

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

## Simulation arrangements cocoa agroforestry as a diagnosis and planning strategy for producers

## Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores

Faver Álvarez-Carrillo<sup>1</sup>, Jairo Rojas-Molina<sup>2</sup>, Juan Carlos Suarez-Salazar<sup>3</sup>

## ABSTRACT

In tropical Latin America, agroforestry systems (AFSs) with cacao and coffee are the most common and cover about 17.7 million hectares; and about 70% of cacao production comes from small farmers.

As a strategy for performing diagnosis in cacao agroforestry arrangements, simulations were made with SExI-FS<sup>®</sup> to identify interactions and propose alternative management for agroforestry arrangement structures, given the key elements for making decisions to optimize production systems. We evaluated the chemical composition of the soil and diagnosed each arrangement to obtain information for the SExI-FS<sup>®</sup> simulation. Variations in the amounts of Ca, B and Cu due to amended management practices were found. The percentages of tree cover found in each agroforestry arrangement were low, with 10.8% for the El Salado and 6.3% for the El Palmar. In our case, where nutrient availability is a limiting factor, it is necessary to increase the shade level since there is a positive correlation between the production of cacao and light; the coverage level should be increased to 30% for the ideal level of shade for cacao. The SExI-FS<sup>®</sup> simulation serves to implement management plans within plantations, such as improving the shade level, pruning management and type of species used.

*Key words:* SExI-FS<sup>®</sup>, *Theobroma cacao*, design of plantations, interactions

## RESUMEN

En el trópico los sistemas agroforestales SAFs con cacao y café son los más comunes y cubren alrededor de 17,7 millones de hectáreas y aproximadamente el 70% de la producción de cacao proviene de pequeños agricultores. Como estrategia para la realización del diagnóstico en arreglos agroforestales con cacao se realizaron simulaciones con SExI-FS<sup>®</sup> para identificar las interacciones y proponer alternativas en el manejo de la estructura de los arreglos agroforestales, dando elementos claves a quienes toman decisiones para optimizar los sistemas de producción. Se evaluó la composición química del suelo y un diagnóstico de cada arreglo para obtener información para la simulación en SExI-FS<sup>®</sup>. Se encontraron variaciones en las cantidades de Ca, B y Cu debido a las prácticas de manejo de enmiendas. Los porcentajes de cobertura arbórea encontrados en cada arreglo agroforestal fueron bajos, siendo 10,8% para la finca El Salado y 6,3% para la finca El Palmar. En nuestro caso en el que la disponibilidad de nutrientes es un factor limitante, se hace necesario aumentar el nivel de sombra, ya que existe una correlación positiva entre la producción de cacao y luz, el nivel de cobertura se debe aumentar a un 30% que es el nivel ideal de sombra para cacao. La simulación con SExI-FS<sup>®</sup> nos sirve para implementar planes de manejo dentro de la plantación, como el mejoramiento del nivel de sombra, el manejo de las podas y el tipo de especies a utilizar.

*Palabras clave:* SExI-FS<sup>®</sup>, *Theobroma cacao*, diseño de plantaciones, interacciones

Fecha de recepción: 22-10-2012  
Fecha de aceptación: 17-12-2012

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Amazonia. Florencia (Colombia). falvarezc@uniamazonia.edu.co

<sup>2</sup> Centro de Investigación La Suiza, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Bucaramanga (Colombia).

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de la Amazonia. Florencia (Colombia).

## INTRODUCCIÓN

El alto nivel de complejidad estructural de los sistemas agroforestales tradicionales, desafía los enfoques clásicos forestales en lo que respecta a la optimización de las prácticas de manejo (Harja y Vincént, 2008). Los sistemas agroforestales combinan cultivos anuales y perennes, especies herbáceas y leñosas, en un sistema complejo en términos del número de especies de plantas, las interacciones biológicas, y las prácticas de manejo (Torquebiau, 2007). Estos sistemas se destacan de los

sistemas especializados de cultivo a través de tres aspectos esenciales derivados de los ecosistemas naturales: (i) su funcionamiento se basa en las relaciones entre las especies (competencia, facilitación), (ii) que ofrecen una alta diversidad biológica constitutiva, y (iii) que producen una multiplicidad de productos y servicios ambientales que los monocultivos no ofrecen (Malézieux, 2012).

El simulador forestal SEI-FS® se centra en las interacciones árbol-árbol en una amplia gama de especies agroforestales. El objetivo principal de este *software* es conseguir una representación acorde a la dinámica de un sistema complejo, donde la complejidad se refiere aquí, al conjunto de individuos que interactúan a nivel local con diferentes propiedades, más que a la complejidad de los procesos elementales involucrados. El modelo proporciona una visión sobre cuáles son los procesos críticos y los parámetros de la dinámica del sistema (Harja y Vincént, 2008). También debe permitir explorar escenarios futuros de manejo, ayudar a evaluar la pertinencia de las técnicas de manejos actuales, entre otros (Harja y Vincént, 2008).

Al conocer las interacciones que tienen los elementos dentro del sistema y los efectos integrales de los ámbitos biofísicos, agroforestales y humanos (social, económico y cultural), permitirá conocer, analizar y plantear alternativas sobre la función de los elementos, el manejo y la estructura de los arreglos agroforestales dando elementos claves a quienes toman decisiones para optimizar los sistemas de producción (Deheuvels *et al.*, 2012). Se planteó como objetivo realizar una simulación de los arreglos agroforestales presentes en dos fincas del municipio de Rivera (Huila) mediante la utilización del programa SEI-FS®, el cual nos muestra el estado de la sombra en el sistema agroforestal con cacao, lo cual nos dará indicaciones para hacer un manejo adecuado de ésta en mirar a mejorar el nivel de producción de cacao y de la especie acompañante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Rivera (Huila) en dos fincas cacaoteras. La primera, ubicada en la finca El Salado, con clima medio húmedo, altura de 896 msnm, temperatura media anual entre 18 a 24°C (IGAC, 1994; IDEAM, 2005), ubicación geográfica 2°46' 21,3" N y 75°13' 32,4" O en fase de producción y la segunda, ubicada en la finca El Palmar, vereda El Salado, con clima cálido húmedo a una altura de 834 msnm, temperatura media anual entre 26 a 28°C (IGAC, 1994; IDEAM, 2005), con posición geográfica 2°45'37,3" N y 75°14'20,1" O, en fase de crecimiento.

En cada una de las fincas se seleccionó un área de 3.888 m<sup>2</sup> (área experimental) donde se determinó las siguientes

variables químicas: pH (método potenciométrico, relación suelo-agua 1:2,5), acidez intercambiable (KCl 1N), aluminio intercambiable, materia orgánica – MO (Walkley-Black modificado), fósforo - P disponible (Bray II), azufre - S (fosfato monocálcico), bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na, en acetato de amonio 1M a pH 7), CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva, equivalente por suma de cationes), elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn, con Olsen modificado y B con fosfato monocálcico), y conductividad eléctrica. Para el caso de las variables físicas (textura y densidad aparente) se hizo un muestreo compuesto en cada finca, para hacer la respectiva caracterización.

Para el diagnóstico agroforestal se tomó la metodología propuesta por Somarriba, (2009), donde se identificó las especies de árboles asociados a la plantación de cacao. A estos árboles se les midió diámetro a la altura de pecho (dap), altura de fuste, altura total y se estimó el área de copa mediante la medición perpendicular del diámetro mayor y el menor, y el arreglo espacial de los árboles presentes en el cultivo. Con las variables dasométricas (altura, diámetro) y características del dosel (en cuanto tamaño y forma de copa) se modeló en SEI-FS® en las diferentes formas de asociación de las especies arbóreas en la plantación de cacao (Harja y Vincént, 2008), de igual manera se identificaron los árboles de cacao presentes en el arreglo agroforestal. Así mismo, se determinó el porcentaje de cobertura mediante el cálculo del diámetro de copa de cada árbol en el arreglo las cuales fueron obtenidas mediante las siguientes fórmulas:

$$Dc = \frac{\sum_{i=1}^n Dci}{n} \quad (1)$$

$$Ac = \frac{\pi}{4} \times Dc^2 \quad (2)$$

$$\% C = \frac{\sum Ac}{A} \times 100 \quad (3)$$

Donde,

$Dc$  = diámetro de copa promedio (m)

$D$  = diámetro de copa de cada árbol (m)

$Ac$  = área de copa (m<sup>2</sup>)

$\%C$  = porcentaje de cobertura arbórea

$A$  = área del terreno

## RESULTADOS

### Ambiente edáfico

En la Tabla 1, se muestran los parámetros edáficos encontrados en los suelos bajos el cultivo de cacao en

**Tabla 1.** Análisis de suelo en las dos fincas cacaoteras en Rivera (Huila)

Parámetro	Unidades	Finca El Salado	Rango de fertilidad	Finca El Palmar	Rango de fertilidad
Textura		FA		FArA	
Arena	%	67,2		57,2	
Arcilla	%	12,4		24,4	
Limo	%	20,4		18,4	
Densidad Aparente	g cm <sup>-3</sup>	1,35	CM *	1,32	CM
pH		6,1	CA*	6,2	CA
CE	dS m <sup>-1</sup>	0,17	NS*	0,18	NS
MO	%	2,4	Medio	2,6	Medio
K	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,16	Bajo	0,11	Bajo
Ca	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	2,55	Bajo	4,79	Medio
Mg	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,69	Bajo	0,95	Bajo
Na	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0,08	Bajo	0,28	Bajo
P	mg kg <sup>-1</sup>	58,5	Muy alto	23	Muy alto
S	mg kg <sup>-1</sup>	6	Bajo	7,2	Bajo
B	mg kg <sup>-1</sup>	0,25	Medio	0,23	Bajo
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	16	Bajo	18	Bajo
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	3,9	Alto	1,8	Medio
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	6,5	Medio	8,4	Medio
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	1,2	Bajo	0,5	Bajo
CICE		3,48		6,13	

CM, compactación moderada; CA, condición adecuada; NS, no salino.

las dos fincas de estudio. No hubo presencia de cationes promotores de acidez (Al y H), presentando un nivel de potencial de hidrogeno (pH) adecuado para el cultivo en las dos fincas. En cuanto a la materia orgánica (MO) presentó un nivel aceptable relacionado con bajos niveles de N y S. Estos elementos son disponibles por la descomposición de la MO como única fuente abastecedora natural (Graetz, 2000). Así mismo, los niveles de las bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na) fueron bajos, afectando la CICE ya que las bases están muy ligadas a esta propiedad del suelo y especialmente al Ca (Camacho *et al.*, 2010), cuyos parámetros fueron similares para las dos fincas.

El P fue el único elemento que presento rangos de fertilidad muy altos en la finca El Salado y El Palmar. En relación con los elementos menores presentaron rangos de fertilidad bajos como B para la finca el Palmar y medios para El Salado. En Fe y Zn, en rangos medios de fertilidad para las dos fincas.

Todas estas limitantes interrumpen el desarrollo óptimo y los buenos rendimientos del cultivo. Braudeau (1970), afirma que bajo condiciones similares de baja fertilidad en los suelos se obtendrán rendimientos aceptables, combinando el cultivo con suficiente sombreado para minimizar los efectos de los rigores climáticos. Wood (1982) y Braudeau (1970), afirman que para sostener una plantación de cacao con éxito el suelo debe presentar las siguientes características: (i) tener una CICE no menor de 12 cmol+ kg<sup>-1</sup> y en el subsuelo no menor de 5 cmol+ kg<sup>-1</sup>, (ii)

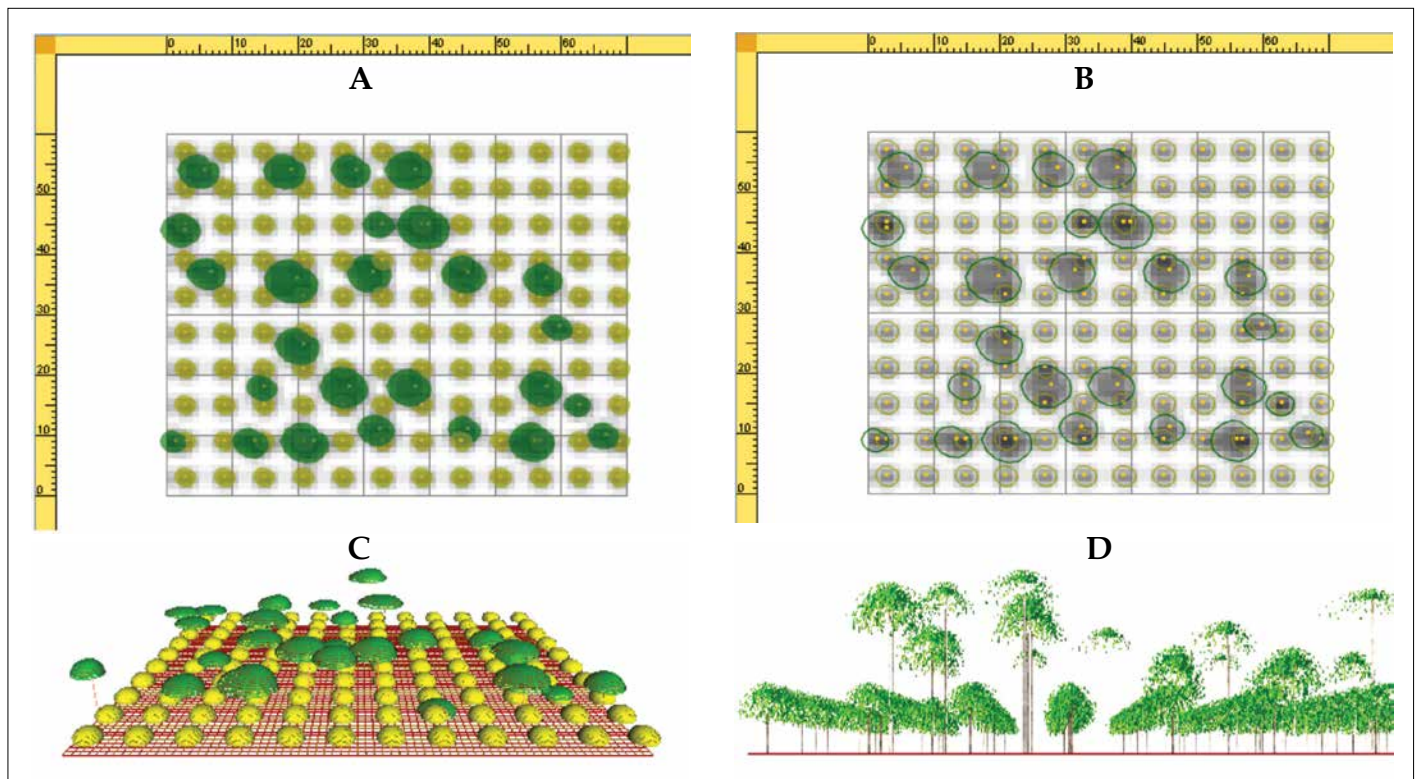
el contenido de MO en los 15 cm superiores del perfil del suelo no sea menor de 3% (1,5% de carbono orgánico), (iii) la saturación de las bases en las capas sub-superficiales en un porcentaje que no sea inferior de 35% (a menos que la CIC sea excepcionalmente alta) y (iv) el pH este entre el 6,0 a 7,5 en las capas superficiales, sin ser excesivamente ácido (pH menor de 4,0), o alcalino (pH mayor a 8,0), hasta una profundidad de 1 m.

Por otro lado, con respecto a características físicas del suelo en la finca El Salado (fase de producción) presentó una clase de textura franco arenoso (FA) y una compactación moderada y densidad aparente de 1,35 g cm<sup>-3</sup>, así mismo, la finca El Palmar (fase de crecimiento) presentó una textura franco arcilloso arenoso (FArA) y una compactación moderada con densidad aparente de 1,32 g cm<sup>-3</sup>.

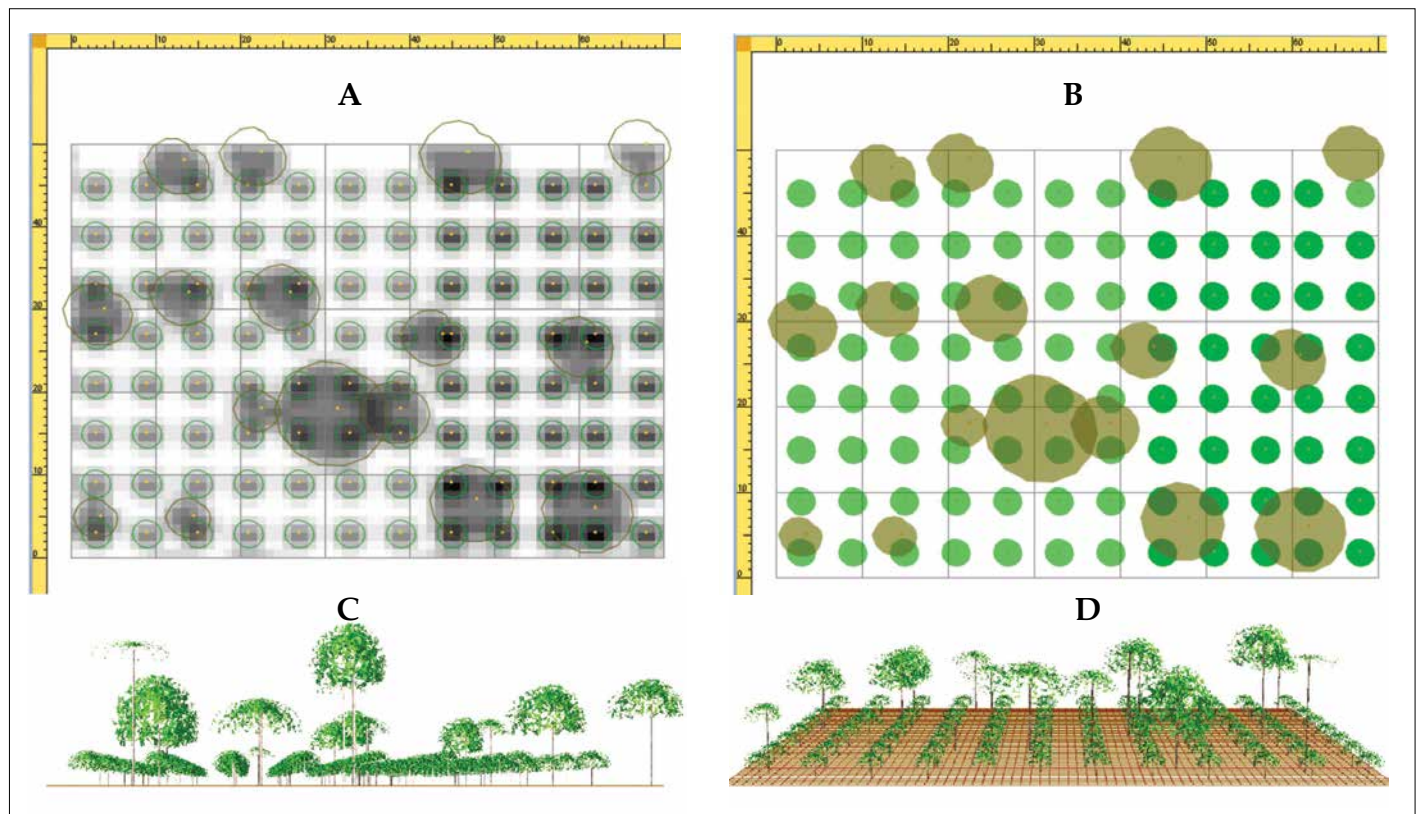
### Diagnóstico agroforestal

En las dos fincas estudiadas se encontraron un total de 42 leñosas perennes, de los cuales 26 árboles se localizaban en la finca El Salado (fase de producción) y los otros 16 árboles se sitúan en la finca El Palmar (fase de crecimiento). La leñosa perenne presente en las dos fincas fue *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. Los clones de cacao encontrados fueron ICS 39, ICS 95 y CNN 51, para la finca El Salado y ICS 95 y ICS 39. Para la finca el Palmar, lo que muestra una homogeneidad en los tipos de materiales sembrados en la región, dando preferencia a materiales con cierta tolerancia a enfermedades limitantes como monilia (*Moniliophthora roreri*) y productivos, caso CCN 51 y ICS 95, y de buen comportamiento productivo en la zona como ICS 39, pero con cierta susceptibilidad a moniliasis y a escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*).

En las figuras 1 y 2 se muestran las imágenes obtenidas a partir del simulador SExi-FS® donde nos muestra el arreglo espacial de árboles dispersos en el cultivo de cacao en las dos fincas. Los porcentajes de cobertura arbórea dieron como resultado del 10,8% para la finca El Salado y 6,3% para la finca El Palmar. Este sistema es el resultado deliberado de los dos productores en sus fincas para generar sombra como servicio ecosistémico y mejorar los procesos fisiológicos en el cacao. De acuerdo a diferentes autores (Ortiz, 2006; Vega, 2005; Schroth, 2003) afirman que la selección de especies de sombra en cacaotales habitualmente obedece a la búsqueda de beneficios socioeconómicos y de manejo como obtención de productos rentables (madera, fruta, leña), baja competencia con el cultivo, fácil manejo, que proporcione poca sombra al cultivo, sin problemas de plagas o enfermedades y que no erosione el suelo. Somarriba *et al.* (1996) plantearon que las características del estrato de la sombra según lo determinado por la composición



**Figura 1.** Imágenes en el simulador SEI-FS®. A, distribución espacial de los árboles de *Gliricidia* en el cultivo de cacao; B, colores intensos de grises muestran el área donde la intensidad de sombra es mayor; C y D, imágenes de los árboles de *Gliricidia* en 3D en la fase de producción



**Figura 2.** Imágenes en el simulador SEI-FS®. A, colores intensos de grises muestran el área donde la intensidad de sombra es mayor; B, distribución espacial de los árboles de *Gliricidia* en el cultivo de cacao; C y D, imágenes de los árboles de *Gliricidia* en 3D en la fase de crecimiento

botánica, el número de capas verticales (sub-estratos), el grado de cobertura de dosel, las características de la copa del árbol, y el manejo de la sombra del árbol (poda, raleo y reforestación), varían mucho entre las principales zonas ecológicas y entre las distintas comunidades dentro de cada zona, en respuesta a factores biofísicos y socioeconómicos (Somarriba y Beer, 2011).

Así mismo, los árboles que prestan un servicio ecosistémico como sombra en cultivos perennes: (i) modifican el régimen de luz (tanto en calidad como en cantidad), la temperatura del aire, humedad y movimiento del aire dentro de la plantación, que afectan directamente a la fotosíntesis, crecimiento y producción de cacao (De Almeida y Valle, 2007; Zuidema *et al.*, 2005); (ii) favorecen o entorpecen la dinámica poblacional y la incidencia de plagas y enfermedades (y de sus enemigos naturales) que reducen los rendimientos tanto de cacao y sus especies acompañantes (Schroth *et al.*, 2000); (iii) producen cantidades significativas de MO, reciclaje de nutrientes y ayudan a mantener la fertilidad natural del lugar (Hartemink, 2005), lo que es importante en cultivos como el cacao que no es utilizada la práctica agronómica de la fertilización, y (iv) la producción de bienes (madera, leña, frutos, resinas, medicamentos, etc.) y servicios (los valores estéticos y culturales, la conservación de la biodiversidad, el suelo y el agua, secuestro de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático, etc.) para los hogares y la sociedad global (Bentley *et al.*, 2004; Rice y Greenberg, 2000; Ruf y Schroth, 2004; Schroth y Harvey, 2007).

En las fincas de Rivera, Huila se encontró que el estrato de sombra estaba dominado por una especie leguminosa de servicio (productos no comerciales), lo que algunos autores denominan como las especies de la “columna vertebral” del sombrío en el cacao (Somarriba y Beer, 2011, Rice y Greenberg, 2000). En el caso de este tipo de sombrío, las especies son sembradas, podadas y manejadas de acuerdo a las necesidades del cultivo de cacao, y por ello a través del SExI-FS®, podremos implementar planes de manejo del nivel de sombrío, podemos identificar qué tipo de poda realizar y que necesidades de sombrío adicional requiere para mejorar la productividad del cultivo.

Las especies como el *Gliricidia* se han utilizado como árboles de sombrío para el cacao ya que incrementan las entradas de nitrógeno al sistema. En Indonesia, se encontró que con la utilización de estas especies en los sistemas agroforestales se captura al menos 30 kg ha<sup>-1</sup> – año de N. Este nitrógeno natural reemplaza la compra y aplicación de alrededor de 150 kg ha<sup>-1</sup> de urea por (Tschardt *et al.*, 2011). La deficiencia de nitrógeno causa aborto de frutos, por eso la utilización de leguminosas, ya que es una estrategia de manejo amigable ambientalmente y de bajo

costo para mejorar los rendimientos en cacao (Somarriba y Beer, 2011; Tschardt *et al.*, 2011).

En las fincas del estudio se puede empezar a manejar la sombra con otro tipo de especies, que pueden ser las maderables las cuales suministran un producto valioso, ya que estas especies sirven al agricultor como “cuenta de ahorros” en momentos en los cuales sean bajas las producciones de cacao, en que los precios estén bajos o cuando la familia inesperadamente requiera de algún tipo de necesidad. Somarriba y Beer (2011), al trabajar en la zona cacaotera de Talamanca en Costa Rica, encontraron que dependiendo del nivel de fertilidad del suelo se recomendaba una especie, para suelos con buena fertilidad y bien drenados se utiliza *Cordia alliodora*, y para aquellos con moderado nivel de drenaje se utiliza *Tabebuia rosea*.

El manejo adecuado de la sombra se requiere en el cacao para su óptima productividad. Cuando los fertilizantes no son viables, intercalar apropiadamente los árboles de sombra seleccionados mejorara la regulación de luz y el estado nutricional de las plántulas de cacao sin competir fuertemente (Isaac *et al.*, 2007). La competencia por los nutrientes del suelo entre el cacao y los árboles de sombra puede manejarse mediante las podas oportunas así que el crecimiento radicular se regula en diferentes momentos.

La remoción de la sombra produce a corto plazo incrementos en los niveles productivos pero tendrán efectos negativos a largo plazo que compromete la sustentabilidad de la producción de cacao. Dentro de los sistemas agroforestales con cacao, la cantidad de sombra es un estimulante para la intensificación.

## CONCLUSIONES

Con respecto al ambiente edáfico se encontraron rangos de fertilidad bajos en las dos fincas estudiadas, afectando el desarrollo óptimo de crecimiento y producción del sistema productivo cacao. En nuestro caso con baja utilización de fertilizantes inorgánicos, la utilización de SAFs se utiliza para el mantenimiento de la fertilidad del suelo con el subsecuente incremento de la disponibilidad de nutrientes para el cacao al utilizar especies de servicio como el *Gliricidia* como sombrío.

Los niveles de cobertura de 10,8% para la finca en fase de producción y 6,3% para la finca en fase de crecimiento, fueron bajos. En nuestro caso en el que la disponibilidad de nutrientes es un factor limitante, se hace necesario aumentar el nivel de sombra, ya que existe una correlación positiva entre la producción de cacao y luz, el nivel de cobertura se debe aumentar a un 30% que es el nivel ideal de sombra para cacao (Hartemink, 2005).

La simulación con SEI-FS nos sirve para implementar planes de manejo dentro de la plantación, como el mejoramiento del nivel de sombra, el manejo de las podas y el tipo de especies a utilizar. Además, para el tipo de agricultores de la zona que utilizan los sistemas agroforestales como medida para evitar la vulnerabilidad del sistema a largo plazo, la sombra es un seguro para evitar el brote de plagas y ciertas enfermedades y como una manera de disminuir los riesgos económicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bentley JW, Boa E, Stonehouse J. 2004. Neighbor trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Hum Ecol* 32(2):241-270.
- Braudeau J. 1970. El cacao. Barcelona, España: Editorial Blume.
- Camacho TJH, Luengas GC, Leiva FR. 2010. Análisis multivariado de propiedades químicas en Oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. *Acta Agron* 59(3):273-284.
- De Almeida AAF, Valle RR. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *J Plant Physiol* 19(4):425-448.
- Deheuvels O, Avelino J, Somarriba E, Malezieux E. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agric Ecosyst Environ* 149:181-188.
- Graetz P. 2000. Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. México DF: Editorial Trillas.
- Harja D, Vincént G. 2008. Spatially explicit individual-based forest simulator - user guide and software. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF); Institut de Recherche pour le Développement (IRD).
- Hartemink AE. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Adv Agron* 86:227-253.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1994. Estudio general de los suelos del departamento del Huila. Bogotá: Subdirección de Agrología, IGAC.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Bogotá.
- Isaac ME, Timmer VR, Quashie-Sam SJ. 2007. Shade tree effects in an 8-year cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutr Cycl Agroecosys* 78:155-165.
- Malézieux E. 2012. Designing cropping systems from nature. *Agron Sustain Dev* 32:15-29.
- Ortiz M. 2006. Conocimiento local y decisiones de los productores de Alto Beni, Bolivia, sobre el diseño y manejo de la sombra en sus cacaotales [Tesis de maestría]. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Rice RA, Greenberg R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29(3):167-173.
- Ruf F, Schroth G. 2004. Chocolate forest and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. En: Schroth G, da Fonseca G, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos H, Izac AM, editores. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington DC: Island Press. pp. 107-134.
- Schroth G. 2003. Decomposition and nutrient supply from biomass. En Schroth G, Sinclair F, editores. *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. Wallingford, UK: CAB International.
- Schroth G, Harvey CA. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodivers Conserv* 16(8):2237-2244.
- Schroth G, Krauss U, Gasparoto L, Duarte JA, Vohland K. 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agrofor Syst* 50:199-241.
- Somarriba E, Beer J, Bonnemann A. 1996. Árboles leguminosos y maderables como sombra para cacao: el concepto. Serie Técnica No. 274. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Somarriba E. 2009. Planificación agroforestal de fincas. Serie Materiales de Enseñanza No. 49. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry Systems with timber or legume service shade trees. *Agrof Syst* 81: 109-121.
- Torquebiau E. 2007. *L'agroforesterie: des arbres et des champs*. Paris: L'Harmattan, (Biologie, écologie, agronomie).
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat S, Buchori D, Faust H, Hertel D, Ischer D, Juhbandt J, Kessler M, Perfecto I, et al. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes- a review. *J Appl Ecol* 48:619-629.
- Vascular Trópicos. 2012. Missouri botanical garden. En: [www.tropicos.org/Name/13048407](http://www.tropicos.org/Name/13048407); consulta: noviembre, 2012.
- Vega M. 2005. Planificación agroforestal participativa para el enriquecimiento de fincas cacaoteras orgánicas con especies leñosas perennes útiles en Alto Beni, Bolivia [Tesis de maestría]. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Wood G. 1982. Cacao. México DF: Compañía editorial Continental.
- Zuidema PA, Leffelaar AF Gerritsma W, Mommer K, Anten NPR. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agric Syst* 84:195-225.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del proyecto "Esquemas de fertilización convencional y orgánica para el sistema de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su efecto en el rendimiento y calidad del grano en las principales zonas productoras de Colombia", ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.