

472

Octubre de 2016
Gerencia Técnica /
Programa de Investigación Científica
Fondo Nacional del Café



Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café

Gran parte de la caficultura de Colombia está establecida bajo sombrío o en los denominados sistemas agroforestales, debido a sus condiciones climáticas. Un sistema agroforestal es el conjunto de prácticas de manejo del cultivo, en el que se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo fin es el manejo y la conservación del suelo y el agua, además del aumento y mantenimiento de la producción de café, que garantizan la sostenibilidad, el desarrollo social y la economía de las familias cafeteras (2).

Avances Técnicos
Cenicafé





Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Fernando Farfán Valencia

Investigador Científico II
Disciplina de Fitotecnia

Leidy Natalia Bermúdez Flórez

Asistente de Investigación
Disciplina de Fitotecnia

Nancy Elena González Flórez

Aprendiz
Disciplina de Fitotecnia

Centro Nacional de Investigaciones
de Café - Cenicafé
Manizales, Caldas, Colombia

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Óscar Jaime Loaiza Echeverri

Imprenta

ISSN - 0120 - 0178

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) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

El sombrío en cafetales es una práctica relacionada con la oferta agroclimática de algunas regiones del país, en las cuales el brillo solar y la lluvia son superiores o inferiores respecto a los requerimientos hídricos normales del cultivo del café. Por lo anterior, el sombrío se convierte en un acondicionador de los sitios donde el cultivo del café no puede establecerse a libre exposición solar, es decir, con el sombrío se regulan las altas temperaturas, se reduce la excesiva radiación solar y se conserva la humedad del suelo en épocas secas, entre muchos otros beneficios (1).

De acuerdo con Farfán y Jaramillo (4), el porcentaje de sombrío para el café debe mantenerse dentro de unos rangos óptimos que garanticen el crecimiento y la producción del cultivo de café, el cual es determinado por el número de horas de brillo solar al año (NHBS). El NHBS es diferente y específico para cada región de Colombia, por ejemplo, para la zona Norte, en la Estación Experimental Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar), el NHBS es de 2.300 horas, por lo tanto, el máximo porcentaje de sombra para el café debe ser del 45,0%.

Al igual que el sistema productivo de café, las especies arbóreas empleadas en el sistema agroforestal requieren de un manejo, pues un sombrío excesivo afecta el desarrollo general de la planta generando un mayor crecimiento, hojas más grandes y verdes, menor número y ramas más largas, con menos número de hojas y reducción de la producción (2).

El manejo específico de los árboles de sombra consiste en aplicar dos prácticas fundamentales: (i) las podas de formación, que se realizan entre los primeros dos o tres años de establecidos los árboles de sombrío, con el propósito de formar un tallo recto y sano; y (ii) las podas de mantenimiento o regulación del sombrío, para conservar los porcentajes de sombra que el cultivo requiere y evitar sombrío excesivo (2, 6).

En este Avance Técnico se presentan las diferentes alternativas tecnológicas que el Servicio de Extensión y los caficultores pueden emplear para evaluar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café, con el fin de mantenerlos dentro de los máximos permitidos, sin afectar el crecimiento y la producción del cultivo del café. Estas herramientas tecnológicas fueron comparadas con otras herramientas "artesanales" probadas y publicadas en el **Boletín Técnico de Cenicafé No. 39: Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal** (3).

Aplicativos e instrumentos evaluados para determinar el porcentaje de sombra en el cafetal

Se evaluaron tres métodos, programas o aplicativos tecnológicos obtenidos gratuitamente en Internet y cuatro equipos de fabricación manual. Todos los instrumentos se compararon con dos métodos de evaluación directa de la radiación solar: El *Sun Scan Canopy Analysis System* (SCAS), que registra la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), la cual se transformó a porcentaje de cobertura, según el procedimiento propuesto por Farfán *et al.* (5), y el *Gap Light Analyzer* (GLA), con el que se registra la radiación solar y automáticamente arroja un resultado sobre porcentaje de cobertura. A continuación se presenta la descripción de cada uno de los equipos evaluados.

SunScan Canopy Analysis System (SCAS)

Es un equipo de alta precisión y alto costo, utilizado en investigación para registrar la radiación solar o luz dentro del cultivo (Figura 1). Fue empleado como uno de los métodos para las comparaciones con los demás equipos, por lo tanto, la información obtenida sobre la interceptación de la radiación se transformó a porcentaje de cobertura dada por los árboles de sombra.



Figura 1. Equipo SunScan Canopy Analysis System.

Gap Light Analyzer (GLA) Versión 2.0

Es un programa para el procesamiento de imágenes, gratuito y desarrollado por Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. Este programa procesa fotografías tomadas con cámaras digitales (Figura 2). Para su aplicación se requiere un computador con sistemas Microsoft Windows 95, 98 ó XP y cámara fotográfica; además, es necesario el registro o configuración del sitio donde se tiene establecido el cultivo. La información sobre los porcentajes de cobertura se almacena directamente en hojas de cálculo. Éste se empleó como segundo método de comparación de los aplicativos digitales y manuales de evaluación del porcentaje de cobertura.

Para el análisis con este programa se tomaron fotografías con una cámara digital compacta, con lente de una distancia focal de 10 mm, un ángulo visual de 180°, de amplia cobertura del follaje (GLA 1, Tabla 1); y una cámara réflex, con lente de 18 mm y un ángulo visual de 80° aproximadamente, con menor cobertura del follaje del árbol (GLA 2, Tabla 1), con el fin de establecer diferencias en el porcentaje de cobertura obtenido con las imágenes, dependiendo del lente empleado.

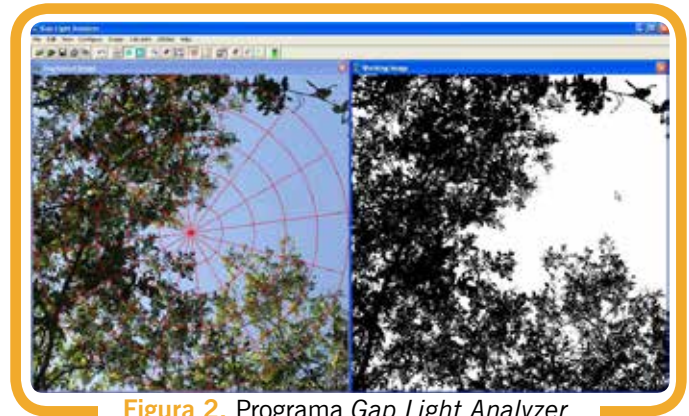


Figura 2. Programa Gap Light Analyzer.

Gap Light Analyzer Mobile App (GLAMA) Versión 3.4

Es una aplicación gratuita, obtenida en la web y desarrollada por Lubomír Tichý, Masaryk University, República Checa (Figura 3). Es de aplicación y procedimientos similares al programa GLA, pero se diferencia porque es un aplicativo que puede descargarse directamente en el teléfono móvil. Aunque es de rápida y práctica aplicación, por su similitud con el GLA, los procedimientos de configuración del sitio y fotografías son complejos; tiene como limitante su configuración única en inglés. Con este programa la información se almacena directamente en la tarjeta del teléfono.

Para las evaluaciones con el programa GLAMA se empleó un teléfono celular Motorola XT 914 con lente fijo (GLAMA 1, Tabla 1); a este mismo equipo se le adaptó un lente “ojo de pez” con ángulo visual de 180° (GLAMA 2, Tabla 1).

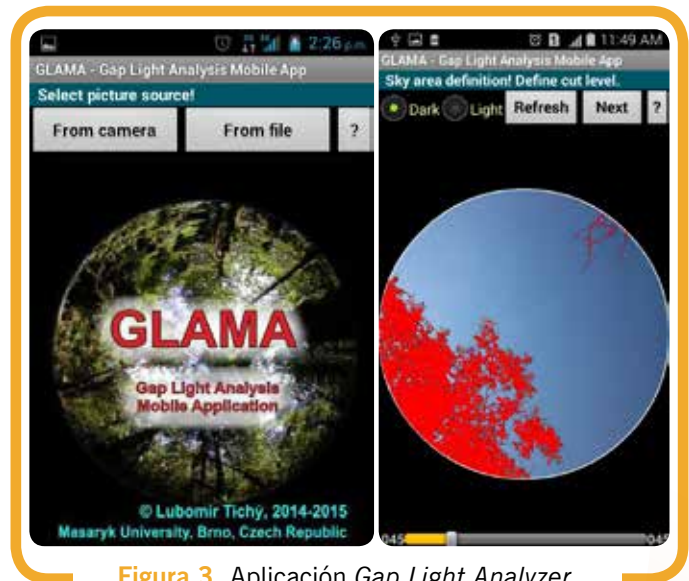


Figura 3. Aplicación Gap Light Analyzer Mobile App.

HabitApp

Es una aplicación diseñada con el fin de ayudar de manera simple en la evaluación de la cobertura del follaje proporcionada por los árboles (Figura 4). Es un aplicativo gratuito, que no requiere configuración inicial ni conexión a Internet para su operación, es de fácil, práctica y rápida aplicación y su configuración está en español; sin embargo, no almacena directamente los registros, por lo tanto, éstos deben ser anotados en libreta de campo.

Para las evaluaciones se empleó un teléfono móvil celular Motorola XT 914 con lente fijo.

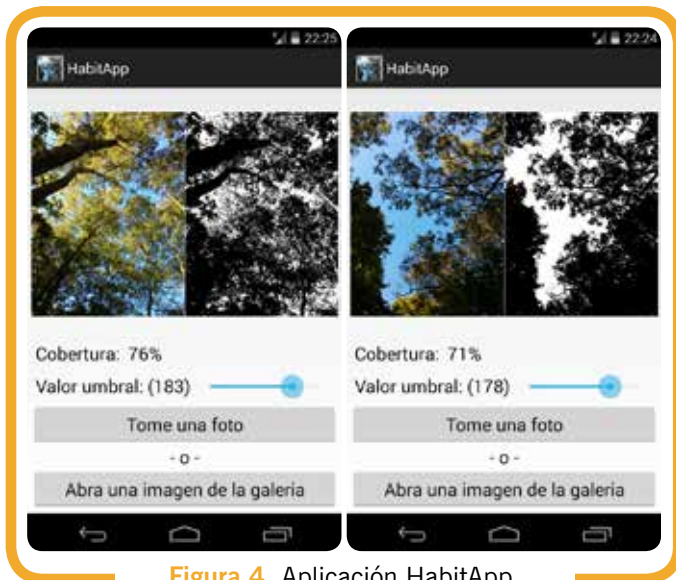


Figura 4. Aplicación HabitApp.

Densiómetro Esférico (DE)

Es un instrumento manual de fácil uso, constituido por un espejo cóncavo, con nivel esférico de burbuja, subdividido por una malla de 24 cuadros (Figura 5). Con este instrumento puede estimarse la cobertura del dosel (3). Es ampliamente utilizado para mediciones en especies forestales y está diseñado para trabajar directamente en el campo. Este sencillo instrumento por sus características es de alto costo. Debe hacerse el registro del dato en un formato o libreta de campo.

Densiómetro Cúbico (DC)

Es un instrumento de elaboración artesanal. Está conformado por una cara de acrílico, cuatro láminas de PVC, una cara con 100 cuadros de igual dimensión y un espejo (Figura 6). Con él puede estimarse el porcentaje

de cobertura del dosel (3). Debe hacerse el registro del dato en un formato o libreta de campo.

Densiómetro de Punto (DP)

Instrumento de elaboración artesanal. Está conformado por dos tubos de PVC, dos caras de acrílico con su ubicación de centro representada por una "x", un codo de PVC y un espejo (Figura 7). Con él puede estimarse el porcentaje de cobertura del dosel (3). Es un instrumento de bajo costo y fácil manipulación, puede usarse directamente en el campo. Debe disponerse de un formato de registros en el campo.

Plantilla Visual de Sombra (PVS)

Es una guía o plantilla visual de porcentaje de cobertura, que se emplea mediante la observación directa del dosel y su comparación con la plantilla



Figura 5. Densiómetro esférico.



Figura 6. Densiómetro cúbico.

visual de sombra (Figura 8). También puede obtenerse una fotografía de la cobertura del árbol y compararla con la guía (3). Es de fácil manipulación, puede usarse directamente en el campo, por lo que requiere de formato de registros.



Figura 7. Densiómetro de punto.



Figura 8. Plantilla visual de sombra.

Sitios y áreas de evaluación del porcentaje de sombra en el cafetal

En la evaluación de los instrumentos empleados para determinar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café, en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas) se seleccionaron dos lotes dispuestos en este sistema.

El Lote 1 estuvo conformado por 20 parcelas, cada una con un área de 576 m², establecidas con café a diferentes distancias de siembra y cuatro especies de sombra; guamo santafereño (*Inga edulis*), guamo macheto (*Inga densiflora*), carbonero (*Albizia carbonaria*) y cámbulo (*Erythrina fusca*), sembrados a una distancia entre árbol y surco de 12 x 12 m (70 árboles/ha).

El Lote 2 estuvo conformado por 16 parcelas, cada una con un área 576 m², establecidas con café a 1,5 x 1,5 m, bajo sombrío de guamo santafereño (*Inga edulis*), con nueve árboles por parcela, sembrados a una distancia entre árbol y surco de 12 x 12 m.

Recorridos y puntos de muestreo

La medición del porcentaje de cobertura generada por las especies de sombrío sobre el café se realizó mediante un recorrido en dos transectos cruzados y siete puntos de medición por transecto (14 puntos por cada parcela), según recomendaciones dadas en el Boletín Técnico No. 39 (3).

Resultados de las evaluaciones

Los resultados de la medición y estimación del porcentaje de cobertura con cada uno de los instrumentos evaluados, en los dos sistemas agroforestales con café, se presentan en la Tabla 1.

Lote 1. Café bajo sombrío diverso

Con el equipo (SCAS) se estimaron porcentajes de cobertura del 70%, los valores estimados y más cercanos a este porcentaje se obtuvieron con los equipos manuales o artesanales Densiómetro Cúbico, Densiómetro de Punto y la Plantilla Visual de Sombra. Con las imágenes captadas con diferentes tipos de cámaras digitales y analizadas con el programa GLA se obtuvieron iguales porcentajes. Con los programas HabitApp y GLAMA los porcentajes de cobertura arrojaron resultados similares y cercanos a los registrados con el equipo control o SCAS, Tabla 1.

Lote 2. Café bajo sombrío de solo guamo

Los porcentajes de cobertura estimados con los equipos DE, DC y DP, y registrados con GLA 1, Habitapp y GLAMA 1 fueron similares. Con GLAMA 2 no se realizaron

Tabla 1. Promedios de los porcentajes de cobertura medida y estimada con diferentes instrumentos en dos lotes, con diferentes sistemas forestales con café. Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas).

Instrumento	Porcentaje de cobertura	
	Lote 1	Lote 2
<i>SunScan Canopy Analysis System</i> (SCAS)	70%	64%
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 1)	58%	73%
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 2)	58%	Sin dato
HabitApp	63%	70%
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA 1)	63%	71%
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA 2)	64%	65%
Densiómetro Esférico (DE)	62%	71%
Densiómetro Cúbico (DC)	74%	77%
Densiómetro de Punto (DP)	71%	72%
Plantilla Visual de Sombra (PVS)	77%	79%

evaluaciones. Con la PVS se obtuvieron valores más altos que con las otras metodologías, teniendo en cuenta que este método de evaluación es más subjetivo. No obstante, los porcentajes obtenidos no distaron del registrado con el SCAS (control o referencia), Tabla 1.

Análisis comparativo entre los métodos de evaluación

Posteriormente se realizó un análisis comparativo entre los métodos de evaluación directa con los de valoración indirecta, los resultados se presentan en las Tablas 2 y 3.

Primer análisis: *SunScan Canopy Analysis System* (SCANS) vs. Equipos indirectos

Lote 1. Café bajo sombrío diverso

Los instrumentos HabitApp, *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 2), Plantilla Visual de Sombra y Densiómetro Esférico, presentaron descriptivamente diferencias absolutas menores al 15,5% (límite superior), al ser comparado con el instrumento de referencia *SunScan Canopy Analysis System*, y al considerar que el porcentaje de desviación admisible para determinar el porcentaje de sombra es del 15% (Límite superior admisible), estos instrumentos pueden ser empleados para realizar la medición en café bajo sombrío diverso (Tabla 2).

Lote 2. Café bajo sombrío de solo guamo

Los instrumentos HabitApp, *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 1), *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 2), Plantilla Visual de Sombra y Densiómetro Cúbico, presentaron descriptivamente diferencias absolutas menores al 15,5% (límite superior), al ser comparados

con el instrumento de referencia *SunScan Canopy Analysis System*, y al considerar que el porcentaje de desviación admisible para determinar el porcentaje de sombra es del 15% (Límite superior admisible), estos instrumentos pueden ser empleados para realizar la medición en café bajo sombrío simple o de una sola especies (Tabla 1).

Segundo análisis: *Gap Light Analyzer* (GLA) vs. Equipos indirectos

Lote 1. Café bajo sombrío diverso

Los instrumentos HabitApp, *Gap Light Analyzer* (GLA 2), *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 1), *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 2) y la Plantilla Visual de Sombra, presentaron descriptivamente diferencias absolutas menores al 10% (límite superior), al ser comparados con el instrumento de referencia *Gap Light Analyzer*, y al considerar que el porcentaje de desviación admisible para determinar el porcentaje de sombra es del 15% (Límite superior admisible), estos instrumentos pueden ser empleados para realizar la medición en café bajo sombrío diverso (Tabla 3).

Lote 2. Café bajo sombrío de solo guamo

Los instrumentos HabitApp, *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 1), Plantilla Visual de Sombra, Densiómetro Cúbico, Densiómetro Esférico y Densiómetro de punto, presentaron descriptivamente diferencias absolutas menores al 10% (límite superior), al ser comparados con el instrumento de referencia GLA, y al considerar que el porcentaje de desviación admisible para determinar el porcentaje de sombra es del 15% (límite superior admisible), estos instrumentos pueden ser empleados para realizar la medición en café bajo sombrío de solo guamo (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios e intervalo para las diferencias absolutas en función del *SunScan Canopy Analysis System* (SCANS).

Método	Sombrío diverso			Sombrío de solo guamo		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior	Promedio	Límite inferior	Límite superior
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 1)	15,8	11,8	19,9	10,4	5,0	15,9
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 2)	14,6	11,3	18,0			
HabitApp	11,6	8,0	15,2	9,1	4,3	13,8
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA1)	12,1	8,2	16,1	9,6	4,2	14,9
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA 2)	9,6	6,6	12,7	9,8	6,5	13,1
Plantilla Visual de Sombra (PVS)	11,8	8,2	15,4	10,0	5,2	14,8
Densiómetro Esférico (DE)	10,9	6,8	15,1	13,6	7,6	19,6
Densiómetro Cúbico (DC)	11,9	7,6	16,2	10,1	5,0	15,3
Densiómetro de Punto (DP)	16,7	10,9	22,5	15,9	8,3	23,6

Tabla 3. Promedios e intervalo para las diferencias absolutas en función del *Gap Light Analyzer* (GLA).

Método	Sombrío diverso			Sombrío de solo guamo		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior	Promedio	Límite inferior	Límite superior
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 1)	15,8	11,8	19,9	10,4	5,0	15,9
<i>Gap Light Analyzer</i> (GLA 2)	5,1	2,8	7,3			
HabitApp	5,6	3,6	7,6	3,9	2,7	5,0
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA1)	5,3	3,4	7,2	2,6	1,5	3,8
<i>Gap Light Analyzer Mobile App</i> (GLAMA 2)	7,1	3,8	10,4	9,2	3,9	14,6
Plantilla Visual de Sombra (PVS)	4,7	2,7	6,7	2,9	1,8	4,0
Densiómetro Esférico (DE)	16,3	12,4	20,1	4,2	3,0	5,5
Densiómetro Cúbico (DC)	13,2	9,3	17,1	2,8	1,4	4,1
Densiómetro de Punto (DP)	19,3	13,2	25,5	7,0	3,9	10,2

Consideraciones

Los instrumentos HabitApp, *Gap Light Analyzer Mobile App* (GLAMA 1) y la Plantilla Visual de Sombra (PVS) pueden ser empleados para determinar el porcentaje de cobertura en sistemas agroforestales con café; sin embargo, no todos los instrumentos son igualmente prácticos dada la forma en que deben ser empleados, además de su costo y manipulación.

Las diferencias en las evaluaciones pueden atribuirse a:

- La objetividad de quien utiliza los equipos manuales y realiza la lectura del dato.
- La conversión de radiación solar a porcentaje de cobertura.
- Los tipos de lentes empleados, como lentes de ángulo visual amplio, apertura del dosel o con los del ángulo visual estrecho.
- La experiencia, rigurosidad y conservación del método para realizar la lectura del porcentaje de sombra.

Recomendaciones de uso

Producto de las evaluaciones y la validación, dada su aplicabilidad, nivel de precisión, practicidad, bajo costo y por ser un aplicativo de lenguaje sencillo, con fácil y rápida interpretación del resultado, y debido a sus ventajas comparativas frente a las otras metodologías, el instrumento recomendado a utilizar para evaluación del porcentaje de cobertura en sistemas agroforestales con café, es la aplicación móvil HabitApp.

Al emplear este aplicativo debe seleccionarse el número de transectos, el número de puntos por transecto y su recorrido, según el tamaño del lote con café, de acuerdo a lo descrito en el Boletín Técnico No. 39 (3).

En caso de no contar con un celular o dispositivo móvil para la utilización de la aplicación, se sugiere emplear el Densiómetro Esférico (DE), el Densiómetro Cúbico (DC) o especialmente la Plantilla Visual de Sombra (PVS), que no requiere de algún equipo, no tiene costo y es práctica al momento de emplearse (3).

Agradecimientos

A la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) por su apoyo financiero y técnico en el estudio. También se agradece señor Carlos Augusto Ramírez, auxiliar de la disciplina de Fitotecnia, quien apoyó con el registro de la información en el campo, y a todo el personal de la Estación Experimental Naranjal por su disposición y valioso apoyo en la ejecución del estudio.

Literatura citada

1. FARFÁN V., F.F. Producción de café en sistemas agroforestales. p.161-200. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2007. 309 p.
2. FARFÁN V., F.F. Agroforestería y sistemas agroforestales con café. Manizales : Cenicafé, 2014. 341 p.
3. FARFÁN V., F.F. Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. Manizales : Cenicafé, 2015. 27 p. (Boletín Técnico No. 39).
4. FARFÁN V., F.F.; JARAMILLO R., A. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Manizales : Cenicafé, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 379).
5. FARFÁN V., F.F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café. Cenicafé 54(1):24-34. 2003.
6. FARFÁN V., F.F. Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. Manizales : Cenicafé, 2014. 8 p. (Avances Técnicos No. 440).

