



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Producción de madera y almacenamiento de carbono
en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia
macrophylla*) en Honduras**

Por:

Nolvia Gabriela Jiménez Nehring

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito
para optar al grado de:

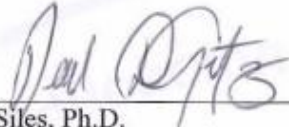
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, Marzo del 2012

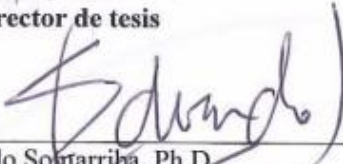
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

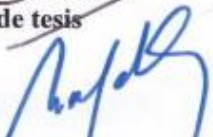
FIRMANTES:



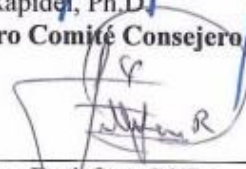
Pablo Sifés, Ph.D.
Co-Director de tesis



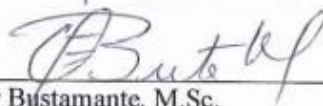
Eduardo Sotarrriba, Ph.D.
Co-Director de tesis



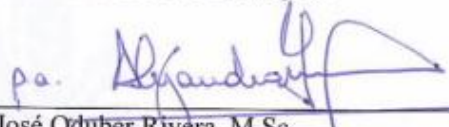
Bruno Rapidel, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



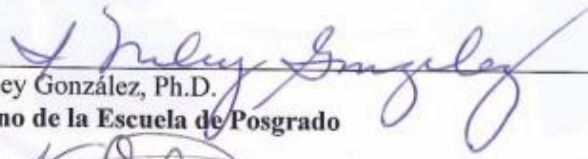
Guillermo Detlefsen, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



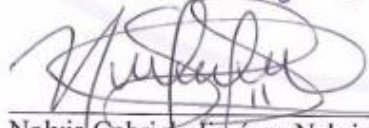
Oscar Bustamante, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



José Oduber Rivera, M.Sc.
Coordinador, Especialización en Práctica para el Desarrollo



I. Miley González, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Nolvía Gabriela Jiménez Nehring
Candidata

..

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por su gran misericordia, conmigo, con mi familia y con mis asesores al permitirles iluminar mi camino con sus conocimientos.

A mi pequeña familia que Dios me ha permitido formar, mi adorado esposo Henry Francisco Mencia Anariba por comprender y apoyar cada paso en mi vida; y a mi pequeña hija Hally Michelle Mencia la razón de mi vida y luz de mis ojos.

A mis padres Nolvía Aracely Nehring y Douglas Alberto Jiménez (QDGG) por inculcar en mí el don del estudio y la dedicación.

A mis hermanos y mejores amigos, Gabriela Aracely Jiménez Nehring, Gabriela Reneé Jiménez Villatoro, Douglas Armando Jiménez Nehring, Douglas Efraím Jiménez Nehring, Krizia Valery Guevara Fiallos, Sandy Isamar Leveron y Seydi María Martínez.

A toda mi familia por el apoyo directo o indirecto que he recibido de ustedes, primos y primas, tíos y tías, cuñados y cuñadas y mis queridos suegros siempre tan atentos y solícitos a apoyarme en todo momento.

A mi patria Honduras, tierra bella donde hay lluvia de peces cual milagro celestial. Mi adorado pueblo macho catracho!

AGRADECIMIENTOS

Al CATIE mi nueva alma mater en formación académica, a GIZ a través del proyecto “Mejorando la producción y mercadeo de bananos en cafetales con árboles de pequeños productores” por la oportunidad que me brindaron de realizar estudios de maestría, muy especialmente al Ph D. Charles Staver por confiar en mí y estar pendiente de cada paso en estos dos años de estudios y al proyecto Finnfor por brindarme su apoyo financiero, muy especialmente a Tania Ammour y Justine Kent porque esa pizca extra de apoyo emocional fue de mucha utilidad en los momentos de mayor estrés.

A mi comité consejero por brindarme parte de sus conocimientos. A Pablo Siles y Eduardo Somarriba mis codirectores de tesis y a Guillermo Detlefsen, Oscar Bustamante y Bruno Rapidel por sus palabras de apoyo y animo durante la fase de campo y por su asesoría siempre oportuna.

A mis compañeros de estudio por su compañía y apoyo, especialmente a mis compas del alma: María Auxiliadora Altamirano, Edwin Daniel García, Gustavo Álvarez Velásquez, José Antonio Mamani y Rita Carolina Girón. Sus palabras fueron apoyo y motivación en cada momento.

A mi esposo Henry Francisco Mencía por ayudarme en la etapa de campo y porque en cada paso de mi vida está presente para apoyarme y motivarme a seguir y a culminar. Gracias amor por todo su apoyo, siempre estaré agradecida con usted.

A mis compañeros de trabajo técnicos forestales, extensionistas, coordinadores regionales, documentalistas y todo el personal de IHCAFE por brindarme su apoyo durante la fase de campo en cada una de las regionales cafetaleras, muy especialmente a Estelina Macías y Keyla Matute, su apoyo y ayuda fueron sumamente valiosos.

Al Sector cafetalero de Honduras, máximo productor de mi adorado país y estabilizador de la economía nacional, muy especialmente a los productores de café de las fincas visitadas por su amabilidad y finas atenciones y al Prof. Asterio Reyes Hernández por sus ánimos y alegría de un buen trabajo. A todas las personas que me colaboraron directa o indirectamente, //MUCHAS GRACIAS//.

BIOGRAFÍA

La autora nació en la ciudad de Siguatepeque, departamento de Comayagua en la República de Honduras, Centro América, el siete de marzo de 1983. Se graduó de técnico universitario en dasonomía en la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR), culminando el grado de ingeniería forestal en la Universidad José Cecilio del Valle en diciembre del 2005.

En los inicios de su vida profesional se desempeñó como técnico forestal de unidades de gestión de la Paz y Nahuaterique en la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR), ahora Instituto de Conservación Forestal (ICF), desde el 2005 hasta finales del 2006.

Desde diciembre del 2006 a la fecha labora como coordinadora del programa agroforestería y ambiente del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), apoyando la creación de dicho programa y las labores de aprovechamiento forestal en fincas de café, viveros forestales con productores de café, establecimiento de parcelas agroforestales y los procesos de certificación forestal en fincas.

Comenzó sus estudios de maestría en agroforestería tropical en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en enero del 2010 y culminando en diciembre del 2011.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
SUMMARY.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
<i>Objetivo general</i>	3
<i>Objetivos específicos</i>	3
1.2 Preguntas de investigación.....	3
MARCO CONCEPTUAL.....	5
Beneficios de los árboles en cafetales.....	5
Diversificación de la producción.....	5
Producción de madera.....	5
Servicios Ambientales.....	7
Interacciones café-árboles.....	10
<i>Efectos Biofísicos</i>	10
<i>Efectos sobre el cultivo</i>	10
Sombra al cafetal.....	11
Bibliografía.....	13
Capítulo I: Producción de madera y almacenamiento de carbono de Cedro (<i>Cedrela odorata</i>) y caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>) en cafetales de Honduras.....	20
Introducción.....	20
Objetivos y Preguntas de Investigación.....	21
Materiales y Métodos.....	23
<i>Descripción del área de estudio</i>	23
<i>Metodología</i>	24
<i>Población y muestra</i>	24
<i>Unidad de muestreo y toma de datos</i>	25
	VI

<i>Modelos de crecimiento ajustados y su validación</i>	26
<i>Cálculo de volumen y carbono almacenado:</i>	28
Resultados	29
<i>Conocimiento local de los productores que plantan cedro y caoba en sus cafetales</i>	29
<i>Manejo de la plantación</i>	29
<i>Desarrollo y crecimiento de Cedro (Cedrela odorata), plantada en cafetales de Honduras</i>	30
<i>Comparaciones de crecimiento entre las regiones cafetaleras</i>	32
<i>Modelos de Crecimiento</i>	33
<i>Desarrollo y crecimiento de caoba (Swietenia macrophylla), plantada en cafetales de Honduras</i>	35
<i>Crecimiento por Regional</i>	36
<i>Modelos de Crecimiento</i>	37
Discusión	39
<i>Manejo de la plantación maderable</i>	39
<i>Crecimiento de cedro y caoba en cafetales</i>	39
<i>Modelos de crecimiento de cedro y caoba ajustados para cafetales</i>	41
<i>Potencial productivo de cedro y caoba en cafetales</i>	43
Bibliografía	45
Capítulo II: Modelaje de la intercepción de luz de los árboles maderables sobre los cafetales de Comayagua y Santa Bárbara	54
Introducción	54
Objetivos y preguntas de investigación	56
Materiales y Métodos.....	57
<i>Descripción del área de estudio</i>	57
<i>Fase de campo</i>	59
<i>Estimación de la cobertura del dosel</i>	60
<i>Parametrización y prueba del modelo Spatially Explicit based Individually Forest Simulator (SEI FS)</i>	62
<i>Descripción del modelo</i>	62

<i>Utilización del modelo SeXI-FS</i>	63
<i>Modelaje de escenarios de crecimiento de los árboles maderables en cafetales</i>	64
<i>Parametrización del modelo</i>	65
<i>Función de crecimiento</i>	65
<i>Geometría de las copas</i>	65
<i>Cálculo de volumen y biomasa</i>	66
Resultados	67
<i>Descripción de los sistemas agroforestales de café con sombra de cedro y caoba estudiados</i>	67
<i>Relaciones de la luz medida con densiómetro hemisférico y las variables del sistema</i> ...	69
<i>Porosidad de las copas</i>	71
<i>Evaluación del modelo</i>	72
<i>Parametrización del modelo</i>	73
<i>Escenarios de manejo de árboles en cafetales</i>	75
Discusión	78
<i>Bibliografía</i>	84
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	93
IMPACTO DEL ESTUDIO EN EL DESARROLLO Y LA FORMULACION DE POLITICAS	94
Impacto en el desarrollo.....	94
Impacto en la formulación de políticas.....	96
Anexos	97

RESUMEN

Jiménez Nehring, Nolvía Gabriela. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras.

Palabras Claves: Biomasa, *Cedrela odorata*, *Coffea arabica*, madera, sistemas agroforestales, sombra, *Swietenia macrophylla*.

Los sistemas agroforestales con café podrían significar una fuente importante de abastecimiento de madera para Honduras. Los árboles del dosel de sombra son sometidos a condiciones muy diferentes a las condiciones normales en bosques y/o plantaciones puras de árboles, al recibir la aplicación frecuente de fertilizantes y no se somete a competencia con árboles vecinos. El conocimiento de la tasa de crecimiento de los árboles maderables en estos sistemas es necesario para estudiar la eficacia económica de esta inversión, tomando en consideración tanto de los árboles maderables como la producción de café.

En 244 fincas de café diversificadas con plantaciones de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) de las cinco regiones cafetaleras de Honduras, se midieron las características dasométricas de cada árbol y se realizaron regresiones del crecimiento de árboles individuales. En una sub-muestra compuesta por 46 fincas de café localizadas en la región central de Honduras (departamentos de Comayagua, La Paz, Intibucá y Santa Bárbara), se evaluó la cantidad de luz transmitida, recreando virtualmente las características fenológicas medidas en campo de cada árbol (diámetro, altura total, profundidad de copa, diámetro de copa) y su ubicación exacta en una parcela de 25×25 m. Con el modelo de intercepción de luz SExI-FS se simuló el crecimiento de árboles individuales y la luz transmitida en el cafetal.

Los diámetros a la altura del pecho (dap) encontrados fueron de 0.11-94.54 cm para plantaciones de cedro de 2 años a 32 años de edad y 0.81-34.12 cm para plantaciones de caoba con edades de 2 años a 25 años de edad. Las alturas totales encontradas en campo fueron de 1.8-27.43 m para cedro y 1.15-13 m para caoba. El modelo de crecimiento con mejor ajuste fue Chapman y Richard, explicando el 68% de la variabilidad para cedro y el 57% para caoba.

Los escenarios de manejo permiten obtener entre 28-32 m³ha⁻¹ de madera aserrada para cedro con un potencial de fijación de carbono de 22 Mgha⁻¹ a los 21 años de edad y una densidad

máxima alcanzable por la especie de 65 arbolha⁻¹ y un 47% del cafetal cubierto con sombra. Caoba puede alcanzar 22-29.30 m³ha⁻¹ de madera aserrada y 11 Mgha⁻¹ de carbono fijado con un máximo de 100 arbolha⁻¹ y un 48% del cafetal cubierto con sombra.

SUMMARY

Nehring Jimenez, Gabriela Nolvía. 2012. Timber production and carbon storage in coffee with cedar (*Cedrela odorata*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Honduras.

Keywords: Biomass, *Cedrela odorata*, *Coffea Arabica*, wood, agroforestry, shade, *Swietenia macrophylla*.

Agroforestry Systems with coffee could represent a significant source of Wood in Honduras. The overstorey trees are submitted to conditions very different to the normal conditions in a forest or a tree plantation: they receive frequent application of fertilizer, and they are not submitted to competition for space with their neighbors. Knowledge about their growth rate of timber trees in these systems is needed to study the economic efficiency of this investment, taking into account both the timber sales and the coffee production.

In a first step, the characteristics of each tree and regressions of the growth of individual trees were measured in 244 diversified coffee farms with plantations of cedar (*Cedrela odorata*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*) of the five coffee growing regions of Honduras. The amount of light transmitted by these tree canopies to the underlying coffee trees was assessed with hemispherical densitometer in a sub-sample of 46 coffee farms located in central Honduras (departments of Comayagua, La Paz, and Santa Barbara Intibucá). Each tree was virtually recreated with the phenological characteristics in field (diameter, total height, crown depth, crown diameter) and the exact location on the plot of 25 × 25 m. A model of light interception (SExI-FS) was then validated using these mock-ups, and further used to simulate the growth of individual trees with time, and the light transmitted to the coffee trees.

The diameter at breast height (dbh) found were 0.11-94.54 cm for cedar plantations of 2 to 32 years old and 0.81-34.12 cm for mahogany plantations aged 2 to 25 years old. The total heights found in the field were 1.8-27.43 m for cedar and 1.15-13 m for mahogany. The model of growth with better adjustment was Chapman and Richard, explaining the 68% of variability for cedar and 57% for mahogany.

The management scenarios allow to obtain between 28-32 m³.ha⁻¹ of cedar lumber with potential carbon sequestration of 22 Mg.ha⁻¹ at 21 years of age and a maximum density attained by the species of 65 tree.ha⁻¹ and 47% of coffee plantation covered with shade. Mahogany can reach 22-29.30 m³.ha⁻¹ of lumber and 11 and 11 Mg.ha⁻¹ of fixed carbon to a maximum of 100 tree.ha⁻¹ and 48% of the coffee plantation covered with shade.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables de manejo del cafetal y la plantación maderable las siete zonas cafetaleras de Honduras.

Cuadro 2. Modelos de crecimiento evaluados para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Cuadro 3. Ecuaciones de crecimiento ajustadas para bosques naturales y plantaciones puras para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*).

Cuadro 4. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de volumen y biomasa total para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Cuadro 5. Preferencia para la diversificación de la producción de los productores que plantan cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Cuadro 6. Diámetro a la altura del pecho (cm) y altura total (m) de cedro (*Cedrela odorata*) a diferentes edades en cafetales de Honduras.

Cuadro 7. Crecimiento medio del diámetro a la altura del pecho, de cedro (*Cedrela odorata*) en las cinco regiones cafetaleras de Honduras.

Cuadro 8. Ajuste de modelos de crecimiento para cedro (*Cedrela odorata*), utilizando el diámetro a la altura de pecho (m) como variable dependiente de la edad (años).

Cuadro 9. Medidas de resumen de las dimensiones de diámetro a la altura del pecho (cm) y la altura total (m) de caoba (*Swietenia macrophylla*) a diferentes edades en cafetales de Honduras.

Cuadro 10. Diferencias estadísticas en las dimensiones de diámetro a la altura del pecho (cm) para caoba (*Swietenia macrophylla*) en cinco regiones cafetaleras de Honduras.

Cuadro 11. Ajuste de modelos de crecimiento para caoba (*Swietenia macrophylla*), utilizando el diámetro a la altura de pecho como variable dependiente de la edad.

Cuadro 12. Producción y productividad por cada uno de los departamentos de Honduras comprendidos dentro la regional de Comayagua del IHCAFE.

Cuadro 13. Número de parcelas muestreadas por edad y especie en las regionales de IHCAFE Comayagua y Santa Bárbara, Honduras.

Cuadro 14. Variables requeridos por el modelo SExI-FS, medidas en campo para la utilización del modelo y parametrizadas para el modelaje de escenarios de manejo de árboles de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Cuadro 15. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de volumen y biomasa total para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Cuadro 16. Listado de especies arbóreas de sombra en sistemas agroforestales café-maderables en la zona central de Honduras.

Cuadro 17. Características de plantación (densidad, área basal, volumen, biomasa aérea, área de la copa y cobertura del dosel) en sistemas agroforestales con café y cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), en la zona central de Honduras.

Cuadro 18. Parámetros de regresión lineal ajustados al diámetro a la altura del pecho-altura total y diámetro a la altura del pecho-diámetro de copa.

Cuadro 19. Funciones alométricos para la estimación de altura total (m), diámetro de copas (m) y profundidad de copas (m) de las especies más comunes en cafetales de la zona central de Honduras.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo de árboles maderables dentro de las regiones cafetaleras de Honduras.

Figura 2. Número de parcelas por edad de caoba (*Swietenia macrophylla*) (a) y cedro (*Cedrela odorata*) (b) estudiadas en fincas cafetaleras de Honduras a través del presente estudio.

Figura 3. Productores de café por departamento que realizan podas de formación a la plantación maderable.

Figura 4. Frecuencia relativa del diámetro a la altura del pecho a los tres años (a) y ocho años (c) y de la altura total a los tres años (b) y 8 años (d) para Cedro (*Cedrela odorata*), en cafetales de Honduras.

Figura 5. Modelos no lineales ajustados para describir la relación entre el diámetro a la altura del pecho (m) y la edad (años) de cedro (*Cedrela odorata*) en cafetales de Honduras.

Figura 6. Frecuencia relativa del diámetro a la altura del pecho en centímetros a los 3 años (a) y los 8 años (b) y la altura total en metros a los 3 años (a) y 8 años (b) para caoba (*Swietenia macrophylla*), en cafetales de Honduras.

Figura 7. Modelos no lineales ajustados para diámetro a la altura del pecho de caoba (*Swietenia macrophylla*), en cafetales de Honduras.

Figura 8. Curva de crecimiento ajustado para cedro (*Cedrela odorata*) en el presente estudio en los cafetales de Honduras con un 95% de confianza en comparación con la curva de crecimiento ajustada por Yamada y Gholz (2002).

Figura 9. Curva de crecimiento ajustada para caoba (*Swietenia macrophylla*) en los cafetales de Honduras con un 95% de confianza del modelo ajustado. Comparada con las curvas ajustadas por Yamada y Gholz (2002) y Rodríguez (1996).

Figura 10. Zona de acción de las regionales cafetaleras de Comayagua y Santa Bárbara en Honduras.

Figura 11. Puntos de medición con densiómetro para cada parcela de cedro y/o caoba del presente estudio.

Figura 12. Fotografías de las copas de las especies más comunes en SAF con café. Caoba (*Swietenia macrophylla*) (a), cedro (*Cedrela odorata*) (b), Guama (*Inga spp.*) (c), y pito (*Erythrina berteroana*) (d).

Figura 13. Ciclo de simulación del modelo SExI-FS (Vincent y Harja, 2004).

Figura 14. Relación de la densidad (a), el área basal (b) y el área de la copa (c) con el porcentaje de ocupación del dosel medido con densiómetro hemisférico, en la zona central de Honduras, 2011. (a $CD=21.26+0.07D$ $R^2=0.09$, $p=0.0234$; b $CD=22.44+2AB$ $R^2=0.37$, $p=0.001$; c $CD=13.50+0.00048AC$ $R^2=0.47$, $p=0.001$).

Figura 15. Visualización tridimensional del estrato arbóreo en sistemas agroforestales con maderables de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en la región de Comayagua, Honduras. a) plantación con las especies caoba, guama y encino a los 12 años de edad (128 árboles ha^{-1}), b) plantación con las especies Caoba a los 18 años de edad (176 árboles ha^{-1}); c) plantación con caoba a los 3 años de edad (176 árboles ha^{-1}).

Figura 16. Relación entre los valores de apertura del dosel predichos por el modelo SExI-FS y los valores de apertura del dosel estimados a partir de mediciones con densitómetro hemisférico en 46 parcelas con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en sistemas agroforestales en la región de Central de Honduras. $AD_{modelo} = 0.0092+0.91AD_{medido}$, $R^2 = 0.76$, $n = 37$, $p < 0.047$.

Figura 17. Relación del diámetro con la profundidad de copa, diámetro de copa y altura total para cedro (*Cedrela odorata*) (a, e, i), caoba (*Swietenia macrophylla*) (b, f, j), guama (*Inga spp.*) (c, g, k) y Laurel (*Cordia alliodora*) (d, h, l) en sistemas agroforestales con café, Honduras.

Figura 18. Ajuste de modelo de crecimiento de Chapman y Richard entre el diámetro (m) con la edad para cedro (*Cedrela odorata*) (a) y caoba (*Swietenia macrophylla*) (b) en sistemas agroforestales con café, Honduras.

Figura 19. Producción de madera en m^3ha^{-1} (b) con los porcentajes luz transmitida por el dosel de sombra a 20 años de edad (3×3 m, 6×6 m, 8×8 m; 10×10 m y 12×12 m), cedro (a) (*Cedrela odorata*) y caoba (b) (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Figura 20. Producción de madera en m^3ha^{-1} y biomasa total a los 21 años de edad (6×6m, 8×8m y 10×10m), de cedro (a) (*Cedrela odorata*) y caoba (b) (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

dap: Diámetro a la altura del pecho

ICF: Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal

IHCAFE: Instituto Hondureño del Café.

FHIA: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.

ICRAF: Centro Internacional para Investigación en Agroforestería.

MEA: Evaluación de Ecosistemas del Milenio.

PIB: Producto Interno Bruto

SAF: Sistemas Agroforestales

IMA: Incremento Medio Anual

CBVCT: Corredor Biológico Volcánica Central de Talamanca.

TM: Tonelada Métrica

AIC: Criterio de Información de Akaike

BIC: Criterio de Información Bayesiano

m: metro

cm: centímetro

msnm: metros sobre el nivel del mar

INTRODUCCIÓN

Después del petróleo, la producción de café es el producto de mayor importancia en el mundo en términos de exportaciones y generaciones de ingresos (DaMatta et ál. 2008). En Honduras el rubro agrícola más importante para la economía nacional es la producción de café, el cual, en el 2008, contribuyó con un 4.38% al producto Interno Bruto Nacional (PIB) (IHCAFE 2009). Así mismo, más del 95% de los cafetales están bajo sombra, principalmente de especies fijadoras de nitrógeno pertenecientes a la familia Mimosaceae del género *Inga*. Entre las especies más comunes en los cafetales se puede mencionar: *I. vera*, *I. edulis*, *I. punctata*, *I. inicuil* e *I. nobilis* (Sosa y Ordoñez 2002; Viera 2004). La incorporación de árboles en sistemas agrícolas puede aumentar los ingresos de los productores a través de la producción de madera, contribuir a la mejora de la calidad de vida de los agricultores de las zonas rurales y fortalecer las economías nacionales (Pye-Smith 2008).

En Honduras como en muchas partes del mundo los productores de café mantienen una gran diversidad de árboles de sombra en los cafetales por varias razones, entre las que se pueden mencionar: producción de madera, leña, forraje, frutas y algunos beneficios indirectos tales como el retorno de nutrientes al suelo, las modificaciones del microclima, refugio y protección de vida silvestre y/ recreación (Beer et ál. 2003; Nair 1993; Barrance et ál. 2003). Estudios recientes demuestran que los sistemas agroforestales (SAF) son una fuente importante en la fijación y almacenamiento de carbono (Swamy y Puri 2005), pudiendo significar una fuente de ingresos adicional al productor (Ortiz et ál. 2008). Los SAF con café pueden almacenar entre 5.5 y 19.9 Mg de carbono en su biomasa aérea (Medina et ál. 2004). Esta diferencia es debida principalmente a factores como edad de los árboles, densidad de siembra y especie arbórea (Suárez 2003; Medina et ál. 2004).

Actualmente, el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) incentiva la incorporación de árboles maderables de alto valor comercial en los cafetales para generar bienes económicos y servicios ambientales a largo plazo (FHIA 2005). IHCAFE a través del Programa de Agroforestería y Ambiente distribuyeron 1,625,000 árboles de las especies de laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y marapolán (*Guarea grandifolia*), entre otras especies de importancia económica, en las nueve regiones cafetaleras durante la cosecha 2007-2008 (IHCAFE 2009).

La incorporación de árboles maderables en cafetales significa mayores ingresos netos a largo plazo por unidad de área (Sutuanca et ál. 2009). Sin embargo, a pesar de este incentivo, la adopción con maderables representa una serie de problemas como: i) el desconocimiento sobre la densidad óptima en el sistema, tomando en cuenta tanto la producción de madera de aserrío como los niveles óptimos de luz disponibles para la producción del café y el mantenimiento de su rendimiento (Viera 2004); ii) el poco conocimiento silvicultural sobre el manejo de los maderables con características deseables (Orozco et ál. 2005); y iii) los conflictos legales que surgen durante el aprovechamiento de los árboles maderables en el turno de corta.

En la actualidad se han diseñado y ajustado una serie de modelos que permiten predecir el crecimiento de los árboles en bosques y plantaciones puras; muchos de estos han sido adaptados y ajustados para sistemas agroforestales (Cabanettes et ál. 1999). Sin embargo, no existen estudios donde se analice la producción de madera y la sombra que estos árboles proyectan al cafetal. Muchos autores sostienen que para mantener un balance entre los efectos negativos y positivos de la sombra en el cafetal se deben mantener niveles óptimos de entre 20 y 50% de luz transmitida, dependiendo de las condiciones de los sitios donde estos se encuentren (DaMatta 2004).

Con base a la problemática indicada anteriormente, en el presente estudio se planteó evaluar el crecimiento de cedro (*C. odorata*) y caoba (*S. macrophylla*) en SAF con café en las siete regiones cafetaleras de Honduras para cuantificar la producción de madera para aserrío y el carbono almacenado en la biomasa aérea. Simultáneamente se llevó a cabo un modelo de interceptación de luz para analizar los efectos del crecimiento del árbol maderable en la luz transmitida al cafetal.

1.1 Objetivos del estudio

Objetivo general

Evaluar modelos agroforestales café-maderables para Honduras en sus siete regiones cafetaleras de Honduras que optimicen la producción de madera para aserrío y la captura de carbono sin que la sombra de los maderables afecte significativamente la producción del café.

Objetivos específicos

Sistematizar el conocimiento y experiencias de los productores de de las zonas del presente estudio donde se ha plantado cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) dentro de los cafetales.

Desarrollar modelos de crecimiento y rendimiento para la producción de madera de cedro y caoba en los cafetales en Honduras, así como para la fijación de carbono.

Modelar la intercepción de luz de los árboles de cedro y caoba sobre los cafetales, a fin predecir los niveles de sombra que no afecten la productividad del café.

1.2 Preguntas de investigación

Objetivo específico 1

- ¿Qué tipo de manejo le da el productor al cafetal y al cultivo de árboles de cedro y/o caoba en la parcela?
- ¿Cuáles son las interacciones árboles con café que el productor ha observado?
- ¿Cuáles con los beneficios que el productor visualiza de los árboles?

Objetivo específico 2

- ¿Cómo crecen en diámetro, altura y copa a diferentes edades de cedro y caoba en los cafetales de Honduras?

- ¿Cuáles son las diferencias que existen en el crecimiento de cedro y caoba en las cinco regiones cafetaleras de Honduras?
- ¿Cuánto carbono capturan los árboles maderables de cedro y caoba dentro de los cafetales de las zonas del presente estudio?

Objetivo específico 3

- ¿Cuánta luz intercepta el dosel de sombra en los cafetales que poseen árboles maderables de cedro y/o caoba?
- ¿Cuáles son los diferentes escenarios para manejar el cedro y la caoba en cafetales, considerando intercepción de luz, producción de madera y secuestro de carbono?

MARCO CONCEPTUAL

Beneficios de los árboles en cafetales

Según Beer et ál. (1998), las plantaciones de cultivos perennes como café o cacao en Centroamérica generalmente se manejan bajo sombra, con algunas excepciones en sitios óptimos donde el café es manejado en forma intensiva con altas aplicaciones de agroquímicos. Es importante señalar que los resultados positivos del asocio de árboles de sombra con café dependen mucho de las especies que se utilicen, del manejo que se le dé a los árboles, de la forma del asocio y de las condiciones del clima en cada lugar. En general, la utilización de árboles es más ventajosa en zonas marginales con suelos pobres y con pendientes acentuadas, sujetos a afecciones micro climáticas como una baja disponibilidad hídrica y vientos fuertes (DaMatta et ál. 2008).

Diversificación de la producción

Debido a los recurrentes bajos precios del café se ha promovido en muchos países latinoamericanos la diversificación de los cafetales para reducir la dependencia de dicho cultivo como fuente principal de ingresos (Yépez 2002). Esta diversificación ha sido realizada desde muchos años atrás con cierto éxito, combinando el cultivo de café con árboles de servicio, frutales, maderables y/o algunos cultivos anuales (Cartay 1999). Un estudio realizado en el Corredor Biológico Mesoamericano encontró que las especies predominantes como sombra del cafetal en la región son *Inga* spp. y *Musa* spp. (DeClerck et ál. 2007).

Producción de madera

El IHCAFE realiza esfuerzos para que los cafetaleros planten árboles maderables de alto valor comercial en sus fincas, logrando diversificar con especies como cedro (*C. odorata*), caoba (*S. macrophylla*) y laurel (*C. alliodora*). En un estudio realizado en Guatemala por Martínez (2005), se concluyó que la mejor rentabilidad de colocar especies maderables en los cafetales fue para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia humilis*), tomando en consideración los precios del mercado y cadenas de valor regionales por metro cúbico de madera neta aprovechable.

En un estudio realizado en Costa Rica, el crecimiento en diámetro, altura y volumen del laurel fue 4.36 veces mayor en sistemas agroforestales que en plantaciones puras (Somarriba et ál. 2001). En Honduras Viera y Pineda (2004) revelaron que en plantaciones de *C. odorata* en linderos de cafetales se puede lograr un incremento medio anual (IMA) de 1.09 m en altura y 3.77 cm en diámetro, lo que representa en 20 años una producción de 0.88 a 7.18 m³ de madera en rollo por árbol. En Ecuador Suatunce et ál. (2009) reportaron un mayor IMA en volumen ha⁻¹ en asociaciones con café y plátano que en plantaciones puras de laurel (*Cordia alliodora*), teca (*Tectona grandis*) y guayacán (*Tabebuia neochrysantha*).

Hernández et ál. (1997) encontraron en Costa Rica que los incrementos en diámetro y altura para *C. alliodora* fueron mayores en los primeros siete años y se produjo una reducción a partir del séptimo año, debido probablemente a la competencia entre copas. Los mejores IMA por árbol fueron reportados en densidades menores de 64 a 100 árboles ha⁻¹, además la producción por planta de café en densidades de 100 árboles maderables ha⁻¹ fue similar a la producción por planta a pleno sol.

Villareal et ál. (2006) Evaluaron SAF con papaya en Venezuela y encontraron que el comportamiento del crecimiento medio anual en dap fue de 1.84 cm y 2.08 cm, dependiendo del distanciamiento de siembra para caoba (*S. macrophylla*), y de 2.84 cm y 3.44 cm para cedro (*C. odorata*), siendo *C. odorata* la especie más exitosa en crecimiento medio anual en los dos primeros periodos evaluados. En términos económicos el ingreso total descontado al año cero, es mayor en un 65% para el componente agrícola aportando el 35% el componente forestal en el caso de caoba y en el caso de cedro, el componente forestal aporta el 55% mientras que el componente agrícola aporta el 45%, considerando una mortalidad inicial de 84% para caoba y 54% para cedro, debido al mal manejo de la plantación, entre otros factores.

Según Dzib (2003) los árboles maderables son una fuente de ingresos para los caficultores. Sin embargo, para la venta de los árboles hay que esperar a que estos alcancen una altura y diámetro comercial. La venta de madera representa un alto porcentaje respecto a los ingresos de café durante el mismo tiempo de cultivo; estos pueden ser desde 6 hasta 83%, dependiendo de los precios de mercado de la especie plantada. En Ecuador, la extracción de madera en SAF representó ingresos por finca del 2.5% de los ingresos totales, en comparación a los ingresos de café y cacao, considerando que en promedio por finca se extrae 6.6 m³ año⁻¹.

Este valor es un cálculo conservador debido a la utilización de valores mínimos de altura y diámetro (Mussack 1988).

En un estudio realizado en 0.7 ha de café Santa Bárbara, Honduras (Viera y Pineda 2004), los árboles de cedro (*C. odorata*) a un distanciamiento de plantación de 17 m, representaron un ingreso de 25.7% con respecto a la producción de café anual. Este cálculo no considera los costos de plantación ni mantenimiento, ya que no existieron intervenciones de manejo a los árboles. Probablemente el manejo y desarrollo de podas fitosanitarias a los árboles hubiese significado mayores ingresos por la venta de la madera.

Sin embargo, a pesar de los ingresos que se pueden obtener por la venta de madera existe el inconveniente del daño causado por el árbol al momento del aprovechamiento. Somarriba (1992); Somarriba (1997) y Mushler (1999) sugieren algunos mecanismos para atenuar el impacto que la cosecha del árbol de sombra puede ocasionar al café: i) la madera se aprovecha en años de bajos precios o baja producción de café; ii) es recomendable cortar y extraer los árboles después de la cosecha y antes de la poda del café o renovación del mismo; iii) los árboles dispuestos entre las calles se pueden cosechar a través de una corta direccional entre calles; iv) en laderas, los árboles se tumban hacia arriba para menguar el impacto de ellos sobre el cultivo y para reducir el riesgo de rajaduras del fuste; y v) si es posible se poda la copa antes de cortar el árbol.

Servicios Ambientales

Los servicios ambientales son divididos en cuatro categorías según MEA (2005); i) soporte: aquellos servicios fundamentales para el sustento de la vida como formación de suelo, reciclaje de nutrientes y conservación de la biodiversidad; ii) provisión: bienes que satisfacen necesidades humanas como agua, alimento, madera, fibras, leña o recursos genéticos para el desarrollo de otros bienes; iii) regulación: tanto climática, del aire, del agua, de las plagas y enfermedades en los cultivos, de la polinización, dispersando semillas o regulando disturbios y riesgos; iv) culturales: son aquellos relacionados con el raciocinio y espíritu humano como la belleza escénica de un paisaje, la recreación y el ecoturismo, así como aspectos de orden religioso o místico. Los SAF poseen muchas ventajas sobre los monocultivos para proveer servicios ambientales importantes (Beer et ál. 2003).

Conservación de la biodiversidad: Cerdán (2007) estudió el conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de los productores cafetaleros de Talamanca, Costa Rica. Ellos mencionan a ardillas (*Sciurus spp.*) y yigüirros (*Turdus grayi*) como especies que pueden hospedarse en *E. poeppigiana* y ser parte de la biodiversidad de fauna en la zona. Sin embargo *Turdus grayi* es considerado como una especie de ave que puede disminuir la cantidad de avifauna presente, debido a la competencia por alimento.

Melo y Monge (2008) atribuyen el asocio de árboles y arbustos en cafetales como una de las razones por la cual estos tienen importancia para la conservación de la avifauna. Estudios en el Corredor Biológico de la zona Volcánica Central Talamanca demuestran que los cafetales con árboles resguardan un 12% de la fauna de aves encontrada en Costa Rica (Florián 2008).

Flórez et ál. (2002) demostró la importancia del cafetal para la diversidad funcional de abejas. El hábitat café con sombra y alta cobertura de maleza mostró la mayor riqueza registrando 32 especies, seguido por 26 especies en bosque ripario, 12 especies en café con sombra y baja cobertura de malezas y ausencia total en los cafetales a pleno sol. El género *Inga* es reportado frecuentemente como fuente melífera para abejas, coincidiendo con los registros tomados sobre *Inga edulis*, que sobresalieron por la diversidad.

Suelo: La percepción sobre los beneficios de *E. poeppigiana* en el suelo puede ser la razón por la que esta especie sea la mayormente usada dentro del Corredor Biológico Volcánica Central de Talamanca (CBVCT). El 60% de los productores afirma que usa esta especie porque mejora la fertilidad; más de la mitad (35%) especificó que su uso se debe al nitrógeno que le brinda al suelo (Cerdán 2007)

Melo y Monge (2008) indican que el cultivo de café es una leñosa perenne que puede ser significativa para la conservación del suelo, ya que dicho cultivo amarra el suelo y no usa quemadas ni exposición del suelo frecuentes. Los árboles de sombra en cultivos perennes aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reducen el impacto de las gotas de la lluvia sobre el suelo, así como la velocidad de escorrentía y erosión, y mejoran su estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes (Beer et ál. 2003).

Agua: El potencial de los SAF para asegurar el suministro de agua (cantidad y calidad) es el servicio ambiental menos estudiado (Beer et ál. 2003). Los caficultores del CBVCT consideran que el rol de los SAF en la provisión y regulación de agua se da principalmente de tres maneras: i) incrementando la intercepción por medio de la cobertura arbórea del agua de la lluvia y la niebla; ii) modificando las propiedades físicas del suelo causando una reducción en la erosión y un incremento en la infiltración; y iii) protegiendo los cuerpos de agua por medio de la cobertura arbórea (Cerdán 2007). La intercepción de lluvia fue de 16 y 7.5% en plantaciones de café asociadas con *E. poeppigiana* podada periódicamente (555 árboles ha⁻¹) o *Cordia alliodora* sin podar (135 árboles ha⁻¹), respectivamente (Jiménez 1986).

Reducción de gases de efecto de invernadero: Los SAF parecen incrementar su biomasa y contenidos de carbono con la edad, por lo que pueden constituir una alternativa eficiente para el secuestro de Carbono (Beer et ál. 2003). Un estudio en Guatemala concluyó al comparar con los resultados de carbono en tierras degradadas y cultivos anuales, que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero se encuentra en los árboles que conforman la sombra del SAF - café (ANACAFE 1998).

El almacenamiento de CO₂ depende de la especie arbórea y densidad de siembra, de la materia orgánica presente en el suelo, de la edad de los componentes, tipo de suelos, características del sitio, factores climáticos y del manejo silvicultural al que se vea sometido (Cubero y Rojas1999). La calidad del manejo del componente forestal en SAF puede hacer una contribución fuerte para controlar los niveles de CO₂ en la atmósfera (Fischer et ál. 1999). Al diversificar las especies de sombra con árboles de mayor crecimiento en altura y diámetro (considerando los diferentes estratos de altura del dosel de sombra y respetando el porcentaje de iluminación del cafeto), se puede contribuir a promover la mayor captura de carbono en el sistema productivo de café (Benavides et ál. 2002).

Varios estudios muestran el potencial de almacenamiento de carbono de los países centroamericanos. PROCAFE (2004) determinó que en el 2001 los SAF con café en El Salvador que están cubiertos por sombra casi en su totalidad, presentan valores de almacenamiento de carbono desde 76 hasta 196 t ha⁻¹ a los 30 años, en el sistema con mayor cantidad de árboles de diferentes especies. ANACAFE (1998) encontró que en SAF con café en Guatemala se fija un promedio general de 92 t ha⁻¹ a los 26 años, donde más del 25% de

esta estimación fue atribuida a la biomasa aérea. Por su parte Ortiz et ál. (2008), en cacaotales de Costa Rica encontraron valores de secuestro de carbono entre 42-62 t ha⁻¹ en 25 años de mantener el estrato del dosel.

Interacciones café-árboles

Efectos Biofísicos

Temperatura y vientos: En condiciones sub-óptimas la sombra de los árboles ayuda a reducir las oscilaciones y la magnitud de la temperatura foliar de los cafetos (Van Kanten et ál. 2004). Beer (1987), expresa como interacción positiva un aumento significativo en la temperatura del microclima debido a la intercepción horizontal de niebla, lo que es beneficioso para evitar el estrés del cafetal. Sin embargo, durante la temporada seca existe competencia por humedad con el cultivo agrícola. Los árboles, también pueden perjudicar el cafetal al redistribuir precipitación, dependiendo del tipo de especie y las hojas que estas posean (Beer et ál. 1998).

Radiación Solar: Un estudio realizado en Perez Zeledón, Costa Rica revela que los niveles de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) en un cafetal con sombra de *E. poeppigiana* fueron similares a un cafetal a pleno sol (Van Kanten et ál. 2004). Por el contrario Siles y Vaast (2002) revelan que árboles maderables como *T. ivorensis* disminuyeron la RAFA disponible para el café hasta 63% respecto a pleno sol y *E. deglupta* 70% durante la época seca. Sin embargo, *T. ivorensis* presenta cambios más abruptos de RAFA que pueden producir daños en el sistema fotosintético de los cafetos.

Efectos sobre el cultivo

La sombra utilizada en forma excesiva puede significar una disminución en los rendimientos del cafetal. Méndez et ál. (2009) muestran que existe un conflicto entre la diversificación de provisión de servicios y de los rendimientos del principal producto agrícola. En otros estudios sobre el efecto de la sombra en los rendimientos del café en condiciones sub óptimas se concluyó que la cosecha de café fue mayor bajo sombra de *E. deglupta* (4,374 kgha⁻¹) que bajo *T. ivorensis* (3,261 kgha⁻¹) o *E. poeppigiana* (2,762 kgha⁻¹). (Van Kanten et ál. 2004).

Los árboles de sombra también pueden significar un efecto sobre la calidad del cultivo. Muschler (2001) afirma que se puede mejorar la calidad del café, sobre todo en condiciones sub-óptimas, porque influye en el peso y tamaño del grano en un 20 a 29% más que a pleno sol (dependiendo de la variedad del café), lo que produce mayor cuerpo y acidez al café. En un estudio en Costa Rica se encontró que la producción de cerezas de café fue mayor bajo la sombra más estable de *E. deglupta* a lo largo del año, en comparación con asociaciones como *E. poeppigiana* y *T. ivorensis* (Van Kanten et ál. 2004).

Sombra al cafetal

El cafeto es una especie de sotobosque que tiene su origen en la selva tropical de Etiopía, África y debido a esto es considerada como una especie que crece bien bajo sombra (Eskes y Leroy 2004). Sin embargo, la influencia de árboles de sombra depende mucho de las condiciones del suelo y clima en cada sitio; además de las características de las especies y su manejo (Siles y Vaast 2002). En condiciones sub - óptimas una sombra de entre 40 y 80% es lo más deseable y favorece los cultivos del soto bosque como café y cacao (Beer 1987; Mushler 1999).

Según el departamento de Investigación del IHCAFE, se estima que los niveles óptimos de entrada de luz en el cafetal deberían variar entre 40 y 60%, dependiendo de las zonas altitudinales en que se encuentra el cafetal. Por otro lado, De Melo y Hagggar (2005) mencionan niveles óptimos de entre 20 y 50%. Es muy importante conocer los niveles óptimos de luz que necesita el cafetal para mantener su productividad y con base a esto se puedan diseñar diferentes composiciones de los estratos de sombra que se pueden mantener.

De Melo y Hagggar (2005) sostienen que se puede mantener en el cafetal especies que den sombra baja (como banano y plátano), sombra intermedia (frutales y especies de servicio) y sombra alta (la mayoría de los maderables). Así se pueden tener diferentes estratos verticales de sombra que optimicen la productividad de todo el sistema. La función de conservación de la biodiversidad de los árboles asociados a los cafetales es complementaria a la función de sombra (Yépez et ál. 2003).

En términos económicos, la poda de sombra de especies de servicio en el cafetal puede significar una fuente de ingresos y ahorro para el productor. Según Sosa y Ordoñez (2002), la

poda anual de una hectárea de guama (*Inga spp.*) en el cafetal puede solventar entre el 30 y 50% del consumo anual de leña de los hogares rurales. Actualmente en Honduras las políticas de incentivos a la caficultura permiten aprovechar de forma comercial la leña de guama y transportarla. Para la cosecha 2009-2010 el Programa de Agroforestería del IHCAFE reportó el aprovechamiento de 3,000 cargas (50 leños por carga) de leña en la regional de Comayagua, lo que muestra el potencial del aporte económico de la sombra en el cafetal.

En los SAF la distribución de luz transmitida por las copas de los árboles puede ser un factor limitante para el desarrollo productivo del café. Esta luz disponible para el cafetal depende del crecimiento del dosel y de la arquitectura de las especies arbóreas presentes en el mismo (Leroy et ál. 2009). Sin embargo, no toda la sombra en el cultivo es proveniente del dosel, también influyen factores de sitio como: i.) latitud, exposición y pendiente; ii.) sombra lateral; y iii.) nubosidad local (Somarriba 2004).

Bibliografía

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 1998. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agro sistema café en Guatemala. 9º. Congreso de Caficultura Nacional. 24 y 25 de agosto 1998. Guatemala, Guatemala, ANACAFE. 16 p.
- Ávila H, E. 2003. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la zona Sur de Costa Rica, Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 89 p.
- Ávila, H; Harmand, J; Dambrine, E; Jiménez, F; Beer, J; Oliver, R. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41-42: 83-91.
- Barrance, A; Beer, J; Boshier, DH; Chamberlain, J; Cordero, J; Detlefsen, G; Finegan, B; Galloway, G; Gómez, M; Gordon, J; Hands, M; Hellin, J; Hughes, C; Ibrahim, M; Kass, D; Leakey, R; Mesen, F; Montero, M; Rivas, C; Somarriba, E; Stewart, J; Pennington, T. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, Costa Rica, OFI/CATIE/FRP. 1079 p.
- Beer, J. 1987 Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5:3-13.
- Beer, J; Muschler, R; Somarriba, E; Kass, D. 1998. Shade management in coffee and cocoa plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37): 37-28.
- Benavides, C; Pérez, M; Ruiz, J. 2002. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*Coffea arábica* L.) con sombra en la comarca palo de sombrero, Jinotega, Nicaragua. "La Calera, Recursos Naturales" Universidad Nacional Agraria de Nicaragua.

- Cabanettes, A; Auclair, D; Imam, W. 1999. Diameter and height growth curves for widely-spaced trees in European agroforestry. *Agroforestry Systems* 43: 169–181.
- Cartay, R. 1999. Estrategias de sobrevivencia de los pequeños caficultores en tiempos de crisis. *Agroalimentaria*, Quito, Ecuador. 9 p.
- Cerdán, C. 2007. Conocimiento local sobre servicios ecosistémico de caficultores del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Cubero, J; Rojas, S. 1999. Fijación en plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), teca (*Tectona grandis* L.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For. Concentración de Manejo Forestal. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 95 p.
- DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86: 99–114 p.
- DaMatta, F; Ronchi, P; Maestri, M; Barros, R. 2008. Ecophysiology of coffee growth and production. *Plant Physiol.*, 19(4):485-510.
- DeClerck, FAJ; Vaast, P; Soto-Pinto, L; Sinclair, FL. 2007. Multistrata coffee agroforests, biodiversity conservation and coffee productivity: what do we know? In: International symposium: Multistrata agroforestry systems with perennial crops. (2, 2007), Turrialba, CR). Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment. I UFRO, CIRAD, WAC, BANGOR UNIVERSITY, CATIE. 1 disco compacto, 8 mm.
- Dzib, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 114 p.
- Eskes, AB; Leroy, Th. 2004. Coffee Selection and Breeding. In J, Wintgens. Eds. Coffee: growing, processing, sustainable production. Alemania, Wiley VCH. p 5786.

- Fischer, MJ; Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neo tropicales. In Seminario Internacional Intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios económicos y ambientales. 1999. Turrialba, Costa Rica; FAO – CATIE, SIDE. 115-135 p.
- Florez, J; Muschler, R; Harvey, C; Finegan, B; Roubik, D. 2002 Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas* 9 (35-36). 29-36.
- Florián, E. (2008) Caracterización del sitio de estudio: zona cafetalera del Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca, Costa Rica. Proyecto CAFNET. CATIE-CIRAD.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2005. Guía práctica: producción de café con sombra de maderables. La Lima, Cortés, Honduras, FHIA. 24 p.
- Gutiérrez, M; Harmand, J; Dambrine, E. 2004. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de *Coffea arabica*. *Agroforestería en las Américas* (41-42):69-76.
- Hairiah, K; Sulistyani, H; Suprayogo, D. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology Management* 224:45–57 p.
- Hernández, O; Beer, J; Von Planten, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica cv Caturra*), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 4:8-13.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2009. Informe anual cosecha 2008-2009. Tegucigalpa, Honduras, IHCAFE. 98 p.
- Jiménez, F. 1986. Balance hídrico de dos sistemas agroforestales: café – poró y café - laurel en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 104 p.

- Leroy, C; Sabatier, S; Wahyuni, N; Barczy, J; Dauzat, J; Laurans, M; Auclair, D. 2009. Virtual trees and light capture: a method for optimizing agroforestry stand design. *Agroforestry Systems* 77:37–47.
- Martínez Acosta, MH. 2005. Contribución económica del componente forestal en diferentes tipos de fincas cafetaleras en la boca costa pacífica de Guatemala. Tesis *Mag. Sc.* Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p.
- Medina, C; Pérez, M; Ruiz, J. 2004. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*coffea arábica* L.) con sombra en la comarca palo de sombrero, Jinotega, Nicaragua. La calera, Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 7 p.
- Melo, E; Monge, S. 2008. Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono: El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE, Costa Rica. 25 p.
- Melo, E; Hagggar, J. 2005. ¿Cómo analizo y manejo los árboles en mi cafetal? Guía para evaluación con productores y productoras, versión preliminar 2005. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 20 p.
- Méndez, E; Shapiro, E; Gilbert, G. 2009. Cooperative management and its effects on shade tree diversity, soil properties and ecosystem services of coffee plantations in western El Salvador. *Agroforestry systems*76:111–126.
- Mendoca, E; Stott, D. 2003. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. *Agroforestry Systems* 57:117–125.
- Mushler, R. 1999. Árboles en el cafetal. Turrialba, Costa Rica, CATIE 56 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Mushler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 85: 131–139.
- Mussack, M. 1988. Diagnóstico Socio-económico de los sistemas agroforestales de cacao, café y árboles de sombra utilizados en la producción de madera en la costa de Ecuador.

- Southeastern Center for Forest Economics Research, Research Triangle park, NC.
FPEI Working Papers No. 35. 17 p.
- MEA (Millenium Ecosystem Assesment). 2005. Ecosystems and Human Well-being: current state and trends. Island Press. Washington, US. 20 p.
- Nair, PKR. 1993. An Introduction to Agroforestry, Países bajos. Kluwer Academic Publisher. p. 85-97.
- Orozco, L; López, A; Rojas, M; Somarriba, E. 2005. Tipologías de fincas cafetaleras con sombra de maderables en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 43-44: 86 – 91.
- Ortiz, A; Riascos, L; Somarriba, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas* 46: 26-29.
- PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2004. Census of Coffee Growers. San Salvador, El Salvador, PROCAFE. 64 p.
- Pye-Smith, C. 2008. Annual report 2007-2008: Agroforestry for food security and healthy ecosystems. Nairobi, Kenya, ICRAF. 68 p.
- Siles G, P; Vaast, P. 2002. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus degluta*, *Terminalia ivorensis* o sin sombra. *Agroforestería en las Américas* 9 (35-36):44-49.
- Somarriba, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems* 18: 69-82.
- Somarriba, E. 1997. ¿Se puede aprovechar árboles maderables de sombra si dañar el cafetal? *Agroforestería en las Américas* 4 (13): 28-29.

- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51:111–118.
- Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas* 41-42. 120-128.
- Sosa López, MH; Ordoñez, MA. 2002. Uso y manejo de sombra en los cafetales. Tegucigalpa, Honduras, IHCAFE. 9 p.
- Suatunce, P; Díaz, G; García, L. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea arabica* L.) y en monocultivo en el litoral Ecuatoriano. *Ciencia y tecnología* 2(2): 29-34.
- Suárez, D. 2003. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yasica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.
- Swamy, SL; Puri, S. 2005. Biomass production and C-sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry systems in India. *Agroforestry Systems* 64:181-185.
- Van Kanten, R; Beer, J; Schroth, G; Vaast, P. 2004. Interacciones competitivas entre *Coffea arabica* y árboles maderables de rápido crecimiento en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41- 42: 5–15.
- Viera, CJ. 2004. Árboles maderables dentro del cafetal. Tegucigalpa, Honduras, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 8 p.
- Viera, CJ; Pineda, A. 2004. Productividad de un lindero maderable de *Cedrela odorata*. *Agronomía Mesoamericana* 15(1): 85-92
- Villareal, A; Carrero, G; Arends, E; Sánchez, D; Escalante, E. 2006. Evaluación de rendimientos y rentabilidad de los componentes asociados *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Carica papaya* (Lechosa), establecidos en ensayos agroforestales en la Finca ULA, Estación Experimental Caparo, Edo. Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 39:85-104.

Yépez Pacheco, C. 2002. ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección? *Agroforestería en las Américas* 9 (35-36): 95–98.

Yépez, C; Muschler. R; Benjamín, T; Musálem, M. 2003. Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México. *Agroforestería en las Américas* 9 (35-36): 55-61.

CAPÍTULO I: PRODUCCIÓN DE MADERA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE CEDRO (*CEDRELA ODORATA*) Y CAOBA (*SWIETENIA MACROPHYLLA*) EN CAFETALES DE HONDURAS

Introducción

La producción de madera es una de las funciones económicas más importantes del 34% de los bosques del mundo (FAO 2005). En Honduras, la producción maderera representa cerca del 9% del producto interno bruto (FAO 2002), el recurso forestal mundial ha perdido más de 50 millones de hectáreas en los últimos 50 años. Sin embargo, la demanda de madera rolliza se mantiene o incrementa con el pasar de los años en todos los países del mundo (FAOSTAT 2010). Considerando la creciente demanda de productos forestales y la reducción en la oferta de los productos forestales provenientes de los bosque, los sistemas agroforestales como los agrobosques (Wibawa et ál. 2006), cafetales (Navarro et ál. 2004) y cacaotales con sombra (Suárez y Somarriba 2002) tienen el potencial para producir madera de alta calidad para el mercado local y mundial.

Los árboles maderables de alto valor comercial crecen más en diámetro y altura en sistemas agroforestales que en plantaciones puras (Somarriba et ál. 2001; Suatunce et ál. 2009; Hernández et ál. 1997; Villareal et ál. 2006). En cafetales, el buen crecimiento de los árboles depende del manejo del dosel de sombra, de la especie forestal utilizada, del manejo agronómico del cafetal y las condiciones climatológicas predominantes en el área (Suatunce et ál. 2009; Schaller et ál. 2003; Navarro et ál. 2004). En Honduras los cafetales cubren 244,469 ha y están en manos 86,937 productores (IHCAFE 2009), encontrándose además que el 95% de los productores utiliza sombra en sus cafetales, principalmente con especies del género *Inga spp.* y algunas especies maderables como cedro (*C. odorata*) y caoba (*S. macrophylla*).

Desde 1980 los productores cafetaleros de Honduras comenzaron a cambiar la sombra tradicional de guama (*Inga spp.*) por especies de alto valor comercial. En el 2002 el Instituto Hondureño de Café (IHCAFE) creó el programa agroforestería y ambiente, para apoyar al productor en la diversificación de los cafetales con árboles maderables. En 2007 se aprobó la

ley de reactivación del sector cafetalero según el Decreto Legislativo 56-2007, el cual le da potestades al IHCAFE para la siembra, certificación e industrialización de productos forestales provenientes de fincas de café.

Los cafetales toman importancia en el sector forestal, debido a su potencial para la producción y conservación de especies en peligro de extinción, como cedro y caoba (CITES 2011; SERNA 2008). Cedro y caoba crecen naturalmente en Honduras hasta los 800 m de altitud. Sin embargo en cafetales estas especies se encuentran hasta los 1,400 m. La principal plaga que afecta su crecimiento es el barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*), principalmente en los primeros dos o tres años de crecimiento (Rosero 1976; Briceño 1997; Pérez et ál. 2010). Después de esta etapa el cedro puede alcanzar crecimientos de más de 1.6 cm en diámetro y 2 m de altura anuales bajo buenas condiciones (Citrón 1990; Galán et ál. 2008; Ponce 2010).

En Honduras el crecimiento y manejo de cedro y caoba como sombra de los cafetales, la optimización del sistema y los potenciales productivos de madera y carbono de estas dos especies no ha sido investigado. En el presente estudio se investigó cómo crece el cedro y la caoba en los cafetales de Honduras y cuál es el potencial productivo de estas especies.

Objetivos y Preguntas de Investigación

Objetivo General

Determinar el potencial de producción de madera y captura de carbono de cedro y caoba en los cafetales de Honduras.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el conocimiento local de los productores que han plantado cedro y caoba en sus cafetales y documentar el manejo de la plantación.
2. Ajustar modelos de crecimiento (diámetro-edad y altura-diámetro) de las plantaciones de cedro y caoba en las siete regiones cafetaleras de Honduras y comparar las dimensiones medias de dap y altura por región.
3. Estimar la producción de madera y carbono de cedro y caoba en cafetales.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cómo maneja el productor de café los árboles de cedro y caoba plantados en su cafetal?
2. ¿Cuánto crece en diámetro y altura cedro y caoba?
3. ¿Cuál es el modelo de crecimiento que más se ajusta a cedro y caoba en los cafetales de Honduras?
4. ¿Cuál es el potencial de los cafetales para producir madera de alto valor comercial de cedro y caoba?
5. ¿Cuál es el potencial de cedro y caoba en cafetales para capturar carbono?
6. ¿Existen diferencias significativas del desarrollo alcanzado por cedro y caoba en cafetales de las diferentes regiones cafetaleras de Honduras?

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Honduras produce café en 15 de los 18 departamentos de la república. El Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) ha zonificado al país en cinco regiones cafetaleras las cuales poseen características climáticas singulares. Políticamente el IHCAFE trabaja en siete regiones cafetaleras (Copán; Comayagua; Santa Bárbara; Cortés - Yoro; Olancho; El Paraíso y centro sur), las cuales reportan una producción de 418,302.17 tm de café oro (IHCAFE 2009). Esta producción representa el 3% de la producción mundial. El área cubierta por café es de 244,469 ha que representa el 2% del territorio nacional y el 8% de la superficie total cultivada (Figura 1). Además, 10% de la población Hondureña depende de este cultivo (IHCAFE 2009).

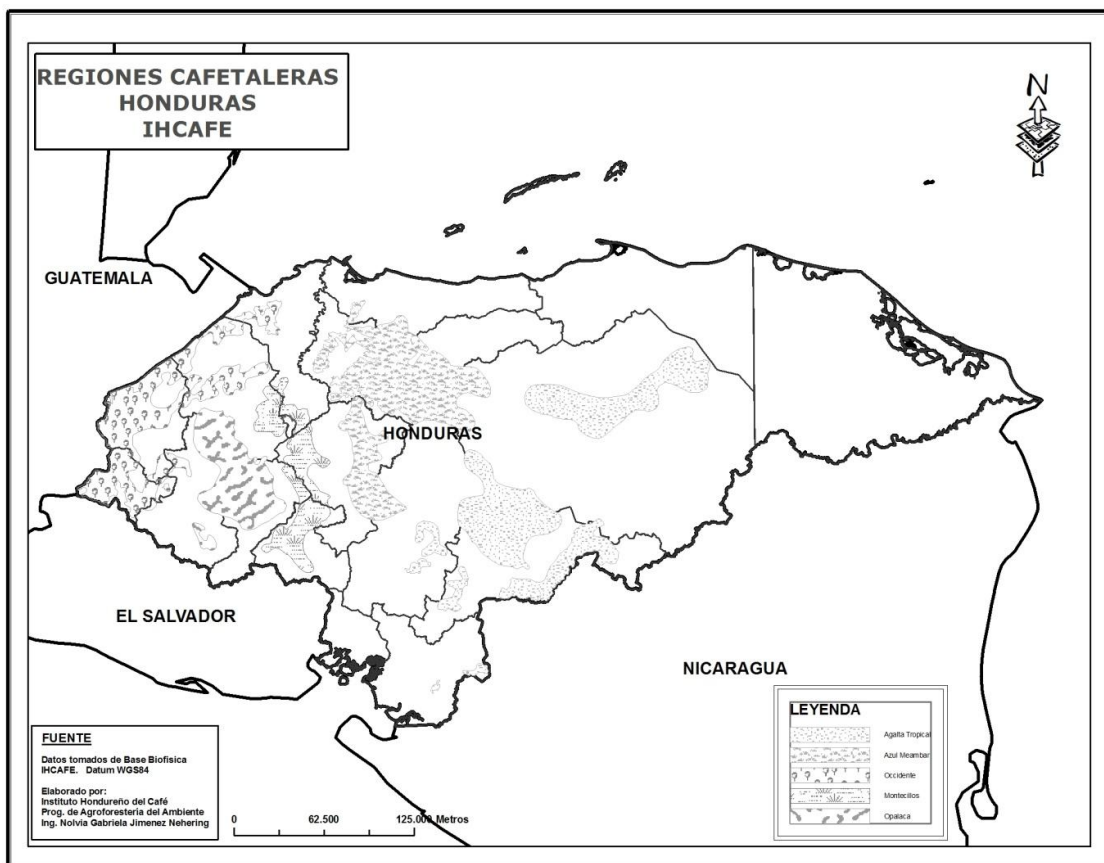


Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo de árboles maderables dentro de las regiones cafetaleras de Honduras.

Metodología

Población y muestra

La población muestreada son los productores de café registrados en IHCAFE que han establecido plantaciones maderables (puras, asociadas con el café o en linderos en sus cafetales). La muestra incluyó las fincas que presentaran las características siguientes: i) plantaciones de cedro y caoba en asocio con café; y ii) la existencia de un número mínimo de 30 árboles por parcela de una sola especie. Un total de 287 parcelas reunieron estos criterios de selección. Al excluirse todas las parcelas que tenían 1 año de edad, se obtuvo una muestra de 244 parcelas: 65 de caoba y 179 parcelas de cedro (Figura 2).

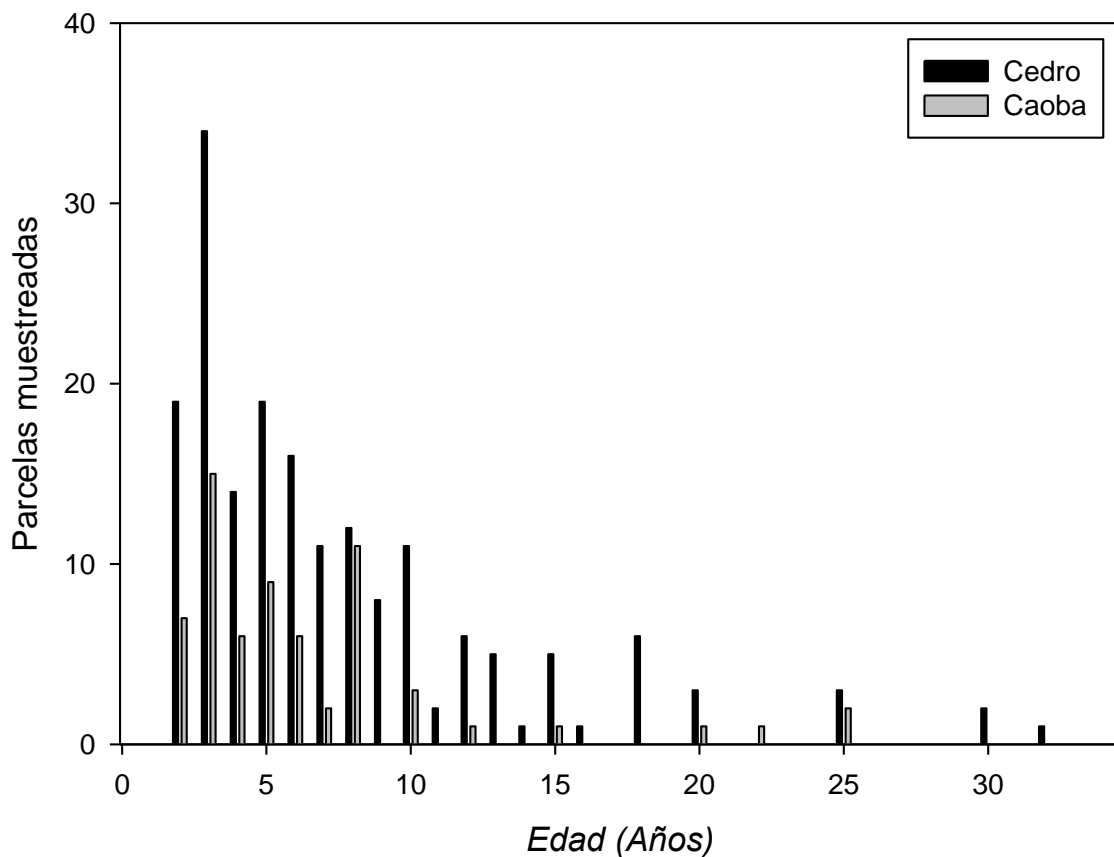


Figura 2. Número de parcelas por edad de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*) estudiadas en fincas cafetaleras de Honduras.

Se procuró que existiera representación de todas las edades encontradas en la base de datos y todos los arreglos de plantación. No se encontraron parcelas con los requisitos de

selección para caoba en la región cafetalera centro-sur; el cedro estuvo representado en todas las regiones (Anexo 1).

Unidad de muestreo y toma de datos

Antes de comenzar el trabajo de campo, se analizó el informe de plantación (Anexo 2), las coordenadas de la poligonal y los mapas en formato digital shape (.shp) de las fincas seleccionadas. En cada finca se realizó una encuesta socioeconómica a los productores de café referente al manejo del cafetal y la plantación maderable. Esta encuesta fue diseñada considerando algunas variables (Cuadro 1) que podrían afectar el crecimiento de los árboles (Pérez et ál. 2010; Cherubini et ál. 2002; Muñoz et ál. 2005; Pinkard y Beadle 1998; Inoue et ál. 2008; Oelmann et ál. 2010; Johnsen et ál.2001). Las variables obtenidas fueron analizadas utilizando estadística descriptiva para cada región cafetalera.

Cuadro 1. Variables de manejo del cafetal y la plantación maderable las siete zonas cafetaleras de Honduras.

Componente	Variables
Café	Preferencia de diversificación Recepas y podas Regulación de sombra Fertilización Presencia de plagas Sombra Densidad del dosel
Maderables	Podas de formación Raleos Ataques de plagas Podas de control de <i>H. grandella</i> Fertilización
Musa spp.	Plagas Densidades de siembra Fertilización

En cada finca se midieron 20 árboles, seleccionados en forma sistemática, estableciendo un rumbo de medición conforme a la forma del terreno y la distribución los árboles en la finca. A cada árbol se le realizó medición de diámetro a la altura del pecho (cm), altura total (m), altura comercial (m) y el diámetro de copas (m). En total se midieron 4,306

árboles, incluyendo 3,200 árboles de cedro y 1,106 árboles de caoba. Esta intensidad de muestreo es superior a la utilizada por Hernández et ál. (2009) para el ajuste de una ecuación de volumen y por Cabanettes et ál. (1999) para el ajuste de modelos de crecimiento en sistemas agroforestales.

Los datos obtenidos en campo fueron analizados mediante medidas de resumen en InfoStat. Se obtuvieron los diámetros y alturas medios, máximos y mínimos medidos en campo. Se realizaron análisis de frecuencia relativa acumulada para visualizar cuantos árboles alcanzan en porcentaje los mayores diámetros y alturas. Los árboles en estas fincas podrían ser prototipos para investigación genética por su máximo desarrollo diamétrico y en altura. Este parámetro se calculó para las edades donde existe mayor número de parcelas (3 y 8 años de edad).

Para evaluar las diferencias de crecimiento de las dos especies de árboles en distintas edades se realizaron pruebas de análisis de varianza. Para hacer las comparaciones se agruparon por cada región climática cafetalera (Opalaca, Montecillos, Meambar, Occidente y Agalta Tropical). Esta agrupación sirvió para realizar pruebas de significancia. Para caoba se realizó a los 3, 5 y 8 años, y para cedro a los 3, 5, 8, 12, 18 y 20 años. Estas edades fueron escogidas debido a que existía repetición de parcelas. Los datos fueron analizados en InfoStat. Los contrastes por regiones fueron realizados a través de una prueba de análisis de varianza, con significancia del 5%.

Modelos de crecimiento ajustados y su validación

Los modelos de crecimiento ajustados para cedro y caoba en cafetales de Honduras fueron: Chapman y Richards, Shumacher, Exponencial, Gompertz, Logístico y los modelos lineales (Cuadro 2). La variable dependiente utilizada fue el dap con corteza (cm), mientras que la edad fue la variable independiente. Para la selección del mejor ajuste se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC), el Criterio de Información Bayesiano (BIC) y la curva de incremento medio anual del dap. La ecuación de altura fue calculada a partir de las alturas totales (m) y diámetros medidos en campo. La ecuación que se ajustó para la altura fue lineal debido a la correlación que muestran las alturas en función del diámetro.

Cuadro 2. Modelos de crecimiento evaluados para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Modelo	Ecuación	Fuente
Von Bertalanffy	$Y=a*(1-e^{-bt})^3$	Vanclay (1995)
Shumacher	$Y=a*e^{(-bt^{(-1)})}$	
Yoshida	$Y=a*t^d/(b+t^d)+c$	
Chapman-Richards	$Y= a*(1-e^{(-bt)})^c$	Zeide (1993); Clutter et ál. 1983
Logístico	$Y= a/(1+b*e^{(-ct)})$	Zeide (1993)
Gompertz	$Y= a*e^{-b*e^{(-ct)}}$	
Weibull	$Y=a*(1-e)^{-(bt)^c}$	
Exponencial	$Y= a*e^{(bt)}$	

El modelo que mejor ajuste tuvo a los datos de campo fue evaluado con las ecuaciones estimadas por diferentes autores en bosques y plantaciones puras (Cuadro 3). Esto permite tener una aproximación de mejor ajuste de los modelos en cafetales con respecto a plantaciones que no se encuentran en un sistema agroforestal. Los modelos fueron graficados junto a los intervalos de confianza al 95% del modelo que mejor se ajustó.

Cuadro 3. Ecuaciones de crecimiento ajustadas para bosques naturales y plantaciones puras para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*).

Modelo	Especie	Ecuación	Fuente
Logístico	Cedro	$dap= 43.02/(1+e^{(-t-10.11)/1.61})$	Yamada y Gholz (2002)
Lineal	Cedro	$h= 7.21+0.83t$	Yamada y Gholz (2002)
Lineal	Caoba	$dap= 4.0018198*0.011130t$	Cuevas et ál. (1992)
Logístico	Caoba	$h=22.76/(1+e^{(-(t-7.74)/4.76)})$	Yamada y Gholz (2002)
Polinomio Cuadrado	Caoba	$dap= -3.28+3.08t-0.03t^2$	Yamada y Gholz (2002)
Chapman-Richards	Caoba	$dap = 32.58*(1-e^{-0.142*t})^{2.387}$	Rodríguez (1996)
Shumacher	Caoba	$dap = 44.264*e^{9.688*t^{(-1)}}$	Rodríguez (1996)
Exponencial	Caoba	$h = 18.742*Ln (t)-22.485$	Vallejo et ál. (2004)

dap = diámetro a la altura el pecho. h = altura total t = edad en años

Cálculo de volumen y carbono almacenado:

Para calcular el volumen total y comercial de cedro y caoba se utilizaron ecuaciones de volumen desarrolladas para estas especies. La biomasa total se calculó a partir de una ecuación desarrollada para la mayoría de especies del trópico húmedo (Cuadro 4). El carbono contenido en la biomasa es de 0.50 del carbono total para ambas especies (IPCC 2003). La estimación de la producción potencial fue desarrollada a partir del diámetro y altura modelado con las ecuaciones de crecimiento de mayor ajuste. La tabla de volumen fue construida con base a la recomendación técnica del IHCAFE de 100 árboles maderables por hectárea.

Cuadro 4. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de volumen y biomasa total para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Detalle	Modelo	Ecuación	Fuente
Volumen Caoba	Polinomio	$V = 0.003112 + 0.00004978(dap^2 * h)$	Gutiérrez et ál. 2009
	Cuadrático		
Volumen Cedro		$V = 0.002801 + 0.00002636(dap^2 * h)$	PROECEN(2003)
Biomasa ambas especies		$Bt = 21.30 - 6.95 * dap + (0.74dap^2)$	Brown e Inverson, 1992

Bt: Biomasa total arriba del árbol (kg); *dap*: Diámetro a la altura del pecho (cm); *h*: altura (m); *V*=volumen comercial (m³).

Resultados

Conocimiento local de los productores que plantan cedro y caoba en sus cafetales

EL 72% de los productores que plantan cedro y caoba en Honduras prefieren maderables de alto valor comercial. Sin embargo, también usan frutales, granos básicos y bovinos como estrategia de diversificación de sus fincas (Cuadro 5). El 16% de los productores expresó motivación para la diversificación con frutales, pero en campo se observó que el 95% de las parcelas muestreadas poseen *Musa spp.*, esto quizá se deba a que los productores no consideran una fruta el banano.

Cuadro 5. Preferencia para la diversificación de la producción de los productores que plantan cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Región cafetalera	Respuestas obtenidas (n)			
	Frutales	Forestales	Granos Básicos	Bovinos
Meambar	9	31	3	3
Occidente	10	59	8	2
Agalta Tropical	15	55	9	2
Opalaca	5	16	2	
Montecillos		15		
Total general	39	176	22	7

Manejo de la plantación

De acuerdo a las entrevistas realizadas se encontró que ningún productor ha realizado raleos a sus plantaciones y solamente el 11% de los productores realizó podas de formación a la plantación. Las podas fueron aplicadas mayormente en la regional del Comayagua y el Occidente de Honduras, donde se concentra el 19 y 30%, respectivamente de los productores que realizan estas prácticas (Figura 3); no así en la zona central del país, donde ha sido mínimo este tipo de prácticas silviculturales. El 100% de los productores afirmó nunca haber fertilizado la plantación maderable y solamente el 1% de los productores fertilizan el cafetal. El productor de café en general planta los maderables dispersos en el cafetal. Sin embargo el

18% los establece a distanciamientos de siembra a 3×3 y 6×6 m en la etapa inicial de la plantación.

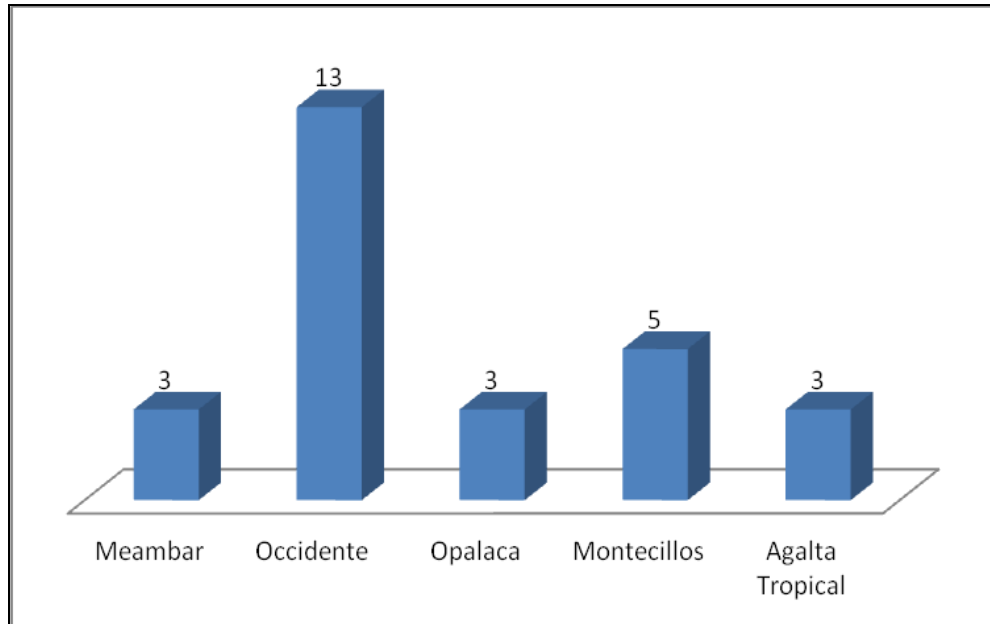


Figura 3. Productores de café por departamento que realizan podas de formación a la plantación maderable.

El 99% de los productores de café entrevistados afirmaron que su mayor problema con cedro y caoba se presentó en la etapa inicial de crecimiento, donde fueron fuertemente atacados por *Hypsipyla grandella*. El conocimiento local para el manejo y disminución de daños por *H. grandella* fue básicamente a través de podas de control y algunas excepciones con el uso de fertilización química. En general el 78% de los productores observaron que el ataque es principalmente en época lluviosa.

Desarrollo y crecimiento de Cedro (*Cedrela odorata*), plantada en cafetales de Honduras

Se encontró 20 edades diferentes representadas en la muestra, desde 2 hasta los 32 años, obteniendo dap mínimos de 0.11 cm en las edades más jóvenes y máximos de hasta 94.54 cm a los 32 años de edad (Cuadro 6). Las alturas totales mínimas obtenidas fueron de 1.8 m, alcanzándose alturas máximas de hasta 27.43 m (Cuadro 6). Existe mucha variabilidad de los datos obtenidos en campo, obteniéndose una desviación estándar de 12.64 cm en dap y hasta 4.79 m en altura total a los 30 años de edad.

Cuadro 6. Diámetro a la altura del pecho (cm) y altura total (m) de cedro (*Cedrela odorata*) a diferentes edades en cafetales de Honduras.

Edad (Años)	Diámetro a la altura del pecho (cm)				Altura total (m)				
	N	Mínimo	Media	Máximo	D.E	Mínimo	Media	Máximo	D.E
2	19	0.41	4.25	14.96	2.61	0.5	2.28	8.7	1.26
3	34	4.77	7.35	10.5	1.41	1.5	2.04	3.9	0.49
4	19	0.12	5.14	17.51	3.14	0.6	3.05	14.3	1.83
5	14	0.11	6.88	18.46	2.7	0.5	3.84	16	2.26
6	16	0.14	10.27	30.24	5.15	1.05	5.06	19	2.58
7	11	2.55	11.88	30.56	4.46	1.2	5.17	15.3	2.17
8	12	2.04	17.19	35.01	7.35	1.7	6.4	17.3	3.03
9	8	1.27	17.6	47	7.56	1.2	6.86	14.1	2.98
10	11	5.09	21.64	39.47	7.26	2.6	7.17	15	3.11
11	2	1.91	21.33	41.38	8.28	1.8	8.23	22.5	4.47
12	6	8.59	17.06	32.47	8.64	2.4	7.02	13.75	4.04
13	5	8.91	22.06	34.7	5.75	2.6	9.23	23.3	4.26
15	1	6.68	18.83	31.51	6.74	3.8	8.32	20.3	3.07
16	5	7.96	24.4	54.11	10.49	4	9.82	21	3.51
18	1	24.4	38.13	60.48	9.04	9.4	14.72	23.8	4.78
20	6	20.37	35.15	63.66	10.46	7	14.14	19.8	2.97
24	3	29.92	32.36	36.61	3.69	11.4	12.47	13.8	1.22
25	3	25.15	38.14	65.25	8.88	8	14.45	24	2.91
30	2	42.34	70.98	94.54	12.64	18.3	27.43	36.3	4.79
32	1	59.79	63.96	69.07	4.71	12	14.13	16	2.01

Donde: D.E. = Desviación Standar

A los tres años el 50% de los árboles medidos alcanzaron diámetros de 4 cm y alturas totales de 2 m (Figuras 4a y 4b), mientras que el 30% de los árboles alcanzaron diámetros de siete centímetros y altura total de 2.50 metros. A los ocho años el 50% de los árboles presentaron diámetros superiores a los 14 centímetros y alturas de seis metros (Figuras 4c y 4d).

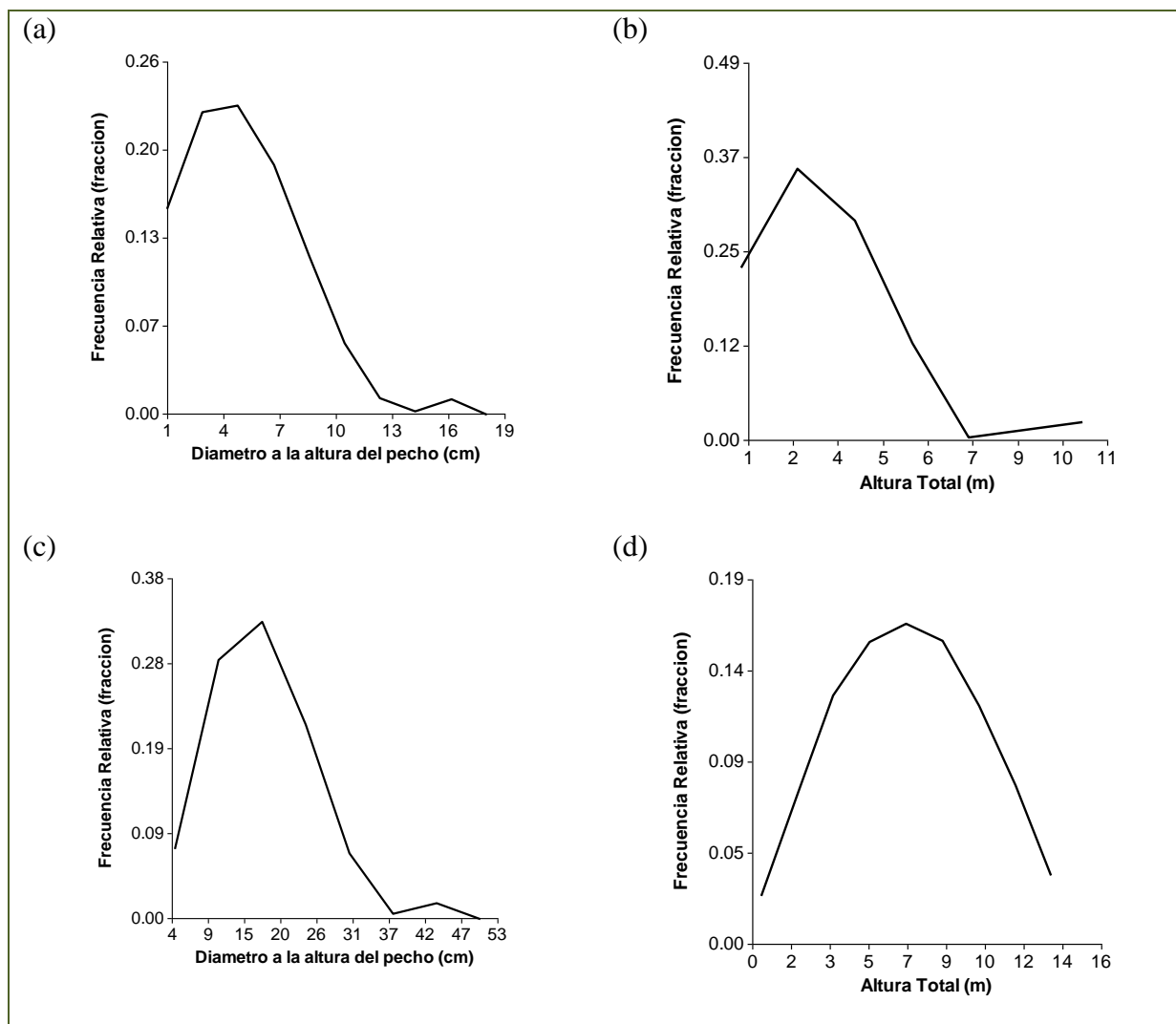


Figura 4. Frecuencia relativa del diámetro a la altura del pecho a los tres años (a) y ocho años (c) y de la altura total a los tres años (b) y 8 años (d) para Cedro (*Cedrela odorata*), en cafetales de Honduras.

Comparaciones de crecimiento entre las regiones cafetaleras

En la regional de Copán se encontraron las mejores dimensiones en diámetro a la altura del pecho y altura total. Estadísticamente esta regional es diferente a las demás ($p=0.001$). Por otro lado las regionales de Meambar y Opalaca es donde se pueden observar las peores dimensiones, principalmente en las edades más tempranas (Cuadro 7). Estas dos regiones es donde se encuentran los pisos altitudinales más altos, quizá este sea el factor que afecta el desarrollo en diámetro y altura de esta especie.

Cuadro 7. Crecimiento medio del diámetro a la altura del pecho, de cedro (*Cedrela odorata*) en las cinco regiones cafetaleras de Honduras.

Edad (Años)	Occidente		Montecillos		Opalaca		Meambar		Agalta Tropical	
	$\mu \pm EE$		$\mu \pm EE$		$\mu \pm EE$		$\mu \pm EE$		$\mu \pm EE$	
3	10.6±0.5	A	5.63±0.2	B	4.82±0.1	C	3.22±0.3	D	5.83±0.2	B
5	10.93±1.0	A	10.27±0.6	A	11.13±0.6	A	5.11±1.1	B	10.22±0.4	A
8	18.13±1.0	A	14.54±1.1	B	11.25±1.5	BC	11.25±0.9	C	18.44±0.7	A
12	28.26±1.8	A	22.71±1.2	B	22.54±1.3	B	20.62±0.6	B	19.43±1.2	B
18					32.66±2.2	A	36.47±2.8	A	30.32±2.2	A
20					36.30±1.5	A	37.50±2.2	A	25.58±3.1	B

μ = Media general; EE: error estándar.

Letras distintas en filas indican diferencias significativas $\alpha \leq 0.05$.

Modelos de Crecimiento

La ecuación de crecimiento que mejor se ajusta para cedro en los cafetales de Honduras es el modelo de Chapman y Richards, con el 68% de la variabilidad explicada por este modelo (Cuadro 8). El modelo de Chapman y Richards es muy utilizado para estimar el crecimiento de árboles por su característica de inflexión de la curva.

Cuadro 8. Ajuste de modelos de crecimiento para cedro (*Cedrela odorata*), utilizando el diámetro a la altura de pecho (m) como variable dependiente de la edad (años).

Modelo	Ecuación	AIC	BIC	R ²	n	a	b	c
Chapman	- $y=a*(1-e^{(-bt)^c})$	33504	33517	0.68	3200	0.95	0.027	1.08
Richards								
Gompertz	$y=a*e^{-b*e^{(-ct)}}$	33584	33572	0.67	3200	0.64	2.88	0.09
Shumacher	$y=a*e^{(-bt^{(-1)})}$	33819	33807	0.64	3200	0.50	8.17	
Exponencial	$y=a*e^{(bt)}$	34108	34909	0.62	3200	0.08	0.07	
Logístico	$y=a/(1+b*e^{(-ct)})$	33952	33934	0.66	3200	0.53	9.91	0.16

R²: Variabilidad explicada por el modelo n: numero de muestras; a, b, c parámetros de la regresión; y: variable de respuesta (dap metros); t: edad en años AIC y BIC: criterios de selección del modelo (menores valores mejor ajuste).

El modelo exponencial subestimó el crecimiento de los árboles en las edades más adultas de la plantación, así mismo el modelo de Shumacher subestimó el crecimiento tanto en los primeros años de la plantación como al final de la misma. Los modelos logísticos, Gompertz y Chapman y Richard son curvas de ajuste muy similares (Figura 5). Los modelos Gompertz, Logístico y Chapman y Richard, graficados con sus límites de confianza, no son muy diferentes entre ellos.

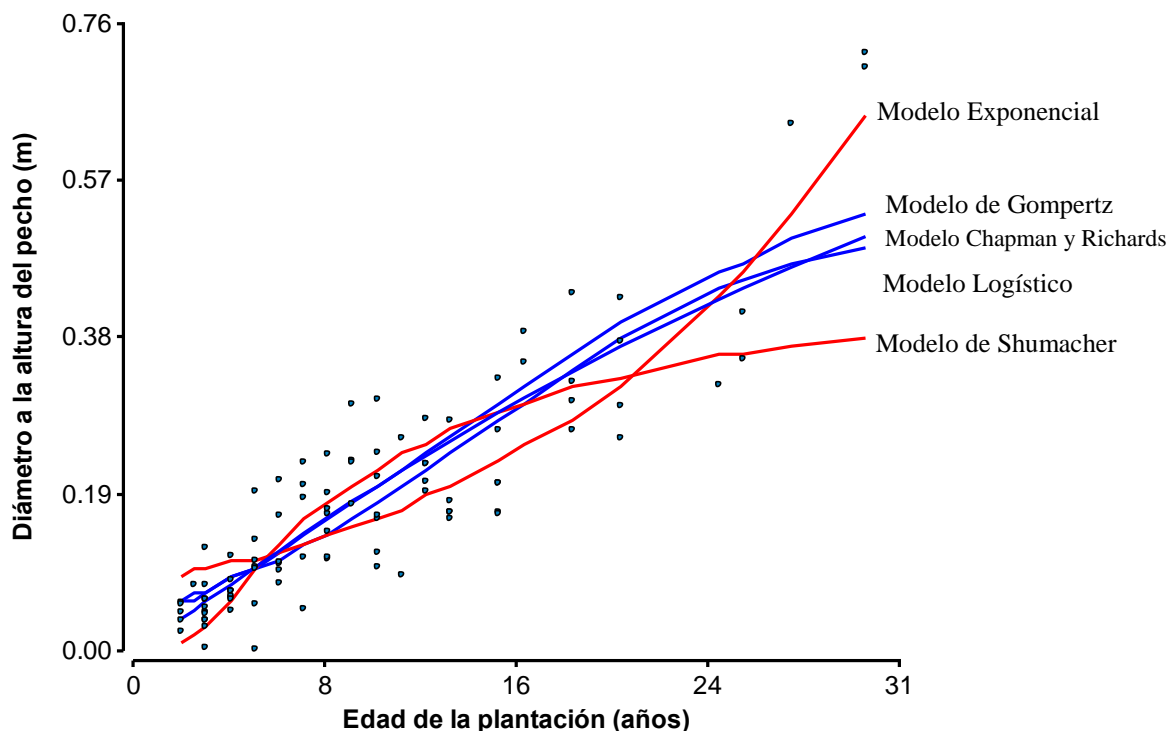


Figura 5. Modelos no lineales ajustados para describir la relación entre el diámetro a la altura del pecho (m) y la edad (años) de cedro (*Cedrela odorata*) en cafetales de Honduras.

En vista de la alta correlación que existe entre diámetro y altura, se ajustó una ecuación de crecimiento lineal, se utilizó como variable independiente el diámetro a la altura del pecho en metros y la altura total en metros como variable dependiente. El ajuste obtenido fue de un R^2 de 0.70. El modelo ajustado que se obtuvo fue: h (metros) = 1.42 + (32.20*(dap)).

Desarrollo y crecimiento de caoba (*Swietenia macrophylla*), plantada en cafetales de Honduras

Se midieron 1,106 árboles con edades de un año hasta los 25 años. Se alcanzaron diámetros mínimos de 0.13 cm y máximos de 39.8 cm. Las alturas totales fueron medidas en 0.72 hasta 16 m de altura (Cuadro 9). A diferencia de cedro, caoba aparentemente crece mejor inicialmente pero no mantiene ese ritmo de crecimiento acelerado. Se encontró bastante varianza en los datos de una misma edad, la máxima desviación estándar se obtiene a los quince años de edad con 11.16 cm en diámetro.

Cuadro 9. Medidas de resumen de las dimensiones de diámetro a la altura del pecho (cm) y la altura total (m) de caoba (*Swietenia macrophylla*) a diferentes edades en cafetales de Honduras.

Edad	Diámetro a la altura del pecho (cm)				Altura total (m)				
	n	Mínimo	Media	Máximo	D.E	Mínimo	Media	Máximo	D.E
2	7	0.13	2.19	8.9	1.75	0.72	1.75	3.2	0.66
3	15	0.4	4.14	13.7	2.34	0.83	2.3	5.7	1.04
4	11	1.3	5	16.2	2.81	1.2	2.94	9	1.5
5	6	0.4	6.33	13.7	3.35	1.8	3.64	8.7	1.43
6	6	3.2	7.97	13.1	2.5	1.2	3.92	8.1	1.4
7	2	6	8.705	13.2	2.475	3.35	4.64	6.5	0.84
8	6	2.9	11.87	28.6	4.93	0.9	4.97	11.5	2.26
10	3	5.4	8.77	15.6	2.84	2.2	5.03	9.5	1.83
12	1	11	14.37	18.8	2.47	4	6.83	9.5	1.53
15	1	11.8	22.63	34.1	11.16	7.8	9.27	10	1.27
20	1	8.3	16.54	25.8	5.01	5	8.52	11.7	1.86
22	1	27.1	32.66	39.8	5.1	12	13.94	16	1.57
25	2	18.8	29.23	38.2	5.81	7.2	10.87	15	1.77

Se encontraron árboles casi suprimidos a los ocho años de edad con patrones de crecimiento de apenas 0.9 m de altura y 2.90 cm de dap. Así mismo la distribución de crecimiento no se comporta de forma ascendente, pues se encuentran parcelas con desarrollos de diámetros altos a los 15 y 22 años de la plantación, y parcelas con diámetros un poco más bajos que estas edades a los 25 y 20 años de edad. A los tres años el 50% de los árboles medidos alcanzaron diámetros de 3 cm de dap (Figura 6a) y alturas totales de 2 m (figura 6b). El 10% de los árboles medidos alcanzaron diámetros de 6 cm de dap y altura total de 2.50 m. A los ocho años el 50% presentó diámetros superiores a los 10 cm de dap y alturas de 5 m

(Figura 6 c y d). El 50% de los diámetros máximos alcanzados a los tres años de edad es igual que el 50% de los diámetros mínimos obtenidos a los ocho años de edad.

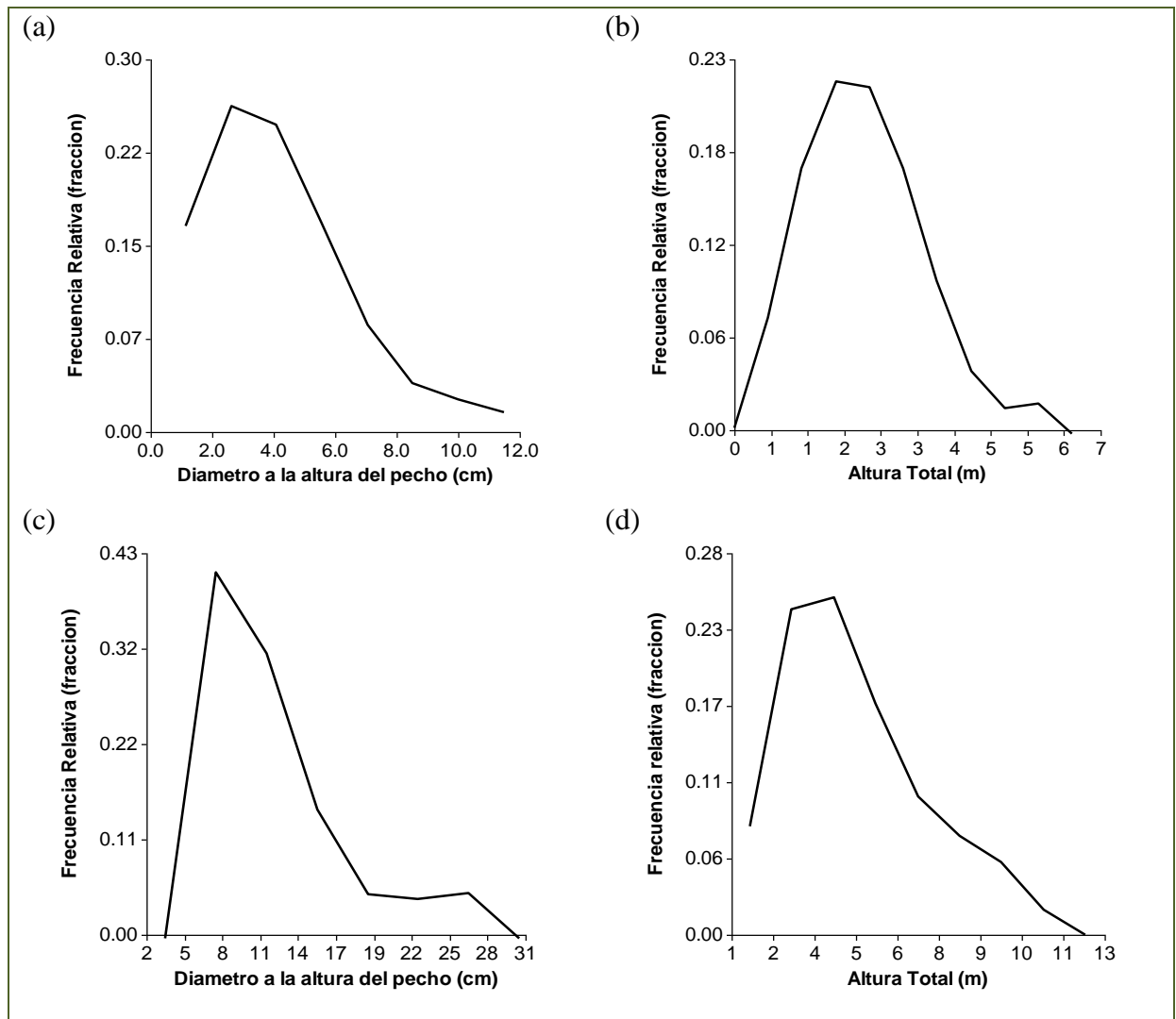


Figura 6. Frecuencia relativa acumulada del diámetro a la altura del pecho en centímetros a los 3 años (a) y los 8 años (b) y la altura total en metros a los 3 años (a) y 8 años (b) para caoba (*Swietenia macrophylla*), en cafetales de Honduras.

Crecimiento por Regional

En la regional de Copán se encontraron las mejores dimensiones en diámetro a la altura del pecho y altura total. Estadísticamente esta regional es diferente a las demás ($p=0.001$). Por otro lado la regional de Meambar y Opalaca es donde se pueden observar las peores dimensiones principalmente en las edades más tempranas (Cuadro 10). Estas dos regiones es

donde se encuentran los mayores pisos altitudinales encontrados en campo, quizá este sea el factor que afecta el desarrollo en diámetro y altura.

Cuadro 10. Diferencias estadísticas en las dimensiones de diámetro a la altura del pecho (cm) para caoba (*Swietenia macrophylla*) en cinco regiones cafetaleras de Honduras.

Edad (años)	Copán $\mu \pm EE$	Opalaca $\mu \pm EE$	Meambar $\mu \pm EE$	Agalta Tropical $\mu \pm EE$
3	4.16±0.47 B	5.67±0.33 A	4.33±0.21 D	3.05±0.23 B
5	8.02±0.57 A	6.84±0.28 A	4.46±0.73 B	
8	17.01±0.72 A	16.20±0.84 A	10.25±0.48 C	17.01±0.72 A

μ = Media general; EE: error estándar.

Letras distintas en filas indican diferencias significativas $\alpha \leq 0.05$.

Modelos de Crecimiento

En los cafetales de Honduras la ecuación de crecimiento que mejor se ajustó fue el modelo de Chapman y Richards con una variabilidad explicada por el modelo de 57%. Este modelo muestra patrones de ajuste medio a los datos medidos en campo. Al igual que para cedro, la ecuación de Schumacher es el modelo más conservador al subestimar el desarrollo de diámetro de caoba (Cuadro 11).

Cuadro 11. Ajuste de modelos de crecimiento para caoba (*Swietenia macrophylla*), utilizando el diámetro a la altura de pecho como variable dependiente de la edad.

No.	Modelo	Ecuación	AIC	BIC	R ²	n	a	b	c
1	Chapman - Richards	$y = a * (1 - e^{(-bt)^c})$	11741	11820	0.57	1106	0.60	0.024	1.10
2	Gompertz	$y = a * e^{-b * e^{(-ct)}}$	11851	11841	0.55	1106	0.34	2.81	0.10
3	Shumacher	$y = a * e^{(-bt^{(-1)})}$	11865	11875	0.55	1106	0.29	7.15	
4	Exponencial	$y = a * e^{(bt)}$	12033	12018	0.50	1106	0.04	0.08	
5	Logístico	$y = a / (1 + b * e^{(-ct)})$	11989	11974	0.53	1106	0.38	9.74	0.19

R^2 : ajuste del modelo n: número de muestras; a, b, c; parámetros de la regresión; AIC, BIC: parámetros de decisión (Datos menores mejor ajuste).

El modelo Exponencial tiende a sobreestimar los patrones de crecimiento el desarrollo diamétrico de caoba en la etapa inicial y final, pero subestima en las edades intermedias. El ajuste en cafetales el modelo de Gompertz mantiene un ajuste medio a los datos. El modelo logístico subestima en las edades iniciales pero a partir de los 10 años de edad sobreestimar el crecimiento de caoba. El modelo de Gompertz y el modelo de Chapman – Richards son los que mantienen un crecimiento constante con desarrollos similares a las medias encontradas en campo.

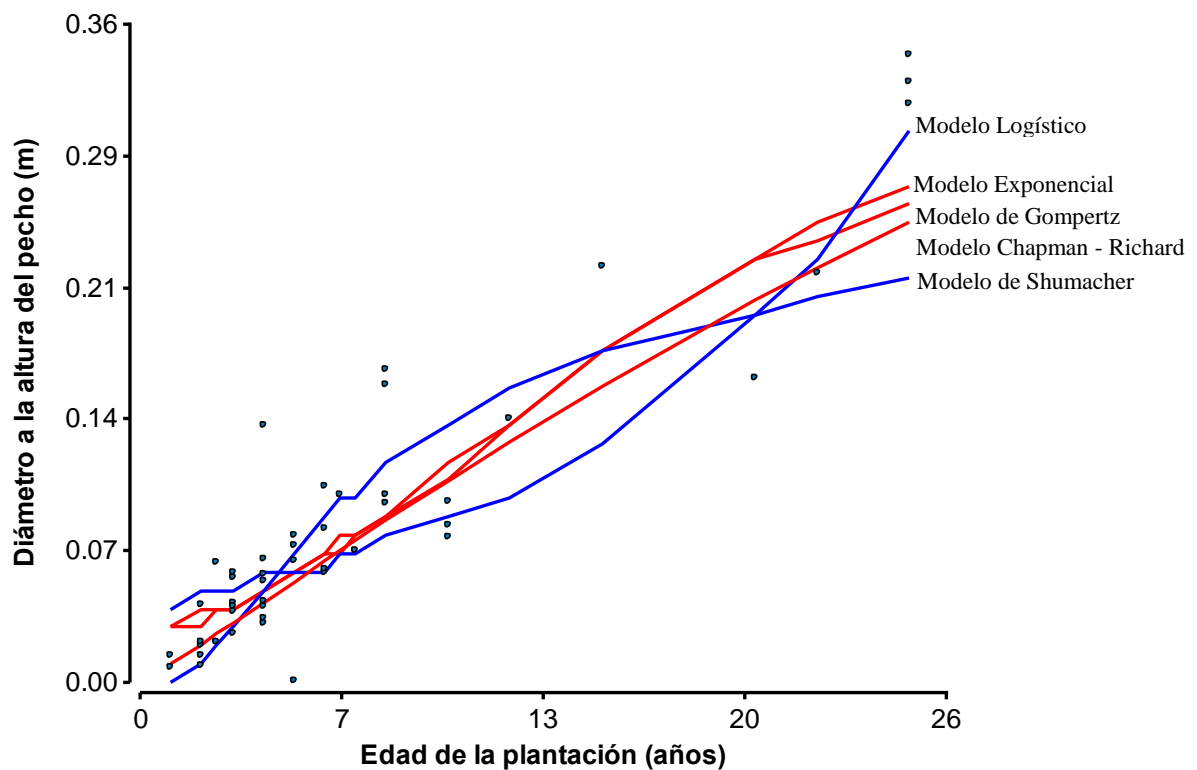


Figura 7. Modelos no lineales ajustados para diámetro a la altura del pecho de caoba (*Swietenia macrophylla*), en cafetales de Honduras.

Al igual que con cedro la altura resultó tener mejor correlación con el diámetro a la altura del pecho que con las demás variables conocidas del árbol. La ecuación de altura total se ajustó utilizando como variable dependiente el diámetro a la altura del pecho. El modelo ajustado fue una ecuación lineal con un R^2 de 0.91. El modelo ajustado que se obtuvo fue: H (altura total en metros) = $1.80 + (42.42 \cdot dap)$.

Discusión

Manejo de la plantación maderable

Los productores de café en Honduras realizan plantaciones de árboles maderables sin invertir en brindarle un manejo adecuado a la plantación y los incentivos al establecimiento de maderables son casi inexistentes. Un estudio en Costa Rica demostró que las plantaciones maderables con incentivos tienden a realizar mayor inversión en el manejo de la plantación (Viera et ál. 1999). La densidad de siembra inicial es uno de los factores que influye el crecimiento de la plantación (Viera et ál. 1999; Connell 1983; Schoener 1983; Goldberg 1987; Sterck y Bongers 1998), en cafetales de Honduras un 18% de los productores estableció los maderables con distanciamientos de siembra de 3×3 y 6×6 m. Estos distanciamientos podrían implicar la realización de manejo en las edades jóvenes de la plantación.

Los beneficios que se podrían obtener de un árbol maderable (como madera y captura de carbono) están fuertemente ligados a las prácticas silviculturales que se realicen (Galán et ál. 2008; Reyes y López 2003; López Sánchez y Musálem 2007). En cafetales de Honduras la mayor parte de las plantaciones no recibieron ningún tipo de manejo. Las podas y raleos solo se realizaron en el 11% de las plantaciones. Varios estudios han confirmado que los raleos y podas oportunas podrían significar mejor calidad del producto obtenido de la plantación (Muñoz et ál. 2005; Pinkard y Beadle 1998). Así mismo los productores de café del presente estudio no fertilizaron sus plantaciones maderables, cuando la fertilización de los árboles influye en su desarrollo (Oelmann et ál. 2010; Webb et ál. 2000).

Crecimiento de cedro y caoba en cafetales

Los diámetros a la altura del pecho y alturas totales observados en las plantaciones de cedro y caoba en cafetales poseen buenos patrones de crecimiento. Para cedro en Honduras es posible alcanzar dap máximos de 30 cm a los diez años de edad en la zona de Occidente. Worbes (1999), encontró en la Reserva de Caraparos, Venezuela, diámetros de 28 y hasta 54 cm a los 21 años de edad. En Honduras cedro parece ser una especie de rápido crecimiento en comparación con caoba, al alcanzar tasas de crecimiento de hasta 2.54 cm anuales, aunque caoba tiene mejores crecimientos iniciales (Worbes 1999; Yamada y Gholz 2002).

La región cafetalera de Occidente es la que posee los mejores resultados de crecimiento, al obtener hasta 28 cm de diámetro para cedro y 17 cm para caoba. El IHCAFE reporta el mayor interés por plantaciones forestales en esta zona cafetalera. En Santa Bárbara, los productores comenzaron con las plantaciones forestales en 1992, sin embargo en la actualidad este interés ha caído. Probablemente los incentivos en el crecimiento de la especie son los que motiva a los productores de occidente y desmotiva a los productores de Santa Bárbara. En condiciones muy óptimas cedro podría alcanzar diámetros de 30 cm y alturas de 15 m a los 13 años de edad (Cole y Ewel 2006). En la región cafetalera de Copán se observa esos mismos crecimientos, por lo que podría decir que esta región es un sitio óptimo para cedro con café.

En la región cafetalera de Occidente y Meambar es donde se registraron el mayor número de parcelas agroforestales establecidas y medidas en campo. Así mismo en la zona cafetalera de Meambar, Navarro et ál. 2004 reporta un crecimiento de 0.51 a 0.64 cm a los 2 años de edad de la plantación y crecimientos en altura de 1.99 a 2.97 m. Los crecimientos en altura son inferiores a los encontrados en el presente estudio para esa zona cafetalera, sin embargo los datos promedios medidos en diámetro son superiores.

Cedrela odorata, posee mejor adaptabilidad a las zonas climáticas donde se cultiva café, en comparación con caoba (Terborgh y Flores 1997). Navarro et ál. (2004), encontraron que la procedencia de cedro podría ser un factor que limitara el crecimiento y adaptabilidad a diferentes zonas climáticas. El modelo ajustado muestra una tendencia de crecimiento acelerado a partir de los 10 años de edad. Quizá el crecimiento tardío en las primeras etapas se deba a problemas de afección de *H. grandella* (Pérez et ál. 2010; Newton et ál. 1998; Cole y Ewel 2006). Para remover el daño ocasionado por la larva, se recomienda realizar podas después del ataque de *H. grandella* y dos meses después para escoger el mejor rebrote (Briceño 1997; Navarro y Hernández 2001; Cornelius y Watt 2003; Fang y Bailey 1998).

El diámetro a la altura del pecho es el mejor predictor de crecimientos y rendimientos (Grogan y Matthews-Landis 2009; Navarrete et ál 2008). Para el ajuste de curvas de crecimiento es la variable que se utiliza como regresora con la edad (Candy 1997; Tappeiner et ál. 1997; Worbes 1999). Adicionalmente el diámetro es la variable dependiente para el ajuste de regresiones con las copas (Sterck y Bongers 1998; Durlo et ál. 2010; Grogan y

Mattews-Landis 2009; Menalled y Kelty 2001; Brienen et ál. 2006) y las alturas (Sterck y Bongers 1998; Zhang 1997; Zepeda y Rivero 1984; Duguma et ál. 1994).

El modelo de Chapman y Richards explica el 68% de la variabilidad para cedro y el 57% para caoba, estos ajustes son mejores que los reportados en la literatura (Wykoff 1990; Monserud y Sterba 1996; Yamada y Gholz 2002; Pineaar y Turnbull 1973). Los modelos de crecimiento de Gompertz, Chapman y Richard y Logístico han demostrado ser de fácil ajuste (García 1983; Zeide 1993; Stoll et ál. 1994; Brienen y Zuidema 2007) y con mejores parámetros ajustados. El modelo exponencial tiende a sobre-estimar los resultados en campo, lo que podría ser una limitante al estimar el potencial productivo de los cafetales, mientras que el modelo de Shumacher sub-estima el crecimiento. Las herramientas que permitan el manejo forestal en cafetales son muy importantes, desde el punto de vista de leyes y normativas de manejo. Los modelos de crecimiento y rendimiento podrían brindar información confiable del potencial productivo en función del crecimiento del árbol (Peng 2000; Peper et ál. 2001).

Modelos de crecimiento de cedro y caoba ajustados para cafetales

El modelo ajustado por Yamada y Gholz (2002) con un 95% de confianza se encuentra dentro de los intervalos de confianza ajustados para cedro en cafetales de Honduras. Probablemente se deba a que los intervalos de confianza para cedro en cafetales son muy amplios en las edades más adultas de la plantación (Figura 8).

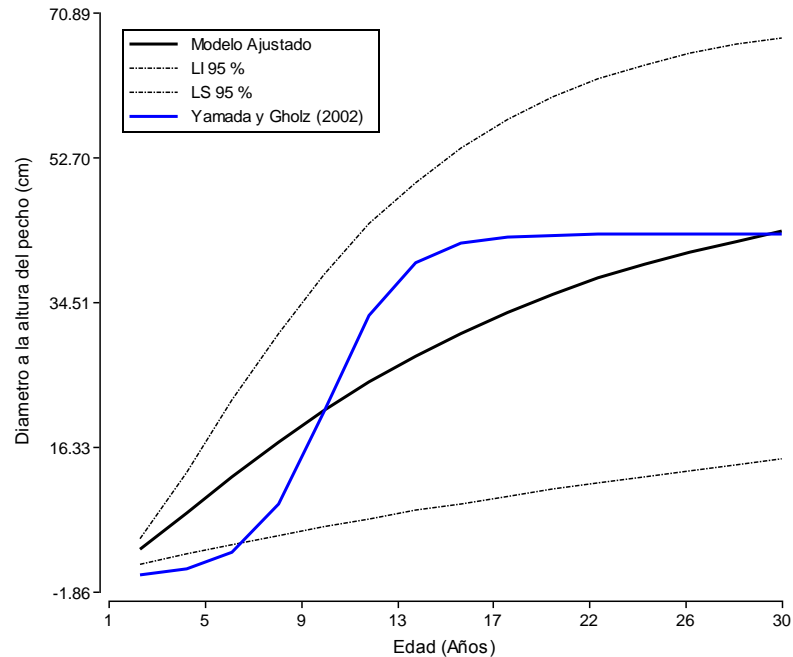


Figura 8. Curva de crecimiento ajustado para cedro (*Cedrela odorata*) en el presente estudio en los cafetales de Honduras con un 95% de confianza en comparación con la curva de crecimiento ajustada por Yamada y Gholz (2002).

El modelo ajustado por Yamada y Gholz, 2002 fue desarrollado bajo condiciones óptimas de crecimiento para cedro en sitios que se encuentran de 0 a 400 metros sobre el nivel del mar para el Ecuador. En el caso del presente estudio, se encontró que el crecimiento de cedro en los cafetales de Honduras presentaron una tendencia de crecimiento muy similar a la ajustada en Ecuador. Esta relación podría indicar que los cafetales de Honduras son sitios óptimos para el crecimiento de cedro en cafetales.

La curva ajustada para caoba en cafetales mantiene niveles de confianza menores en las edades iniciales hasta los 6 años y mayor incertidumbre en las edades más adultas de la plantación (Figura 9). El modelo de Chapman y Richards ajustado por Rodríguez (1996) tiende a ser más conservador que el modelo ajustado para los cafetales de Honduras. Esto probablemente se deba a que el modelo de Chapman y Ricahrd ajustado para ese estudio es sumamente conservador. Este modelo se mantiene en el límite inferior desde las edades iniciales hasta las finales

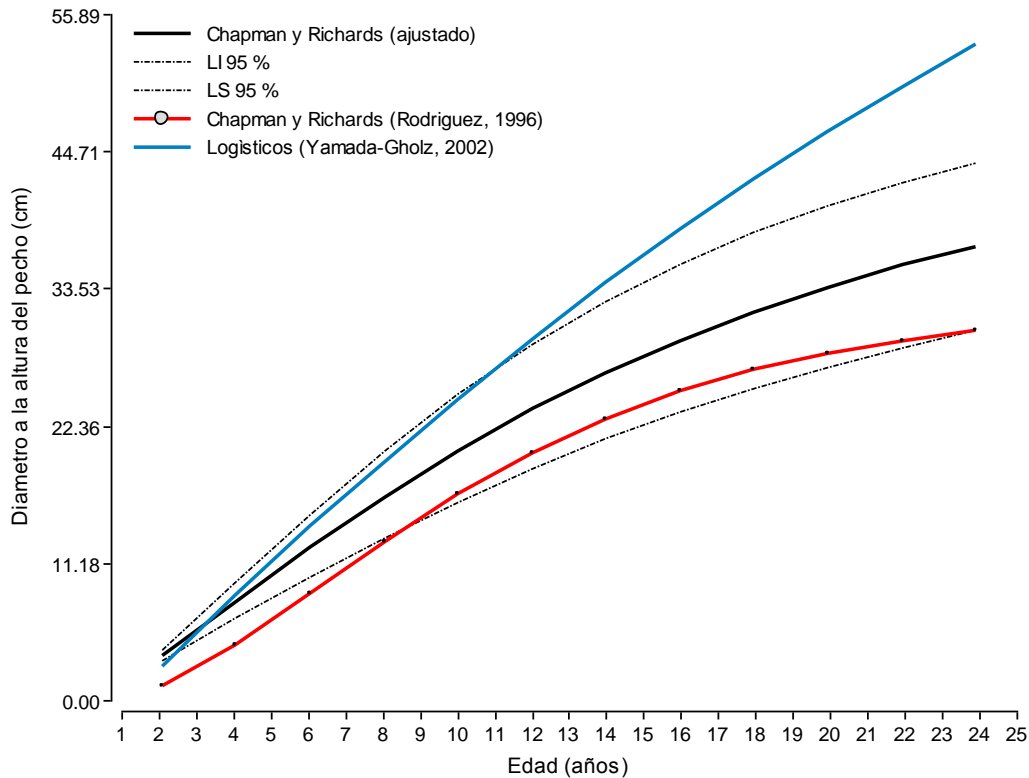


Figura 9. Curva de crecimiento ajustada para caoba (*Swietenia macrophylla*) en los cafetales de Honduras con un 95% de confianza del modelo ajustado. Comparada con las curvas ajustadas por Yamada y Gholz (2002) y Rodríguez (1996).

El modelo logístico ajustado por Yamada y Gholz (2002), aparentemente tiene un ajuste similar al de caoba en cafetales de Honduras hasta los 10 años de edad, después este modelo tiende a sobre-estimar el crecimiento de caoba en los cafetales de Honduras. Esta percepción es con un 95% de confianza del ajuste realizado para cafetales, sin embargo se desconoce los límites de confianza ajustados por estos autores para sus modelos.

Potencial productivo de cedro y caoba en cafetales

El potencial productivo de cedro en cafetales del presente estudio podría alcanzar más de los $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($3.33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), a los 30 años de edad, dependiendo de la densidad de plantación y el manejo silvicultural. Datos superiores han sido encontrados por Somarriba (1990), donde se pueden encontrar entre 120 y 290 árboles de laurel ha^{-1} en cafetales, los cuales podrían significar una producción sustentable de $6\text{-}15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otro lado Webb et ál. (2000) reportan que una plantación de cedro en Surinam podría rendir de $11 \text{ a } 22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

¹año⁻¹, manejada sosteniblemente. En plantaciones puras en África se reporta que cedro puede alcanzar volúmenes de 450 m³ha⁻¹ con 100 árboles ha⁻¹ años 70 años de edad (Citrón 1990).

El potencial de caoba sin embargo no es tan prometedor para cafetales de Honduras diversificados con esta especie, ya que se espera una producción de 25.17 m³ha⁻¹ a los 25 años de edad con 100 individuos ha⁻¹. Esto es debido a que el modelo ajustado y los datos medidos en campo, reflejan que el crecimiento de caoba es más pausado en comparación a cedro. Plantaciones de lancetilla reportan una producción de madera para caoba de 260 m³ha⁻¹ a los 38 años de edad con 295 individuos ha⁻¹ (PROECEN 2003).

Así mismo el potencial de fijación de carbono del componente maderable podría ser de 77.24 MgCha⁻¹ para cedro y 14.02 MgCha⁻¹ para caoba, considerando 100 árboles maderables ha⁻¹. Mendizábal-Hernández et ál. 2009, reportaron para una plantación de cedro de origen genético conocido en México una producción de 4.45 MgCha⁻¹. Así mismo en caoba se podrían obtener hasta 330 kg/árbol de biomasa aérea con dap de 26 cm y 7.3 m de altura (Kawahara et ál. 1981). En cafetales de Honduras se pueden encontrar 286.17 kg/árbol de biomasa con dap de 24 cm y alturas de 8 m.

Bibliografía

- Briceño Alvarenga, AJ. 1997. Aproximación hacia un manejo integrado del barrenador de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* (zeller). *Revista Forestal Venezolana* 41(1): 23-28.
- Brienen, RJW; Zuidema, PA; During, HJ. 2006. Autocorrelated growth of tropical forest trees: unraveling patterns and quantifying consequences. *Forest Ecology and Management* 237(1-3):179-190.
- Brienen, RJW; Zuidema, PA. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(6):302-306.
- Brown, S. Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review* 4(3): 366-383.
- Cabanettes, A; Auclair, D; Imam, W. 1999. Diameter and height growth curves for widely-spaced trees in European agroforestry. *Agroforestry Systems* 43: 169–181.
- Candy, S. 1997. Growth and yield models for *Eucalyptus nitens* plantations in Tasmania and New Zealand. *TASFORESTS-HOBART*- 9:167-194.
- Cherubini, P; Fontana, G; Rigling, D; Dobbertin, M; Brang, P; Innes, JL. 2002. Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *Journal of ecology* 90(5):839-850.
- CITES. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora 2011. Consultado el 15/11/2011 <http://www.cites.org/esp/app/appendices.shtml>.
- Citrón, B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanishcedar. En: Burns, Russell M; Honkala, Barbara H. eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. p. 250-257.
- Cole, TG; Ewel, JJ. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management* 229(1-3):351-360.

- Connell JH (1983) On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *Am Nat* 122:661–696.
- Cornelius, J; Watt, A. 2003. Genetic variation in a *Hypsipyla*-attacked clonal trial of *Cedrela odorata* under two pruning regimes. *Forest Ecology and Management* 183(1-3):341-349.
- Clutter, JL; Forston, JC; Piennar, LV; Brister, GH; Bailey, RL. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- Clutter, JL. 1963. Compatible Growth and Yield Models for *Loblolly pine*. *For Sci.* 9 (3): 354-371.
- Cuevas, X; Parraguirre, C; Rodríguez, SB. 1992. Modelos de crecimiento para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Ciencia Forestal en México* 17 (71): 87-102.
- Dezzotti, A; Sancholuz, L. 1991. Los Bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: ubicación, estructura y crecimiento. *Bosques* 12 (2): 43-52.
- Duguma, B; Tonye, J; Kanmegne, J; Manga, T; Enoch, T. 1994. Growth of ten multipurpose tree species on acid soils in Sangmelima, Cameroon. *Agroforestry Systems* 27: 107-119.
- Fang Z., Bailey R.L. 1998. “Height-diameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China”, *For. Ecol. Manag.*, 110, p. 315–327, 1998
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2002. *Estado de la Información Forestal en Honduras*. Santiago de Chile, FAO. 131 p. v. 10.
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2005. *Evaluación de los recursos forestales mundiales, 15 resultados clave*. Roma, FAO. 8 p.
- FAOSTAT. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>.
- Finney, M; Martin, R. 2001. Modeling effects of prescribed fire on young growth coast red Wood trees. *Journal of forest Research* 23 (6): 1125-1135.

- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2011. Hoja Técnica. Evaluación de estrategias para el control de la *Hypsipyla grandella* (Zeller) en la caoba. La Lima, Cortes. Departamento de Protección Forestal No. 10. 4p.
- Franzel, S. 1999. Socioeconomic factors affecting the adoption potential of improved tree fallows in Africa. *Agroforestry Systems* 47(1):305-321.
- Galán, R; Santos, H; Valdez, J. 2008. Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Revista Madera y Bosques* 14(2): 65-82 p.
- García, O. 1983. A stochastic differential equation model for the height growth of forest stands. *Biometrics*: 1059-1072.
- Grogan, J; Matthew Landis, R. 2009. Growth history and crown vine coverage are principal factors influencing growth and mortality rates of big leaf mahogany *Swietenia macrophylla* in Brazil. *Journal of Applied Ecology* 46(6):1283-1291.
- Goldberg DE. 1987. Neighborhood competition in an old-field plant community. *Ecology* 68:1211–1223.
- Gutiérrez, N; Elvir, JA; Fonseca, O. 2009. Ecuación de volumen comercial local de árboles individuales de caoba (*Swietenia macrophylla*) en plantaciones del corredor atlántico de Honduras. *Revista Tatascan* 21(2): 1-14.
- Hernández, O; Beer, J; Von Planten, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financieros de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 4:8-13.
- Hernández, Y; Alvarado, C; Sabido, W. 2009. Ajuste de funciones volumétricas sólidas aserrables para *Swietenia macrophylla* en tres áreas bajo manejo en Belice. *Revista Tatascan* 21(2): 18-32.
- ICF (Instituto de Conservación Forestal). 2008. Anuario estadístico Forestal. Comayagüela, Honduras, ICF. 145 p. v. 23.

- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2009. Informe anual cosecha 2008-2009. Tegucigalpa, Honduras, IHCAFE. 98 p.
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Consultado 20 de oct. 2010. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2005. Anuario Estadístico de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. 146 p.
- Inoue, S; Shiota, T; Mitsuda, Y; Ishii, H; Gyokusen, K. 2008. Effects of individual size, local competition and canopy closure on the stem volume growth in a monoclonal Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*; D. Don) plantation. *Ecological Research* 23(6):953-964.
- Johnsen, K; Samuelson, L; Teskey, R; McNulty, S; Fox, T. 2001. Process models as tools in forestry research and management. *Forest Science* 47(1):2-8.
- Kawahara, T., Kanazawa, Y. and S. Sakurai. 1981. Biomass and net production of man-made forests in the Philippines. *Journal of the Japanese Forestry Society*. 63(9): 320–327.
- López Sánchez, E; Musálem, MA. 2007. Sistemas Agroforestales con cedro rojo, cedro nogal y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en Tuxtla, Veracruz, México. *Revista Chapingo serie Ciencias forestales y del ambiente* 13(1): 59-66.
- Mantoso Campanha, M; Silva, RH; Freitas, GB; Prieto, HE; Rivero, SL; Finger, FL. 2004. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 63: 75-82
- Mayhew, JE; Newton, AC. 1998. The silviculture of mahogany (*Swietenia macrophylla*): Chapter nine: Growth and Yield CAB International, Wallingford. pp. 97-121.
- Menalled, FD; Kelty, MJ. 2001. Crown structure and biomass allocation strategies of three juvenile tropical tree species. *Plant Ecology* 152(1):1-11.

- Monserud, R.A., Sterba, H., 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *For. Ecol. Manage.* 80, 57–80.
- Mendizábal-Hernández, LC; Alba-Landa, J; Suarez-Donantes, T. 2009. Captura de Carbono por *Cedrela odorata* L. en una plantación de origen genético conocido. *Forestal veracruzana*. México 11 (1): 13-18.
- Muñoz, F; Espinosa, M; Herrera, MA; Cancino, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. *Bosque* 26(1):93-99.
- Navarrete, E; Cárcamo, J; Novoa, P. 2008. Modelos de crecimiento diametral para *Austrocedrus chilensis* en la Cordillera de Nahuelbuta, Chile: Una interpretación biológica. *Cien. Inv. Agr.* 33(3): 311-320.
- Navarro, C; Hernández, G. 2001. Como introducir cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) dentro de cafetales: consejos prácticos para promover sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. 8 (30): 52-54.
- Navarro, C; Montagnini, F; Hernandez, G. 2004. Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest Ecology and Management* 192(2-3):217-227.
- Newton, A; Cornelius, J; Mesen, J; Corea, E; Watt, A. 1998. Variation in attack by the mahogany shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae), in relation to host growth and phenology. *Bulletin of entomological research* 88(3):319-326
- Newton, A; Baker, P; Ramnarine, S; Mesen, J; Leakey, R. 1993. The mahogany shoot borer: prospects for control. *Forest Ecology and Management* 57(1-4):301-328.
- Oelbermann, M; Paul Voroney, R; Gordon, A. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, ecosystems & environment* 104(3):359-377.
- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132(2-3):259-279.

- Peper, PJ; McPherson, EG; Mori, SM. 2001. Equations for predicting diameter, height, crown width, and leaf area of San Joaquin Valley street trees. *Journal of Arboriculture* 27(6):306-317.
- Perez, J; Eigenbrode, S; Hilje, L; Tripepi, R; Aguilar, M; Mesén, F. 2010. Leaves from grafted Meliaceae species affect survival and performance of *Hypsipyla grandella*; (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *Journal of Pest Science* 83(2):95-104.
- Pienaar, L; Turnbull, K. 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Science* 19(1):2-22.
- Pinkard, EA; Beadle, CL. 1998. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *New Forests* 15(2):107-126
- Ponce, E. 2010. Manejo de plantaciones de cedro y caoba. Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) y Programa de desarrollo integral sostenible. Tegucigalpa, M.D.C. 64 p.
- PROECEN (Proyecto de Estudio de Comportamiento de especies Nativas del Trópico Húmedo en Honduras)/ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales), 2003. Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de Honduras. Siguatepeque, Honduras, PROECEN-ESNACIFOR. 20 p.
- Reyes, J; López-Upton, J. 2003. Crecimiento de Cedro Rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Arn.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del Soconusco, Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2):137-142.
- Rodríguez Santiago, B; Colegio de Postgraduados, MPF. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en plantaciones forestales.
- Rosero, P. 1976. Zonificación y silvicultura de Meliaceas. En: Whitmore, JL, ed. *Studies on the shootborer Hypsipyla grandella* Zeller. Misc. Revista Turrialba. 3: 21-25.

- Santos, DL; Rakocevic, M; Takaki, M; Ribaski, J. 2006. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(1):171-182.
- Schargel, I; Solórzano, N. 2000. Un sistema agroforestal de caoba y lima persa en Gato Negro, Portuguesa, Venezuela. *Unellez de Ciencia y Tecnología*. 8 (1): 67-84.
- Schoener, TW. 1983. Field experiments on interspecific competition. *American naturalist*. 122:240-285.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). 2008. Especies de preocupación especial en Honduras: Evaluación de las capacidades y prioridades del país para implementar el plan de acción de la estrategia nacional de biodiversidad ENB II. Tegucigalpa, Honduras. 78p.
- Snook, LK; Negreros-Castillo, P. 2004. Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on clearings in Mexico's Maya forest: the effects of clearing method and cleaning on seedling survival and growth. *Forest Ecology and Management* 189(1-3):143-160.
- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51:111-118.
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. *Agroforestry Systems* 10(3):253-263.
- Sosa López, MH; Ordoñez, MA. 2002. Uso y manejo de sombra en los cafetales. Tegucigalpa, Honduras, IHCAFE. 9 p.
- Soto, F; Hilje, L; Mora, GA; Aguilar, ME; Carballo, M. 2007. Systemic activity of plant extracts in *Cedrela odorata* (Meliaceae) seedlings and their biological activity on *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *Agricultural and Forest Entomology* 9(3):221-226.

- Sterck, FJ; Bongers, F. 1998. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 85(2):266-26.
- Stoll, P; Weiner, J; Schmid, B. 1994. Growth variation in a naturally established population of *Pinus sylvestris*. *Ecology*: 660-670.
- Suatunce, P; Díaz, G; García, L. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea Arabica* L.) y en monocultivo en el litoral Ecuatoriano. *Ciencia y tecnología* 2(2): 29-34.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36): 50-54
- Terborgh, J; Flores, N. 1997. Estimating the ages of successional stands of tropical trees from growth increments. *Journal of Tropical Ecology* 13(06):833-856.
- Tappeiner, JC; Huffman, D; Marshall, D; Spies, T; Bailey, JD. 1997. Density, ages and growth rates in old growth and young growth forest in Coastal, Oregon. *Journal Forest Research* 27: 638-648.
- Vallejo, A; Viquez, E; Montero, M; Kanninen, M. 2004. Sistema de manejo forestal (SILVIA). Versión 2. Semana científica. Serie técnica y reuniones (CATIE) No. 9. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 20 p.
- Vanclay, JK. 1995. Growth models for tropical forest: a synthesis of models and methods. *For. Sci.* 41(1):7-42.
- Viera, CJ; Kopsell, E; Beer, J; Lok, R; Calvo, G. 1999. Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 21-23
- Villareal, A; Carrero, G; Arends, E; Sánchez, D; Escalante, E. 2006. Evaluación de rendimientos y rentabilidad de los componentes asociados *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Carica papaya* (Lechosa), establecidos en ensayos

- agroforestales en la Finca ULA, Estación Experimental Caparo, Edo. Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 39:85-104.
- Webb, MJ; Reddell, P; Hambleton, A; Robson, K. 2000. Growth response of four tropical plantation timber species to increasing phosphorus supply and assessment of phosphorus requirements using foliar analysis. *New Forests* 20(2):193-211.
- Wibawa, G., L. Joshi, M. van Noordwijk, and E. Penot. 2006. Rubber-based Agroforestry systems (RAS) as alternatives for rubber monoculture system. *IRRDB Conf.*
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology* 87: 391-403.
- Wykoff, W.R., 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *For. Sci.* 36 (4), 1077–1104.
- Yamada, M; Gholz, H. 2002. Growth and yield of some indigenous trees in an Amazonian agroforestry system: a rural-history-based analysis. *Agroforestry Systems* 55(1):17-26.
- Zahng, L. 1997. Cross-validation of nonlinear growth functions for modeling tree height-diameter relationships. *Annals of Botany* 79: 251-257
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.* 39 (3):594-616.
- Zepeda, B. & B. Rivero. 1984. Construcción de curvas anamórficas de Índice de Sitio: Ejemplificación del método de Curva Guía. *Rev. Ciencia Forestal.* 51 (9): 1-38.

Capítulo II: Modelaje de la intercepción de luz de los árboles maderables sobre los cafetales de Comayagua y Santa Bárbara

Introducción

La sombra en cafetales se ha implementado en Centroamérica y el mundo con cierto éxito (Staver et ál. 2001), La reducción del estrés ambiental es la principal razón para lograr mantener la sombra en cafetales y esto ha favorecido el desarrollo y mantenimiento de prácticas agroforestales en la producción cafetalera (Muschler 2004; Beer et ál. 1998; DaMatta 2004), adicionalmente es una excelente alternativa en la conservación de la biodiversidad (Wunderle y Latta 1996; Greenberg et ál. 1997; Johnson 2006), la protección de los suelos y la conservación de un microclima agradable (Fournier 1988; Babbar y Zacd 1995; Beer et ál. 1998).

En Honduras el 95% de los cafetales se encuentran bajo sombra (Sosa y Ordoñez 2002; Viera 2004). Generalmente las especies usadas como sombra pertenecen a la familia Fabaceae debido a la capacidad de fijación biológica de nitrógeno, géneros tales como *Albizia*, *Inga*, *Leucaena* de la familia mimosaceae y géneros como *Erythrina* y *Gliricidia* de las Fabaceae son usados comúnmente en sistemas de café, especialmente en Mesoamérica (Lambot y Bouharmont 2004; Muschler 2004, Muschler 1999)

Adicionalmente a los árboles de servicios hay una reciente tendencia de incorporar o manejar regeneración natural de arboles maderables en SAF para mejorar la rentabilidad, especialmente durante los periodos de precios bajos de café. Dentro de los arboles maderables asociados a sistemas agroforestales de café, *Cordia alliodora* es una de las principales especies por la calidad de su madera y por su regeneración natural (Suarez y Somarriba 2002). De la misma forma, *C. alliodora* muestra una tasa de crecimiento que podría aportar económicamente ante la reducción en la producción de café (Beer 1992; Beer et ál. 1998; Hernández et ál. 1997). Sin embargo, otras especies maderables han sido encontradas en cafetales con cierto éxito en el crecimiento y asocio al cultivo tales como *Eucalyptus deglupta* (Schaller et ál. 2003; Harmand et ál. 2007), *Terminalia ivorensis* (Norgrove y Hauser 2000), *Cedrela odorata* (Navarro et ál. 2004; Peeters et ál. 2003), *Alnus acuminata* (Glover y Beer 1986; Beer et ál. 1998).

Existen diversos efectos negativos y positivos producto de las interacciones que existen entre el cafetal y el dosel de sombra. Los efectos negativos son la reducción de la producción (García y Straube 1998; Vaast et ál. 2005; DaMatta et ál. 2008), mayor incidencia de broca y roya (DaMatta y Rena 2002) y daños al cafetal por manejo silviculturales a los árboles de sombra (Beer et ál. 1998). Los efectos positivos son el mejoramiento de la calidad (Mushler 2001; Salazar 2000; Alarcón et ál. 1996), mejoramiento del suelo y por ende menores requerimientos a la fertilización (Carvajal, 1984; Caramori et ál., 2004).

Para mantener un balance entre los efectos positivos y negativos del uso de sombra, Lin (2007) señaló, a partir de observaciones experimentales y de campo en Brasil, que la cobertura de sombra por el dosel no debe exceder el 20-30%, aunque puede alcanzar el 50% en las regiones más secas y cálidas. Por lo tanto, cuando más sub-óptimo es el sitio para la producción de café, mayor será el beneficio de la sombra a la producción de los cafetales (Fournier 1988; Lin 2007; Beer 1987; Mushler 1999).

La cantidad de luz que penetra el dosel de sombra generalmente está ligada a la densidad de árboles en el cafetal y la cobertura de sus copas (Dzib 2003). En Costa Rica se ha recomendado 100 árboles por hectárea de laurel en asocio con café, ya que mantiene los niveles de producción cafetalera y optimiza el incremento volumétrico, manteniendo el poro como especie de servicio (Beer 1992; Alpizar et ál. 1985; Hernández et ál. 1997), así mismo en cafetales de Costa Rica con *Eucalyptus deglupta* se recomiendan distancias de siembra de ocho metros, basado en crecimiento radicular de la especie (Schaller et ál. 2003).

La densidad de árboles y la cantidad de luz que penetra el dosel es de suma importancia para el cultivo en términos de fotosíntesis y demanda de nutrientes y agua (DaMatta 2008). Los modelos de recreación virtual de árboles han demostrado ser efectivos para calcular algunas de las interacciones principales como cantidad de luz que penetra el dosel de sombra (Martínez-Villalta et ál. 2007; Manson et ál. 2006).

Muchos son los estudios que analizan la estructura de los árboles y la sombra que estos proveen al cultivo, así también se ha analizado fuertemente el crecimiento de árboles individuales en bosques y plantaciones puras. Sin embargo estos dos parámetros no se han analizado en conjunto. Por tal razón, es necesario analizar el crecimiento de los árboles en función de la sombra que proveen al cafetal para evitar disminuciones en los ingresos anuales

del café. En el presente estudio se modeló la sombra proyectada al cafetal por los árboles maderables de cedro y caoba, y se analizaron diferentes escenarios de manejo de las mismas.

Objetivos y preguntas de investigación

Objetivo General

Evaluar diferentes escenarios de manejo de árboles maderables de cedro y caoba por medio de un modelo de intercepción de luz del dosel de sombra en los cafetales, en las regiones cafetaleras de Santa Bárbara y Comayagua, como herramienta para el manejo de los árboles en cafetales.

Objetivos específicos

1. Describir el sistema de plantación de los productores cafetaleros que plantan cedro y caoba, así como los porcentajes de sombra actualmente utilizados.
2. Describir la variación en transmisión de luz y geometría de copas de las especies más comunes en SAF.
3. Verificar el modelo SeXI-FS, para predecir la variación espacial de transmisión de luz.
4. Simular la transmisión de luz, crecimiento y rendimiento de cedro y caoba para la zona central de Honduras, bajo diferentes escenarios de densidades en SAF. Optimizando la producción de madera para aserrío, la captura de carbono y los niveles óptimos de luz para el cafetal.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cómo plantan el cedro y la caoba los cafetaleros de Honduras?
2. ¿Cuál es la relación entre el crecimiento y la sombra proyectada al cafetal?
3. ¿Cuál es la relación entre la sombra medida en campo y la modelada con SeXI-Fs?
4. ¿Cuál es el mejor manejo para los árboles maderables que pueda optimizar la producción de madera, captura de carbono y el sombrero para el cafetal?.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en las regiones cafetaleras de Comayagua y Santa Bárbara, que se encuentran ubicadas en la zona centro-occidental de Honduras (Figura 10). Las cuales poseen temperaturas mínimas medias de 16.6 °C y máximas medias de 22.5 °C en las zonas cafetaleras; la precipitación va desde los 1,200 hasta los 2,200 mm (Gámez 2007). La estación seca se da en los meses de febrero a mayo, siendo marzo y abril los meses más secos y la estación lluviosa se da de julio a enero, siendo octubre el mes más lluvioso (SERNA 1997). La zona cafetalera se encuentra en lugares con topografías que van desde planas hasta más del 100% de pendiente.

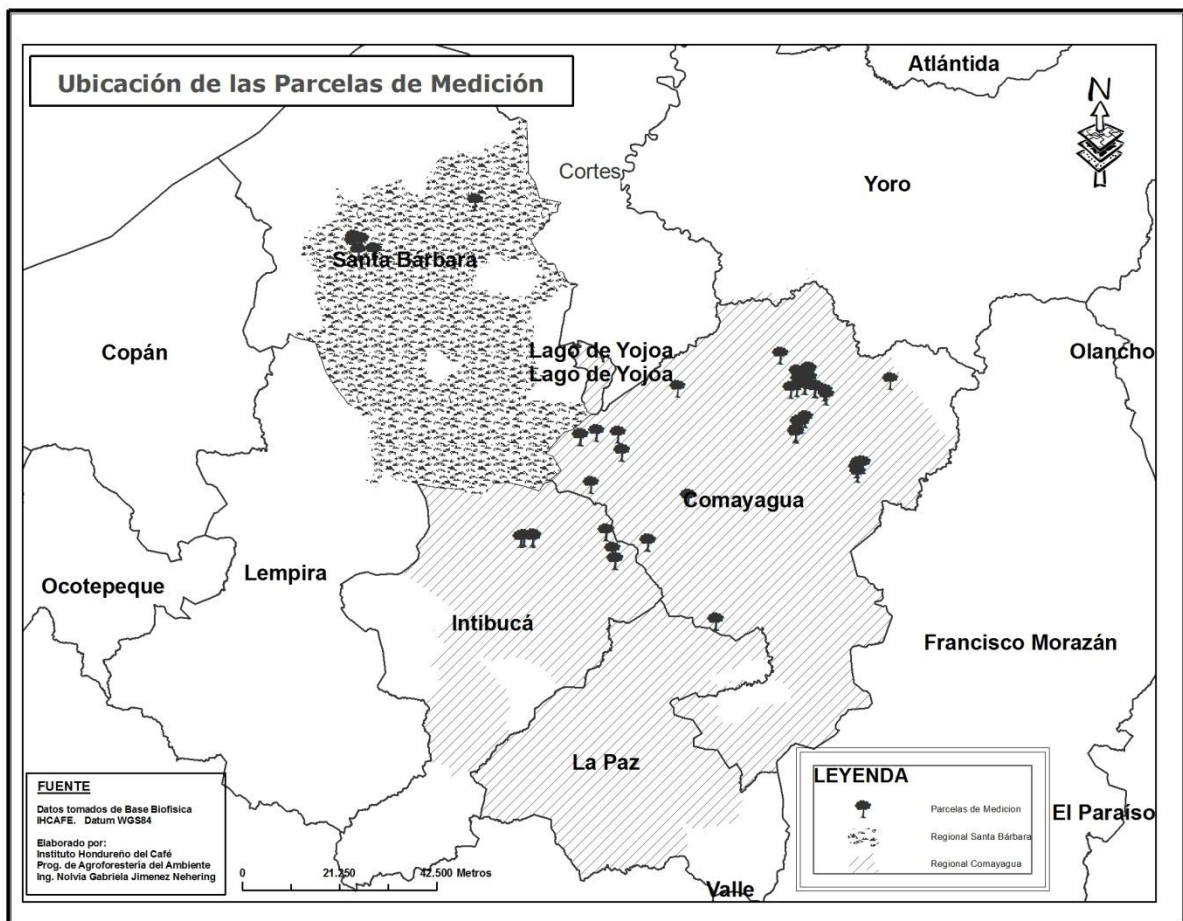


Figura 10. Zona de acción de las regionales cafetaleras de Comayagua y Santa Bárbara en Honduras.

La regional del IHCAFE de Comayagua es la segunda más grande de Honduras después de Copán y abarca los departamentos de La Paz, Comayagua y parte de Intibucá. Las zonas cafetaleras generalmente se encuentran en las partes más altas, desde los 700 hasta los 1,700 metros de altitud. Esta regional aporta el 28.10% de la producción total del país y es la segunda en productividad por hectárea (Cuadro 12).

La regional de Santa Bárbara del IHCAFE es una de las regionales más pequeñas en extensión territorial pero con un fuerte potencial de producción de café, debido a la ocupación del área cultivada en comparación con la extensión territorial. Abarca los departamentos de Santa Bárbara y parte de Lempira. Las zonas cafetaleras generalmente se encuentran desde los 600 hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar. Esta regional aporta el 21.85% de la producción total del país (Cuadro 12). El Programa de Agroforestería del IHCAFE reporta un total de 161 parcelas con plantaciones forestales dentro de cafetales certificados o en proceso de certificación, distribuidas en las siete agencias con las cuenta la regional de Comayagua y 58 parcelas en la regional de Santa Bárbara.

Cuadro 12. Producción y productividad por cada uno de los departamentos de Honduras comprendidos dentro la regional de Comayagua del IHCAFE.

N°	Departamento	Cantidad de Productores	Área Cultivada en Hectáreas	Producción QQ Oro	Productividad QQ Oro/ha	%
2	Comayagua	10,481	64,714.84	689,655.71	21.74	16.43
7	La Paz	7,838	34,649.37	289,496.08	17.04	6.90
8	Intibucá	4,071	6,537.57	61,599.42	60.05	4.78
Total Regional		22,390	105,902	1040,751	33	28.10
4	Santa Bárbara	13,709	75,335.11	482,356.76	13.04	11.49
5	Lempira	2,446	11,747.11	108,756.46	18.05	10.36
Total Regional		16,155	87,082	591,113	16	21.85

Fuente: cosecha 2009-2010

Población y muestra

La selección de las fincas estudiadas se basó en el total de parcelas con cedro y caoba asociadas con café y registradas en las regionales de Comayagua y Santa Bárbara del IHCAFE. Se encontró un total de 60 parcelas en la regional de Comayagua y 19 parcelas en la regional de Santa Bárbara. La selección de la finca tomo en cuenta los siguientes cuatro requisitos: i.) que tanto cedro como caoba estuvieran en asocio con café; ii.) con arreglos de

plantación definidos; iii.) que existiera una densidad de al menos 64 árboles ha⁻¹ maderables, y iv.) parcelas mayores de tres años.

Fase de campo

Se visitó el 100% de las fincas y fueron eliminadas del muestreo las fincas donde se había realizado corte del maderable o la edad y/o los ataques de *Hypsipyla grandella* no permitieran un desarrollo en crecimiento de la plantación (haciendo parecer esta una plantación de café con guama) y no habiendo un efecto de sombra del maderable sobre el cafetal. Finalmente se logró un muestreo de 47 parcelas de los 2 años de edad de la plantación hasta los 32 años, de las cuales 29 parcelas fueron de cedro, 10 de Caoba y 8 parcelas con ambas especies representadas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Número de parcelas muestreadas por edad y especie en las regionales de IHCAFE Comayagua y Santa Bárbara, Honduras.

Edad (Años)	Cedro	Caoba	Mixta
2	0	1	0
3	1	2	0
4	5	3	0
6	5	0	1
8	3	1	2
9	4	0	0
10	2	1	2
12	3	0	1
18	0	1	2
20	2	0	0
25	2	1	0
32	2	0	0
Total	29	10	8

En cada una de las propiedades de productores visitadas se estableció una parcela de medición cuadrada de 625 m² (25m × 25m) en el centro de la finca, la cual difiere de muchos estudios en los cuales establecen parcelas rectangulares de 1000 m² (20 × 50 m) en sistemas agroforestales (Ríos et ál. 2008; Lawrence 1996). La utilización de parcelas de este tamaño se debió al hecho que el establecimiento de parcelas de mayor tamaño se dificulta en fincas de pequeños productores con propiedades de forma irregular. En cada parcela se registraron el

nombre de la especie, su dap (diámetro a la altura del pecho), radio de las copas en cuatro direcciones y una estimación de altura total y comercial para todos los individuos. Para árboles con contrafuertes, el dap se midió inmediatamente arriba de ellos, mientras que para árboles con tallos múltiples se midieron los diámetros de todos ellos. Se geo-referenció cada individuo medido a nivel del fuste por medio de un GPS de precisión (TRIMBLE modelo XH) para obtener las coordenadas XY dentro de la parcela (Figura 11).

Estimación de la cobertura del dosel

La cobertura del dosel de los árboles de sombra fue estimada por medio del densiómetro hemisférico (Model-C) (Lemmon 1956). Las mediciones fueron realizadas por encima de las copas del café y cinco mediciones en la parcela de 25×25 m. Becker and Smith (1990) han recomendado una distancia mínima de 5 m entre mediciones para fotografías hemisférica basado en pruebas espaciales en bosque húmedo tropical en Panamá, por lo que en el presente estudio se siguió estas mismas recomendaciones para estimaciones con el densiómetro, puesto que se basa en similares supuestos. Se realizaron cuatro mediciones partiendo cinco metros de cada esquina de la parcela (25×25 m) en dirección hacia el centro de la parcela, y una medición en el centro de la parcela. En cada punto se realizaron mediciones apuntando hacia los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O), siguiendo las recomendaciones del fabricante (Lemmon 1956) (Figura 11).

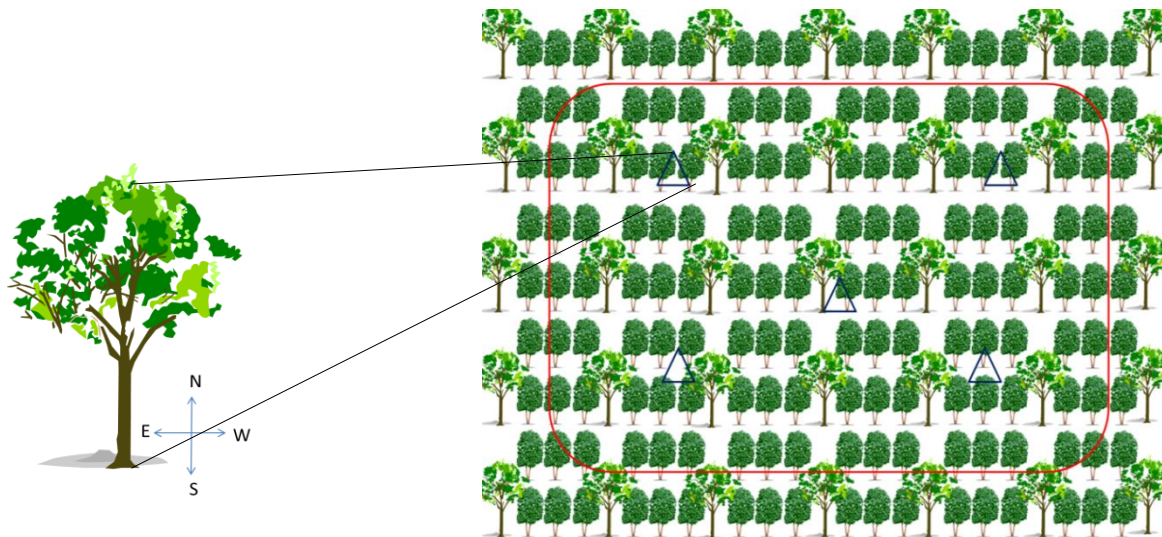


Figura 11. Puntos de medición con densiómetro para cada parcela de cedro y/o caoba del presente estudio.

La porosidad de la copa específica de las especies, definida como la fracción de cielo que puede ser visto en promedio a través de la copa de árboles individuales de una especie, fue evaluada por medio de fotografías digitales. Se tomaron fotografías de las especies comúnmente encontradas en el dosel de sombra; estas se tomaron en los cafetales como en campos abiertos. La fotografía fue tomada a 180 cm de alto, utilizando una cámara digital (marca Samsung), posicionada de tal forma que la corona del árbol podría claramente ser distinguida contra el cielo, sin tener transposición con coronas de árboles vecinos (Figura 12). Tanto como fue posible, las fotos digitales fueron tomadas bajo condiciones de cielo uniforme y de poco brillo solar. Esto correspondió generalmente en horas de la mañana antes de la salida del sol, o después de las 5 pm cuando el sol se había ocultado. Esto se realizó con la finalidad de evitar los destellos de luz en las imágenes y permitir un mejor conteo de píxeles en el análisis de las imágenes.

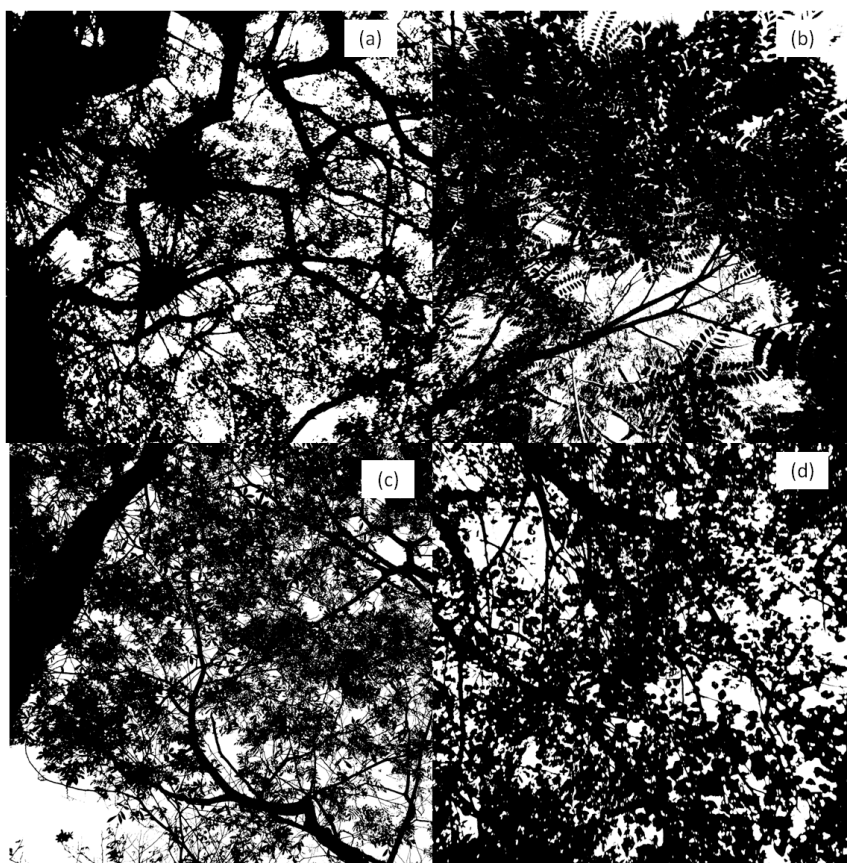


Figura 12. Fotografías de las copas de las especies más comunes en SAF con café. Caoba (*Swietenia macrophylla*) (a), cedro (*Cedrela odorata*) (b), Guama (*Inga* spp.) (c), y pito (*Erythrina berteroana*) (d).

Todas las fotos fueron analizadas por la misma persona con software Gap Light Analyzer (GLA v.2) (Frazer et ál. 2000) usando el procedimiento de Astrup y Larson (2006) que involucra delinear la copa de los árboles, transformar la fotografía a tonos blanco y negro, y calcular la tasa de pixeles blancos con respecto todos los pixeles dentro de la corona delimitada (una fracción de 0 a 1 que corresponde a la porosidad de la copa). Después de verificar las condiciones de normalidad y homogeneidad de varianza, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la porosidad de las copas entre las especies.

Parametrización y prueba del modelo Spatially Explicit based Individually Forest Simulator (SExI FS)

Descripción del modelo

Las simulaciones del modelo se ejecutan a intervalos de tiempo anual, por lo que este tiene sus principales aplicaciones en simulaciones de largo plazo. El modelo comienza con la fase de inicialización, donde los árboles iniciales se registran como objetos individuales. A continuación los atributos de las copas de los árboles (índice de la forma (CF) e índice de posición (CP) de las copas) se actualizan, donde forma de la copa es un índice de integridad de la corona y la posición de la copa es un índice de disponibilidad de luz. Los datos de simulación se registran después de este paso (Figura 14).

El potencial de crecimiento para el dap puede reducirse por medio de la competencia aérea. El modelo incorpora “reductores de crecimiento”, tomando en cuenta parámetros básicos que modifican el incremento del árbol en diámetro (subsecuentemente la altura y diámetro de la copa). Estos reductores son: i) el estrés de luz (posición de la copa); ii) índice de copa (gradiente de luz, que influye en la deformación de las copas). El dap se estima como una función de la edad y sigue la función de Chapman- Richards (Capítulo 1); mientras la arquitectura de las copas (altura total, diámetro y profundidad de las copas) se calculan como una función del dap.

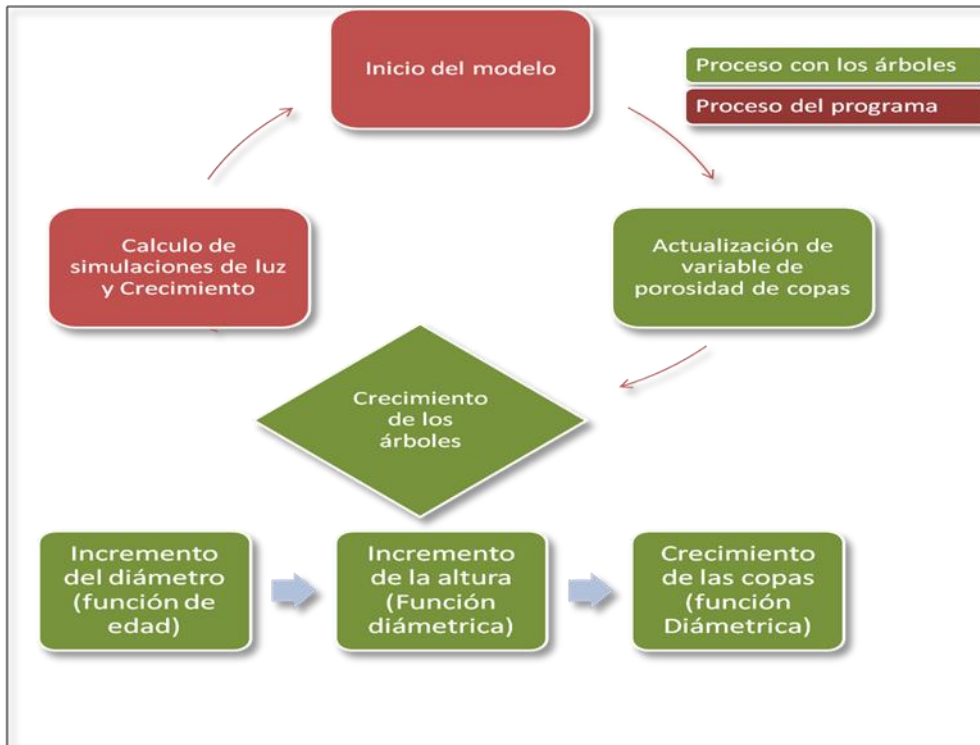


Figura 13. Ciclo de simulación del modelo SExI-FS (Vincent y Harja, 2004).

Utilización del modelo SExI-FS

Los valores de cobertura del dosel medidos en las parcelas inventariadas con el densiómetro (métodos descritos anteriormente) fueron comparados los valores estimados por el modelo SExI-FS. Para generar los valores correspondientes de cobertura del dosel para la prueba, SExI-FS fue inicializado con los parámetros de porosidad de la copa para diferentes especies obtenidas del análisis de fotos digitales descritos anteriormente. Se realizó un mapa de los árboles en cada parcela (46 en total), donde las coordenadas XY en plano cartesiano de cada árbol fueron introducido así como sus características dasonómicas (dap, altura (h)) y de geometría de las copas (diámetro de copas (DC) y PC). Con estos datos fue posible recrear virtualmente todos los árboles de cada una de las parcelas (Cuadro 14), suponiendo que la forma de la copa de los árboles son elipsoides o elipsoides truncados (dependiendo de los datos de cada árbol).

Estas recreaciones de la parcela fueron usadas para poder estimar valores de cobertura del dosel estimado para las coordenadas XY seleccionadas a dos metros de altura, simulando la cobertura aproximada a la que están expuestas las plantas de café. Se calculó una regresión

lineal entre los valores de cobertura del dosel simulada y valores observados (densiómetro) y se utilizó la prueba t para determinar si la pendiente y la intersección difieren significativamente de 1 y 0, respectivamente.

Cuadro 14. Variables requeridos por el modelo SExI-FS, medidas en campo para la utilización del modelo y parametrizadas para el modelaje de escenarios de manejo de árboles de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Variables	Como se obtuvo
Porosidad	Estimación de la porosidad para cedro y caoba, producto de análisis de fotografías.
Altura del árbol	Datos de campo de los árboles dentro de la unidad de muestreo.
Diámetro del árbol	Datos de campo de los árboles dentro de la unidad de muestreo.
Altura del tronco	Altura comercial de los árboles dentro de la unidad de muestreo.
Posición de cada árbol	Con aparato de medición GPS de precisión marca TRIMBLE, cálculo de coordenadas X y Y para cada árbol.

Modelaje de escenarios de crecimiento de los árboles maderables en cafetales

Se modelaron cinco escenarios de manejo de densidades de árboles en cafetales. Para seleccionar estas densidades se revisó la literatura referente a las densidades que usualmente se me plantan los árboles maderables, las que poseen los productores de café en cafetales y algunas recomendaciones técnicas. Se utilizó la densidad de 1,089 árboles ha⁻¹, la densidad 256 árboles ha⁻¹ (Ware y Stahelin 1948), la densidad de 144 árboles ha⁻¹ por ser un intermedio de la recomendación de IHCAFE y recomendada por Schaller et ál. (2003), las densidades recomendadas por IHCAFE de 100 árboles ha⁻¹ (Beer 1992) y 64 árboles ha⁻¹.

Los cinco escenarios fueron simulados utilizando SExI-FS. Se consideró como edad de rotación de los maderables 21 años, considerando tres ciclos de rotación del café de siete años (Sosa y Ordoñez 2002). La simulación de luz fue realizada cada tres años para visualizar el crecimiento del maderable y la luz proyectada al cafetal. Para declarar al modelo los reductores de crecimiento en función de la luz transmitida, se consideró cedro y caoba como heliófitas duraderas o especies intermedias (Finegan 1996; Menalled et ál. 1998; Poorter 2000;

Guariguata 2000) y se declaró al modelo que la tolerancia de cedro y caoba a sombra es de un 60% de apertura del dosel.

Parametrización del modelo

Función de crecimiento

Para describir el dap como función de la edad la función de crecimiento de Chapman-Richards fue usada: $dap = dap_{maximo} * (1 - e^{-kt})^c$; donde dap es el diámetro a la altura del pecho a una determinada edad (m); t es la edad de la plantación (años), el parámetro dap_{maximo} corresponde a el máximo diámetro encontrado para la especie a la madures obtenido de la literatura; mientras k, c son parámetros estimados por regresión no-lineal. Esta función fue realizada a partir de la medición de 4,306 árboles, 3200 de cedro y 1106 de caoba.

Geometría de las copas

Las tres funciones que describen la geometría de las copas (H, DC y PC) como función del dap fueron estimadas para las especies más comunes encontradas en el estudio. La altura total es descrita por la función: $H = \alpha dap^\beta$; donde H es la altura (m), dap en m; mientras α y β son parámetros estimados por regresión no-lineal.

El diámetro de la copa horizontal estimada como la proyección de los márgenes de la copa proyectados sobre la superficie y fue tomado como el promedio de las dos mayores mediciones. Este diámetro es función del dap por la ecuación siguiente: $Diametro\ copa = a + b * dap$ donde el dap y DC están en m; mientras a, b son parámetros estimados por regresión simple.

La profundidad de la copa está definida como la distancia entre la parte superior del árbol y la base de la copa viva; que corresponde el punto donde el follaje comienza a desarrollarse y no incluye ramas secas sin follaje. Esta variable está en función del dap por la ecuación siguiente $PC = \alpha dap^\beta$, donde PC es la profundidad de la copa (m), dap en m; mientras α y β son parámetros estimados por regresión no-lineal.

Las regresiones fueron realizadas para describir la geometría de las copas y se realizaron a partir de 184 árboles de caoba, 916 de cedro, 127 individuos para guama y 25 individuos para Laurel, con las variables descritas en el Cuadro 15. La ecuación de crecimiento fue desarrollada únicamente para cedro y caoba ya que son las únicas especies a las que se le realizó simulaciones de luz y crecimiento simultáneamente.

Cálculo de volumen y biomasa

Se obtienen como salidas de SExI-FS las dimensiones de altura total del árbol, diámetro de copa, profundidad de copa y diámetro a la altura del pecho (todas las unidades en metros). A partir de estas salidas es calculado el volumen total comercial y la biomasa total del árbol, utilizando formulas de volumen para ambas especies en plantaciones puras de Honduras y formula de biomasa para especies del trópico húmedo (Cuadro 15).

Cuadro 15. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de volumen y biomasa total para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Detalle	Modelo	Ecuación	Fuente
Caoba	Polinomio	$V=0.003112+0.00004978(dap^2*h)$	Gutiérrez et ál. 2009
Cedro	Cuadrático	$V = 0.002801+0.00002636(dap^2h)$	PROECEN(2003)
Biomasa		$Bt= 21,30 -6,95*dap+ (0,74dap^2)$	Brown e Inverson, 1992

Bt: Biomasa total arriba del árbol (kg); *dap*: Diámetro a la altura del pecho (cm); *h*: altura (m); *V*=volumen comercial (m³).

Resultados

Descripción de los sistemas agroforestales de café con sombra de cedro y caoba estudiados

Se contabilizaron 697 individuos en el estrato de sombra (dap > 5 cm) en los sistemas de café asociados con maderables, de los cuales 457 individuos pertenecían a las especies cedro y caoba en las 46 parcelas medidas (625m²). El componente arbóreo representó 27 especies en total, de las cuales las especies más abundantes fueron cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), guama (*Inga spp.*), laurel (*Cordia alliodora*), y naranja (*Citrus sp.*), siendo las especies maderables (cedro, caoba, laurel) las especies más representativas seguidas por las especies de servicio (Cuadro 16).

A pesar que estos sistemas albergan un número de especies considerable (27 especies diferentes), se debe mencionar que las cinco especies más abundantes representan el 87% de todos los individuos arbóreos, después de los maderables las especies fijadoras de nitrógeno ocupan el segundo rango de importancia para el productor (*Inga spp.* y *Leucaena sp.*). Mientras las restantes 22 especies representan solamente el 13% de los individuos. Así mismo siete especies están representadas por solamente un individuo. De estas especies al parecer los servicios o productos que son esperados por parte de los productores son la leña, madera, frutas y sombra.

Cuadro 16. Listado de especies arbóreas de sombra en sistemas agroforestales café-maderables en la zona central de Honduras.

Nombre científico	Nombre común	Cedro- Café	Caoba- café	Cedro- caoba-café	Uso
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	276		62	M
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba		89	30	M
<i>Inga oerstediana</i>	Guama blanca	76	33	18	FN, S, L
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel Blanco	25		1	M, S
<i>Citrus sp.</i>	Naranja	3	3	1	F
<i>Gliricidia sepium</i>	Madreado	4	1	2	FN
<i>Spondias mombin</i>	Ciruela Japonesa		1	3	F, S
<i>Quercus frainetto</i>	Encino		3		M, S
<i>Lonchocarpus sp.</i>	Chaperno	1	1	1	L, M

<i>Perymenium strigiloso</i>	Tatascan	2	1	L	
<i>Persea americana</i>	Aguacate	2	1	F, M	
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	2	1	F	
<i>Inga vera</i>	Guajiniquil	1	1	FN, S, L	
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	2		F	
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena		1	1	FN
<i>Solanum sp.</i>	Cuernavaca	2		L, M	
<i>Quercus sp.</i>	Roble	1	1	L	
<i>Annona muricata</i>	Annona		1	F	
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceibo	1		M	
<i>Bursera simaruba</i>	Indio Desnudo		1	L	
<i>Virola koschnyi</i>	Sangre		1	M	
<i>Guarea grandifolia</i>	Cola de Pava	1		M, S	
<i>Cordia megalantha</i>	Laurel Negro	1		M	
<i>Mangifera indica</i>	Mango	1		F	

M = madera; L = leña; FN = fijación nitrógeno; S = sombra; F = frutales

Se agruparon las parcelas en tres grupos por la representatividad de la especie maderable (café-cedro, café-caoba y café-cedro-caoba). La densidad medida en campo se mantuvo entre 64 y 520 árboles ha⁻¹. Entre los sistemas encontrados no se encontró diferencia significativa de las densidades utilizadas por los productores. La especie maderable es la que mayor representatividad posee en el dosel de sombra. Se representa con un 66% en el sistema café-cedro, con un 53% en el sistema caoba-café y 71% en el sistema café-caoba-cedro. En el sistema mixto existe mayor representatividad en el dosel de sombra del cedro que de caoba (Cuadro 17).

Se encontraron áreas basales entre 1.68 y 16 m²ha⁻¹. La diferencia principal entre las áreas basales está explicada por la edad de la plantación del componente maderable y lo mismo ocurre con los volúmenes. Los volúmenes entre cedro y la especie de servicio en el sistema café-cedro fueron diferentes estadísticamente (p=0.05). El mayor aporte volumétrico es del componente maderable, con aproximadamente 15 m³ha⁻¹ promedio más que la especie de servicio. La biomasa aérea no fue estadísticamente diferente entre el árbol maderable y la especie de servicio, encontrándose que el dosel de sombra almacena entre 49 Mgha⁻¹ y 62 Mgha⁻¹ de biomasa aérea total.

Para el sistema café-caoba las diferencias entre especies no son estadísticamente significativas, con excepción del área de la copa que si es mayormente ocupada por la especie

de servicio que por el maderable. Lo mismo ocurre para el sistema café-cedro-caoba, donde solamente la copa es estadísticamente diferente, siendo la especie de servicio la que ocupa la mayor parte del dosel. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre la copa de caoba y la copa de cedro. En el caso del sistema café-cedro fueron estadísticamente diferentes todas las variables con la excepción del área de copa (Cuadro 17). La sombra promedio de las fincas no son estadísticamente diferentes, aunque se aprecia un ligero porcentaje de sombra menor en sistemas con caoba (57.73%) que con cedro (62.77%).

Cuadro 17. Características de plantación (densidad, área basal, volumen, biomasa aérea, área de la copa y cobertura del dosel) en sistemas agroforestales con café y cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), en la zona central de Honduras.

Parámetros Comparados	Café-Cedro			Café-Caoba			Café-Caoba-Cedro			
	Cedro	Otras	Total	Caoba	Otras	Total	Caoba	Cedro	Otras	Total
Densidad (Árbolesha ⁻¹)	157 A	81B	238	139 A	110 A	249	82 A	106 A	62 A	250
Área Basal (m ² ha ⁻¹)	5.63 A	3.24 B	8.86	3.08 A	4.5 A	7.61	1.08 B	3.4 A	4.16 A	8.62
Volumen (m ³ ha ⁻¹)	32.1 A	17.1 B	49.2	16.6 A	23 A	39.9	6.4 B	20 A	26.5 A	53
Área Copa(%)	47% A	53% A	100%	32% B	68%A	100%	15% B	33%B	52%A	100%
Biomasa aérea total (Mgha ⁻¹)	37 A	28.7A	65.7	21.2A	28 A	49.8	6.72A	22.4A	27.66A	56 A
Luz Transmitida			62.77%			57.73%				59.3%

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Relaciones de la luz medida con densiómetro hemisférico y las variables del sistema

Los productores de café en la región centro de Honduras mantienen promedios de apertura del dosel muy amplios desde 10 a 97% de apertura del dosel. En promedio las parcelas concentran entre 40 y 60% de sombra en los cafetales. Los parámetros medidos por cada una de las parcelas que podrían afectar la cantidad de luz que es transmitida por el sistema fueron: área basal, área de la copa, volumen y densidad. Generalmente se considera que entre mayores son las copas menores son las cantidades de luz que penetra el dosel, esta relación se espera similar con la cantidad de individuos por hectárea (densidad).

La relación que se presenta entre estas variables es lineal y la cobertura del dosel por los árboles puede ser mayor al 80% para valores de área basal mayor a $25\text{m}^2\text{ ha}^{-1}$, volumen de $110\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ y una biomasa de 105 Mg ha^{-1} . Adicionalmente, se muestra que el área de la copa de los árboles ($\text{m}^2\text{ ha}^{-1}$) muestra una mejor relación lineal con la cobertura del dosel (%) comparado con las otras variables ($r^2=0.47\text{ p}=0.001$). Esto muestra que la incorporación o mantenimiento de árboles en sistemas agroforestales puede aumentar el volumen de madera (Figura 14), la biomasa aérea y servicios tales como almacenamiento de carbono, pero tiene por otro lado la consecuencia de una reducción de la luz disponible a los otros componentes en este caso café, pero al componente de las musáceas que a menudo son incorporados a sistemas agroforestales con café.

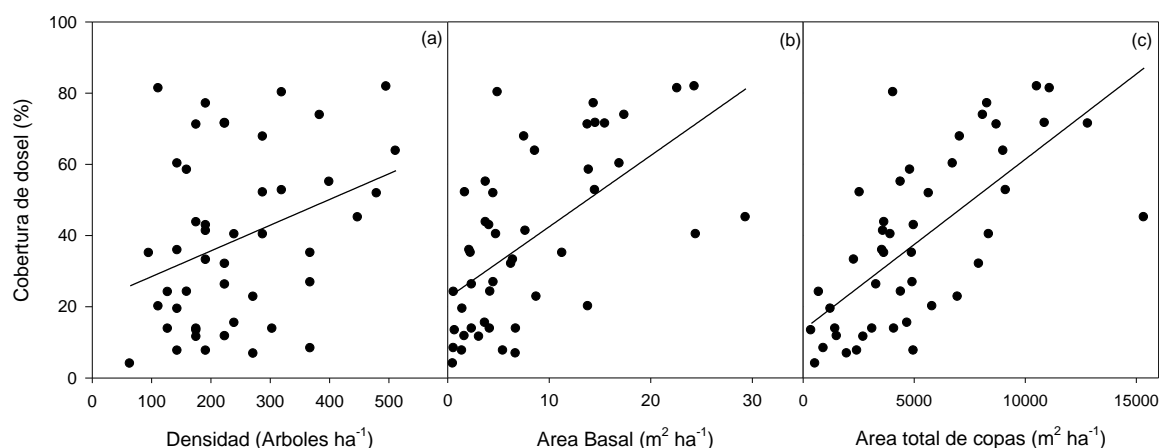


Figura 14. Relación de la densidad (a), el área basal (b) y el área de la copa (c) con el porcentaje de ocupación del dosel medido con densiómetro hemisférico, en la zona central de Honduras, 2011. (a $CD=21.26+0.07D$ $R^2=0.09$, $p=0.0234$; b $CD=22.44+2AB$ $R^2=0.37$, $p=0.001$; c $CD=13.50+0.00048AC$ $R^2=0.47$, $p=0.001$).

Evaluación de la estimación de la cobertura del dosel por el modelo SExI-FS

Las representaciones en 3D de los árboles en las 46 parcelas fueron generados a partir de los datos observados (dap, h, PC, DC) y algunos parámetros estimados (Porosidad de las copas, explicado abajo), utilizando el modelo SExI-FS (Manson et ál. 2006). En cada una de las parcelas todos los individuos fueron representados correspondientes a la variabilidad observada en el campo (Figura15). El presente modelo estima información espacial de la cobertura del dosel (así como la intercepción de la luz) dentro de plantaciones complejas. La

recreación de maquetas virtuales permitió observar la posición de cada uno de los árboles y obtener un promedio de la luz que penetra el dosel.

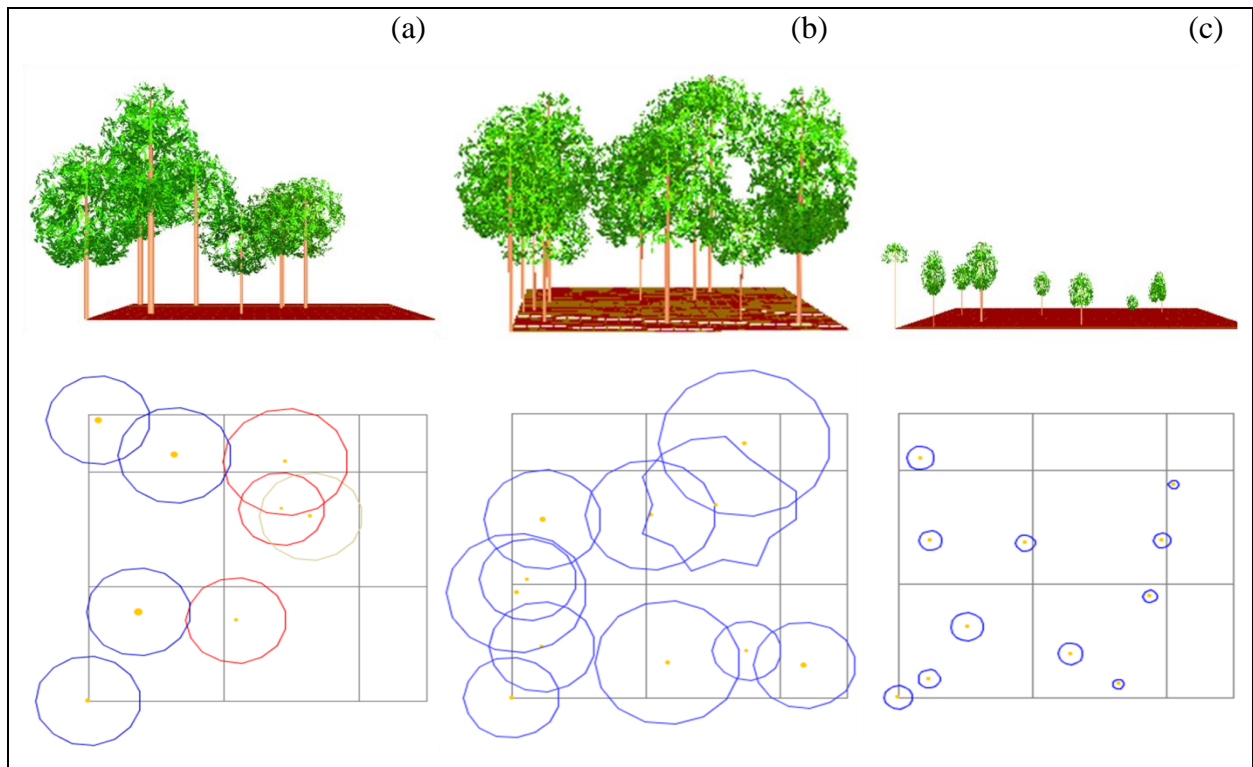


Figura 15. Visualización tridimensional del estrato arbóreo en sistemas agroforestales con maderables de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en la región de Comayagua, Honduras. a) plantación con las especies caoba, guama y encino a los 12 años de edad (128 árboles ha⁻¹), b) plantación con las especies Caoba a los 18 años de edad (176 árboles ha⁻¹); c) plantación con caoba a los 3 años de edad (176 árboles ha⁻¹).

Porosidad de las copas

La porosidad de las copas (Cuadro 18) fue diferente entre las especies más comunes (ANOVA: $P < 0.001$, $n = 17$) con los valores medios mayores para cedro, siendo esta especie la que más apertura del dosel presentó y los menores valores para pito que fue la especie que menos apertura de la copa posee (Cuadro 18). Sin embargo, parece que la porosidad de las copas no varía entre caoba y guama, a pesar de presentar una arquitectura diferente de las copas diferente. Estos datos de porosidad de las especies más comunes fueron usados como parámetros en la estimación de la cobertura del dosel en las representaciones en 3D.

Cuadro 18. Parámetros de regresión lineal ajustados al diámetro a la altura del pecho-altura total y diámetro a la altura del pecho-diámetro de copa.

Especie	Media	n	E.E		
Pito	18.34	5	2.85	A	
Caoba	26.69	4	3.19	A	B
Guama	26.79	3	3.68	A	B
Cedro	29.36	5	2.85		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Evaluación del modelo

El modelo de intercepción de la luz SExI-FS, estima valores de cobertura del dosel con un buen ajuste al conjunto de datos medidos en campo (mediciones por el densiómetro hemisférico) (Figura 16). La apertura del dosel estimada por el modelo presenta un alto ajuste con la apertura del dosel observado ($r^2 = 0.76$, $p < 0.047$), aunque el modelo hace una subestimación de la apertura del dosel sobre todo cuando la apertura del dosel es menor a 40% (Figura 16).

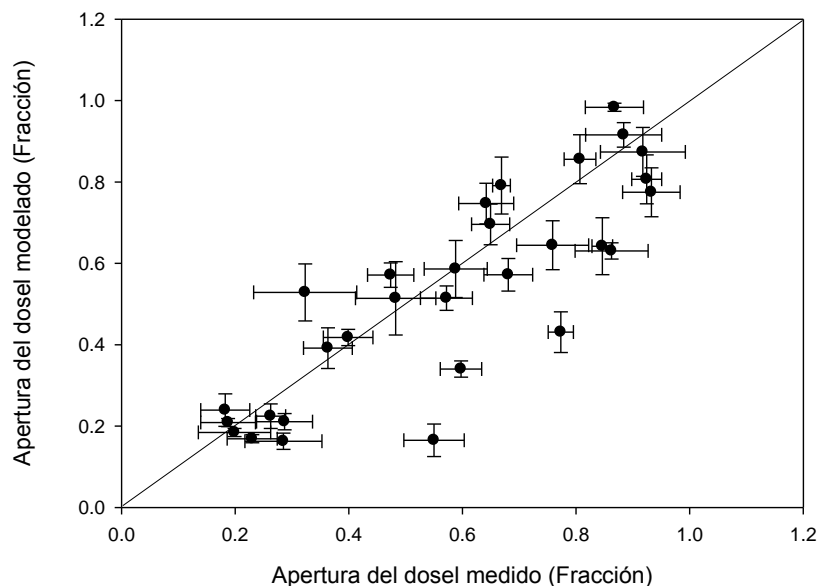


Figura 16. Relación entre los valores de apertura del dosel predichos por el modelo SExI-FS y los valores de apertura del dosel estimados a partir de mediciones con densitómetro hemisférico en 46 parcelas con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en

sistemas agroforestales en la región de Central de Honduras. $AD_{\text{modelo}} = 0.0092 + 0.91AD_{\text{medido}}$, $R^2 = 0.76$, $n = 37$, $p < 0.047$.

La relación entre la apertura del dosel modelada y medida la intercepción no fue claramente diferente de 0 (t-test, $p = 0.877$), mientras el coeficiente de la pendiente fue 0.91 siendo estadísticamente significativo ($p < 0.0001$). En condiciones más altas de apertura del dosel, se observa que algunos puntos se producen por encima de la expectativa 1:1 (Figura 16), sugiriendo que SE_{XI}-FS tiende a sobreestimar los niveles de luz por encima de 80%, mientras tiende a subestimar en algunas ocasiones por debajo de 40% de apertura.

Parametrización del modelo

El poder del modelo SE_{XI}-FS es en gran parte una función de la simplicidad de los parámetros y entrada de datos necesarios para poder realizar predicciones tanto del crecimiento de los árboles como de la variación espacial en la cobertura de dosel en el sotobosque. Teniendo en cuenta que el modelo en general demanda parámetros de crecimiento, de relaciones alométricos entre dap y geometría de la corona (Cuadro 19) y los coeficientes de transmisión de la luz.

Cuadro 19. Funciones alométricos para la estimación de altura total (m), diámetro de copas (m) y profundidad de copas (m) de las especies más comunes en cafetales de la zona central de Honduras.

Especie	Parámetro				MSE	R2
	a	SE	B	SE		
Parámetros de la relación Altura total-DAP ($H = aDAP^b$)						
Caoba	24.63	1.18	0.66	0.03	2.03	0.87
Cedro	28.13	1.05	0.81	0.03	4.11	0.77
Guama	17.32	1.10	0.51	0.04	2.15	0.62
Laurel	39.38	3.80	0.79	0.07	4.09	0.88
Parámetros de la relación Diámetro de la copa-DAP ($DC = a + bDAP$)						
Caoba	0.78	0.13	20.66	0.80	0.99	0.85
Cedro	1.04	0.11	16.00	0.52	1.32	0.74
Guama	2.91	0.37	20.52	1.83	3.44	0.51
Laurel	2.06	0.25	7.85	1.07	0.41	0.71
Parámetros de la relación profundidad de la copa-DAP ($PC = aDAP^b$)						
Caoba	18.71	1.15	0.80	0.04	1.17	0.84
Cedro	18.79	0.84	0.87	0.03	2.27	0.72

Guama	12.40	1.09	0.58	0.05	1.66	0.52
Laurel	27.57	5.71	1.07	0.17	4.09	0.71

Los árboles maderables (cedro, caoba y laurel) muestran un crecimiento de la copa bastante vertical, entre mayor es el diámetro la profundidad de copa es mayor (Figura 17 a, b y d). Sin embargo, la regresión lineal de las copas para la especie de servicio demostró que el diámetro no está verticalmente relacionado a la profundidad de las copas, por lo tanto el manejo de la guama en cafetales va dirigido hacia el crecimiento de la copa en forma horizontal para proporcionarle el servicio de sombra al café.

Por otro lado, los diámetros de las copas son mayores para la especie de servicio que para el maderable. Laurel es la especie cuyo diámetro a la altura del pecho no tiene relación con el diámetro de la copa (Figura 17 h). Así mismo la relación entre el diámetro y la altura es mayor para las especies maderables: entre mayor es el diámetro mayor es la altura. Sin embargo, la especie de servicio tiene un crecimiento en altura no tan relacionado al diámetro. Caoba y guama (Figura 17 j k) son las especies que menores crecimientos en altura muestran en función del diámetro, mientras que laurel y cedro (Figura 17 i l) alcanzan mayores alturas a medida que el diámetro crece.

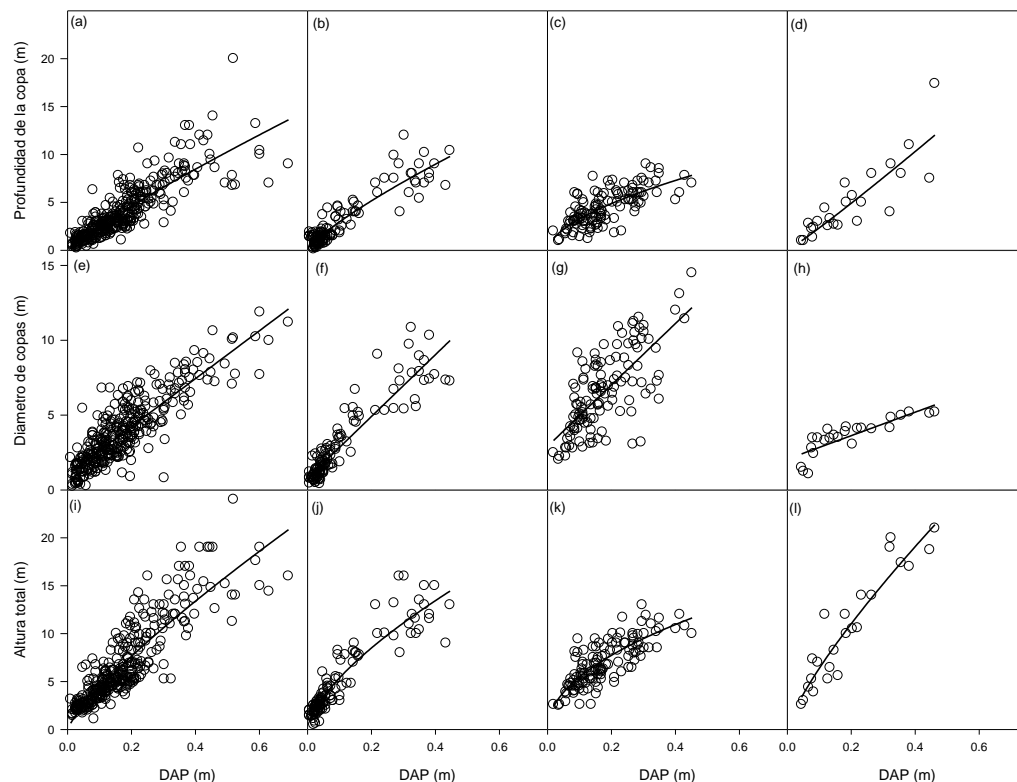


Figura 17. Relación del diámetro con la profundidad de copa, diámetro de copa y altura total para cedro (*Cedrela odorata*) (a, e, i), caoba (*Swietenia macrophylla*) (b, f, j), guama (Inga spp.) (c, g, k) y Laurel (*Cordia alliodora*) (d, h, l) en sistemas agroforestales con café, Honduras.

La ecuación de crecimiento utilizada es el modelo de Chapman y Richard ajustado para cedro y caoba en los cafetales de Honduras (Ver capítulo anterior). Esta ecuación define un diámetro máximo y dos coeficientes de regresión exponencial. El ajuste de crecimiento en función de una curva guía ha permitido un mejor ajuste del modelo para explicar el crecimiento del diámetro en función de la edad. Este modelo define un diámetro máximo para cedro de 0.95 m y 0.50 m para caoba, mostrando que los mejores resultados de crecimiento son para cedro (Figura 18).

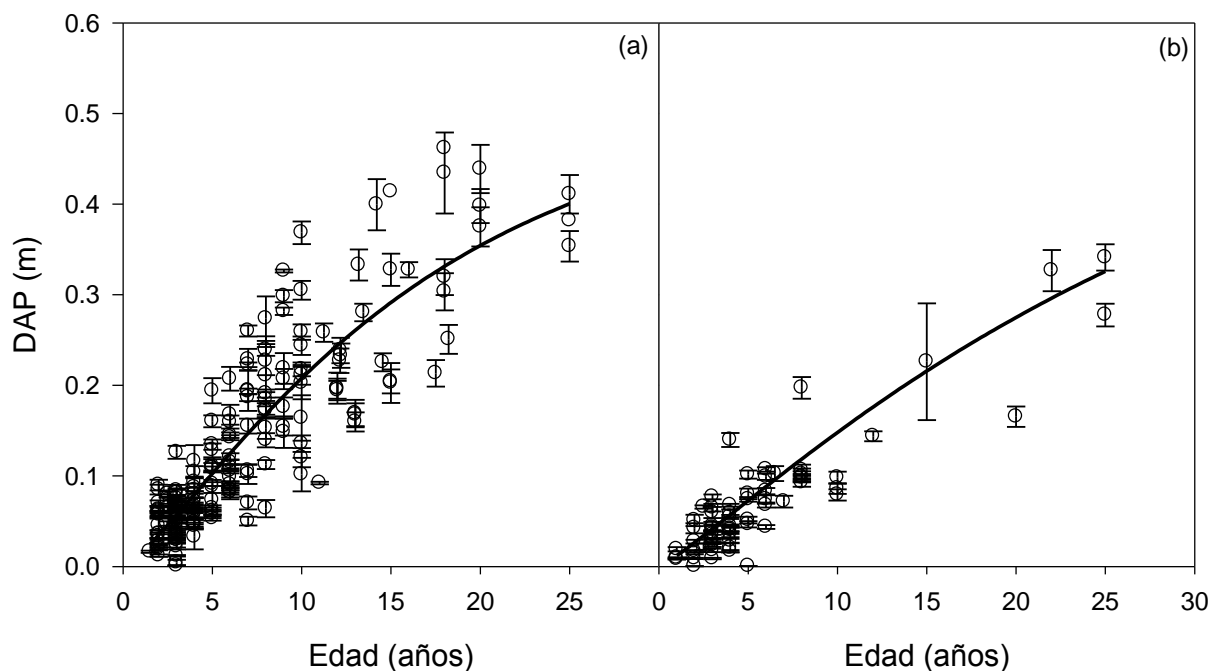


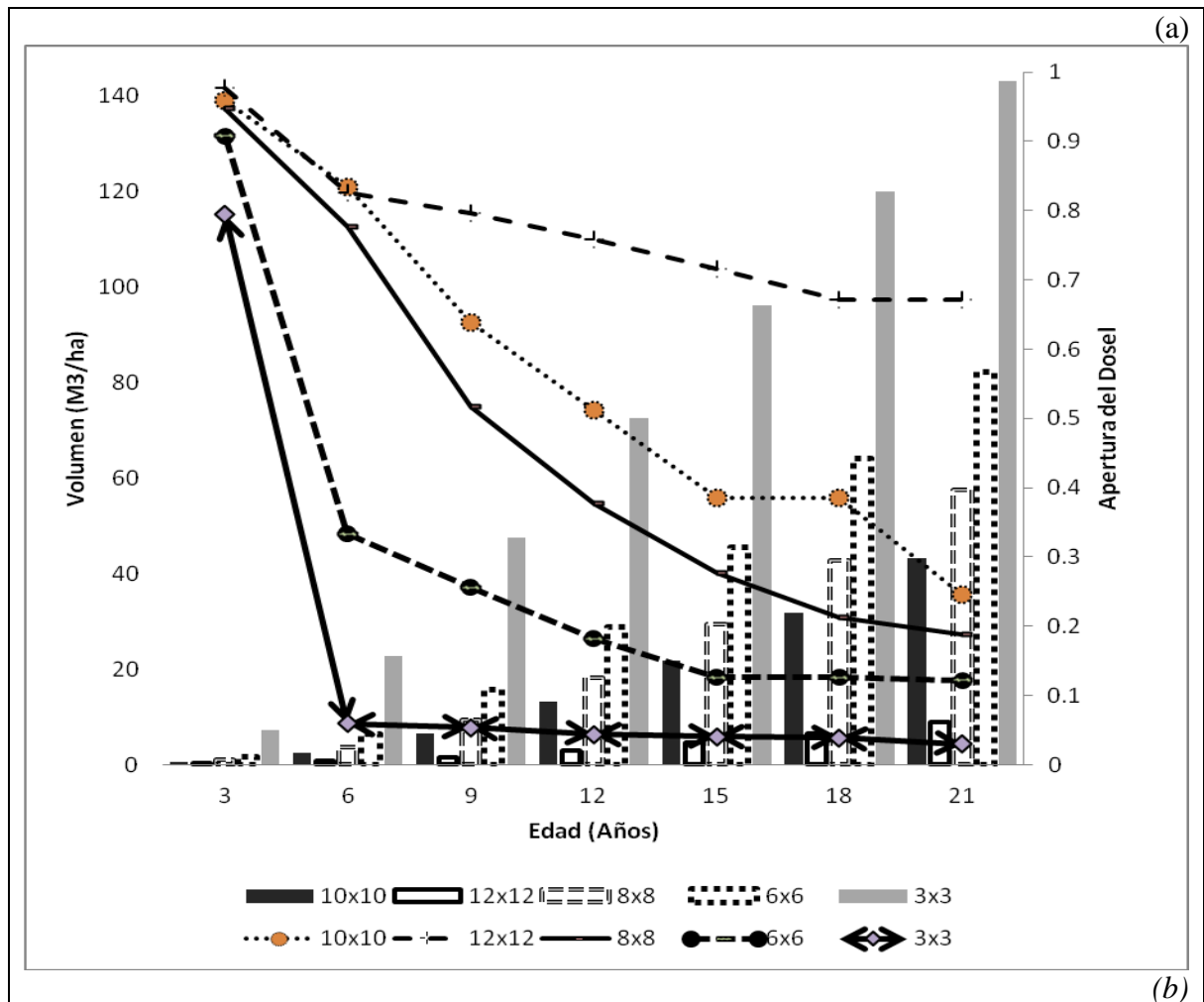
Figura 18. Ajuste de modelo de crecimiento de Chapman y Richard entre el diámetro (m) con la edad para cedro (*Cedrela odorata*) (a) y caoba (*Swietenia macrophylla*) (b) en sistemas agroforestales con café, Honduras.

Escenarios de manejo de árboles en cafetales

Utilizando el modelo SeXI-FS se realizaron escenarios de crecimiento y rendimiento para cedro y caoba, analizando a su vez la cantidad de apertura del dosel de sombra. Se recreó

virtualmente plantaciones de cedro y caoba a 3×3 m, 6×6 m, 8×8 m, 10×10 m y 12×12 m. Se estudió la luz transmitida por estas plantaciones a 2 m de altura, a fin de visualizar los años en que la plantación podría comenzar a reducir la productividad del café por los altos niveles de sombra (Figura 19).

Los resultados reflejan que los arreglos de plantación 3×3 m y 6×6 m son muy poco viables para los productores de café, pues tendrían que realizar manejo muy temprano de la plantación. Aproximadamente a los seis años de edad los maderables plantados a 10×10 m para cedro (Figura 19a) y 8×8 m para caoba (Figura 19b), estarían alcanzando niveles de apertura del dosel de 15%, lo que podría ser perjudicial para otras especies del sistema como la *Musa spp.* Para cafetales las plantaciones de 12×12 m son las más favorables, debido a que a los 20 años de edad quizá aun no alcancen los porcentajes de sombra que afecten al cafetal y hasta los 12 años alcanzan los porcentajes de sombra que afecta a la *Musa spp.*



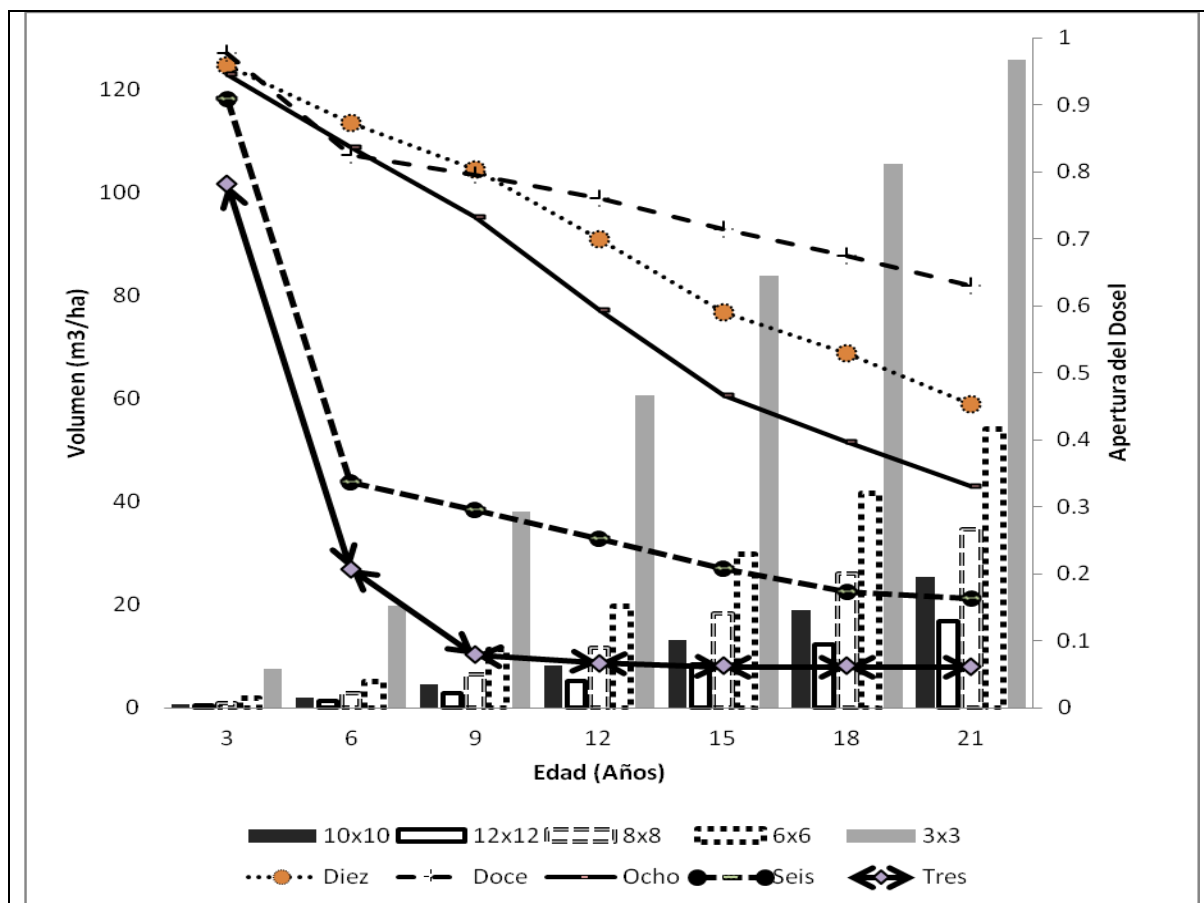


Figura 19. Producción de madera en $m^3 ha^{-1}$ (b) con los porcentajes luz transmitida por el dosel de sombra a 20 años de edad (3×3 m, 6×6 m, 8×8 m; 10×10 m y 12×12 m), cedro (a) (*Cedrela odorata*) y caoba (b) (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

El distanciamiento de siembra de 6×6 m permite alcanzar la mayor productividad maderable ($32 m^3 ha^{-1}$) con un porcentaje de sombreado al cafetal (Figura 20a). Los niveles de carbono retenidos por el sistema se mantienen similares y conforme a la densidad del sistema al final del periodo de rotación más que al manejo inicial de la plantación (Figura 20b). Así mismo se puede observar que la menor productividad es el distanciamiento de siembra de 12×12 m. Sin embargo, esta densidad de manejo permite realizar menores intervenciones a la plantación maderable, con resultados similares en producción de madera a un distanciamiento 10×10 m. Esto es debido a que la densidad de árboles en función de la sombra a los 21 años de edad es de $64 \text{ árboles } ha^{-1}$. Las diferencias de potencial volumétrico es debido a la madera obtenida de los raleos en cada uno de los escenarios de manejo.

Para caoba los distanciamientos de siembra de 10×10 y 12×12 m no necesitan ningún manejo, debido a que las curvas de crecimiento para caoba reflejan un óptimo de 100 árboles ha⁻¹ a los 21 años de edad de la plantación. Estos distanciamientos de siembra probablemente requieran de un mayor tiempo de rotación del cultivo maderable. El potencial productivo en función de la sombra es de hasta 25 m³ha⁻¹ a los 21 años de edad, obteniéndose los mejores resultados a 6×6 m. El potencial para almacenar carbono se mantiene en 11 Mgha⁻¹ para los diferentes escenarios.

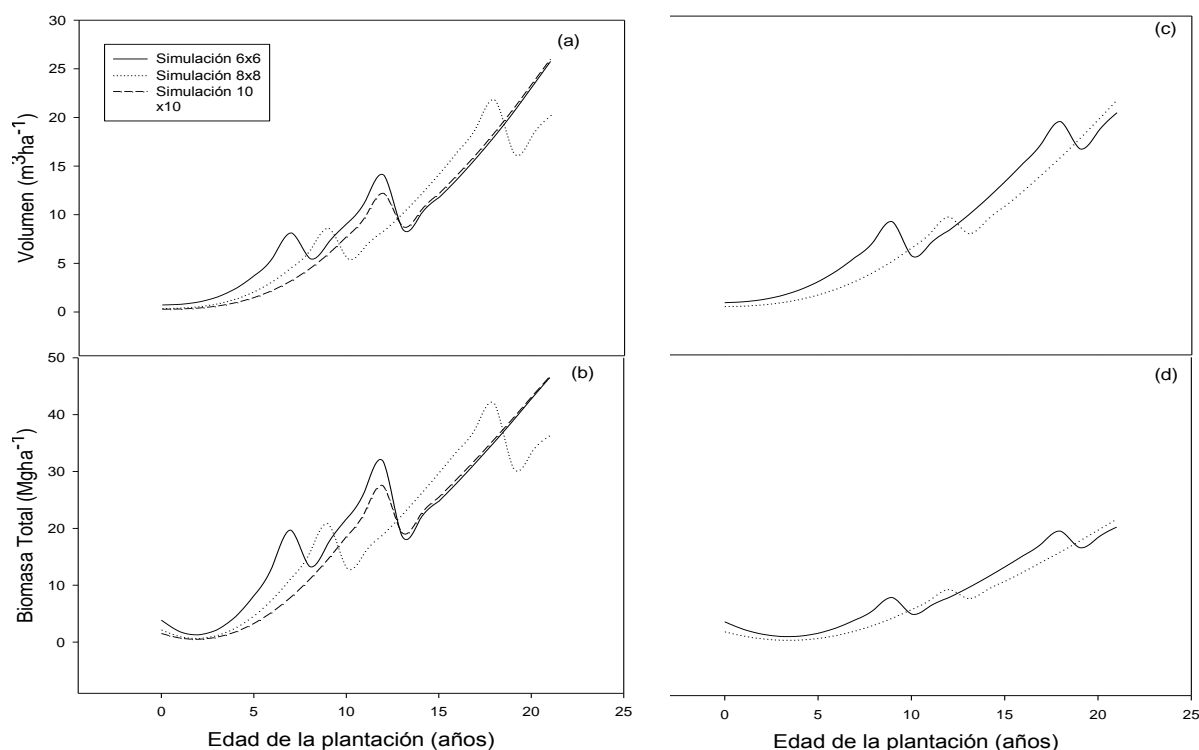


Figura 20. Producción de madera en m³ha⁻¹ y biomasa total a los 21 años de edad (6×6m, 8×8m y 10×10m), de cedro (a) (*Cedrela odorata*) y caoba (b) (*Swietenia macrophylla*) en cafetales de Honduras.

Discusión

Sistemas de plantación y niveles de sombra de los productores cafetaleros que plantan cedro y caoba en la zona centro de Honduras (Regiones cafetaleras de Santa Bárbara y Comayagua).

La densidad promedio del dosel de sombra en cafetales de Honduras es de 250 árboles ha^{-1} . Navarro y Hernández (2001), recomiendan la incorporación de 100 a 600 árboles ha^{-1} de cedro y caoba en cafetales para diversificarlos con diferentes intensidades de manejo. Somarriba (1990) encontró densidades de 120 a 290 árboles ha^{-1} en cafetales manejados con regeneración natural de laurel en Costa Rica. En Honduras el mayor número de árboles ha^{-1} encontrado fue de 520, considerando que en cafetales de Honduras no se maneja la especie de servicio como en Costa Rica. Estas son densidades sumamente altas que podrían estar afectando la producción de café. La densidad a través de la reducción de la luz disponible para el café es uno de los parámetros que afecta la producción de café (Bellow y Nair 2003; Van Oijen et ál. 2010).

En Honduras los productores que poseen árboles en el cafetal comúnmente buscan optimizar el sistema y mantener los niveles de sombra apropiados para el cafetal. Estudios sobre tipología y sombra para el café reflejan la necesidad del productor por mantener niveles apropiados de sombra (DaMatta 2004; Somarriba 2004). En El Salvador los productores manejan un 14% de los árboles de sombra ocupado por especies con valor maderable (Escalante y Somarriba 2001). Igualmente en Nicaragua los productores que manejan árboles maderables en el cafetal mantienen niveles de sombra menores en comparación a los productores que solo poseen árboles de servicio (López, et ál. 2003).

El IHCAFE recomienda densidades de 100 árboles ha^{-1} . Sin embargo, se encontró en la zona centro que los productores que plantan cedro y caoba un 73% mantienen densidades superiores a las recomendadas por IHCAFE. Así mismo procuran no afectar la producción cafetalera, poseen mayores porcentajes de especies de alto valor comercial, esperando una retribución económica a largo plazo. Las especies maderables encontradas en campo son: cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), laurel blanco (*Cordia alliodora*) y laurel negro (*Cordia megalantha*), marapolán (*Guarea grandifolia*) y sangre (*Virola sp.*). Encontrándose que la especie de servicio no es plantada en densidades altas, precisamente para darle apertura al maderable y la producción cafetalera. Igualmente estos sistemas de plantación con maderables no poseen alta diversidad de especies en el dosel de sombra.

Los sistemas de plantación de los árboles maderables son muy variantes desde los 3 m entre plantas de cedro y/o caoba, hasta colocarlos de forma dispersa en el cafetal. Un estudio

en Costa Rica demostró que 100 árboles ha⁻¹ (10×10 m) de laurel es la densidad adecuada para optimizar la producción de madera de laurel sin afectar negativamente la producción de café, en un sistema laurel (*C. alliodora*), poró (*E. poepigiana*), café (Alpizar et ál. 1985; Beer 1992). Sin embargo, para sistemas de producción únicamente madereros y cafetaleros se obtienen buenos resultados en la incorporación de *Eucaliptus deglupta* en cafetales de Costa Rica a distanciamientos de 8×8 m (Schaller et ál. 2003). Así mismo Navarro et ál. (2004), encontraron que cedro en los cafetales en la zona centro de Honduras, principalmente La Paz y Meambar, son plantados a distanciamientos de siembra de 6×6 y 6×7 m (278 y 238 árboles ha⁻¹, respectivamente), siendo estas densidades de plantación superiores a las encontradas en campo en el presente estudio.

Modelos alométricos de crecimiento de cedro y caoba y viabilidad del uso de SeXI-FS para modelar la apertura del dosel de sombra en cafetales

Chapman y Richard es un modelo de crecimiento bastante utilizado para simular el crecimiento del diámetro de árboles individuales en función de la edad (Lei y Zhang 2004; Colin Prentice y Helmisaari, 1991; Temesgen et ál. 2008). Para cedro el ajuste del modelo Chapman y Richards explica el 68% de la variabilidad y el 57% para caoba en cafetales de Honduras. El modelo de crecimiento SeXI-FS utiliza este ajuste de esta ecuación de crecimiento para predecir el crecimiento en diámetro de los árboles maderables. Partiendo del diámetro se determina el crecimiento en altura del árbol, las copas y la profundidad de copas.

El modelo resultó ser un fuerte predictor de la cantidad de luz que penetra el dosel de sombra, al ser la luz modelada por SeXI-FS la que tuvo una relación de 76% con la luz medida en campo con densiómetro hemisférico, por consiguiente el predictor más acertado de la cantidad de luz que penetra el dosel a dos metros de altura (altura aproximada de medición). El modelo genera las deformaciones de la copa en situaciones de alta densidad o interacción con el resto del dosel de sombra. En sistemas de monocultivos o sistemas mixtos de plantación de árboles, el modelo predice con éxito las interacciones que existen entre cada una de las especies que conforman el dosel (Manson et ál. 2006).

Escenarios de manejo de árboles maderables en cafetales de Honduras: con énfasis en cedro (*C. odorata*) y caoba (*S. macrophylla*)

En los sistemas café con sombra de maderables el volumen encontrado en el dosel de sombra fue en promedio de 39 hasta 53 m³ha⁻¹, los sistemas diversificados con ambas especies fueron los que mayores promedio de volumen presentaron. Somarriba (1990) encontró volúmenes superiores a los encontrados en el presente estudio con laurel como sombra maderable del café. El área basal se mantuvo en promedios muy similares entre los sistemas con las especies maderables, encontrándose 7.61 m²ha⁻¹ y 8.62 m² ha⁻¹. Suarez et ál. (2004), encontraron 5.8 m²ha⁻¹ de área basal en sistemas agroforestales con café en Matagalpa Nicaragua.

En cafetales de México se encontró 41% de las especies de dosel de sombra con especies maderables con fines comerciales, de las cuales 19 especies son maderables de uso local y una de alto valor comercial como el cedro (Peeters et ál. 2003). En general la cantidad de volumen almacenado por el sistema está representado por el componente maderable con una producción de 29.03 m³/ha (Peeters et ál. 2003). En el caso de cafetales con cedro y caoba en Honduras, la mayor cantidad de volumen promedio ha⁻¹ está representado por el componente maderable y minoritariamente las demás especies del sistema. Caoba representa una producción volumétrica de 11.83 m³ha⁻¹, mientras que cedro alcanza hasta los 29.51 m³ha⁻¹. Estos datos son altamente significativos considerando que el volumen proviene de plantaciones en cafetales y no regeneración natural.

En los cinco escenarios simulados se encontraron respuestas significativas del crecimiento de los árboles en respuesta al cierre de las copas. Para la plantación realizada a 3 m de distanciamiento se comienza afectar la producción cafetalera por exceso de sombra aproximadamente a los 3 años de edad. Este resultado es discutible debido a que el ataque de plagas, como el barrenador de las meliáceas podrían afectar el desarrollo del crecimiento en diámetro y altura, no es hasta los 4 años de edad que realmente el árbol llega a desarrollarse (Grogan et al. 2007; Briceño 1997). La producción de madera resulta ser la mayor debido a la cantidad de árboles por hectárea, sin embargo es dudoso que se logre obtener algún diámetro comercial, pues estos desde los 3 años dejan de crecer significativamente en diámetro y altura, logrando producto quizá para un raleo. Por tal razón a esta densidad independiente del objetivo de la plantación es necesario un raleo a temprana edad.

Los distanciamientos de siembra de 6 m son ideales para aquellos productores que esperan la mayor cantidad de madera del sistema. Sin embargo, un descuido en el manejo de los maderables podría afectar fuertemente la producción del cafetal aproximadamente a los cinco o seis años de edad de la plantación. Un raleo del 50% a los seis años de edad sería el idóneo, aunque esto podría reducir la producción maderable considerablemente. En la realización de raleos con menores intensidades existe la posibilidad que el cafetal se vea afectado por los constantes raleos necesarios para mantener los niveles de apertura del dosel. La implementación de medidas al momento del aprovechamiento serán la clave para disminuir este daño (Somarriba 1992; Ryan et al. 2003).

En el presente estudio se observa que al simular plantaciones de 6×6 m la reducción de la producción no es tan marcada como a los distanciamientos menores, alcanzando casi los mismos niveles que la plantación de 3×3 m, aun cuando esta última tiene el 300% más de individuos. La incorporación de *Musa spp.*, es posible a un distanciamiento de 6 m solamente en las etapas iniciales de crecimiento del árbol maderable y manteniendo niveles de sombra aceptables para el cafetal, para que ninguno de los cultivos se vea afectado por exceso de sombra.

Según los escenarios simulados, las densidades idóneas para la producción de café y madera son de 8, 10 y 12 m de distanciamiento al cuadro. Estas podrían variar según los objetivos de plantación del productor. Si la finalidad es lograr una producción conjunta café-maderable, este se debe plantar a 8 m al cuadro de distanciamiento inicial, pudiendo mantener sombra de *Musa spp.* e *Ingas spp.* hasta los nueve años de edad, donde sería requerido el primer raleo del maderable por competencia de copas.

En cafetales diversificados con laurel y poró de Costa Rica, Beer (1992) demostró que 100 (10×10 m) árboles por hectárea en 20 años de producción, reflejan los mejores resultados para la producción de café y madera simultáneamente y que una reducción en la cantidad de árboles ha^{-1} no aumenta significativamente la producción de café y si disminuye la producción esperada de madera en el cafetal. El modelo SeXI-FS parametrizó crecimientos de diámetro diferentes entre ambos sistemas, sin embargo los niveles de luz a partir de los 15 años de edad no muestran muchas diferencias en los sistemas de plantación a 10 y 12 m.

De acuerdo al presente estudio no existe diferencia significativa entre la luz que transmite cedro y caoba a los cafetales en las diferentes edades y los diferentes escenarios analizados. Sin embargo, si existen diferencias significativas en el crecimiento en diámetro y altura, lo que provoca que en menor tiempo los árboles alcancen la competencia entre copas y disminuciones de luz que en promedio no son estadísticamente diferentes, pero para el manejo del cafetal podrían significar reducciones en la producción.

Bibliografía

- Alarcón MO; Aldazabal, M; Martínez, J. 1996. Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. *Centro Agrícola* 23(3): 11-16.
- Alpizar, L; Fassberder, H; Heuveldop, J; Enríquez, G; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba (IICA). 35(3):233-242.
- Astrup, R; Larson, BC. 2006. Regional variability of species-specific crown openness for aspen and spruce in western boreal Canada. *For. Ecol. Manage.*228: 241-250.
- Babbar, LI ; Zakd DR. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica : leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. *Journal of environmental quality* 24 (2): 227-233.
- Beer , JW. 1992. Production and competitive effects of the shade trees *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in an agroforestry system with *Coffea arabica*. Ph.D. thesis, University of Oxford, Oxford, England.
- Beer, J, Muschler, R, Kass, D, and Somarriba, E. 1998. Shade Management in Coffee and Cacao Plantations. 38: 139-164.
- Beer, J. 1987 Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems*.5:3-13.
- Becker P; Smith AP. 1990. Spatial autocorrelation of solar radiation in a tropical moist forest understory. *Agri. For. Meteorol* 52: 373-379.
- Bellow, J; Nair, P. 2003. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. *Agricultural and forest meteorology* 114(3-4):197-211.

- Briceño Alvarenga, AJ. 1997. Aproximación hacia un manejo integrado del barrenador de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* (zeller). Revista Forestal Venezolana 41(1): 23-28.
- Bristow, M; Vanclay, JK; Brooks, L; Hunt, M. 2006. Growth and species interactions of *Eucalyptus pellita* in a mixed and monoculture plantation in the humid tropics of north Queensland. Forest Ecology and Management 233(2-3):285-294.
- Brown, S. Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. World Resource Review 4(3): 366-383.
- Caramori, P.H., C.A.Kathounian, H. Morais, A.C.Leal, R.G Hugo y A. Androcioli-Filho. 2004. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. En: Matsumoto, S.N. (eds.). Arborização de Cafezais no Brasil. Edições UESB, Vitória da Conquista. pp. 19-42.
- Carvajal, J. 1984. Cafeto-cultivo y fertilización. 2da. Edición. Berna, Suiza. Instituto Internacional de la Potasa.
- Colin Prentice, I; Helmisaari, H. 1991. Silvics of north European trees: compilation, comparisons and implications for forest succession modelling. Forest Ecology and Management 42(1-2):79-93.
- DaMatta, F; Ronchi, P; Maestri, M; Barros, R. 2008. Ecophysiology of coffee growth and production. Plant Physiol, 19(4):485-510.
- DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86: 99–114.
- DaMatta, F.M. y A.B. Rena. 2002. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. En: Zambolim, L. (ed.). O estado da arte de tecnologias na produção de café. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 93-135.
- Dzib, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 114 p.

- Escalante, E; Somarriba, E. 2001. Diseño y manejo de los cafetales del Occidente de El Salvador. *Agroforestería en las Américas* 8 (30): 12-16.
- Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 119-124.
- Fournier LA (1988) El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12(1): 131-14
- Frazer, G.W., Canham, C.D., and Lertzman, K.P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, user's manual and program documentation. Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.
- García F, OF; Straube U, NB. 1998. La sombra en el cafetal. In *Manual de caficultura*. ANACAFE. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 81 p.
- Gámez, R. 2007. Informe proyecto regionalización de zonas de cafetaleras de Honduras. Tegucigalpa M.D.C. 15 p.
- Glover, N; Beer, J. 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4(2):77-87.
- Greenberg, R; Bichier, P. 1997 Sterling Bird Populations in Rustic and Planted Shade Coffee Plantations of Eastern Chiapas, México. *Biotrópica* 29(4): 501-514.
- Grogan, J; Landis, RM; Ashton, MS; Galvão, J. 2005. Growth response by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) advance seedling regeneration to overhead canopy release in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 204(2-3):399-412.
- Guariguata, MR. 2000. Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forest: management implications. *Ecological Applications* 10: 145-154.

- Gutiérrez, M; Harmand, J; Dambrine, E. 2004. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de *Coffea arabica*. *Agroforestería de las Américas* (41-42):69-76.
- Harmand, JM; Avila, H; Dambrine, E; Skiba, U; de Miguel, S; Renderos, RV; Oliver, R; Jiménez, F; Beer, J. 2007. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a *Coffea arabica*—*Eucalyptus deglupta* agroforestry system in Southern Costa Rica. *Biogeochemistry* 85(2):125-139.
- Hernández, G; Beer, J; Von Platen, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* (Costa Rica) 4(13):8-13
- Lambot, C., and Bouharmont (2004). Soil Protection. In "Coffee: growing, processing, sustainable production : A guidebook for growers, processors, traders, and researchers" (J. Wintgens, ed.), Vol. 1, pp. 27-284. Wiley-VCH, Corseaux, Switzerland.
- Lawrence, DC. 1996. Trade-offs between rubber production and maintenance of diversity: the structure of rubber gardens in West Kalimantan, Indonesia. *Agroforestry Systems* 34 (1): 83-100.
- Lei, Y; Zhang, S. 2004. Features and partial derivatives of Bertalanffy-Richards growth model in forestry. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control* 9(1):65-73.
- Lemmon, P. E. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*. 315-321.
- López, A; Orozco, L; Somarriba, E; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38):74-79.
- Manson, DG; Hanan, J; Hunt, M; Bristow, M; Erskine, PD; Lamb, D; Schmidt, S. 2006. Modelling predicts positive and negative interactions between three Australian tropical

- tree species in monoculture and binary mixture. *Forest Ecology and Management* 233(2-3):315-323.
- Martínez-Vilalta, J; Vanderklein, D; Mencuccini, M. 2007. Tree height and age-related decline in growth in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Oecologia* 150(4):529-544.
- Menalled, FD; Kelty, MJ. 2001. Crown structure and biomass allocation strategies of three juvenile tropical tree species. *Plant Ecology* 152 (1): 1-11.
- Mialet-Serra I, Dauzat J, Auclair D. 2001 Using plant architectural models for estimation of radiation transfer in a coconut-based agroforestry system. *Agroforestry Systems* 53:141–149
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a suboptimal Coffee zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* (85): 131-139.
- Muschler, R. 2004. Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. In J, Wintgens. Eds. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. 39 p.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE.137 p. (Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal no.5).
- Navarro, C; Montagnini, F; Hernandez, G. 2004. Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest Ecology and Management* 192(2-3):217-227.
- Navarro, C; Hernández, G. 2001. Cómo introducir cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) dentro de cafetales: consejos prácticos para promover sistemas agroforestales. *Revista Agroforestería de las Americas* 8(30):52-55.
- Norgrove, L; Hauser, S. 2000. Leaf properties, litter fall, and nutrient inputs of *Terminalia ivorensis* at different tree stand densities in a tropical timber-food crop multistrata system. *Canadian Journal of Forest Research* 30(9):1400-1409.

- Peeters, LYK; Soto-Pinto, L; Perales, H; Montoya, G; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment* 95(2-3):481-493.
- Poorter, H; Nagel, O. 2000. The role of forest ecology & management biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 595-607.
- PROECEN (Proyecto de Estudio de Comportamiento de especies Nativas del Trópico Húmedo en Honduras)/ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales), 2003. Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de Honduras. Siguatepeque, Honduras, PROECEN-ESNACIFOR. 20 p.
- Ríos, N.; Andrade, H.; Ibrahim, M. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical* 26(3): 183-186.
- Ryan, D; Bright, GA; Somarriba, E. 2003. Daño al cacao (*Theobroma cacao*) por el aprovechamiento de *Cordia alliodora* en cacaotales indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 10(37-38):42-45.
- Salazar, E; Muschler, R; Sánchez, V; and Jiménez, F. 2000. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 40-42.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). 1997. Perfil Ambiental de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, SERNA. 25 p.
- Schaller, M; Schroth, G; Beer, J; Jiménez, F. 2003. Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 175(1-3):205-215.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F;González, J;Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (*Coffea arabica* L.) Plantations. In G, Schroth;G, da Fonseca; C, Harvey; C, Gascon; H, Vasconcelos; A, Izac. Eds.

- Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. Washington, DC, USA.
- Somarriba, E. 2002. Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales Agroforestería de las Américas 9 (35-36): 86-94.
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. Agroforestry Systems 10(3):253-263.
- Somarriba, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. Agroforestry Systems 18: 69-82.
- Sosa López, MH; Ordoñez, MA. 2002, Uso y manejo de sombra en los cafetales. Tegucigalpa, Honduras, IHCAFE. 9 p.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade grown coffee in Central America. Agroforestry Systems 53 (2): 151-170
- Suatunce, P; Díaz, G; García, L. 1999.Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea Arabica* L.) y en monocultivo en el litoral Ecuatoriano. Ciencia y tecnología 2(2): 29-34.
- Suárez, D; Segura, M; Kanninen, M. 2004. Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. Agroforestería en las Américas (Costa Rica).(2004).(41-42).
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 9(35-36): 50-54.
- Temesgen, HTH; Monleon, VJMV; Hann, DWHD. 2008. Analysis and comparison of nonlinear tree height prediction strategies for Douglas-fir forests. Canadian Journal of Forest Research 38(3):553-565.

- Vaast, P; Bertrand, B; Perriot, J; Guyot, B; Genard, M. 2005. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of Science of Food and Agriculture* 86 (2): 197-204
- Viera, CJ. 2004. Árboles maderables dentro del cafetal. Tegucigalpa, Honduras, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 8 p.
- Vincent, G., Harja, D., 2004. SeXI-FS model documentation. <http://www.worldagroforestry.org>. World Agroforestry Center website.
- Ware, L; Stahelin, R. 1948. Growth of southern pine plantations at various spacings. *Journal of Forestry* 46(4):267-274.
- Wunderle, JF; Latta, SC. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the cordillera central, Dominican Republic. *Ornitologia Neotropical* 7: 19-34.

CONCLUSIONES

El potencial productivo de cedro es de hasta $1.2 \text{ m}^3\text{árbol}^{-1}$ y almacena hasta $0.77 \text{ MgC}/\text{árbol}$. Se pueden alcanzar diámetros máximos para esta especie de 37 cm y 14 m de altura total a los 21 años de edad. El potencial productivo de caoba es $0.23 \text{ m}^3\text{árbol}^{-1}$ y $0.14 \text{ MgC}/\text{árbol}$. Se pueden alcanzar diámetros máximos de 22.12 cm y alturas de 13 m a los 21 años de la plantación de caoba.

Existen diferencias significativas en el crecimiento de cedro y caoba en las cinco regiones cafetaleras, mostrando los mejores resultados de crecimiento en la zona de Occidente, con una media general de 18.13 cm en diámetro para cedro y 17.01 para caoba a los 8 años de edad y los peores resultados las regionales de mayores pisos altitudinales alcanzando en Meambar una media general de 11.25 cm de diámetro para cedro y 10.25 para caoba.

De acuerdo al presente estudio, el modelo de crecimiento de árboles maderables con mejor ajuste a los cafetales de Honduras es el de Chapman y Richard, con un 68% de la variabilidad explicada para cedro y un 57% para caoba.

SEXI-FS. Es una herramienta fácil para estimar crecimiento de árboles individuales y apertura del dosel, explicando en un 76% la variabilidad de apertura del dosel encontrada en cafetales.

Distanciamientos de siembra de $3 \times 3 \text{ m}$ no son recomendados en cafetales, pues el manejo debe empezar a realizarse a partir de los primeros años y en Honduras el 90% de los productores son pequeños productores con muy pocos recursos para invertir en manejo. De acuerdo al presente estudio se encontró que es recomendable plantar cedro a distanciamientos de 10×10 y $12 \times 12 \text{ m}$ y caoba con distanciamientos de 8×8 , 10×10 y $12 \times 12 \text{ m}$, ya que estos distanciamientos proveen la mayor cantidad de potencial volumétrico sin afectar el café por exceso de sombra.

Para caoba es factible alcanzar entre $22\text{-}29.30 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de madera aserrada sin afectar al café por niveles críticos de exceso de sombra a los 21 años de edad. Para cedro es factible alcanzar desde 28 hasta $32 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de madera aserrada, sin afectar el café por niveles críticos de sombra.

RECOMENDACIONES

Ajustar ecuaciones de crecimiento para cada región cafetalera, ya que las diferencias estadísticas entre ellas solo se pudieron verificar con una cantidad pequeña de parcelas y hasta los 8 años para caoba y los 12 años para cedro.

Validar el modelo de crecimiento en función de los reductores de crecimiento de SExI-FS en plantaciones de cedro y caoba con café, ya que solamente se validó el modelo de crecimiento de Chapman y Richard para árboles individuales y el la intercepción de luz por el modelo del ICRAF.

El IHCAFE debería realizar monitoreo periódico del crecimiento de árboles en parcelas certificadas a fin de poder dar recomendaciones más precisas de crecimiento y producción en cada sitio.

Utilizar el modelo de crecimiento de Chapman y Richard y SExI-FS para elaborar un manual de manejo de cedro y caoba en cafetales. Esta herramienta podría ser la base para futuras recomendaciones de implementación de sistemas agroforestales con café en función del objetivo de manejo del productor de café.

IMPACTO DEL ESTUDIO EN EL DESARROLLO Y LA FORMULACION DE POLITICAS

El presente estudio se enfocó en desarrollar una ecuación de crecimiento que permita estimar el crecimiento de especies de alto valor comercial como cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en los cafetales de Honduras. Estas dos especies son de mucha importancia para el país ya que forman parte del capital natural y además del capital cultural de los productores de café al preferirlas como especies para la diversificación de sus fincas.

El análisis realizado se llevó a cabo en las fincas de café donde los productores han realizado plantaciones forestales de estas dos especies en las cinco regiones cafetaleras de Honduras. Se analizó la percepción de los productores con respecto al crecimiento de estas especies y al manejo otorgado por los productores tanto al cafetal como a la plantación maderera.

Impacto en el desarrollo.

La percepción de los productores hacia la siembra de especies maderables de alto valor comercial como cedro y caoba en los cafetales, es la generación de ingresos de largo plazo que permitan la sostenibilidad del sistema. Es importante para estos productores contar con una herramienta que permita el manejo forestal sostenible sin afectar su cultivo principal por exceso de sombra.

La crisis de café el 1998 trajo a la quiebra a muchos productores de café que se dedicaban al monocultivo de café, con la caída de los precios los productores que lograron mantenerse como cafetaleros comenzaron a implementar sistemas más complejos que evitaran la dependencia a un solo cultivo. En la actualidad la siembra de árboles maderables se ha comenzado a realizar a nivel nacional con un fuerte apoyo de IHCAFE para la siembra y la certificación de las plantaciones.

Desde el punto de vista del capital natural esta iniciativa de los productores de café mejora la calidad de vida de las zonas rurales a permitirles mejorar la condiciones de micro clima local. En muchos casos los cafetales también han servido como bancos de germoplasma vegetal al conservar especies arbóreas en peligro de extinción. Así mismo los cafetales y los

árboles maderables son cultivos compatibles que asociados mejoran la calidad de los paisajes y permiten tener más zonas de recreación para los pobladores locales.

Relacionado al capital financiero, el presente estudio reveló que en 85% los productores de café plantan cedro y caoba esperando una retribución financiera al final de la rotación del maderable. En muchos casos la expectativa del productor es percibir más ingresos al final de la rotación por el componente maderable que el por el componente agrícola. Sin embargo a pesar de las expectativas que poseen del cultivo maderable solo un 11% realiza prácticas culturales de manejo a la plantación, generalmente un poco más relacionadas al manejo de los ataques de *Hypsipyla grandella*.

Conforme a los resultados de la presente investigación es evidente que el manejo silvicultural de la plantación debe ser uno de los pilares que mayor motivación debe recibir por parte de IHCAFE. Los productores de café no poseen la cultura de manejo a la plantación forestal y en muchos casos esta cultura es transmitida por generación al pensar que no se debe de realizar ningún tipo de manejo, en algunos casos los productores tienen cierta renuencia de utilizar especies como cedro y caoba debido al alto manejo forestal que deben otorgar a la plantación.

El fortalecimiento del capital humano es algo que se ve visualizado desde la creación del programa agroforestería y ambiente. Las capacitaciones en temas ambientales, certificación forestal y viveros forestales son fuertes a partir del 2008 que comienza este programa de incentivos a los productores con maderables como cedro y caoba. El presente estudio identificó que toda la familia se involucra en la siembra de los maderables, generalmente son los miembros más jóvenes del núcleo familiar los que esperan recibir los beneficios de la plantación.

Actualmente los hijos de productores de café a nivel nacional realizan los viveros forestales en los centros educativos con la finalidad de que sus padres puedan tener el recurso genético disponible a la hora de la siembra. En todas las etapas de la plantación del recurso forestal se encuentra el núcleo familiar involucrado, por lo que es seguro que para estos productores el incorporar árboles de alto valor comercial, representan una forma de mejorar su calidad de vida.

Impacto en la formulación de políticas

Una de las principales problemáticas en la siembra de árboles maderables en cafetales es la aplicación de la normativa forestal vigente en el país. Muchos estudios indican que los trámites para el aprovechamiento forestal son engorrosos, tardados y sumamente caros. El presente estudio revela que la mayoría de los productores poseen cierto temor de no poder manejar los arboles por conflictos legales. Así mismo el programa agroforestería y ambiente de IHCAFE revela que la mayor problemática que se presenta al incentivar a productores a plantar cedro y caoba es el temor de no poder cosechar libremente sus productos.

El error del pasado de la administración forestal del estado es diseñar sus normativas y políticas sin ampararse en estudios científicos que revelen lo idóneo del manejo para cada especie utilizada. En el caso de sistemas agroforestales en Honduras, poco o nulo es el conocimiento que existe del crecimiento de especies como cedro y caoba en cafetales, con condiciones de manejo bastante diferentes a las plantaciones puras y los bosques, donde no existe fertilización ni competencia entre individuos de la misma especie.

Este estudio revelo que la curva de crecimiento que más se ajusta a cedro y caoba en cafetales es el modelo Chapman y Richards, este modelo podría utilizarse para definir normas y reglamentos del manejo de los arboles en función de su potencial crecimiento, además en la mayoría de los casos los decisores políticos en Honduras rara vez visualizan la oferta potencial de estos sistemas de abastecer la demanda de madera local y disminuir la presión sobre los bosques que en muchas ocasiones es debido a la necesidad de obtener materia prima por parte de las carpinterías, así mismo el generar ingresos extra para el productor podría significar mayor productividad en menor área y por consecuencia se podría estabilizar el avance de la frontera agrícola.

Un adecuado manual de producción de madera en cafetales de Honduras es pertinente debido a la importancia actual de los cafetales para la economía de las familias rurales cafetaleras y de la población Hondureña en general. La ecuación de crecimiento diseñada en el presente estudio podría ser la base para proponer el manejo adecuado de cedro y caoba en cafetales y que las normativas futuras diseñadas por el Instituto de Conservación Forestal (ICF) podrían ser encaminadas a un manejo integral de la finca de café, tomando en consideración en todo momento que el cultivo principal del sistema es el agrícola.

Anexos

Anexo 1. Matriz de distribución de parcelas por regiones cafetaleras

Región Cafetalera	Edad	n	Región Cafetalera	Edad	n
Agalta Tropical	1	2	Opalaca	2	6
Agalta Tropical	2	3	Opalaca	3	15
Agalta Tropical	3	13	Opalaca	4	7
Agalta Tropical	4	8	Opalaca	5	7
Agalta Tropical	5	6	Opalaca	6	15
Agalta Tropical	6	1	Opalaca	7	3
Agalta Tropical	7	3	Opalaca	8	3
Agalta Tropical	8	4	Opalaca	9	3
Agalta Tropical	10	1	Opalaca	10	5
Agalta Tropical	11	1	Opalaca	12	2
Agalta Tropical	12	1	Opalaca	13	1
Agalta Tropical	13	1	Opalaca	15	2
Agalta Tropical	15	1	Opalaca	16	2
Agalta Tropical	18	1	Opalaca	18	1
Agalta Tropical	20	1	Opalaca	20	3
Agalta Tropical	30	1	Opalaca	25	2
Montecillos	2	3	Meambar	1	1
Montecillos	3	6	Meambar	2	2
Montecillos	4	2	Meambar	3	10
Montecillos	5	4	Meambar	4	7
Montecillos	6	4	Meambar	5	2
Montecillos	7	3	Meambar	6	2
Montecillos	8	5	Meambar	6.5	1
Montecillos	9	1	Meambar	7	1
Montecillos	10	1	Meambar	8	4
Montecillos	11	1	Meambar	9	3
Montecillos	12	1	Meambar	10	5
Montecillos	13	2	Meambar	12	5
Montecillos	15	2	Meambar	15	2
Montecillos	22	1	Meambar	18	1
Montecillos	25	1	Meambar	20	1
Montecillos	30	1	Meambar	24	1
Occidente	2	6	Meambar	25	1
Occidente	3	2	Meambar	27	1
Occidente	4	4	Occidente	8	2
Occidente	5	1	Occidente	12	1
Occidente	6	1	Occidente	12	6

Anexo 2. INFORME DE LA PLANTACION ICF

INSTITUTO DE CONSERVACION FORESTAL (ICF) INFORME DE PLANTACION

CERTIFICADO # _____ OFICINA REGIONAL: **COMAYAGUA**, OFICINA LOCAL: LA LIBERTAD AÑO: 2009,

Departamento: COMAYAGUA Municipio: SIGUATEPEQUE Comunidad: EL JAGUAL

Dominio Pleno: SI, Terreno Ejidal: _____, Terreno Nacional (Garantía de Posesión) _____, Terreno Nacional (Dominio Útil): _____

No. de Registro de la Propiedad: 3, Tomo: 353, Folio: 174 Documento Municipal que lo Ampara: _____, Años de Ocupación: 16 AÑOS

Objetivo de la Plantación	Fecha de la plantación	Especie Plantada (nombre común)	Especie Plantada (nombre científico)	Área Reforestada/ Lindero		No de Planta	Sistema de Plantación	Espaciamiento					Proced. De las Plántulas y Semillas
				(mxm)	(mxm)			(mxm)	(m)	(xx)			
				a	l			A	R	T			
								l cuadro	ectangular	resbolillo	ineal	isperso	
MA	Junio 2005	Caoba de atlántico	<i>Switenia Macrophylla</i>	0.43		50	Apl		4X6				5
<i>Area Total</i>				0.43									

Objetivo de la plantación

En: Parcelas Energéticas
Ma: Maderables
Um: Uso Múltiple
Co: Conservación
Xx: Otros

Sistema de Plantación

Pp: Parcela pura
Pl: Lindero
Aca: Asocio con Cacao
Acf: Asocio con Café
Afr: Asocio con frutales
Apl: Asocio con plátano
Apa: Asocio con piña
Agh: Asocio con granos básicos
Apt: Asocio con pasto
Ost: Otro sistema

Procedencia de las plántulas

1.- Vivero propio
2.- Vivero comercial
3.- Vivero municipal o comunal
4.- Vivero escolar
5.- Vivero de institución o proyecto

Nolvia Gabriela Jiménez
Técnico responsable

Ing. Henry Francisco Mencía
Jefe Oficina Regional Comayagua ICF

Estrategias para mejorar su finca: <input type="checkbox"/> Vender terreno <input type="checkbox"/> Comprar terrenos <input type="checkbox"/> Sembrar otro cultivo o mejorar el que tiene <input type="checkbox"/> Comprar animales <input type="checkbox"/> Mejorar infraestructura <input type="checkbox"/> Otro: _____ _____	Ha recibido asistencia técnica en el manejo del componente maderable. _____ _____ _____ _____ _____ _____	Proyectos de diversificación en los que ha participado y que información le ha parecido novedosa en el manejo de los árboles: _____ _____ _____ _____
--	--	--

Componente agrícola – café

Cafetalero desde _____ Certificado orgánico desde _____
 Edad del cafetal _____ ¿Mantiene registros del cafetal? Si () No ()
 ¿Porque?

Distancia de siembra _____ Variedad de café _____

Área de café sembrada: _____

Precio de venta por quintal: _____ (últimos 3 años por lo menos)

Posee musa en la parcela con maderables:

Variedad de plátano y banano: _____ Distancia de siembra: _____

Producción: 2008 _____ 2009: _____ Usos:

¿Cuánto consume?: _____ Cuanto vende:

¿Realiza fertilización al plátano y banano? _____ Frecuencia:

Recepas al cafetal: Si () No ()

Cada cuanto tiempo realiza recepas: _____ Por hileras () por plantas () por lotes ()

Manejo que realiza al cafetal

Actividad	Frecuencia anual	Manejo de los residuos	Afecta al árbol (si/no)
Fertilización			
Manejo de hierbas			
Control de plagas			
Podas y deshijas			
Manejo de sombra (Guama)			
Resiembras			

Distancias de siembra de la sombra (Guama): _____ Edad de las especies de sombra (Guamas): _____

¿Cuáles son los porcentajes de sombra que maneja?

¿Cómo considera la cantidad de árboles en sus cafetales? Alta () Media () Baja ()
Especies de guama en su cafetal:

Distancias de plantación de la guama: _____ y de Plantación de la
musa: _____

Realiza control de plagas: Si () No () ¿Qué
aplica? _____

La familia utiliza leña o madera para alguna labor en la casa o en la finca? Si ___ No ___
Que especie y porque:

De donde la obtiene: () De la finca () Fuera de la finca

Manejo de los arboles

Realiza control de malezas bajo los árboles en sus cafetales? Si () No ()
tipo de manejo Manual () Herbicida () Ninguno () Otro _____

Frecuencia de manejo: 3 veces al año () 2 veces al año () 1 vez al año () 1 vez cada 2 años ()

Porque tiene árboles maderables en la finca:

Porque espera retornos económicos:

Porque es buena sombra para el cafetal:

Porque espera beneficios indirectos: Que beneficios:

Porque planto cedro y/o caoba y no otra especie:

Desde cuando planto los maderables: _____ Época del año que realizó la plantación:

A realizado raleos a la plantación maderables ¿Cuántos?

¿Qué años ha realizado el manejo?

¿En qué épocas detecto el ataque del barrenador del cedro y
caoba? _____

¿Cómo manejo el ataque del barrenador?

Podas: no realizó la poda:

Control químico: Que tipo de químico uso:

¿Cuántas veces detecto el ataque del
barrenador? _____

Al año: _____ Años en que hubo ataque:

Utilizó fertilización para los árboles: _____ ¿Qué tipo de fertilizantes?: _____

A realizado podas de formación: _____ ¿Cuántas veces?

Siente que el maderable afecta al cafetal: Si () No () En que siente que afecta:

Plagas y enfermedades: Si () No () Que plagas a observado:

Bajos rendimientos: Si () No () Cuanto ha bajado el rendimiento en qq:

Cambios en el suelo: Si () No () Que cambios:

Mejoramiento del microclima Si () No () Que cambios:

A sido beneficioso plantar árboles maderables en su finca: Si () No ()

Porque:

