboles de sombrero en sistemas agroforestales con café en la Estación Experimental El Rosario.

Especie de árbol	Costo/árbol/vez	
	Min.	Máx.
Guamo Santaferño	\$ 26.044	\$ 63.374
Guamo Macheto	\$ 17.363	\$ 70.319
Búcaro	\$ 45.143	\$ 108.517
Nogal cafetero	\$ 17.363	\$ 43.407

Cuando se planifica el establecimiento de los sistemas agroforestales con café, es importante considerar las siguientes actividades:

Seleccionar las especies de árboles más adecuadas para la zona, según sus hábitos de crecimiento, adaptación, forma y área del dosel.

Realizar podas de formación desde las primeras etapas de crecimiento, con el propósito de facilitar el mantenimiento de los árboles de sombrero, para procurar menores tiempos en su realización y por lo tanto menores costos.

Familias caficultoras

Planifiquen de manera oportuna el manejo del sombrío en su sistema agroforestal, considerando la selección de la especie de árbol adecuada, el cumplimiento de los requisitos ambientales y de seguridad de los trabajadores, así como la programación de la labor con base en los indicadores de rendimiento que apoyen la decisión económicamente más rentable.



Literatura citada

- Andrade C, H. J., Segura M, M. A., Forero P, L. A. (2014). Desarrollo de modelos alométricos para volumen de madera, biomasa y carbono en especies leñosas perennes. 1a edición. Editorial Universidad del Tolima. 48.
- Cassamo, C. T., Draper, D., Romeiras, M. M., Marques, I., Chiulele, R., Rodrigues, M., Stalmans, M., Partelli, F. L., Ribeiro-Barros, A., & Ramalho, J. C. (2023). Impact of climate changes in the suitable areas for *Coffea arabica* L. production in Mozambique: Agroforestry as an alternative management system to strengthen crop sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 346, 108341. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108341>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed.). Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Farfán, F. F. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. En J. Arcila, F.F. Farfán, A. M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 161-200). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Farfán, F. F. (2014). Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 440, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/486>
- Farfán, F. F. (2019). Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 501, 1–8. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avt0501
- Farfán, F. F. (2020). Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales – SAF. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 72–123). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_3
- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bertrand, B., Bordeaux, M., Bosselmann, A. S., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Léran, S., Markussen, B., Marraccini, P., Ramalho, J. C., Vaast, P., & Raebild, A. (2022a). Shade effects on yield across different *Coffea arabica* cultivars — how much is too much? A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 55. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00788-2>
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Sinclair, F. L., & Quesada, F. (2023). ShadeMotion: Tree shade patterns in coffee and cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 97(1), 31–44. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00784-1>
- Unigarro, C. A., Rendón, J. R., & Acuña-Zornosa, J. R. (2021). Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 525, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0525>

