

# Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal



**Fernando Farfán valencia**





**Ministro de Hacienda y Crédito Público**  
Mauricio Cárdenas Santamaría

**Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**  
Aurelio Iragorri Valencia

**Ministro de Comercio, Industria y Turismo**  
Cecilia Álvarez Correa

**Director del Departamento Nacional de Planeación**  
Simón Gaviria Muñoz

**COMITÉ NACIONAL**

Período 1° enero/2011- diciembre 31/2014

José Fernando Montoya

Eugenio Vélez Uribe

Luis Javier Trujillo Buitrago

Fernando Castro Polanía

Carlos Roberto Ramírez Montoya

Francisco Javier Pérez Marín

Fernando Castrillón Muñoz

Carlos Alberto Cardona Cardona

Jorge Julián Santos Orduña

Aura Teresa Pérez

Alfredo Yáñez Carvajal

Crispín Villazón de Armas

Iván Pallares Gutiérrez

Jorge Cala Robayo

**GERENTE GENERAL**

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

**GERENTE ADMINISTRATIVO**

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

**GERENTE FINANCIERO**

JULIÁN MEDINA MORA

**GERENTE COMERCIAL**

CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ

**GERENTE COMUNICACIONES Y MERCADEO**

LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

**GERENTE TÉCNICO**

CARLOS ARMANDO URIBE FANDIÑO

**DIRECTOR INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA  
Y TECNOLÓGICA**

FERNANDO GAST HARDERS

**ISBN**

978-958-8490-16-8



# Créditos

## **Edición de textos**

Sandra Milena Marín L.

## **Diseño y diagramación**

Carmenza Bacca R.

## **Fotografías**

Fernando Farfán V.

Carmenza Bacca R.

## **Impreso por**

2015

**ISSN**

0120-047 X

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.

El uso de nombres comerciales en esta publicación tiene como propósito facilitar su identificación y en ningún momento su promoción.

Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723  
A.A.2427 Manizales  
Manizales, Caldas, Colombia

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)



# **Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal**

Fernando Farfán Valencia

\* Ingeniero Agrónomo, Universidad de Caldas  
M.Sc. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible  
Disciplina de Fitotecnia. Centro Nacional de  
Investigaciones de Café - Cenicafé, Manizales,  
Caldas, Colombia.



# Introducción

La zona cafetera colombiana se caracteriza por presentar una alta nubosidad durante el día, que puede ser estimada a partir de los registros del brillo solar, así como por la ocurrencia de diversas condiciones en la disponibilidad de agua en el suelo, cuantificada mediante los balances hídricos regionales (4). Estas dos condiciones determinantes de la producción de café se deben tener en cuenta para la orientación de las prácticas de cultivo, entre ellas el sombrío. La calidad y la cantidad de radiación solar afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, el funcionamiento de los estomas y las respuestas fisiológicas (5); en el café, la disponibilidad de radiación solar afecta de forma significativa la producción, especialmente si el sistema de producción se hace bajo árboles de sombrío. Las observaciones sobre la cantidad de sombra necesaria para el café en sistemas agroforestales y la variabilidad expresada en su heterogeneidad espacial y temporal son muy escasas, y los resultados de los estudios se han limitado a algunas localidades de las zonas cafeteras de Colombia.

Tradicionalmente se ha pensado que el comportamiento de los árboles de café es igual bajo cualquier nivel de sombra, lo que equivaldría a decir que el café produce lo mismo bajo cualquier cantidad de luz disponible, independiente de las condiciones climáticas de la región, concepto que hay que replantear ya que las plantas requieren diferentes proporciones de sombrío dependiendo de la ubicación geográfica (latitud, longitud, altitud), de la disponibilidad de radiación solar y de agua en el suelo, que presente la zona.



La Federación Nacional de Cafeteros- FNC (3), planteó que la luz del sol puede disminuir en un determinado punto terrestre, por cuatro causas principales:

1. Por las elevaciones de las colinas y montañas,
2. Por la proyección de las hojas y las ramas de la misma planta y las vecinas,
3. Por el follaje de los árboles de sombra,
4. Por las condiciones climáticas (nubosidad y su frecuencia).

Dadas las características variables de las condiciones fisiográficas y climáticas de la región cafetera de Colombia, es difícil generalizar y establecer un único patrón de sombra para el café, por lo cual es necesario plantear ajustes en el grado de sombrío de acuerdo a la especie de árbol empleado, la densidad de siembra y a las condiciones de sombrío natural o cobertura por nubosidad presente en la región. Por lo tanto, es requisito básico en el cultivo de café en Sistemas Agroforestales:

- (i) Determinar el “Porcentaje de sombrío óptimo” o “grado de sombrío adecuado” en la zona de cultivo del café;
- (ii) Realizar evaluación presente del porcentaje de sombra del cultivo;
- (iii) Realizar la regulación, podas de mantenimiento o reducción del sombrío hasta los niveles óptimos o adecuados; este porcentaje de sombra será el reflejo

de las reducciones o incrementos de la producción al establecer el café con el asocio de árboles.

## Estimación del porcentaje de sombrío en el café

La evaluación, valoración o cuantificación del porcentaje de sombra que recibe una plantación de café puede clasificarse en dos grupos:

### Medición directa de la radiación incidente a una altura determinada

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 (RFA) 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).

Los equipos empleados

en esta metodología miden directamente la radiación incidente a nivel del dosel de los árboles o encima de las copas del cultivo principal; medición que regularmente se expresa en términos absolutos, por ejemplo:  $W.m^{-2}$ ;  $J.m^{-2}$ ;  $cal.cm^{-2}.min^{-1}$ ;  $langleys.min^{-1}$ ;  $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ; lux. Normalmente, se evalúa la radiación solar global o solamente parte del espectro, por ejemplo, la RFA en el espectro entre los 400 y 700 nm (6), en un rango determinado de tiempo (usualmente entre las 11:00 y 13:00 horas). Son diversos los equipos y las metodologías que pueden ser empleadas en la evaluación de la Interceptación de la Radiación solar por parte de los árboles de sombra, equipos y métodos que pueden ser muy costosos o muy complejos, entre los que se encuentran: SunScan Canopy Analysis System + Sunshine Sensor type BF2, GRS Densimeter y Digital Hemispherical Photography, entre otros.

### Valoración o evaluación de la apertura del dosel de sombra

La sombra es una región de oscuridad donde la luz es obstaculizada. En este grupo se incluyen los métodos que miden la oclusión o la apertura del dosel de sombra, el cual



una reducción drástica en la producción, por no regular el sombrío o mantener los niveles de sombra en un rango óptimo adecuado, es necesario evaluar periódicamente el porcentaje de sombra que recibe el café, para determinar el momento de su intervención.

Sin embargo, los caficultores se ven abocados a la problemática de no contar con metodologías rápidas, precisas y económicas para cuantificar el grado de sombrío del café y poder fijar el momento y el grado de intervención de los árboles para mantener el nivel de sombra dentro de los rangos adecuados. En este documento se dan las instrucciones para construir artesanalmente equipos o herramientas para medir, evaluar o determinar el grado de sombra que recibe el cafetal en un momento dado.

bloquea o permite el paso de la radiación (6), entre estos métodos se encuentran: El densiómetro óptico o esférico, el densitómetro, la evaluación de la proyección de la sombra de los árboles y la fotografía digital.

Varios cultivos perennes tropicales importantes como el café y el cacao se cultivan bajo un dosel de sombra; un dosel es el conjunto de hojas y ramas ubicado a cierta altura sobre el piso de la plantación. El dosel se

puede estratificar a voluntad para representar una gran variedad de sistemas multiestrato (6).

Farfán y Jaramillo (2) establecieron los porcentajes de sombra adecuados para una región específica, de acuerdo a la nubosidad o número de horas de brillo solar anual. Para no permitir

# Diseño y adaptación de equipos

## El Densiómetro Cúbico (DC)

El DC (Figura 1) es un instrumento sencillo de construcción artesanal, con el cual se puede realizar una estimación aproximada del porcentaje de cobertura o de sombrío que proporcionan los árboles al café.



### Modo de empleo

Proyecte el densiómetro sobre la copa de los árboles y cuente el número de cuadrantes ocupados por el follaje, éste será el porcentaje de cobertura dado por el árbol en ese punto (Figura 2). De ser muy alto el número de cuadrantes ocupados por el follaje, cuente el número de éstos donde se refleja el cielo abierto y réstelos de 100, éste será el porcentaje de cobertura. Por ejemplo: Como la grilla de lectura se compone de 100 cuadrantes, si en una lectura 69 de ellos están ocupados por el follaje del árbol, entonces el porcentaje de cobertura para ese punto será del 69,0%.

El instrumento debe colocarse sobre una base sólida de manera que esté fijo al hacer la lectura, el cual debe quedar a la altura del ojo de quien hace la lectura, (Figura 3).

### Recorrido en el campo

Para la estimación del porcentaje de cobertura total en la finca, defina los recorridos y los transectos según el tamaño de la finca o lote con café; las instrucciones se presentan en el Anexo 1. Estime el promedio de todas las lecturas para hacer un estimativo del porcentaje de sombra general.

## Registro de la información

La información se registrará en un formato como el presentado en el Anexo 2.

### Registro alternativo de la información.

**Primera estrategia.** En una cuadrícula previamente elaborada e impresa, dibuje rápidamente el follaje del árbol reflejado en la grilla de evaluación, posteriormente cuente las cuadrículas ocupadas por el follaje y determine el porcentaje de cobertura en este punto (Figura 4).

**Segunda estrategia.** Con la cámara fotográfica, como se indica en la Figura 3, capture frontalmente en el DC el follaje del árbol de sombrero reflejado en la grilla de evaluación; posteriormente, cuente las cuadrículas ocupadas por este follaje, Figura 3.

En el ejemplo de la figura 4: El trazado de la proyección del follaje arrojó que cerca de 50 cuadrículas están ocupadas por la proyección del follaje del árbol de sombrero; lo que indica un porcentaje de sombreado del 50 % para este punto. Esta información se registra en el formato sugerido en el Anexo 2.

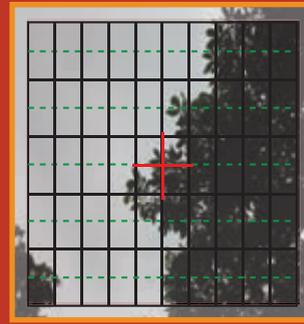


Figura 2. Modo de empleo



Figura 3. Fotografía de la proyección del follaje en a grilla de evaluación

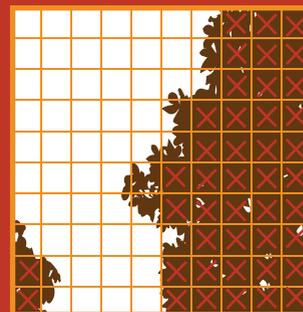


Figura 4. Trazado de la proyección del follaje en la grilla de evaluación

# Construcción del densiómetro cúbico

## Materiales

- Lámina de PVC de 3,0 mm de espesor
- Láminas de acrílico de 3,0 mm de espesor
- Pegante de PVC o pegante instantáneo
- Espejo
- Regla y transportador

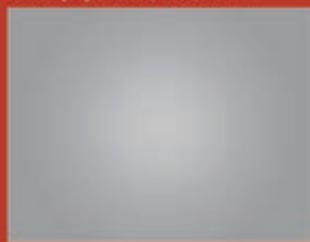
Cuatro cuadrados de 6x6 cm



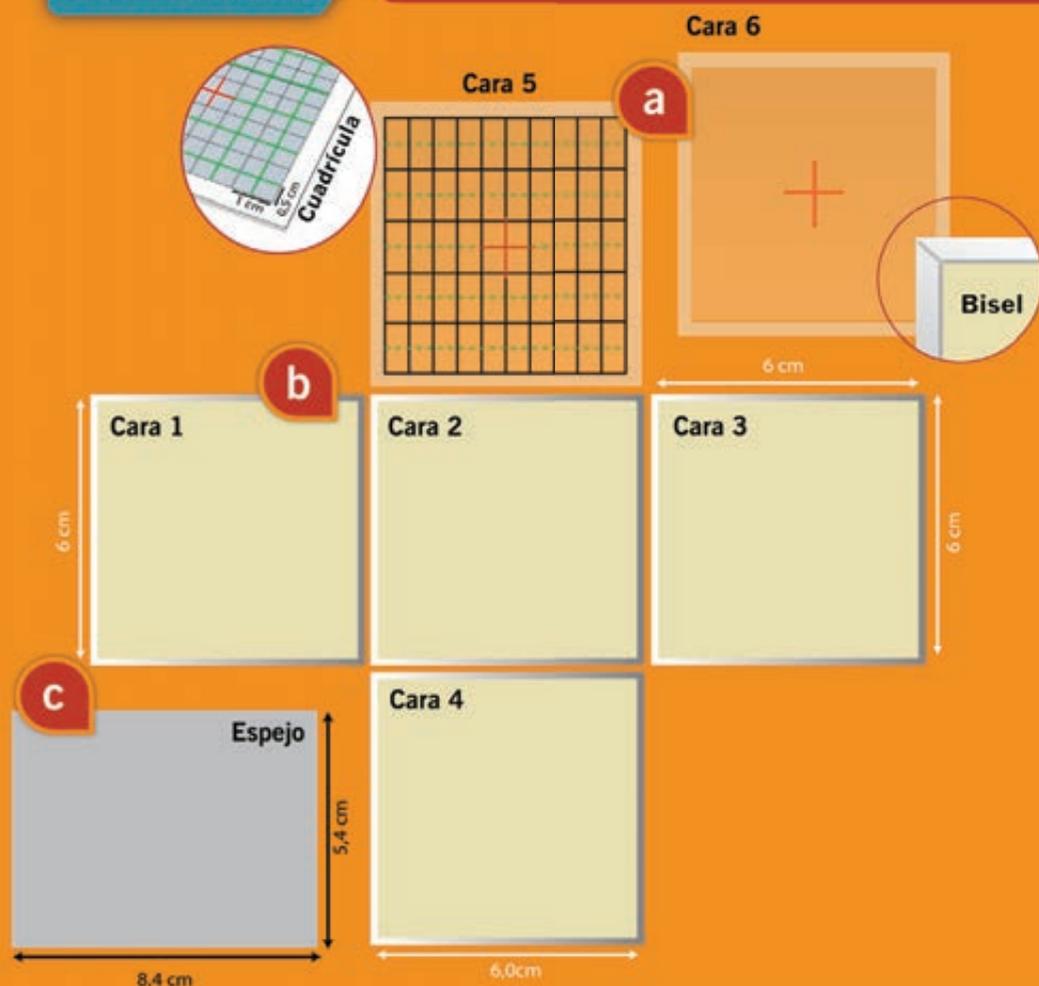
Dos cuadrados de 6x6 cm



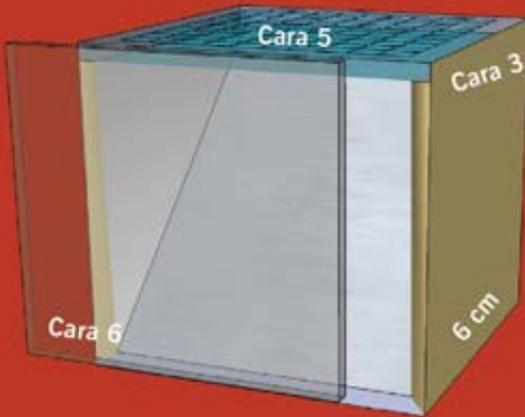
Un espejo de 8,4x5,4 cm



## Construcción



d



- a. Corte la lámina de acrílico transparente, para obtener dos cuadrados de 6,0 cm x 6,0 cm de lado, biselados (bordes cortados a 45°). Éstas son las caras 5 y 6 del cubo. Con un marcador de tinta negra indeleble de 0,5, dibuje un cuadro de 5,0 cm x 5,0 cm, es decir, dejando un espacio libre de 0,5 cm por cada lado. Al interior de éste trace una cuadrícula de 25 cuadrados, de 1,0 cm x 1,0 cm, cada uno. Posteriormente, con otro color trace líneas de 0,5 cm x 0,5 cm (100 en total), en líneas punteadas color verde o uno diferente al negro. Ésta será la cara superior del densiómetro o grilla de lectura.
- b. Tome la lámina de PVC y córtela para obtener cuatro cuadrados de 6,0 cm x 6,0 cm de lado, biselados (bordes cortados a 45°). Estos cuadrados son las caras 1, 2, 3 y 4 del cubo.
- c. El espejo de 8,4 cm x 5,4 cm de lado es la cara número 7 del cubo.
- d. Una y pegue las caras 1, 2, 3 y 4. Pegue el espejo formando un ángulo de 45° en el interior del densiómetro. Posteriormente pegue la cara 5 en la parte superior del densiómetro. La cara No. 6 no va pegada al densiómetro, ésta se deja sin biselar y se introduce a presión dentro del cubo para poder retirarla y facilitar la limpieza del densiómetro, ésta será la cara frontal; en su centro dibuje dos líneas en forma de cruz, para hacerla coincidir con una cruz similar dibujada en la grilla de lectura y así poder dar nivel al densiómetro.

## El Densiómetro de Punto (DP)

El DP (Figura 5) es un equipo sencillo modificado del densitómetro original, en la Disciplina de Fitotecnia de Cenicafé, es un instrumento que puede construirse artesanalmente ahorrando altos costos, y con el cual se puede realizar una estimación del porcentaje de cobertura o de sombrío que proporcionan los árboles al café, con una aproximación confiable.

El DP es empleado en el muestreo de transectos lineales, combinando estimaciones puntuales de la cobertura vegetal horizontal y verticalmente en sistemas agroforestales.

El densiómetro utiliza un espejo para proyectar el follaje del árbol, sólo en el punto del transecto donde se realiza la evaluación y localizado por encima de la persona que hace la valoración en tierra (Figura 5).

### Modo de empleo

- Projete el DP sobre la copa de los árboles, como se presenta en las Figura 5.
- Realice una alineación o nivelación del DP, haciendo coincidir los dos centros de

las figuras trazadas en las tapas o discos de acrílico (Ver construcción del Densiómetro de Punto).

- Posteriormente, determine si se refleja o no cobertura o follaje del árbol en el espejo del DP; si el círculo dibujado en el disco o lado de observación se cubre de follaje, entonces registre “presente” en el formato

dado en el Anexo 3, de lo contrario registre “ausente”.

- Por ejemplo: Si en un transecto de 120 m de longitud se muestrean 35 puntos y en 15 de ellos se



Figura 5. Modo de empleo del DP en el campo.

determinó follaje del árbol, entonces el porcentaje de cobertura será del 42,8%, sólo para ese transecto (porcentaje de sombra =  $15 \times 100/35 = 42,8\%$ ). El porcentaje de cobertura total del área evaluada se determina con el promedio de los porcentajes de cobertura de cada transecto sobre el número de transectos estimados.

### Registro de la información

La información se registrará en un formato como el presentado en el Anexo 3.

### Recorrido en el campo

Para la estimación del porcentaje de cobertura total en la finca, siga las instrucciones dadas en el Anexo 1. Determine el promedio de todas las lecturas para hacer un estimativo del porcentaje de sombra por lote o en toda el área cultivada con café.

## Plantilla Visual de Sombras (PVS)

La sombra en el cultivo puede ser estimada mediante metodologías empíricas, consistentes

en la comparación de la cobertura del dosel de los árboles con guías o plantillas elaboradas a partir de coberturas evaluadas, utilizando imágenes digitales.

La Plantilla o Guía Visual de Sombra (PVS), fue diseñada en la Disciplina de Fitotecnia en Cenicafé.

### Modo de empleo

Para su utilización se deben seguir los siguientes pasos:

#### Definición del transecto.

Definir una metodología o recorrido en el lote o la finca, de acuerdo a la guía dada en el Anexo 1.

#### Ubicación del punto

**dentro del transecto.** En un mismo punto del transecto fijado, haga una lectura cerca de la base del árbol de sombrío y otra en la intersección entre dos copas de árboles.

Primera observación. Una vez ubicado en el punto de medición haga una

observación de calibración visual hacia el cielo abierto.

Evaluación. Posteriormente, en cada punto de evaluación haga una observación hacia arriba del dosel o copa del (los) árbol (es).

Lectura. Realizada la evaluación, haga un estimativo del porcentaje del cielo abierto que está cubierto por el follaje del árbol. Compare este porcentaje con los porcentajes dados en la PVS.

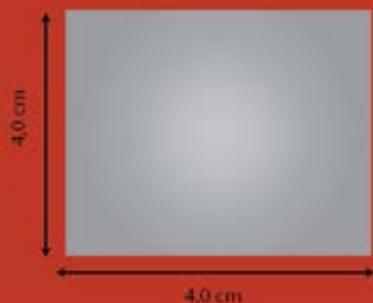
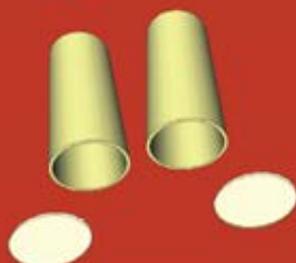
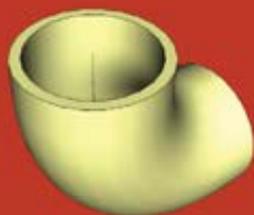
Porcentaje de sombra. La estimación de la cobertura observada será el porcentaje de sombrío dado en ese punto.

Estimación general. Repita la evaluación y lectura en cada punto de los transectos determinados para el recorrido; posteriormente, obtenga un promedio de todas las lecturas hechas por lote o finca, para tener

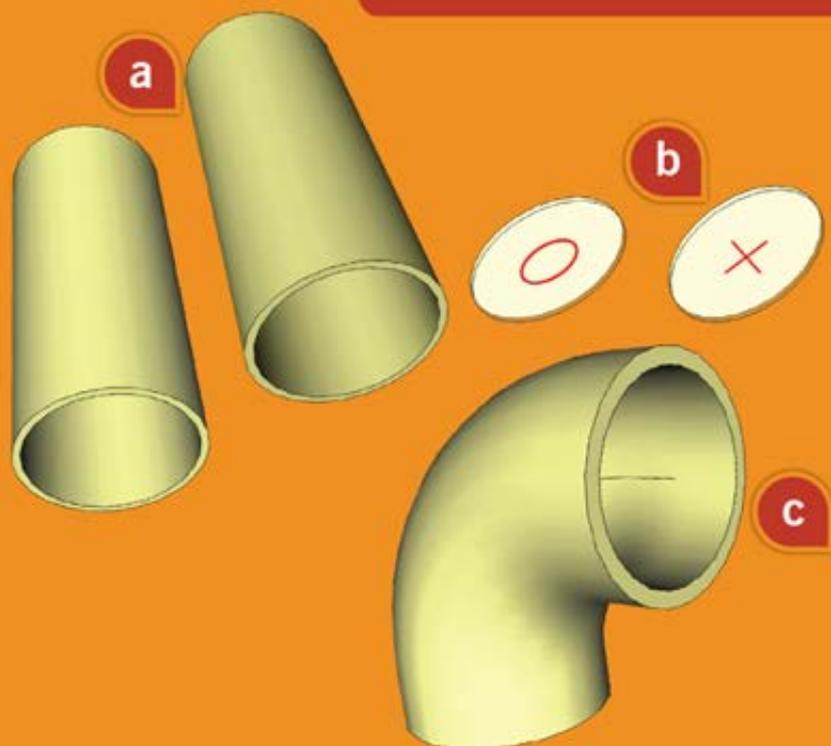
# Construcción del densiómetro de punto

## Materiales

- Tubos de PVC de 1,5 pulgadas de diámetro
- Un codo de PVC de 1,5"
- Láminas de acrílico de 3,0 mm de grosor
- Pegante de PVC
- Un espejo de 4,0 cm x 5,0 cm



## Construcción





- a. Obtenga dos secciones de tubos de PVC de 8,0 cm de longitud, con sus extremos pulidos.
- b. Obtenga dos “tapas” en acrílico, las cuales se fijarán a los extremos de cada tubo. En una de las tapas trace en su centro dos líneas en forma de cruz, ésta se orientará hacia el follaje de los árboles; en la otra dibuje un pequeño círculo en su centro, a través de éste se hará la lectura. Las marcas hechas a las tapas deberán quedar hacia el interior del tubo al momento de fijarlas.
- c. Al interior del codo de PVC fije el espejo formando un ángulo de  $45^\circ$ , como se muestra en la guía.
- d. Pegue las dos secciones de tubo de PVC, a los extremos del codo, para obtener un Densiómetro de Punto.

un solo porcentaje general de sombra y para mayor precisión en la evaluación.

#### Alternativa de evaluación.

Mediante fotografía digital del dosel, especialmente con cámara fotográfica, puede compararse esta fotografía con las dadas en la plantilla visual y ubicar el porcentaje de cobertura correspondiente (Figuras 6 y 7).

#### **Registro de la información**

Registre la información en un formato como el presentado en el Anexo 4.

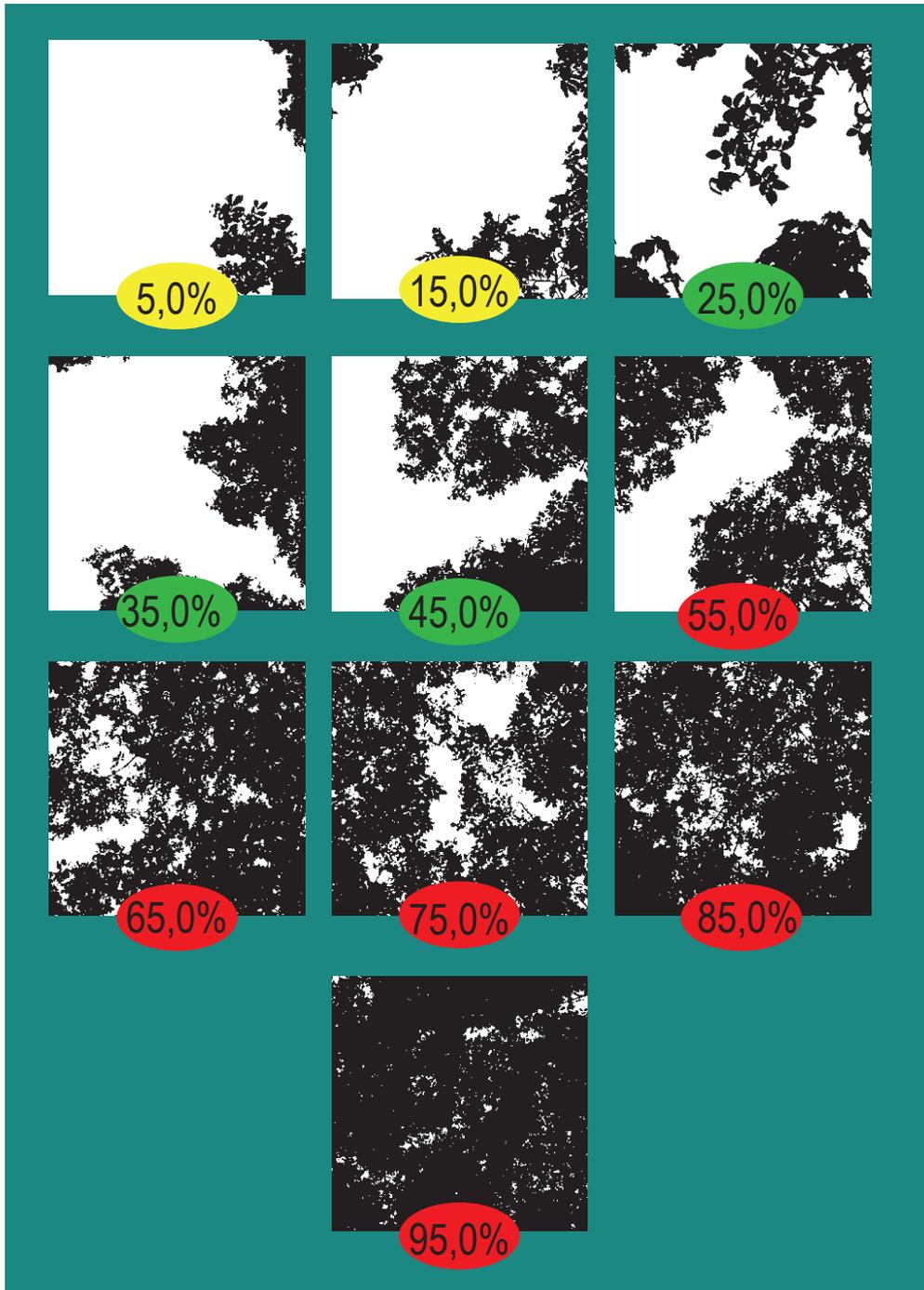
#### **Recorrido en el campo**

Para la estimación del porcentaje de cobertura total en la finca, y elegir o determinar el o los transectos a recorrer en el lote o finca, siga las instrucciones dadas en el Anexo 3. Determine el promedio de todas las lecturas.

La determinación del porcentaje de sombrero del cafetal, independiente del método empleado, debe ir acompañado de la estimación de la densidad de siembra del sombrero, o número de árboles por unidad de área; para manejar una densidad no superior a 70 árboles/ha. Para su estimación puede guiarse por el Anexo 5.



**Figura 6.** Comparación de fotografías digitales del dosel con la plantilla visual.



**Figura 7.** Plantilla Visual de Sombra (PVS)

- Indica sombrero deficiente
- Sombrero óptimo
- Sombrero excesivo

# Anexo 1

## Transectos y número de evaluaciones por transecto según el tamaño del lote o la finca

Las estimaciones de la cobertura arbórea utilizando el Densiómetro Cúbico (DC), el Densiómetro de Punto (DP) o la Plantilla Visual de Sombra (PVS), se basan en evaluaciones en puntos equidistantes o sitios de muestreo ubicados a lo largo de un transecto, trazados imaginariamente dentro del área de trabajo. Los transectos pueden formar diversas figuras (triángulos, cuadrados, hexágonos, entre otros) y de diferentes longitudes; dependiendo del tamaño de la finca.

Los recorridos lineales (Figura 8) se utilizan para realizar evaluaciones del sombrero en fincas pequeñas y los transectos cruzados, en triángulo o en forma de diamante, en fincas grandes. En la siguiente tabla se sugiere los recorridos y el número de evaluaciones por cada recorrido o transecto, de acuerdo al tamaño de la finca o lote en SAF con café.

Tamaño de la finca (ha)	Configuración de transectos	No. de transectos	Longitud de cada transecto (m)	No. de evaluaciones por transecto	DEP (m)	No. de evaluaciones por lote	Instrumento empleado
≤ 0,5	Horizontal o Vertical	1	70,0	20	3,7	20	DC
> 0,5 y ≤ 1,0	Diagonal	1	70,0 - 72,0	25	3,0	25	DC - PVS
> 1,0 y ≤ 2,0	Cruzados	2	72,0	25	3,0	50	PVS
> 2,0 y ≤ 5,0	Triángulo	3	72,0	20	3,8	60	DP - PVS
> 5,0 y ≤ 6,0	Diamante	5	72,0	20	3,8	100	DP - PVS
> 6,0	Diamante*2	10	72,0	20	3,8	200	DP - PVS

**DEP:** Distancia entre puntos

**DC:** Densiómetro cúbico

**DP:** Densiómetro de punto

**PVS:** Plantilla visual de la sombra

En fincas superiores a 6,0 ha se deben realizar varias evaluaciones

# Configuración de los transectos<sup>1</sup>

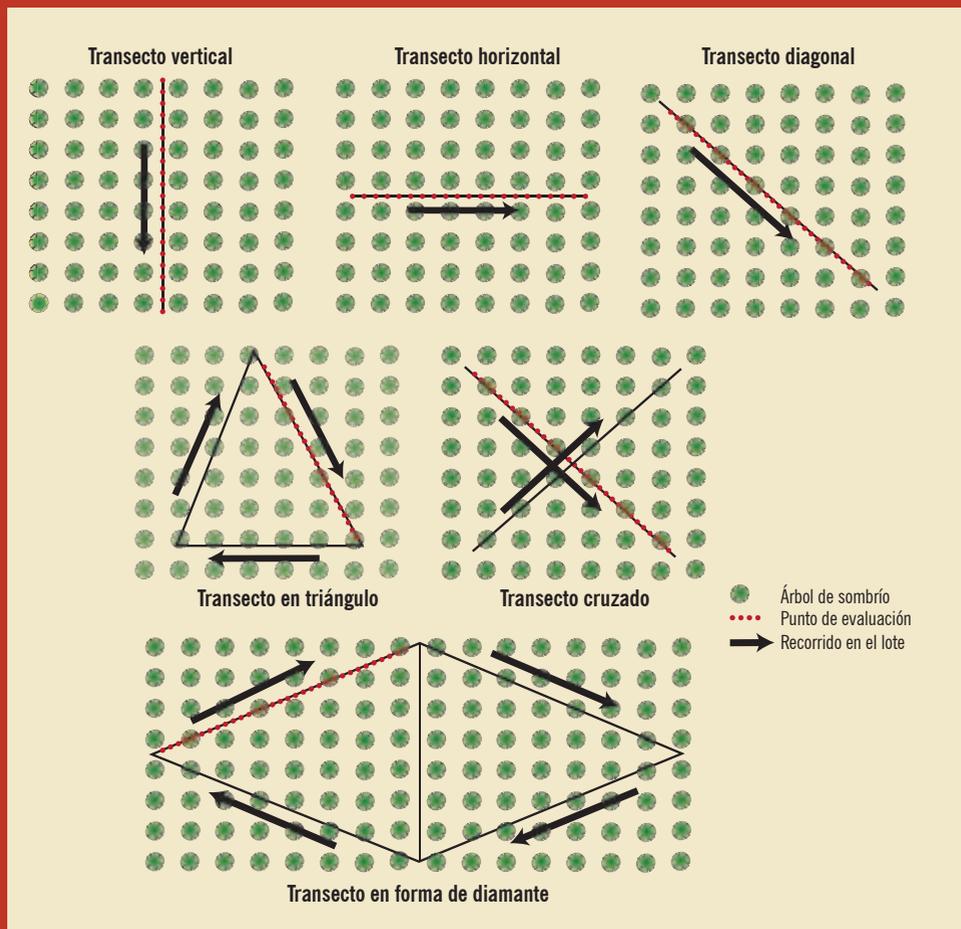


Figura 8. Configuración del transecto

<sup>1</sup> Área de muestreo, normalmente lineal o alargada, elegida como base para estudiar una característica particular de un área de cultivo

# Anexo 2

## Registro de la información Densiómetro Cúbico (DC)

Fecha \_\_\_\_\_ Finca \_\_\_\_\_ Lote \_\_\_\_\_  
 Edad del café (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra (plantas/ha) \_\_\_\_\_  
 Edad del sombrío (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra \_\_\_\_\_ Especies \_\_\_\_\_  
 Última evaluación \_\_\_\_\_ Porcentaje de sombrío \_\_\_\_\_

Número de transecto	Longitud	Puntos muestreados	Follaje del árbol	
			Cuadrículas con follaje	Porcentaje
1		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
		11		
		12		
		13		
		14		
		15		
		16		
		17		
		18		
		19		
		20		
		21		
<b>Total</b>				
<b>Porcentaje de cobertura</b>				

# Anexo 3

## Registro de la información Densiómetro de Punto (DP)

Fecha \_\_\_\_\_ Finca \_\_\_\_\_ Lote \_\_\_\_\_

Edad del café (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra (plantas/ha) \_\_\_\_\_

Edad del sombrío (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra \_\_\_\_\_ Especies \_\_\_\_\_

Última evaluación \_\_\_\_\_ Porcentaje de sombrío \_\_\_\_\_

Número de transecto	Longitud	Puntos muestreados	Follaje del árbol	
			Presente	Ausente
1		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
		11		
		12		
		13		
		14		
		15		
		16		
		17		
		18		
		19		
		20		
		21		
<b>Total</b>				
<b>Porcentaje de cobertura</b>				

# Anexo 4

## Registro de la información Plantilla Visual de Sombra (PVS)

Formato para el registro de la información obtenida con el Densiómetro de Punto (DP)

Fecha \_\_\_\_\_ Finca \_\_\_\_\_ Lote \_\_\_\_\_

Edad del café (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra (plantas/ha) \_\_\_\_\_

Edad del sombrío (años) \_\_\_\_\_ Densidad de siembra \_\_\_\_\_ Especies \_\_\_\_\_

Última evaluación \_\_\_\_\_ Porcentaje de sombrío \_\_\_\_\_

Número de transecto	Longitud	Puntos muestreados	Porcentaje de sombra
1			
		1	
		2	
		3	
		4	
		5	
		6	
		7	
		8	
		9	
		10	
		11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
21			
<b>Total</b>			
<b>Porcentaje de cobertura</b>			

# Anexo 5

## Cálculo de la densidad de siembra de los árboles de sombrío

**Densidad de siembra.** Es la cantidad de plantas que se van a establecer en el terreno, es decir, el número de plantas por unidad de superficie (Figuras 8, 9 y 10)

**Para árboles con arreglos espaciales al cuadrado.** Para calcular la densidad de siembra o número de árboles por hectárea, es necesario estimar la distancia en metros entre los árboles (DA), y la distancia en metros entre surcos o hileras (DS) (Figura 8). La densidad de siembra se calcula para una hectárea (10.000 m<sup>2</sup>) con la Ecuación <1>

$$\text{Ecuación } <1> \text{ No. de árboles/ha} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{(DA)(DS)}$$

**Para árboles con arreglos espaciales al triángulo.** Se determina la distancia en metros entre los árboles (DA), y la distancia en metros entre surcos o hileras (DS) (Figura 9). La densidad de siembra se calcula para una hectárea (10.000 m<sup>2</sup>) con la Ecuación <2>

$$\text{Ecuación } <2> \text{ No. de árboles/ha} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{(DA)(DS)(0,866)}$$

**Ejemplo.** En la Figura 8, distancia entre plantas 9,0 m y distancia entre surcos 12,0 m

$$\text{No. de árboles por hectárea} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{(9,0 \text{ m})(12,0 \text{ m})} = 93,0 \text{ árboles}$$

En la Figura 9, distancia entre plantas 9,0 m y distancia entre surcos 12,0 m

$$\text{No. de árboles por hectárea} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{(9,0 \text{ m})(12,0 \text{ m})(0,866)} = 107,0 \text{ árboles}$$

**Para árboles con arreglos espaciales no definidos.** Cuando no es posible diferenciar la distancia en metros, entre las plantas ni entre los surcos o hileras entre los árboles, se delimita o traza una parcela circular con un Radio (R) de 12,6 m (Figura 10), la cual tendrá un área (A) de 500 m<sup>2</sup>

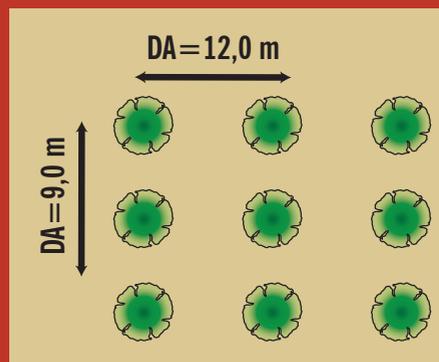


Figura 8. Siembra de los árboles al cuadrado

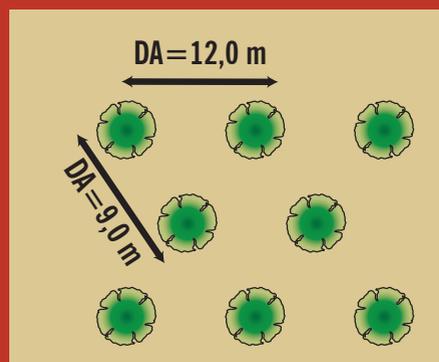


Figura 8. Siembra de los árboles al triángulo

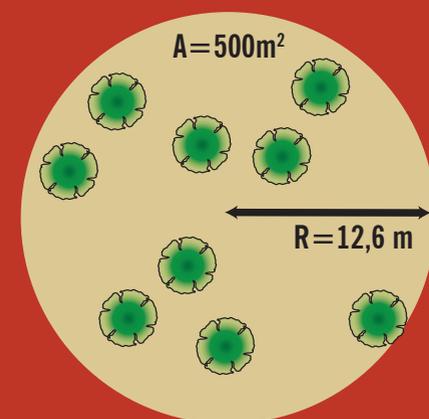


Figura 10. Arreglo no definido

(1); en ésta se cuentan los árboles presentes (NAP) y se determina la densidad de siembra mediante la Ecuación <3>.

$$\text{No. de árboles por hectárea} = \frac{(10.000 \text{ m}^2) (NAP)}{(500 \text{ m}^2)}$$

Ecuación <3>

**Ejemplo.** En la Figura 10, el número de árboles presentes en la parcela circular de 500 m<sup>2</sup> es igual a 9.

$$\text{Número de árboles por hectárea} = 10.000 \text{ m}^2 (9) / (500 \text{ m}^2) = 180,0 \text{ árboles}$$

# Literatura citada

1. CONIF. Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Bogotá : CONIF : INSEFOR, 1995. 156 p.
2. FARFÁN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. Desarrollo de una metodología para medir sombrero en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 54(1):24-34. 2003.
3. FARFÁN V., F.; JARAMILLO R., A. Sombrero para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Chinchiná : Cenicafé, 2009. 8 p. (*Avances Técnicos* No. 379).
4. FNC. Manual del cafetero colombiano. Santa Fé de Bogotá : FNC, 1958. 571 p.
5. JARAMILLO R., A. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2005. 196 p.
6. LEE, S.; TEWARI R., K. Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania somnifera* (L.) Dunal. plantlets. *Plant cell, tissue and organ culture* 90:141-151. 2007.
7. SOMARRIBA, E. Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas* 9(35/36):86-94. 2002
8. STUMPF, K.A. The estimation of forest vegetation cover descriptions using a vertical densitometer. Indianapolis : Joint inventory and biometrics working groups session at the SAF national convention, 1993. 15 p.

