

**Evaluación del efecto sombra en la  
producción de café –*Coffea arabica* L. -  
dentro de un sistema agroforestal tradicional  
con árboles en Las Minas, El Paraíso,  
Honduras**

i

**Librada Esther Pérez Camargo  
Luis Alexander Suárez Campos**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE

**Evaluación del efecto sombra en la  
producción de café –*Coffea arabica* L. -  
dentro de un sistema agroforestal tradicional  
con árboles en Las Minas, El Paraíso,  
Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Librada Esther Pérez Camargo  
Luis Alexander Suárez Campos**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2011

**Evaluación del efecto sombra en la  
producción de café –*Coffea arabica* L. -  
dentro de un sistema agroforestal tradicional  
con árboles en Las Minas, El Paraíso,  
Honduras**

Presentado por:

Librada Esther Pérez Camargo  
Luis Alexander Suárez Campos

Aprobado:

---

Nelson Agudelo, M.Sc.  
Asesor principal

---

Arie Sanders, M.Sc.  
Director  
Carrera de Desarrollo Socioeconómico y  
Ambiente

---

Fredi Arias, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Wilmer Figueroa, Ing.  
Asesor

## RESUMEN

Pérez L., Suárez L. 2011. Evaluación del cultivo de café dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 23 p.

El sistema agroforestal del sitio Las Minas, es un sistema de café con árboles, altamente tradicional. Desde el punto de vista de la elevación, clima y suelos, este sistema tiene un alto potencial para mejorar su rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo. Bajo esta óptica se evaluó este sistema en términos del cultivo y componente arbóreo. Para el cultivo se evaluó variedades y densidad de café, la producción de grano, número de árboles, porcentaje de sombra y factor de frondosidad, pendiente del terreno y propiedades físicas y químicas de los suelos. En donde se obtuvo que el sistema agroforestal está dominado en un 90% por la variedad de café Lempira con una densidad de 20,963 plantas por hectárea, con una productividad de 2,546 granos de café por planta con cierta influencia de sol y de 1,903 granos por planta con cierta influencia de sombra. Mientras que en el componente arbóreo se obtuvo una cantidad de 97 árboles por hectárea, un porcentaje de sombra de 54% para el sistema agroforestal (SAF) y un factor de frondosidad de 0.65. La pendiente del terreno fue de 23%, es un suelo bastante uniforme con características físicas y químicas favorables para el cultivo de café.

**Palabras clave:** Coeficiente de frondosidad, *Coffea arabica*, porcentaje de sombra, producción de grano, variedades de café.

## CONTENIDO

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| Portadilla .....                      | i         |
| Página de firmas .....                | ii        |
| Resumen .....                         | iii       |
| Contenido .....                       | iv        |
| Índice de cuadros y anexos.....       | v         |
| <br>                                  |           |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>           | <b>1</b>  |
| <br>                                  |           |
| <b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>   | <b>6</b>  |
| <br>                                  |           |
| <b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b> | <b>9</b>  |
| <br>                                  |           |
| <b>4. CONCLUSIONES .....</b>          | <b>14</b> |
| <br>                                  |           |
| <b>5. RECOMENDACIONES .....</b>       | <b>15</b> |
| <br>                                  |           |
| <b>6. LITERATURA CITADA.....</b>      | <b>16</b> |
| <br>                                  |           |
| <b>7. ANEXOS .....</b>                | <b>18</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

| Cuadros  | Página |
|--|--------|
| 1. Características del cultivo de café según estrato .....   | 9      |
| 2. Evaluación de la producción de granos de café según estrato.....  | 10     |
| 3. Característica de la cobertura arbórea según estrato. ....  | 10     |
| 4. Evaluación del factor de frondosidad y opacidad de copa en el SAF .....   | 11     |
| 5. Caracterización de horizontes del SAF. ....   | 12     |
| 6. Manejo del sistema agroforestal (SAF).....  | 12     |
|  |        |
| Anexos   | Página |
| 1. Evaluación del cultivo de café, considerando las variedades de café identificadas, densidad y edad del cultivo para el estrato 1.....   | 18     |
| 2. Evaluación del cultivo de café considerando las variedades de café identificadas, densidad y edad del cultivo para el estrato 2.....  | 19     |
| 3. Evaluación de la producción de granos en los tres diferentes estratos (alto, medio y bajo), tanto para plantas con influencia de luz solar, como para plantas con ausencia de la misma, para el estrato 1.....  | 19     |
| 4. Evaluación de la producción de granos en los tres diferentes estratos (alto, medio y bajo), tanto para plantas con influencia de luz solar, como para plantas con ausencia de la misma, para el estrato 2.....  | 20     |
| 5. Evaluación del porcentaje de sombra y árboles/ha para el estratos 1.....  | 20     |
| 6. Evaluación del porcentaje de sombra y árboles/ha para el estratos 2.....  | 21     |
| 7. El muestreo de plantas de café, con el objetivo de determinar la cantidad de ramas en las diferentes alturas de la planta de café, se dividió la planta de café en tres alturas (alta, media y baja), para obtener este dato se muestrearon 100 plantas con cierta influencia de sol y 100 plantas con influencia de sombra. .... | 21     |
| 8. Evaluación de las variables que analizadas en el modelo de regresión lineal.....  | 21     |
| 9. Cálculo de número de árboles por hectárea.....  | 22     |
| 10. Resumen de todas las variables evaluadas en el estudio del SAF.....  | 23     |

## 1. INTRODUCCIÓN

El origen del café de la gran mayoría de las especies de café conocidas, son de las tierras altas de Etiopía y Sudán, África, situadas a más de 1000 msnm, cerca del lago de Tana, ubicado entre los 12° y 15° N. En esa región el café crece en estado silvestre y sub-silvestre. Todo parece indicar que el árbol de café era un componente de los bosques naturales a nivel de sotobosque y que posteriormente la planta se sometió a un proceso de domesticación (IHCAFE 2001).

De su lugar de origen el café se introdujo a Yemen. Entre los años 575 y 890 los persas y los árabes lo trasladaron a Arabia. Los árabes exportaron el café a Siria, Persia, Turquía y Europa. En el continente africano el cultivo se extendió por Mozambique y Madagascar. Posteriormente, en el siglo XVII los holandeses y portugueses lo trasladaron a la India y su cultivo se extendió a Ceylán, Java e Indonesia, así como a otras regiones de Asia y África. En 1708 el embajador de Java llevó unas plantas de café a Holanda, las cuales fueron plantadas en el Jardín Botánico de Ámsterdam. En 1714 llegó el café a América cuando las primeras plantas fueron introducidas a la isla Martinica. En 1740 el café fue introducido a Puerto Rico, El Salvador y Guatemala. En 1784 llegó a Bolivia, Ecuador y Panamá e introducido a Costa Rica a mediados del siglo XVIII (IHCAFE 2001).

La distribución del cultivo de café a escala mundial se inicia cuando este conquista el continente Europeo, llegando a Italia en 1645 a través de un comerciante llamado Veneciano Pietro Valle. En 1650 Daniel Edwards abre la primera tienda de café en Inglaterra y Europa.

Las zonas productoras de café en el mundo están localizadas entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. En términos ecológicos, el cultivo de café está concentrado en las dos regiones de más baja latitud del globo: tropical y subtropical. El ámbito de elevación para este cultivo varía con la latitud, es más pronunciada en la región tropical (hasta los 2,000 m de altitud). En la mayor parte de los territorios de la región subtropical el ámbito de elevación se reduce hasta los 1,600 m aproximadamente. En términos climáticos el café requiere temperaturas medias anuales entre 17 y 23 °C y precipitaciones anuales entre 1,600 y 2,800 mm, con una distribución mínima que oscila entre los cinco y ocho meses (ICAFE 1998).

Debido posiblemente a su origen, el café es un cultivo ideal para su establecimiento en sistemas agroforestales (SAF), debido a que el cultivo de café requiere de un microclima fresco y suficiente humedad. Los suelos deben presentar buenas condiciones de drenaje,

profundidad no menor a un metro, ricos en nutrimentos, materia orgánica y potasio, con textura franca y color oscuro (Fischersworinget *al.* 2001).

La superficie cultivada con café a escala mundial es de 17 millones de ha. Los cinco países productores de este grano, en términos de volumen son: Brasil 40%, Vietnam 12%, Colombia 11%, Indonesia 5% e India 4%. Entre ellos Vietnam se destaca por mantener su posición entre los 10 primeros productores durante 10 años consecutivos. Los mayores exportadores son Colombia y Brasil quienes han exportado café desde hace varias décadas a nivel mundial (OIC 2005).

El café ocupa el segundo lugar como producto de mayor comercialización en el mundo, después del petróleo. Se estima que cada año se consumen alrededor de 400,000 millones de tazas de café. La producción de café es importante en la economía mundial ya que se considera que 125 millones de personas viven de esta actividad (Calle Aznar 2011.). Se estima que a nivel de Centroamérica alrededor de 1.5 millones de personas dependen del cultivo de café. En Honduras se cultiva café en 15 de los 18 departamentos que forman el país (CEPAL 2002).

Las empresas que dominan el mercado internacional de café son: Kraft, Nestlé, Procter & Gambe, Sara Lee, y la Federación Internacional de Cafetaleros, cuyas ventas anuales generan beneficios del orden de \$1,000 millones (OIC 2005).

La elevación modifica las características físicas del grano; es por ello que el café de altura presenta un grano de color verde gris azulado, ranura irregular y cerrada, de menor tamaño pero a la vez más denso. El café cultivado en tierras bajas presenta un grano de color verde pálido, con ranura abierta, regular y menos denso (Santoyo *et al* 1996).

A la fecha, se han descrito más de 100 especies de café, entre ellas *Coffea arabica* y *coffea robusta* o *C. anephora* las de mayor importancia económica (Chevalier 1947; Bridson 1982).

La variedad *C. arabica* aporta el 70% de la producción del grano a escala mundial y es también la especie responsable de producir el mejor café a nivel de América. Los principales países cultivadores de café arábigo son: Brasil, Nicaragua, Guatemala, Ecuador, Colombia, Cuba, Costa Rica, Haití, Perú, Bolivia, Puerto Rico, México, Jamaica, República Dominicana, El Salvador, Venezuela, Tanzania y Honduras (Calle Aznar 2011). A nivel de Honduras es la única especie cultivada comercialmente. Algunas de sus variedades son: Typica, Bourbon, Caturra, Pacas, Villa Sarchi, Catuaí, Ihcafe-90 y Lempira. La variedad *Coffea robusta* o *C. anephora* es procedente de África representa 30 % de la producción de café a nivel mundial. Es un café de menor calidad. Entre las regiones que cultivan esta especie están: África Central y Oriental, Sudeste de Asia y Brasil (Calle Aznar, S.).

Debido a la importancia económica y social del cultivo de café, los fitomejoradores han desplegado esfuerzos desde hace mucho tiempo enfocados al desarrollo de líneas mejoradas que garanticen mayor rendimiento y que sean resistentes al ataque de plagas y enfermedades. Algunas de las variedades bajo mejoramiento son:

- Catimor, ICAFE-90 y Lempira: variedades mejoradas con el fin de crear mayor resistencia a la roya de café (*Hemileia vastatrix*).
- Caturra o Villa Sarchi: variedad mejorada para tolerar la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolar*), propensa a desarrollarse en zonas muy húmedas y excesivamente sombreadas. Es una variedad poco exigente en nutrientes, presenta buena productividad y adaptabilidad.
- Catuaí: variedad recomendada para zonas que no presentan amenazas de roya, ojo de gallo ni mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*).
- Pacas: variedad recomendada para zonas con altas temperatura, sequías prolongadas y suelos con baja retención de humedad.

Desde su origen, el café ha sido una especie amigable de la sombra y como tal, ha estado asociada con otras especies tolerantes de sombra pero también de luz. Esta especial característica de tolerancia a la sombra ha sido la base para que el proceso de domesticación de esta especie se haya enfocado en dos aspectos: el refinamiento del componente arbóreo asociado del cultivo del café y el desarrollo de variedades resistentes a la radiación solar directa.

En casi todos los territorios de la América tropical y subtropical en donde se tienen establecidas plantaciones de café, los cultivos están protegidos por un componente arbóreo. El estrato arbóreo está conformado por un amplio espectro de especies, que le proporciona sombra al cultivo, mejora las propiedades físicas y químicas de los suelos, incrementa la diversidad biológica, protege los suelos contra la erosión y contribuye al mejoramiento de la calidad ambiental, entre otros aspectos.

Tradicionalmente los sistemas agroforestales de café con árboles han utilizado como especies de sombra los remanentes de los bosques maduros. Mediante un proceso de aclareo por lo bajo, los bosques naturales se adaptaron, mediante la inducción del ingreso de luz al piso forestal, al cultivo de café y del cacao. Posteriormente, ante las deficiencias de nitrógeno en el suelo, los sistemas agroforestales comenzaron a desplazar las especies nativas por árboles fijadores de este elemento. A la fecha, ante la búsqueda de una mayor sostenibilidad ambiental, social y económica de estos sistemas, se han introducido las especies maderables

Bajo esta óptica, los SAF tradicionales constituyen el punto de partida para el desarrollo de asociaciones altamente rentables y sostenibles. El SAF de la comunidad de Las Minas es un sistema totalmente tradicional. El sitio tiene condiciones de elevación, climáticas y edáficas que son del todo favorables para el desarrollo de sistemas combinados de alto rendimiento y sostenibles a largo plazo. Con base en esta hipótesis, el presente estudio pretendió como objetivo general conocer la dinámica de sistemas altamente tradicionales como punto de enfoque para su mejoramiento. En términos específicos el trabajo pretendió estimar la pendiente promedio del terreno, algunas propiedades físicas y

químicas de los suelos, la densidad del cultivo, la producción de grano, el porcentaje de sombra de los árboles y el factor de frondosidad para algunas especies.

### **Objetivos General**

- Comprender la dinámica de los SAF altamente tradicionales como punto de enfoque para su mejoramiento.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el SAF tradicional con café en el Sitio Las Minas, en términos del componente arbóreo y cultivo.
- Estimar las variedades, edad y densidad del cultivo y técnicas de manejo.
- Proponer un esquema de manejo del SAF enfocado al mejoramiento del cultivo de café.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Macizo Montañoso Apagüiz-Apapuerta, Municipio de Danlí, El Paraíso. Este sistema montañoso está ubicado entre los 13°55'56'' y 14°03'00'' N y entre los 86°26'20'' y 86°34'30''W. Este sistema montañoso se extiende desde aproximadamente los 500 m de altitud, en El Valle de Jamastrán, hasta los 1,500 m en su porción más elevada. La comunidad de Las Minas está enclavada a unos 1,100 m de elevación.

Las características climáticas encontradas en el área de estudio en las partes más bajas y secas de este sistema montañoso la temperatura media anual es del orden de 24 °C y la biotemperatura media anual de 23.5 °C. En los picos más altos la temperatura media anual y la biotemperatura media anual varían entre 12 y 18 °C aproximadamente. La precipitación promedio total anual en las porciones más bajas del macizo es de 985 mm y en las partes más altas es de unos 3,500 a 4,000 mm (Castillo 2006). El sitio de estudio tiene una temperatura media anual del orden de 21 °C y la biotemperatura media anual de 20.5 °C. La precipitación total anual varía entre 2,500 y 3,000 mm, con una temporada de sequía que abarca entre dos y tres meses. Con base en el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge el área corresponde al bosque muy húmedo subtropical (bmh-STr).

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- Brújula Suunto: instrumento óptico manual que se utiliza para la determinación de rumbos.
- Plancheta: instrumento de madera de 20×20 cm, con cuatro clavos en las esquinas completamente verticales y que sirve de soporte a la brújula en la marcación de distancias.
- Clinómetro: instrumento óptico que se utiliza para medir pendientes de terrenos y alturas de árboles empleando funciones trigonométricas.
- Altimetro: instrumento que funciona a base de presión atmosférica y se utiliza para estimar las alturas a nivel del mar.
- Forcípula: es un vernier grande que consta de un brazo fijo y otro móvil, calibrado en centímetros o en pulgadas y se emplea para medir diámetros de árboles o de troncos.
- Cinta métrica: instrumento graduado en centímetros y metros, utilizado para la medición de distancias horizontales.
- GPS: aparato digital calibrado para medir alturas sobre el nivel del mar y distancias horizontales y para georeferenciar puntos sobre la superficie terrestre por medio de imágenes satelitales.

- Equipo escalador: aparato consistente de espolones que se ajustan a las piernas del escalador, cinturones de seguridad, lazos de seguridad y de ascenso y descenso del escalador, se usan para el escalamiento de árboles y troncos.
- Tijeras recolectoras de muestras botánicas: instrumento manual que consiste de una podadora y tubos expandibles construidos a base de aluminio. Se emplea para la recolección de muestras botánicas.
- Prensas: aparato de madera que se utiliza para el prensado de las muestras botánicas tanto a nivel campo como de herbario (secado).
- Hornos: aparato manual hecho a base de madera con bombillos amarillos, empleado para el secado de muestras botánicas.

Para fines de la presente investigación la metodología desarrollada constó de dos fases: metodología de levantamiento y metodología de evaluación. Para la evaluación del componente arbóreo y del cultivo del SAF, se aplicó la misma metodología de levantamiento, cuyas etapas se citan a continuación:

La metodología de levantamiento fue diseñada de la siguiente manera:

- Levantamiento de un mapa planimétrico, por medio de GPS de una porción de terreno representativa del SAF a evaluar.
- División de esta superficie de terreno en dos porciones o estratos con base en el grado de intervención del componente arbóreo. El lote o estrato uno, con un área de 59 ha. El estrato dos, con una superficie de 29 ha.
- Levantamiento de un muestreo con fundamento en la estratificación precedente y en parcelas circulares concéntricas de 30m de radio para árboles y 10m de radio para café.
- Para el presente estudio se realizó un muestreo al azar estratificado. Para cada estrato se determinó los límites y su superficie. El estrato uno comprendió 59 ha y el estrato dos, 29 ha. La intensidad de muestreo para cada estrato fue de 10 % y se seleccionaron al azar y sin reemplazo 21 sitios o muestras en el estrato uno y siete en el estrato dos. Sobre cada estrato se levantó una cuadrícula a equidistancia de 200×200 m en el estrato uno y de 165×165 m en el estrato dos. Estas cuadrículas se levantaron a nivel de terreno, con base en el norte magnético. En cada punto de muestreo se instaló una parcela circular concéntrica de 30m de radio en donde se evaluó el componente arbóreo (2,827 m<sup>2</sup>) y 10m de radio en donde se evaluó el cultivo asociado (314 m<sup>2</sup>).

La medición de las variables en el componente cultivo.

- En cada parcela se identificó la variedad de café, mediante reconocimiento terrestre con un paratócnico de la zona.
- La producción del grano se estimó de la siguiente manera: Se tomaron tres plantas con marcada influencia de luz y tres plantas bajo sombra dentro del radio de los 10 m. Cada planta se dividió en tres estratos de manera subjetiva: alta, media y baja. Para cada planta y por estrato se realizó un conteo del número de granos presentes en una rama, luego se calculó el promedio de las tres plantas influenciadas con luz y sombra.

- En cada parcela se midió la pendiente del terreno. Se sumó la pendiente de todas las parcelas y se calculó un promedio de pendiente para cada estrato.
- Para evaluar el efecto de la fertilización y conocer el rendimiento así como el manejo en términos de podas, plagas y enfermedades se entrevistó a dirigentes de la zona de estudio.

Las mediciones de las variables dasométricas se realizaron de la siguiente manera:

- Diámetro de copa. En cada parcela de muestreo se realizó un conteo del número de individuos presentes, seleccionando tres árboles que presentaran las siguientes características; estar en estado maduro y con copa bien desarrollada, con base en estas características se midieron dos diámetros de copa para los árboles seleccionados. Luego se determinó el diámetro promedio de copa para cada árbol. Para obtener el diámetro de copa por parcela se promedió+ el diámetro de los tres árboles muestreados.
- Factor de frondosidad y opacidad de la copa. Es un número que varía entre 0 y 1, se calculó en el campo midiendo por medio de una cinta métrica la proyección vertical de la copa de los árboles maduros sobre un plano horizontal. Luego la copa se dividió a la mitad, colocando la mitad de una copa sobre la otra mitad, estimando que la mitad de una copa debe cubrir la mitad de la otra (Somarriba 2001).
- Suelos. Para el estudio de suelos se levantó una única calicata debido a la homogeneidad aparente del suelo, ubicada aproximadamente en la mitad de la zona muestreada.

Para evaluar este estudio se utilizó la siguiente metodología

#### Cultivo de café

- La evaluación de las variedades de café se realizó mediante reconocimiento terrestre con un paratócnico de la zona.
- El número de plantas presentes en la zona de estudio se evaluó por parcela y por hectárea, con base en el tamaño de la muestra establecida. El número de plantas por parcela se determinó a través de una medición directa entre surcos y plantas. Se calculó el promedio de plantas por parcela con base al número de muestras. Posteriormente se obtuvo el número de plantas por hectárea y el número de plantas por parcela en relación al tamaño de la muestra. Finalmente se calculó el promedio de plantas por hectárea para el cultivo.
- Para determinar la edad del cultivo se realizó un reconocimiento terrestre con un paratócnico de la zona.
- Para realizar evaluación de producción de granos se estimó el número de granos que produce cada estrato con base en el conteo de granos por ramas y el número de ramas productivas. La producción de grano se calculó para cada parcela por estratos. Por último se calculó el total de granos por plantas de café, por parcela y por hectárea.
- Para determinar el manejo que se le da al cultivo, cada parcela se evaluó su edad y su etapa de desarrollo, esta última en función de podas de ramas y resepas.

Para la fertilización se realizaron entrevistas de campo con caficultores locales. Por último se realizaron inspecciones directas de campo para evaluar el tratamiento de residuos de la cosecha.

#### Componente arbóreo.

- Porcentaje de sombra. Se calculó para cada parcela por medio del siguiente modelo matemático:

$$\% \text{ sombra} = N \times 0.7854 (Dc)^2$$

Dónde:

N= número de árboles/ha

Dc=diámetro promedio de copa en m<sup>2</sup>

- Factor de frondosidad u opacidad de copa. Se evaluó para la mayoría de las especies de alto valor económico y se determinó un promedio para este parámetro.
- Número de árboles/ha. Se estimó con base en la forma que a continuación se presenta:

$$N = \frac{3000}{A \times \text{Factor de frondosidad}}$$

Dónde:

N×(Área de copa)\* Factor de frondosidad promedio de las especies arbóreas seleccionadas = 3,000 m<sup>2</sup>

Área de copa (A)= 0.7854\* diámetro promedio de copa(C)<sup>2</sup>

N\*(0.7854×C<sup>2</sup>)\* factor de frondosidad=3000m<sup>2</sup>

**Análisis estadístico.** Para efectos de la evaluación estadística de este SAF se corrió una regresión considerando la producción de granos y otras variables, utilizando como variable dependiente la producción de grano de café por parcela, como variables independientes la edad de cultivo, y la variable sombra. Esta última para efectos del análisis se categorizó de la siguiente manera: plantas con marcada influencia de luz y plantas bajo sombra. Para este análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 17.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para fines del presente estudio los resultados y discusión se presentan por estratos y finalmente se globalizan todos los datos para toda el área de estudio. Todo esto basado en la división general del estudio: componente cultivo, componente arbóreo y manejo del SAF; con el fin de ver la influencia que ejerce el porcentaje de sombra sobre el rendimiento del café.

**Variedades de café, densidad y edad del cultivo.** Los reconocimientos terrestres dan a conocer que la variedad de café Lempira domina el 90 % del SAF, debido a que la misma presenta un mayor rendimiento en términos de producción de grano, en comparación a la variedad IHCAFE 90 analizada en el estrato uno que representa un 10 % del área cultivada.

Con base al manual del IHCAFE en cuanto a SAF, se recomienda una distancia de siembra de  $1.80 \times 0.90$  m para la variedad Lempira, dando como resultado una densidad de cultivo de 16,200 plantas de café/ ha (IHCAFE 2001).

Los resultados obtenidos en la zona de estudio demuestran que la densidad de siembra para el estrato uno es de 22,215 plantas/ha, mientras que para el estrato dos se obtuvo una densidad de 17,417 plantas /ha. Por consiguiente se tiene que la densidad de siembra empleada en la zona de estudio es superior a la recomendada por el IHCAFE. En cuanto a la edad del cultivo de la zona de estudio encontrada es aproximado de seis años (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características del cultivo de café según estrato

| VARIABLES                 | Estrato 1         | Estrato 2 |
|---------------------------|-------------------|-----------|
| Área (ha)                 | 59                | 29        |
| # Parcelas                | 21                | 7         |
| Variedad de café          | Lempira/IHCAFE 90 | Lempira   |
| Edad promedio del cultivo | 5.8               | 5.9       |
| Promedio de plantas/ha    | 22,215            | 17,417    |

**Producción de grano.** En la evaluación del conteo de granos se obtuvieron datos promedios en donde la mayor producción de granos por plantas se encuentre reflejada para el estrato uno en la parte media de las plantas con influencia de luz solar de la variedad Lempira, mientras que el estrato dos, la producción de grano se concentró en la parte media de las plantas sombreadas para la variedad lempira (Cuadro 2). Cabe a destacar que el promedio total de granos producidos por planta en el estrato uno ha sido de 5,458 granos, mientras en el estrato dos era de 5,836 granos, respectivamente.

Cuadro 2. Evaluación de la producción de granos de café según estrato.

| Estrato | Soleado    |             |            | Sombra     |             |            |
|---------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|
|         | Grano alto | Grano medio | Grano bajo | Grano alto | Grano medio | Grano bajo |
| 1       | 2,932      | 3,596       | 1,109      | 1,428      | 1,322       | 529        |
|         |            | 7,637       |            |            | 3,280       |            |
| 2       | 3,346      | 3,804       | 1,143      | 1,616      | 1,220       | 543        |
|         |            | 8,293       |            |            | 3,379       |            |

**Porcentaje de sombra.** Al analizar el estrato uno se obtuvo un promedio de sombra del 64 %, con un promedio de 99 árboles/ha, mientras que en el estrato dos se encontró un porcentaje de sombra de 31 %, con un promedio 92 de árboles/ha, con base en estos porcentajes se determinó que el estrato uno presentó un exceso de sombra, afectando el rendimiento del cultivo de café. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Característica de la cobertura arbórea según estrato.

| Variable       | Estrato 1 | Estrato 2 |
|----------------|-----------|-----------|
| Sombra (en %)  | 64        | 31        |
| Árboles por ha | 99        | 92        |

**Factor de frondosidad u opacidad de copa.** Con base en la fórmula establecida dentro de la metodología de levantamiento se calculó el factor de frondosidad u opacidad de copa, dando como resultado 0.65, el cual indica que está dentro del parámetro, que es de 0 a 1. Relacionado a este dato se dice que si una parcela aparece sombreada, la distribución de la sombra no es uniforme en toda la parcela, quedando porciones de la parcela expuestas al sol (Somarrriba 2001). Se tomó como referencia este dato, se pudo explicar la relación existente entre la influencia que tiene el porcentaje de sombra sobre el rendimiento del grano sobre las plantas con influencia solar y bajo sombra en cada estrato (Cuadro 4). Con base en el coeficiente de frondosidad y de acuerdo a la fórmula para calcular en número de árboles por hectárea, tenemos que el recomendado para este SAF es de 49.

Cuadro 4. Evaluación del factor de frondosidad y opacidad de copa en el SAF

| Familia        | Nombre científico                     | Nombre común  | Coefficiente de frondosidad |
|----------------|---------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Lauraceae      | <i>Persea americana var. nubigena</i> | Aguacate mico | 0.6                         |
| Combretaceae   | <i>Terminalia Amazonia</i>            | Cumbillo      | 0.7                         |
| Anacardiaceae  | <i>Mauriase ssiliflora</i>            | Jocomico      | 0.5                         |
| Sapotaceae     | <i>Sideroxy loncapiri</i>             | Tempisque     | 0.6                         |
| Ulmaceae       | <i>Ulmus mexicana</i>                 | Cuero de toro | 0.6                         |
| Combretaceae   | <i>Terminalia oblonga</i>             | Guayabillo    | 0.7                         |
| Ulmaceae       | <i>Mirandaceltis monoica</i>          | Fierrillo     | 0.8                         |
| Lauraceae      | <i>Persea spp.</i>                    | Aguacate rojo | 0.9                         |
| Meliaceae      | <i>Guarea grandifolia</i>             | Marapolán     | 0.9                         |
| Sapotaceae     | <i>Manilka razapota</i>               | Níspero       | 0.8                         |
| Fagaceae       | <i>Quercus bumelioides</i>            | Roble Encino  | 0.7                         |
| Flacourtuaceae | <i>Hasseltia floribunda</i>           | San Juan      | 0.5                         |
| Mimosaceae     | <i>Inga spp.</i>                      | Inga(hueva)   | 0.3                         |
| Meliaceae      | <i>Cedrela phissilis</i>              | Cedro mechudo | 0.6                         |
|                |                                       |               | 0.65                        |

**Modelo de regresión lineal.** La evaluación estadística realizada a los datos de campo, arrojó un  $R^2$  de 0.58, el cual nos dice que nuestra variable de producción de grano, en este caso nuestra variable dependiente es afectada en un 58 % por la sombra (como variable nominal, 1 para presencia de luz solar y 0 para presencia de sombra), porcentaje de sombra y edad.

La ecuación lineal queda representada así:

$$Y_{(\text{granos})} = 2,635 + 4,648 X_{(1 = \text{luz})} - 28.9 X_{(\% \text{ de sombra})} + 368 X_{(\text{edad})}$$

Lo que da a entender que a medida que aumenta la presencia luz solar en la parcela, afecta positivamente la producción de granos (Anexo 5).

**Suelos.** La presente calicata se elaboró a una profundidad de 160 cm, con una elevación de 1,100 msnm, una precipitación de 2,500 a 3,000 mm y una evapotranspiración de 1,500 mm. Se estableció bajo la dirección norte a sureste y con una pendiente del 23 % considerada como una pendiente fuerte, se pueden observar cinco horizontes descritos de acuerdo a las características físicas del suelo. Con base al estudio de los cinco horizontes que describen las características geomorfológicas del suelo se observó un suelo idóneo, el cual presentó buena estructura permitiendo el establecimiento del SAF.

Según el régimen de humedad este tipo de suelo es clasificado como Údico, indicando que es un suelo que no se seca por más de 90 días acumulativos en todo el año. Que la precipitación es mayor a la evapotranspiración y que se pueden obtener dos cultivos al año. Finalmente la aptitud del suelo es ideal tanto para desarrollo del componente arbóreo y el componente cultivo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Caracterización de horizontes del SAF.

| Horizonte | Profundidad | Características  |
|-----------|-------------|--|
| Ap        | 0-17        | 2.5YR3/4 (pardo rojizo oscuro) Franco arcilloso, estructura granular, débil, medio, consistencia en húmedo friables, poros tubulares grueso moderados, medios finos pocos, raíces finas y medias abundantes, gruesas pocas, bastante actividad biológica. Limite plano y claro. R.P 0.7 kg/cm <sup>2</sup> |
| Bw        | 17-29       | 2.5YR4/4 (pardo rojizo) Franco arcilloso-, bloques sub angulares, débiles y finos, consistencia en húmedo muy friable, poros medianos tubulares y conectados, finos y vesiculares moderados, raíces gruesas muy pocas, medianas y pequeñas pocas. Limite claro y plano. R.P. 1.35 kg/cm <sup>2</sup>       |
| Bw1       | 29- 55      | 2.5YR4/8 (rojo) Franco arcilloso+, granular y bloques sub angulares, débiles y medios, consistencia en húmedo muy friable, poros tubulares medios y finos y vesiculares abundantes, raíces gruesas medianas y finas pocas. Limite ondulado y claro. R.P. 0.7 kg/cm <sup>2</sup>                            |
| Bw2       | 55-72       | 2.5YR5/6 (rojo) Franco arcilloso+, granular y bloques sub angulares, débiles y medios, consistencia en húmedo friable, poros tubulares medios y finos y vesiculares medios, raíces finas muy pocas. Limite plano y claro. R.P. 1.75 kg/cm <sup>2</sup>   |
| Bw3       | 72/160      | 10YR4/8 (rojo) Franco arcilloso-, granular y bloques sub angulares, débiles y medios, consistencia en húmedo friable, poros tubulares medios y finos y vesiculares abundantes, raíces medianas pocas y finas muy pocas. Limite ondulado y claro. R.P. 2.8 kg/cm <sup>2</sup>                               |

**Aspectos generales sobre el manejo del cultivo de café.** La vida útil del cultivo de café es de 12 años bajo sombra y seis o siete bajo sol, la producción del grano inicia al año de ser sembrado bajo influencia de sol y a los dos años bajo sombra, con base en estas características y a las asesorías que reciben los caficultores por parte del IHCAFE se realiza el debido manejo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Manejo del sistema agroforestal (SAF).

| Manejo                  | Datos   |
|-------------------------|---|
| Fertilización           |   |
| En vivero               | 18-46-0   |
| En campo                | 14 -4-18 (Nutricafe)  |
| Podas                   | 3   |
| Plagas                  | Broca ( <i>Hypothenemus hampei</i> Ferr)  |
| Enfermedades            | Roya ( <i>Hemileia vastatrix</i> )<br>Mal de talluelo ( <i>Rhizoctonia solarikuhn</i> ) |
| Aplicaciones            | Daconil   |
| Tratamiento de residuos | No hay  |

En el transcurso de los 12 años se realizaron tres podas; culminados los 12 años se elimina totalmente el cultivo. En términos de manejo del cultivo los caficultores realizan diferentes prácticas, (Cuadro 6). A nivel de vivero se realizaron cuatro fertilizaciones con 18-46-0, aplicadas de la siguiente manera:

1. A los 8 días de plantada la semilla
2. A los 20 días
3. A los 45-50 días
4. A los 75 días, aproximadamente faltando 8-10 días antes de sacar la semilla a campo.

La dosis aplicada es de 4 libras/ 5 galones en cada una de las aplicaciones.

A nivel de campo se realizan aplicaciones con la fórmula cafetalera 14-4-18 (Nutricafe), aplicando una dosis de 125 gramos/planta adulta, esto con el fin de mejorar la producción del grano. A su vez se realizaron tres podas, en el transcurso de los 12 años de vida útil, establecidas de la siguiente manera:

1. Se poda a un pie de alto del suelo. Realizada a los 5 años de sembrado el cultivo
2. 5 pulgadas más abajo dejando un tronco de 7 pulgadas.
3. De la 7 pulgadas se poda hasta dejar un tronco de 3.5 pulgada.

## 4. CONCLUSIONES

- El SAF tradicional evaluado en este estudio se encuentra con un porcentaje de sombra superior al recomendado para los sistemas agroforestales. Eso ha sido resultado de un manejo inadecuado y por ende afectando la producción de grano por planta de café en los dos estratos analizados.
- Las condiciones agroecológicas en la zona de las Minas son adecuadas para establecer un sistema altamente rentable y sostenible. El tipo de suelo encontrado en el SAF es el adecuado para el establecimiento de cultivos de café, ya que tiene alta capacidad de captación de humedad y alto contenido de materia orgánica
- Se encontró que la variedad Lempira domina en un 90 % el SAF tradicional. Esta variedad tiene una alta adaptabilidad en la zona de estudio y preferencia por parte de los productores. Tanto su rendimiento como la tolerancia a las plagas favorecen su selección por parte de los productores.
- Las distancias de siembra que se han encontrado en el SAF son inferiores a las recomendadas por el IHCAFE, lo cual representa una densidad del cultivo superior a la recomendada, lo que genera una sobre carga a la zona y una alta demanda en cuanto a la fertilización.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar un raleo gradual de las especies del componente arbóreo, con el objetivo de disminuir el porcentaje de sombra en el SAF.
- Es recomendable utilizar las distancias de 1.80 m entre surcos y 0.90 m entre planta, distanciamientos que garantizan la densidad óptima para este cultivo y así lograr los rendimientos adecuados
- En virtud que no existe tratamiento alguno en la zona para los residuos de la primera fase del beneficiado de café, se sugiere realizar un estudio económico y ambiental que garantice el tratamiento adecuado de los mismos.

## 6. LITERATURA CITADA

ICAFE (Instituto de Café de Costa Rica).1998. Manual de recomendaciones para el cultivo de café. 1<sup>a</sup>. ed. Heredia Costa Rica. 193p.

ICAFE (Instituto de Café de Costa Rica).2005. Historia del Café de Costa Rica (en línea).CATIE, Costa Rica. Consultado 16 Ago. 2011.  
Disponible en <http://www.online.co.cr/icafe/index.htm>

IHCAFE (Instituto Hondureño de Café): Estadísticas, informe 2006-2007 (en línea). Consultado 16 Ago. 2011. Disponible en <http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/>

ICAFE (Instituto Hondureño de Café).1998. Manual de Caficultura. 3<sup>era</sup>. ed. Instituto Hondureño del CaféTegucigalpa M.D.C., Honduras, C.A. 200p.

Figueroa, R; Fischersworing, B; Rosskamp, R. 1998.Guía para la caficultura: café orgánico. 2<sup>da</sup> ed. Lima Perú. 176p.

Fischersworing, B; Rosskamp, R.2001. Guía para la caficultura ecológica. 3<sup>era</sup> ed. Lima Perú. 153p.

López, T.G. 2007. Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla. 8p.

Musálem, S.M.A. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p.

Samper, K.M.1999.Trayectoria y viabilidad de las Caficultoras Centroamericanas. In B. Bertrand; B Rapidel .eds. Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. IICA.PRIMECAFE. CIRAD.IRD.CCCR. 168p.

Santoyo, V.H.; Díaz, S, Escarrilla, E; Robledo, JD.1996. Factores agroquímicos y calidad del café. Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo/Confederación Mexicana de Productores de Café. 21p.

Silvia Calle Aznar. 2011. Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales. Tesis de Ing. Tec. Industrial especialidad Química. Barcelona, España, Universidad Politécnica de Catalunya. 155 p.

Siles, P; Vaast, P. 2002. Agroforestería de las Américas 9(35-49).

Stadtmüller, T. 1987. Los Bosques Nublados en el Trópico Húmedo. Universidad de las Naciones Unidas y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 85p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Evaluación del cultivo de café, considerando las variedades de café identificadas, densidad y edad del cultivo para el estrato 1.

| Parcela | Variedad de café | Edad (años) | Plantas/parcela | plantas/ha |
|---------|------------------|-------------|-----------------|------------|
| 1       | Lempira          | 7           | 4,172           | 21,248     |
| 2       | Lempira          | 8           | 4,901           | 24,960     |
| 3       | Lempira          | 5           | 2,827           | 14,400     |
| 3       | IHCAFE 90        | 9           | 3,605           | 18,360     |
| 4       | Lempira          | 3           | 5,105           | 26,000     |
| 5       | Lempira          | 6           | 4,365           | 22,230     |
| 6       |                  |             |                 |            |
| 7       | Lempira          | 5           | 6,715           | 34,200     |
| 8       | Lempira          | 5           | 5,891           | 30,000     |
| 9       | Lempira          | 6           | 4,104           | 20,900     |
| 10      | Lempira          | 6           |                 |            |
| 11      |                  |             |                 |            |
| 12      | Lempira          | 7           | 5,498           | 28,000     |
| 13      | Lempira          | 7           | 2,168           | 11,040     |
| 14      | Lempira          | 1           | 5,301           | 27,000     |
| 15      | Lempira          | 7           | 6,627           | 33,750     |
| 16      |                  | 4           |                 |            |
| 17      | Lempira          | 1.5         | 2,592           | 13,200     |
| 18      | Lempira          | 7           | 1,643           | 8,370      |
| 19      | Lempira          | 7           | 2,160           | 11,000     |
| 20      | IHCAFE 90        | 8           | 6,480           | 33,000     |
| 21      |                  |             |                 |            |
|         |                  | 5.8         |                 | 22,215     |



Anexo 4. Evaluación de la producción de granos en los tres diferentes estratos (alto, medio y bajo), tanto para plantas con influencia de luz solar, como para plantas con ausencia de la misma, para el estrato 2.

| Parcela | Variedad de café | de Edad (años) | Soleado    |             |            | Sombra     |             |            |
|---------|------------------|----------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|
|         |                  |                | Grano alto | Grano medio | Grano bajo | Grano alto | Grano medio | Grano bajo |
| 22      | Lempira          | 5              |            |             |            |            |             |            |
| 23      | Lempira          | 6              | 4452       | 4572        | 920        | 1248       | 1140        | 306        |
| 24      | Lempira          | 5              | 4396       | 4752        | 1340       | 1820       | 1320        | 648        |
| 25      | Lempira          | 6              | 4676       | 4212        | 1300       | 1924       | 1350        | 702        |
| 26      | Lempira          | 6              | 952        | 1872        | 600        | 1560       | 900         | 432        |
| 27      | Lempira          | 6              | 1232       | 2844        | 1340       | 1222       | 1020        | 450        |
| 28      | Lempira          | 7              | 4368       | 4572        | 1360       | 1924       | 1590        | 720        |

Anexo 5. Evaluación del porcentaje de sombra y árboles/ha para el estratos 1.

| Parcela    | % de Sombra | Árboles/ ha |
|------------|-------------|-------------|
| 1          | 152         | 166         |
| 2          | 267         | 170         |
| 3(Lempira) | 94          | 103         |
| 3(90)      |             |             |
| 4          | 97          | 124         |
| 5          | 31          | 134         |
| 6          |             |             |
| 7          | 16          | 106         |
| 8          | 90          | 88          |
| 9          | 35          | 124         |
| 10         |             | 28          |
| 11         |             |             |
| 12         | 79          | 117         |
| 13         | 12          | 113         |
| 14         | 20          | 71          |
| 15         | 19          | 74          |
| 16         |             | 46          |
| 17         | 53          | 99          |
| 18         | 17          | 60          |
| 19         | 14          | 60          |
| 20         | 30          | 106         |
| 21         |             |             |
|            | 64          | 99          |

## Anexo 6. Evaluación del porcentaje de sombra y árboles/ha para el estratos 2.

| Parcela | % de Sombra | Árboles/ ha |
|---------|-------------|-------------|
|         |             | 92          |
| 23      | 19          | 96          |
| 24      | 32          | 99          |
| 25      | 14          | 106         |
| 26      | 70          | 103         |
| 27      | 19          | 78          |
| 28      | 31          | 71          |
|         | 31          | 92          |

Anexo 7. El muestreo de plantas de café, con el objetivo de determinar la cantidad de ramas en las diferentes alturas de la planta de café, se dividió la planta de café en tres alturas (alta, media y baja), para obtener este dato se muestrearon 100 plantas con cierta influencia de sol y 100 plantas con influencia de sombra.

|                               | Soleado |       |      | Sombra |       |      |
|-------------------------------|---------|-------|------|--------|-------|------|
|                               | Alto    | Medio | Bajo | Alto   | Medio | Bajo |
| Cantidad de ramas productivas | 28      | 36    | 20   | 26     | 30    | 18   |

## Anexo 8. Evaluación de las variables que analizadas en el modelo de regresión lineal

**Resumen del modelo**

| Modelo | R    | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | .763 | .582       | .551                 | 2565.41094                  |

| Coeficientes |                      |                                |            |                          |        |      |
|--------------|----------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|--------|------|
| Modelo       |                      | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes tipificados |        |      |
|              |                      | B                              | Error típ. | Beta                     | t      | Sig. |
| 1            | (Constante)          | 2635.330                       | 1387.600   |                          | 1.899  | .065 |
|              | Sombra / Sol         | 4648.364                       | 773.501    | .614                     | 6.010  | .000 |
|              | Porcentaje de sombra | -28.912                        | 6.670      | -.449                    | -4.335 | .000 |
|              | Edad                 | 368.468                        | 223.301    | .171                     | 1.650  | .107 |

Anexo 9. Cálculo de número de árboles por hectárea

| Número de arboles |      |
|-------------------|------|
| CF                | 0.65 |
| AC-SAF            | 95   |
| N- SAF            | 49   |

