

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA MEDIR SOMBRÍO EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ

Fernando Farfán-Valencia*; John J. Arias-Hernández*; Néstor M. Riaño-Herrera**

RESUMEN

FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café. Cenicafé 54(1):24-34. 2003

Se evaluó una metodología que permite medir la fracción de la radiación fotosintéticamente activa global (RFAG) interceptada por especies arbóreas en sistemas agroforestales con café. Se evaluó en un sistema agroforestal con *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* y se validó en dos sistemas, uno con *Inga* sp. y otro con 5 leguminosas, más café en la densidad de 4.500 plantas/ha. Se encontró que el porcentaje medio de la RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café fluctuó entre 45 y 55% en *Cordia alliodora*, 30 a 49% en *Pinus oocarpa* y 64 y 68% en *Eucalyptus grandis*. De la primera validación se obtuvo que la RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café con *Inga* sp. fue de 75,2%, 70,8% y 58,9% para la 1ª, 2ª y 3ª densidad de siembra. La segunda validación mostró que la RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café para la 1ª, 2ª y 3ª densidad de siembra del componente arbóreo en su orden fueron: con *Albizia carbonaria* 78,1%, 72,6% y 80,3%; con *Leucaena leucocephala* 37%, 22,2%, y 13,4%; con *Erythrina* sp. 33,8%, 6,8% y 8,8%; con *Inga spectabilis* 28,4%, 37,2% y 13,1% y con *Inga edulis* 50,3%, 49,1% y 16,5%. La metodología puede utilizarse en estudios que requieran relacionar de forma cuantitativa el efecto de la sombra sobre la producción.

Palabras claves: Café, sombra, sombrío, especies forestales, radiación incidente, radiación fotosintéticamente activa, RFA.

ABSTRACT

A methodology to measure the fraction of photosynthetic active radiation (PAR) intercepted by shade trees was evaluated in a coffee agroforestry system. The methodology was calibrated in coffee plots under the shade of *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* and *Eucalyptus grandis* grown at densities of 278 trees ha⁻¹ and validated in another two systems one consisting of *Inga* sp and the other with 5 tree legume species grown at densities of 278, 123 and 69 trees ha⁻¹. In all the systems the coffee density was 4700 trees ha⁻¹. The mean incident PAR on top of coffee trees was 45-55% under *Cordia alliodora*, 30-49% under *Pinus oocarpa*, and 64-68% under *Eucalyptus grandis*. In the validation plots the values found were respectively 75.2%, 70.8% and 58.9% for each density of *Inga* sp. In the second validation plot the mean incident PAR was 78.1%, 72.6% and 80.3% for *Albizia carbonaria*; 37%, 22.2%, and 13.4% for *Leucaena leucocephala*; 33.8%, 6.8% y 8.8% for *Erythrina* sp., 28.4%, 37.2% and 13.1% for *Inga spectabilis*; 50.3%, 49.1% and 16.5% for *Inga edulis*. This methodology can be used in studies to quantitatively establish the effect of shading on coffee production.

Keywords: Coffee, shade, trees, incident radiation, photosynthetic active radiation.

* Asistentes de Investigación. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico II. Fisiología Vegetal, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

La radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad. Las plantas interceptan parte de esta energía para llevar a cabo el proceso fotosintético responsable de la principal entrada de energía libre en la biosfera, pero menos del 5% es utilizada normalmente en este proceso. El resto se usa para calentar la planta y los organismos circundantes, determinando también la temperatura a la cual se llevan a cabo los procesos fisiológicos. La radiación solar, por su cantidad y distribución espectral, juega un papel importante en la regulación del crecimiento y desarrollo vegetal; la calidad de la radiación afecta la calidad de los frutos, el fototropismo y fotomorfogénesis y las radiaciones de alta energía, incluyendo la ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, que pueden tener efectos dañinos ya que afectan la estructura del material genético causando mutaciones (19).

Un criterio que ha sido fundamental en los aumentos de la producción agrícola de la última mitad de siglo es el incremento de la interceptación de la radiación solar por las plantas cultivadas, ya sea por cambios en su arquitectura o por aumentos en la densidad de población, lo que ocasiona un incremento del área foliar total capaz de interceptar y convertir dicha energía lumínica en energía cosechada (24).

La caficultura en Colombia se benefició de estos desarrollos y fue así como la producción nacional aumentó considerablemente desde la introducción de la variedad Caturra en la década de los setenta, la cual debido a su porte bajo permite el uso de altas densidades (5, 28). No obstante, cerca de dos terceras partes de la producción de café en Colombia se encuentran bajo sistemas agroforestales con distintas intensidades de sombra.

Una de las mayores dificultades para determinar el efecto de la competencia por radiación entre las especies, ya sea en sistemas naturales o agroforestales, es la medida de las fracciones interceptadas por cada uno de los componentes del sistema. La interceptación de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RAF¹) puede estimarse con base en modelos de desarrollo de la fronda, relacionándola con mediciones diarias de interceptación, tasa de crecimiento del cultivo y factores climáticos (6, 12).

La metodología propuesta por Wong y Wilson (29), para obtener la RFA en sistemas silvopastoriles consiste en hacer mediciones en días soleados y nublados en medio y debajo de los árboles. Bolívar *et al.* (10), estudiaron la RFA en un sistema silvopastoril (*Brachiaria humidicola* – *Acacia mengium*) mediante el empleo de ceptómetros y a lo largo de trayectos distanciados a 1,0; 2,5 y 4,0m de los árboles, ubicando puntos al azar en parcelas a libre exposición y bajo sombrío, calculando el RFA por diferencias entre las parcelas.

Mariscal *et al.* (23), determinaron la RFA incidente y transmitida por árboles en huertos de Olivo (*Olea europea*) adoptando figuras elipsoidales y sistemas de cuadrantes en unidades de medición conformadas por cuatro árboles, emplearon equipos como el ceptómetro y el PCA (Plant Canopy Analyzer). Varios autores (14, 20, 22, 27), mediante la simulación de diversas configuraciones geométricas y con la utilización de equipos similares estudiaron la RFA interceptada en cultivos de *Pinus* sp., encontrando que, según el arreglo espacial y la especie de pino estudiada, esta interceptación puede estar entre el 20 y el 90%.

Varios estudios se han desarrollado en el cultivo del café que han determinado el efecto

¹ Radiación Fotosintéticamente Activa (mmol.m⁻².seg⁻¹)

del sombreado natural sobre el microclima de la planta, la producción de biomasa, y la producción y la calidad de la bebida, entre otros. En gran parte de los casos se compara dicho efecto con el de plantas a libre exposición solar (1, 3, 7, 8, 17, 26). En los estudios consultados la sombra se describe cualitativamente, ya sea por el tipo de árbol asociado, su edad o densidad de siembra, pero en ninguno de ellos se llevó a cabo una determinación cuantitativa de la sombra producida.

Por lo anterior, es importante cuantificar el grado de sombra que producen especies arbóreas que podrían asociarse al cultivo del café y poder relacionar de manera directa la radiación disponible con el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de la bebida, entre otros. Para lograr este objetivo se diseñó y probó una metodología sencilla de medición que se describe a continuación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se ubicó en la Subestación Experimental Paraguaicito, situada en el municipio de Buenavista, departamento del Quindío, a los 4° 2' de latitud norte, 75°44' de longitud oeste, 1.250 metros de altitud, 22,2°C de temperatura media, 2.243,7mm de precipitación acumulada, 1.757 horas de brillo solar acumulado anual y 74% de humedad relativa (16).

Material vegetal. Se seleccionó un lote de *Coffea arabica* L. cv. Colombia, a distancias de 1,5 x 1,5 m (4.444 plantas/ha), sembrado en 1995, un año después de establecer las especies de sombrío. Como componentes forestales del sistema se emplearon las especies nogal cafetero, eucalipto y pino, establecidas en 1994, a distancias de 6,0 x 6,0m (278 plantas/ha). Estas especies tienen las siguientes características:

Nogal cafetero, *Cordia alliodora* (Ruíz Pavón) Oken. Árbol de tamaño mediano a grande, que alcanza alturas superiores a los 30m, fuste de 50 a 60cm de diámetro, recto y limpio de ramas en un 60-70%. La copa es estrecha y subpiramidal, con ramificaciones por pisos, que se van secando a medida que aumenta la altura. Esta especie es caducifolia en las épocas de verano. Las raíces son amplias y profundas, bien desarrolladas; en suelos ricos y profundos. Desarrolla una raíz pivotante, pero ramificada en suelos superficiales o de regular drenaje. En Colombia, el nogal se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.900m, en climas húmedos y muy húmedos. Es común en la zona cafetera, sur de la costa pacífica, Magdalena medio, nordeste del Chocó, Caquetá y Arauca. Aunque crece en climas secos tropicales, se desarrolla en los húmedos de 1.500 a 3.000mm de lluvia al año y con temperaturas entre 18 y 25°C.

El nogal es una especie promisoría en sistemas agroforestales por tener una copa estrecha, rápido crecimiento, poda natural y producir madera de calidad para las industrias del mueble y la ebanistería. Se planta en arreglos agroforestales bajo tres modalidades: 1. En arreglos agroforestales permanentes, como en el caso del asocio con café o cacao. 2. En arreglos agroforestales temporales (tipo Taungya), cuando se combina con cultivos agrícolas anuales o semiperennes (maíz, yuca, plátano, banano, caña, arroz, entre otros). 3. En plantaciones en línea (linderos), para delimitar cultivos como café, práctica común en algunas regiones cafeteras (13).

Pino, *Pinus oocarpa* (Schiede). Árbol monoico, que alcanza alturas de hasta 45m; se descortezaba en largas bandas irregulares, escamosas de color rojizo oscuro a grisáceo. Se distribuye naturalmente desde los 28° N en el noroeste de México, hasta los 12° N. Su rango altitudinal varía entre los 600 y 1.200m, con precipitaciones mínimas anuales de 650mm y una época seca de 5 a 6 meses, con temperaturas de 13 a 23°C.

En condiciones naturales se encuentra creciendo sobre suelos erosionados, arenosos, bien drenados, ácidos a neutros (pH de 4,5 a 6,8), de baja fertilidad, derivados de materiales de origen volcánico antiguo, con un alto contenido de cuarzo. La madera presenta una ligera diferencia entre albura y duramen café pálido. Textura fina, con brillo de mediano a alto, vetado pronunciado, con anillos de crecimiento visibles. Es utilizado en construcción, muebles, ebanistería, molduras, paredes interiores, artesanías, y para pulpa y papel (13). En Brasil es común el empleo de *Pinus* sp. como barreras rompevientos en café (11), y en Malasia se utiliza *Pinus merkusii* como componente arbóreo en sistemas agroforestales permanentes con café (25).

Eucalipto, *Eucalyptus grandis*. Árbol que puede alcanzar grandes dimensiones, entre 25 a 50 m, de tronco grueso y corteza caduca de color claro, desprendible en placas alargadas. Las hojas son alternas y horizontales o colgantes. Tiene flores blancas en racimos. El fruto o cápsula es de forma cónica, y alberga gran cantidad de semillas muy pequeñas. El eucalipto tiene la particularidad de producir brotes indefinidos y yemas desnudas, lo que le permite crecer continuamente y producir nuevos órdenes de ramas mientras subsisten las condiciones favorables para su desarrollo.

Es muy utilizado en el establecimiento de cercos vivos, los que se establecen en líneas como linderos y división de potreros, cortinas o barreras rompevientos con la finalidad de proteger los suelos, los cultivos y los pastizales. *E. grandis* se ha probado en combinación con café en la modalidad de sombrío productivo. Aunque esta práctica se encuentra en etapa experimental, tiene buenas posibilidades de ser extendida entre los caficultores. La especie se utiliza como ornamental, para sombra, cortinas rompevientos y cercas vivas. Además, las abejas utilizan el néctar y polen de sus flores para la producción de miel (13). En Costa Rica se registra

el empleo de *Eucalyptus deglupta* como componente arbóreo en sistemas agroforestales con café (2).

METODOLOGÍA

Diseño de tratamientos. Los tratamientos, 4 en total, fueron: Café a libre exposición, café con sombrío de nogal, café con sombrío de pino y café con sombrío de eucalipto. Se utilizó un diseño de bloques al azar y cuatro replicaciones, donde el factor de bloqueamiento fue la pendiente del terreno.

La unidad experimental fue la parcela, conformada por 16 árboles de sombrío y 289 plantas efectivas de café; cada parcela ocupó un área de 650m² (Figura 1) y el área total del experimento fue de 1,9ha.

Para estandarizar la metodología y medir la sombra en cada parcela, ésta se dividió en 16 unidades de medición (Figura 1); cada unidad estuvo conformada por un árbol de sombrío y 25 plantas de café. Las mediciones se realizaron sólo en tres de las cuatro replicaciones que conformaron el experimento.

Medición de la radiación. En enero y octubre de 1998 se midió la radiación fotosintéticamente activa (RFA – radiación entre 400 – 700nm de longitud de onda) incidente en cada una de las parcelas.

Para medir la cantidad de RFA incidente libre de interferencias, que es la misma que llega a la parte superior de la fronda de las especies forestales, se colocó un sensor LI-190SA (Quantum Sensor LICOR, Lincoln, NE, USA) en un área descubierta adyacente a la parcela experimental y se conectó a un registrador automático de datos LI-1000 (LICOR, Lincoln, NE, USA), almacenando información de la RFA cada minuto (en adelante se denominará como información externa). Los datos obtenidos con

este sensor en el período de medición corresponden al 100% de la radiación incidente sobre la fronda del componente arbóreo.

Para medir la fracción de la RFA incidente sobre la fronda de las plantas de café, se utilizó una barra integradora de medición LI-191SA (Line Quantum Sensor LICOR, Lincoln, NE, USA), conectada al colector de datos LAI-2000. La barra integradora se colocó por encima de la planta de café, perpendicular al tallo, efectuando una medición instantánea (en adelante se denominara como información interna). Las plantas de café sobre las cuales se midió la RFA incidente se numeraron secuencialmente para precisar el punto donde se realizó el registro y facilitar los cálculos, tal como se presenta en la Figura 1. Los equipos registradores de datos se ajustaron con la misma hora de tal manera que uno de los valores promedio almacenados por el LI-1000 coincidiera con uno de los valores almacenados por el LAI-2000.

Las mediciones se llevaron a cabo entre las 11 y 13 horas, momento en el cual el ángulo de inclinación solar es cercano o igual a los 90°; la orientación de los recorridos para el registro de la información fueron dos, de oriente a occidente, más un recorrido de verificación sur-norte.

La información contenida en cada uno de los registradores de datos fue transferida a un PC con la ayuda del software LI-1900. Todos los cálculos posteriores para obtener los porcentajes de RFA se llevaron a cabo con el programa MS-Excel.

Para estructurar la metodología, cada unidad de medición se dividió en cuatro cuadrantes (Figura 2); cada cuadrante estuvo delimitado por los puntos 1,2,17 y 18; 2,3,16 y 17; 17,18,19 y 20; 16, 17, 20 y 21 y así sucesivamente hasta 64,65,80 y 81. Para cada punto del cuadrante se obtuvieron dos valores medidos de RFA,

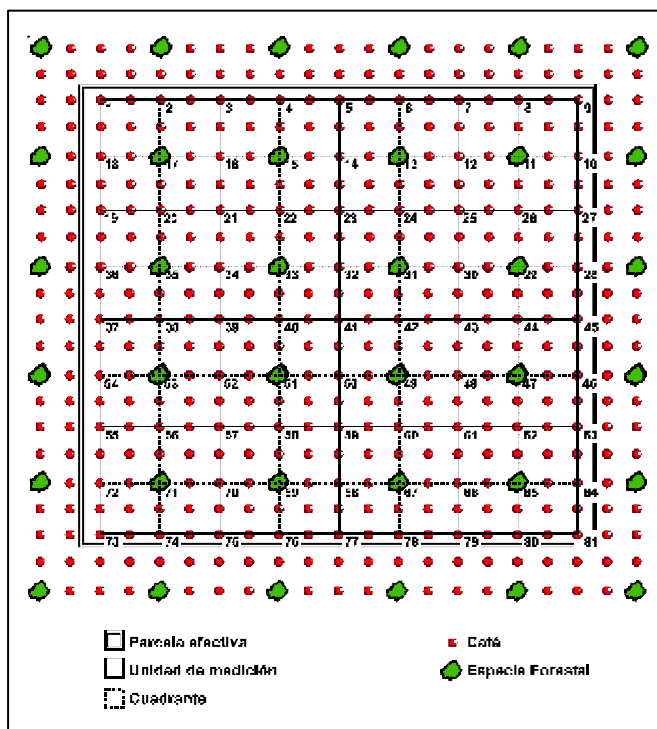
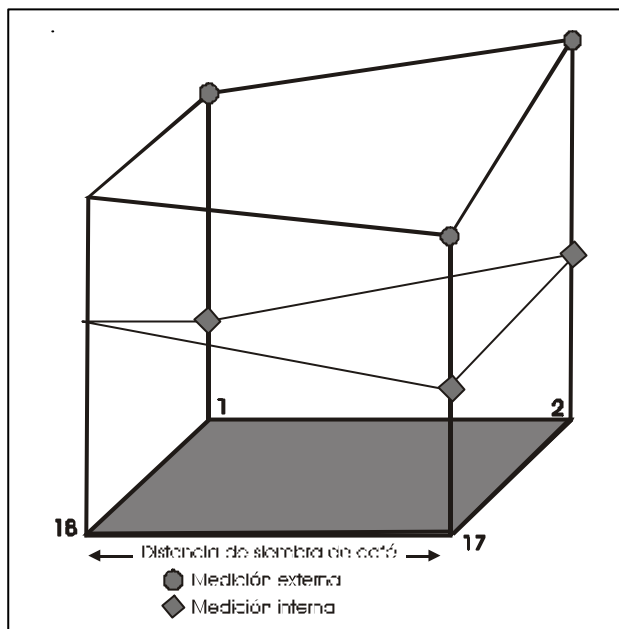


Figura 1. Disposición de las plantas de sombrero y café en el campo y numeración secuencial para su medición.

Figura 2.
Diagrama que permite
visualizar la forma como se
toma la información en cada
uno de los puntos del
cuadrante.



uno externo y otro interno (Figura 2). Con los cuatro valores externos se calculó el total de la RFA incidente sobre el tope superior del cuadrante que correspondió al 100% y con los cuatro valores internos se calculó la RFA incidente sobre las plantas de café, bajo la influencia de los árboles de sombrío.

La Figura 2, está conformada por las mediciones externas e internas y corresponde a un paralelepípedo recto; por tanto, se aplicó para cada cuadrante la fórmula para hallar el volumen de éste, así:

$$V = A \{ (h1 + h2 + h3 + h4) / 4 \}$$

Donde V es el volumen del paralelepípedo recto formado, A es el área del cuadrante, para todos los casos es 9 y $h1, h2, h3, h4$ corresponde a los valores de RFA externa o interna obtenidos.

Radiación incidente en la unidad de medición.

El total de radiación incidente sobre el tope superior de la unidad de medición fue la

sumatoria de los volúmenes de cada uno de los cuatro cuadrantes calculada con los valores de RFA externos y la RFA recibida por las plantas de café, calculada con los valores de RFA interna.

Sombrío en la parcela (fracción de la RFA transmitida). De igual forma, el valor de la fracción de la RFA transmitida sobre el café calculado en término porcentual para toda la parcela será:

$$\% \text{ sombrío} = [\sum V (\text{unidad de medición interna}) / \sum V (\text{unidad de medición externa})] \times 100$$

Validación. La metodología estandarizada se validó en dos campos experimentales donde se tenían sistemas agroforestales con café; el primero de ellos correspondiente al experimento FIT 0422 ubicado en la Estación Central Naranjal en Chinchiná (Caldas), donde se determinó el sombrío asociado con la disposición de guamo, *Inga sp.* en varios arreglos espaciales (6,0 x 6,0m; 9,0 x 9,0m y 12,0 x 12,0m), en un sistema

agroforestal guamo-café. La segunda validación se realizó en el experimento FIT 0424 ubicado en la subestación experimental de Consacá (Nariño), en el que se evaluó el nivel de sombrero dado por 5 especies leguminosas (*Inga spectabilis*, *I. edulis*, *Erythrina poeppigiana*, *Albizia carbonaria* y *Leucaena leucocephala*), en varios arreglos espaciales (6,0 x 6,0m; 9,0 x 9,0m y 12,0 x 12,0m), en un sistema agroforestal café - especies arbóreas. En los dos casos se aplicó la misma metodología pero ajustando el número de cuadrantes y su área, así como el número de puntos de registros totales por parcela (Tabla 1); las mediciones se realizaron en marzo de 1998 y en abril de 1999 en el primer caso y en mayo de 1999 en el segundo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las mediciones realizadas en términos del porcentaje de la RFA incidente sobre el tope de la fronda las plantas de café (sombrero), se presentan en la Figura 3 y la Tabla 2.

Las especies *Pinus oocarpa* y *Cordia alliodora*, presentaron gran variabilidad entre parcelas en la primera fecha de medición, lo cual está asociado con la edad de las plantas, su homogeneidad y la ubicación de la parcela, mientras que *Eucaliptus grandis* presentó un alto grado de homogeneidad. Para la segunda fecha de medición, *Pinus oocarpa* disminuyó

Tabla 1. Características de las unidades de medición para la validación

Experimento	Distancia de siembra componente arbóreo (m)	Unidades de medición	Número de cuadrantes/unidad	Área del cuadrante (m ²)	Puntos de medición por parcela
FIT 0422	6,0 x 6,0	1	16	2,25	25
E. C. Naranjal	9,0 x 9,0	1	36	2,25	49
	12,0 x 12,0	1	64	2,25	45
FIT 0424	6,0 x 6,0	1	8	2,25	15
S.E Consacá	9,0 x 9,0	1	18	2,25	28
	12,0 x 12,0	1	32	2,25	45

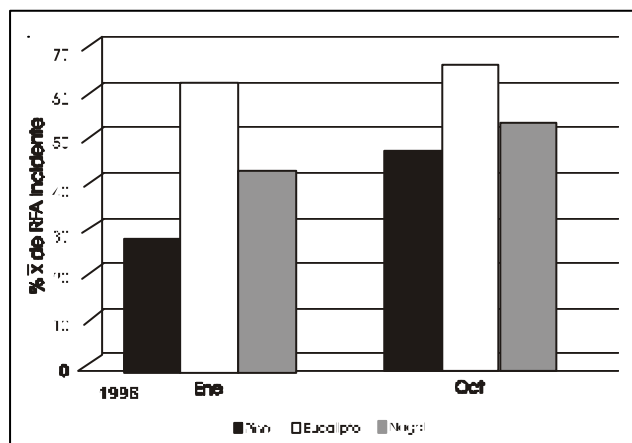


Figura 3. Porcentaje medio de la RFA incidente sobre el tope de la fronda de las plantas de café.

Tabla 2. Fracción de RFA incidente sobre el café con sombrío de tres especies forestales

Especie forestal	Repetición	Fracción de RFA incidente sobre el café		Coeficiente de correlación (r)
		Enero 1998	Octubre 1998	
<i>Pinus oocarpa</i>	1	45 ± 9,5	56 ± 9,6	0,779
	2	13 ± 4,1	46 ± 12,9	
	3	31 ± 6,1	45 ± 10,9	
<i>Eucaliptus randis</i>	1	64 ± 15,2	72 ± 7,4	0
	2	62 ± 12,2	66 ± 6,4	
	3	66 ± 9,5	66 ± 6,9	
<i>Cordia alliodora</i>	1	81 ± 10,9	80 ± 7,9	0,996
	2	43 ± 10,7	51 ± 9,7	
	3	12 ± 5,4	34 ± 9,1	

su variabilidad mientras *Cordia alliodora* mantuvo su alta variabilidad. Los coeficientes de correlación entre la edad del cultivo y su nivel de sombrío determinados para cada especie fueron de $r = 0,779$ y $0,996$ para *P. oocarpa* y *C. alliodora*, respectivamente, lo que indica un aumento del nivel de sombrío al aumentar la edad del cultivo. Tanto la interceptación como la transmisión de la RFA que espectralmente es la utilizada en el proceso de la fotosíntesis, a través de la fronda de cada una de las especies, está asociada con su arquitectura, homogeneidad de la población y velocidad de crecimiento, de acuerdo con lo expuesto por Black y Ong (9), quienes afirman que la arquitectura de la fronda es heterogénea y cambia constantemente de acuerdo a la tasa de crecimiento y del ciclo de vida de la especie.

Eucaliptus grandis presentó valores homogéneos de la RFA interceptada entre las parcelas medidas y la menor variabilidad dentro de la parcela como lo indican los valores de desviaciones estándar presentados. El coeficiente de correlación determinado para esta especie ($r = 0$), indica que no hay aumento en el nivel de sombrío al aumentar la edad del cultivo.

Para verificar si existían diferencias en los valores de sombrío, dependiendo de la posición de la parcela en el sentido norte - sur y del recorrido realizado para la toma de la información, en la segunda fecha de evaluaciones, se procedió a hacer dos recorridos, el primero tal como se describió en los materiales y métodos (sentido oriente - occidente), y el segundo iniciando en el mismo punto pero con orientación sur - norte. Los resultados obtenidos mostraron que no hubo efecto del recorrido sobre la determinación de los porcentajes de sombrío, de tal manera que obtuvo una correlación ($r = 0,996$) en los valores de las dos mediciones.

Validación. Los resultados obtenidos de la primera validación (Experimento FIT 0422) se presentan en la Tabla 3. La determinación del coeficiente de correlación dio como resultado valores $r = -0,979$ en la primera medición y de $-0,910$ en la segunda medición, lo que indica una relación inversa entre la distancia de siembra del sombrío y el nivel de sombrío, es decir, al aumentar la distancia de siembra disminuye el nivel de sombrío. Al correlacionar el nivel de sombrío a través del tiempo el valor r fue de $0,975$, lo que indica que a mayor edad de las plantas de *Inga* sp. mayor es el sombrío que

afecta al café; sin embargo, debe tenerse en cuenta que los valores registrados de interceptación de radiación y los análisis derivados de éste, pueden cambiar dependiendo de la escala en el tiempo en que fueron tomados (9). Igual como se observó en el primer experimento, con *Inga* sp. se presenta la misma variabilidad (altos coeficientes de variación, > 50%) lo que indica que el sombrero está determinado por la arquitectura, la disposición de las hojas en la fronda y el arreglo espacial utilizado.

Los resultados obtenidos de la segunda evaluación (Experimento FIT 0424), se presentan en la Tabla 4, donde se observa una baja correlación ($r = 0,277$), cuando se emplea *Albizia carbonaria* como sombrero; esto indica que dada su arquitectura el grado de sombrero

de esta especie es muy homogéneo en cualquier arreglo espacial. Las otras especies, *L. leucocephala*, *Erythrina* sp., *I. spectabilis* e *I. edulis* en sus diferentes arreglos espaciales presentaron valores de r negativos (-0,990, -0,831, -0,627 y -0,880, respectivamente) y alta correlación, lo que indica que al ampliar la distancia de siembra de la especie arbórea disminuye el nivel de sombrero. Black y Ong (9), indican que en sistemas agroforestales la interceptación de la RAF es variable de acuerdo al arreglo espacial de los componentes.

Se puede concluir, con base en la información presentada, que la metodología evaluada permite cuantificar el grado de sombrero generado por diversas especies arbóreas como componentes

Tabla 3. Fracción de RFA incidente sobre el tope superior de la fronda de plantas de café, asociado con *Inga* sp. en tres densidades de población y dos fechas de medición (*Inga* y café de 3 años de edad).

Especie leguminosa	Fracción de RFA incidente sobre el café			Coeficiente de correlación (r)
	6,0 x 6,0	9,0 x 9,0	12,0 x 12,0	
<i>Inga</i> sp. (1ª medición)	69,7	61,7	44,7	-0,979
<i>Inga</i> sp. (2ª medición)	80,7	79,9	73,1	-0,910

Tabla 4. Fracción de RFA incidente sobre el tope superior de la fronda de plantas de café asociado a 5 especies leguminosas, en tres densidades de población y una fecha de medición (Leguminosas y café de 4 años de edad)

Especie leguminosa	Fracción de RFA incidente sobre el café			Coeficiente de correlación (r)
	6,0 x 6,0	9,0 x 9,0	12,0 x 12,0	
<i>Albizia carbonaria</i>	78,16	72,61	80,37	0,277
<i>Leucaena leucocephala</i>	37,04	22,25	13,41	-0,990
<i>Erythrina</i> sp.	33,86	6,84	8,82	-0,831
<i>Inga spectabilis</i>	28,43	37,24	13,10	-0,627
<i>Inga edulis</i>	50,21	49,11	16,51	-0,880

de sistemas agroforestales con café, y de esta forma es posible relacionar su efecto sobre las variables fisiológicas y de productividad del cafeto y asegurar recomendaciones para los agricultores con alto grado de certidumbre.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jaime Arcila P., de la Disciplina de Fitotecnia de Cenicafe, por su valiosa contribución.

LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F.; SILVA, S.; VICENTE C., J. Effects of yield, shade, and varieties on size of coffee beans. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 50 (3): 226–230. 1966.
2. AGUILAR, A.; BEER, J.W.; VAAST, P.; JIMÉNEZ, F.; STAVEN, C.; KLEINN, C. Desarrollo del café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* en la etapa de establecimiento. *Agroforestería en las Américas* 8 (30):28-31. 2001.
3. ALARCÓN M., O.; ALDAZÁBAL R., M.; MARTÍNEZ, J.T. Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. *Centro Agrícola* 23 (1-3): 11-16 1996.
4. ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H. W.; HELIVELDOP, J.; ENRÍQUEZ, G.; FOLSTER, H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y conporó (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba – Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba* 35 (3): 242. 1985.
5. ARCILA P., J.; CHAVES C., B. Desarrollo del cafeto en tres densidades de siembra. *Cenicafé* 46(1): 5-20. 1995.
6. ARKEBAUER, T. J.; WEISS, A.; SINCLAIR, T. R.; BLUM, A. In defense of radiation use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 2221-227. 1994.
7. BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Hybanthus sarsenii* and *Cordia alliodora*. *Agroforestry Systems* 37: 111 – 120. 1997.
8. BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Manejo de la sombra en plantaciones de café y cacao. *Agroforestry Systems* 38: 139 – 164. 1998.
9. BLACK, C. ; ONG, C. Utilisation of light and water in tropical agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 104 (1): 25-47. 2000.
10. BOLÍVAR V., D. M.; IBRAHIM, M.; JIMÉNEZ, F. Producción de *Brachiaria humidicola* bajo un sistema silvopastoril con *Acacia mangium* en el trópico húmedo. Universidad Nacional de Medellín. On line Internet: www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/BolivarP.htm.
11. CAMARGO, A.P. DE. Quebra-ventos na prevencao da seca de ponteiros do café. *Série Experimentacao Cafeira* 1(4): 31-38. 1977.
12. CASTILLO R., E.; ARCILA P. J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA, J. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar de *Coffea arabica*. *Cenicafé* 48(3): 182-194. 1997.
13. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Base de datos Flora. On line Internet. www.orton.ac.cr/flora/htm. (Consultada: 09.2002)
14. DALLA-TEA. F. Needlefall, canopy light interception, and productivity of young intensively managed slash and loblolly pine stand. *Forest Science* 37(5):1298 – 1313. 1991.
15. DETLEFSEN R., E.G. Evaluación del rendimiento de café bajo diferentes densidades de *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana*. Turrialba, IICA – CATIE, 1988. 121 p. (Tesis: Magister Science).
16. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINA. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 1997. Chinchiná, Cenicafé, 1998. 511 p.

17. HERNÁNDEZ G., O.; BEER, J.; PLATEN, H. VON. Rendimiento de café caturra, producción de madera y análisis financiero (*Cordia alliodora*) de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 4 (13): 8 – 13 1997.
18. JARAMILLO R., A.; GÓMEZ G., L. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrero. Cenicafé 40(3): 65-67. 1989.
19. JONES, J.R.; PRICE, N. Agroforestry and application of the farming systems approach to forestry. Serie : Human Organization. 44(4): 322-331. 1985
20. LAW, B.E. Growth in relation to canopy light interception in a red pine (*Pinus resinosa*) thinning study. Forest Science 38 (1): 199-202. 1992.
21. NOBEL, P.S. Introduction to biophysical plant physiology. San Francisco, W.H. Freeman, 1970. 488 p. (A Series of Books in Biology).
22. MACHADO S., A. El sombrero como factor interactuante en la producción del café. Cenicafé 2 (16):21-33 1951.
23. Mc CRADY, R. L. Canopy dynamics, light interception, and radiation use efficiency of selected loblolly pine families. Forest Science 44 (1):64-72. 1998.
24. MARISCAL, M. J.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F. J. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. Agricultural and Forest Meteorology 100 (2-3): 183-197. 2000
25. OTHMAN, A.R. A note on intercropping of coffee with *Araucaria hunsteinii* and *Pinus merkusii* trees in Peninsular Malaysia. Journal of Tropical Forest Science 4(2):179-181. 1991.
26. RAMÍREZ, C. Algunas consideraciones sobre el asocio de árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*) en plantaciones de café. Boletín Promecafé N° 8: 9 – 13. 1990.
27. SEQUEIRA, W. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliotii*) silvo-pastoral system at different stand configurations in florida. The Forestry Chronicle. 37 (3):263-267. 1991. On line Internet: www.nal.usda.gov/cgi-bin/agricola.ind
28. VALENCIA A., G. Índice de área foliar y productividad del café. Cenicafé 24(4):79-89. 1974.
29. WONG, C. C. ; WILSON, J. R. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green Panic and Sitrato in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. Australian Journal of Agriculture Research. 31:269-285. 1980