

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de Honduras

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Agroforestería y Agricultura Sostenible

Oscar Arnulfo Ramírez Argueta

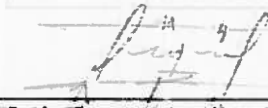
Turrialba, Costa Rica

2021

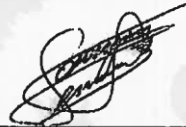
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA
Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

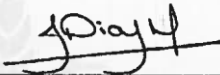
FIRMANTES:



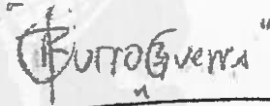
Luis Orozco Aguilar, Ph.D.
Codirector de tesis



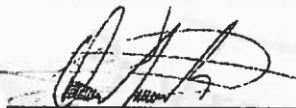
Fernando Casanoves Boschetti, Ph.D.
Codirector de tesis



Javier Díaz Matute, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Oscar Arnulfo Ramírez Argueta
Candidato

Índice

1. ARTÍCULO CIENTÍFICO.....	v
EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y POTENCIAL DE INGRESOS ECONÓMICOS DE 12 SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) EN LA ZONA NORTE DE HONDURAS	v
2. Resumen	v
3. Introducción	1
4. Metodología	3
4.1. Ubicación del área de estudio	3
4.1.1. Selección de las especies maderables.....	3
4.2. Colecta de datos	3
4.2.1. Cálculo del área de la población de los componentes del SAF.....	7
4.3. Manejo de los SAF	7
4.4. Análisis de datos	8
5. Resultados	9
5.1. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión	10
5.1.1. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en DAP	10
5.1.3. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en volumen de madera comercial	14
5.2. Análisis de correlación.....	18
5.2.1. Correlación entre densidad poblacional y producción agroforestal	18
5.2.2. Correlación entre variables agroforestales	18
5.3. Análisis de componentes principales en variables financieras del SAF	20
5.3.1. Análisis financiero de los SAF.....	22
6. Discusión	24
8. Recomendaciones	28
9. Referencias bibliográficas	28

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resumen metodológico para el levantamiento de las variables evaluados en los sistemas agroforestales, zona norte de Honduras.....	5
Cuadro 2. Cálculo de las poblaciones de cada componente en los SAF-cacao evaluados	7
Cuadro 3. Variables dasométricas y agronómicas complementarias y precios de madera provenientes de sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras.....	10
Cuadro 4. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras	12

Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste para la estimación de la altura total (m) por cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras	14
Cuadro 6. Modelos con mejor ajuste para la estimación del volumen comercial (m ³ /árbol) por cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras.....	16
Cuadro 7. Modelos con mejor ajuste para la estimación de la biomasa (t/árbol) de cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras	18
Cuadro 8. Correlación de Pearson entre cobertura (%), rendimiento (kg/ha) e incidencia de monilia y mazorca negra en los 12 sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras.....	19
Cuadro 9. Resultados productivos y financieros por hectárea hasta 24 años de sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras	23

Índice de figuras

Figura 1. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con el mismo DAP en el último año de evaluación (prueba DGC, p>0,05)	11
Figura 2. Curvas de crecimiento en altura total (m) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con la misma altura en el último año de evaluación (prueba DGC, p>0,05)	13
Figura 3. Curva de crecimiento en volumen comercial (m ³ /árbol) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con el mismo volumen comercial en el último año de evaluación (prueba DGC, p>0,05).....	15
Figura 4. Tasas de crecimiento anual en biomasa del volumen de madera comercial (t/árbol) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con la misma biomasa en el último año de evaluación (prueba DGC, p>0,05).....	17
Figura 5. Representación de la correlación entre cobertura (%) y área basal de los maderables (m ² /ha) y su influencia sobre el rendimiento del cacao (círculos de > tamaño > rendimiento del cacao) en sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras. 19	
Figura 6. Diagrama de dispersión mostrando la asociación entre las variables.	20
Figura 7. Biplots de CP1 y CP2, de las variables financieras de sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras.....	21
Figura 8. Biplots de CP1 y CP3, de las variables financieras del SAF sistemas agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la zona norte de Honduras.....	22
Figura 9. SAF-cacao de los más promisorios según sus ingresos netos que forman parte del estudio a) <i>Ilex tectonica</i> , b) <i>Dalbergia glomerata</i>	27

1. ARTÍCULO CIENTÍFICO

EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y POTENCIAL DE INGRESOS ECONÓMICOS DE 12 SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ZONA NORTE DE HONDURAS

Oscar Ramírez¹ Luís Orozco² Fernando Casanoves² Javier Díaz³

¹ Estudiante de maestría en Agroforestería y Agricultura Sostenible de CATIE Turrialba, Costa Rica.

² Codirector de tesis, Director Adjunto de Investigación e Innovación MOCCA, ³ Codirector de tesis y jefe de la Unidad de Estadística del CATIE. ⁴ Miembro de comité y líder del Programa de Cacao y agroforestería de la FHIA.

2. Resumen

En Honduras el cultivo de cacao se estableció inicialmente en sistemas agroforestales (SAF), utilizando como sombra especies tradicionales (*Inga* sp., *Erythrina* sp., *Gliricidia* sp.), frutales y maderables de la regeneración natural. Las altas densidades en poblaciones de estas especies resultan en una alta competencia para el cacao, afectando su producción en el tiempo. En 1987, la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), inició la evaluación del cacao en SAF asociados con especies maderables de alto valor comercial. Desde 1997 la FHIA recolecta datos de campo de las variables de producción de los 36 SAF establecidos, de los cuales, para este estudio se seleccionaron 12 SAF considerados los más promisorios. Las parcelas bajo estudio contenían entre 15-36 árboles útiles a espaciamientos variables 6×9 , 9×9 , 8×10 y 10×12 m. Inicialmente, cada SAF estuvo integrado por tres componentes de sombra más el cacao: se utilizó plátano (*Musa* sp.) y madreño (*Gliricidia sepium*) como sombra temporal y el maderable como sombra permanente. Con datos recopilados durante 25 años, se realizó un análisis productivo y económico de los productos provenientes del SAF. Además, se registraron datos dasométricos para evaluar el crecimiento de las especies maderables y explorar los efectos sobre la productividad y la dinámica de las principales enfermedades del cacao. La metodología permitió: a) construir las curvas y tasas de crecimiento de los maderables: diámetro (DAP), altura total (Ht), volumen comercial (Vc) y biomasa en Vc (Bio), mediante regresiones lineales, ANOVA y prueba DGC ($p < 0,05$); b) realizar análisis de correlación entre la cobertura arbórea, área basal del maderable, rendimiento de cacao e incidencia de monilia y mazorca negra; c) realizar un análisis económico y análisis de componentes principales (ACP) con las variables financieras para cada componente agroforestal. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en las variables de crecimiento en las especies maderables, sobresaliendo hasta los 17 años: *Tabebuia donnell-smithii*: 51 cm, 26 m, 2,44 m³ y 1,20 t; *Nectandra* sp.: 50 cm, 19 m, 1,70 m³ y 0,90 t; y *Hyeronima alchornoides*: 44 cm, 23 m, 1,61 m³ y 0,95 t, para valores de DAP, Ht, Vc y Bio, respectivamente. Todos los maderables tuvieron un crecimiento anual de 1 m en Ht y 2,25 cm de DAP y un Vc promedio de 4,4 m³/ha/año. Los rendimientos de cacao fueron negativamente afectados por el componente maderable, disminuyendo a medida que incrementa la cobertura (sombra) y el área basal de los maderables. Los mejores rendimientos de cacao se registraron en asocio con *Dalbergia glomerata*, *Plathymiscium dimorphandrum* y *Macrohasseltia macroterantha* con 1365, 1250 y 1011 kg/ha/año, respectivamente. No se encontró efecto significativo de la cobertura arbórea sobre la incidencia de monilia y mazorca negra. Los ingresos medios anuales del SAF fueron muy variables (US\$1565,00 – 3973,00), al igual que la distribución del ingreso por componente. Los mejores socios fueron *H. alchornoides* con una distribución del ingreso similar para el cacao y el maderable; *D. glomerata* con un mayor ingreso proveniente del cacao y, finalmente, *Ilex tectonica*, con un mayor ingreso proveniente del maderable. Con cualquiera de estos tres SAF se producen ingresos netos anuales superiores a US\$3800,00/ha. Los SAF cacao-maderables son una alternativa de diversificación productiva atractiva para la zona atlántica de Honduras.

Palabras claves: especies maderables, cobertura, DAP, altura total, volumen, biomasa, socios.

PRODUCTIVE EVALUATION AND POTENTIAL ECONOMIC INCOME OF 12 CACAO (*Theobroma cacao* L.) TIMBER-BASED AGROFORESTRY SYSTEMS IN NORTHERN HONDURAS

Abstract

Cacao cultivation in Honduras is established under Agroforestry Systems (AFs) using traditional shade species (*Inga* sp., *Erythrina* sp., *Gliricidia* sp.), fruit and timber species selected and managed from natural regeneration. The high population densities of these shade tree species result in greater competition with the main crop, thus affecting its yield and financial performance overtime. In 1987, in the north of Honduras, the Honduran Foundation for Agricultural Research (FHIA) began the cultivation and evaluation of cocoa plots under AF associated with timber species of high commercial value. Over 25 years, FHIA has collected field data on agronomic and agroforestry production variables in 36 selected AFs, of which 12 AFs were considered the most promising ones and were selected for this study. Assessed plots consist of between 15-36 useful shade trees with varying spacing 6×9 , 9×9 , 8×10 and 10×12 m. Initially, each SAF was made up of three shade components plus cacao. Plantain (*Musa* sp.) and madreño (*Gliricidia sepium*) were used as temporary shade and timber species were selected for permanent shade with good market potential. Based on field data collected, a productive and economic summary of the products from each AFs was done. In addition, dasometric data was retrieved to evaluate growth performance (tree diameter and height) of timber species and explore their effects on cacao yield and dynamics of the main cacao diseases. Steps taken in this study were: a) build the curves and growth rates of the timber trees: diameter (DBH) and total height (Ht), commercial volume (Vc) and biomass in Vc (Bio), through linear regressions, ANOVA and DGC test ($p < 0,05$); b) conduct correlation analysis between tree cover, basal area of timber shade trees, cocoa yield and the incidence of monilia and black pod; c) carry out a financial analysis and principal component analysis (PCA) with a set of financial variables for each agroforestry component. Statistical differences were found in terms of growth variables among timber species evaluated, with species such as *Tabebuia donnell-smithii* standing out up to 17 years old: 51 cm, 26 m, 2,44 m³ and 1,20 t; *Nectandra* sp.: 50 cm, 19 m, 1,70 m³ and 0,90 t; and *Hyeronima alchornoides*: 44 cm, 23 m, 1,61 m³ and 0,95 t, in DAP, Ht, Vc and Bio values, respectively. All timber species registered a mean annual growth of 1 m in Ht and 2,25 cm of DBH, gaining an average CV of 4,4 m³/ha/year. Cacao yields were negatively affected by the associated timber component, decreasing as shade cover and timber basal area increased. The highest cocoa yields were recorded in cocoa-AF associated with *Dalbergia glomerata*, *Plathymiscium dimorphandrum* and *Macrohasseltia macroterantha* with 1365, 1250 and 1011 kg/ha/year, respectively. No significant effect of shade cover was found on the incidence of both monilia and black pod across all AFs evaluated. The average annual income of the cocoa-AF varied widely (US\$1565,00 – 3973,00). Cocoa-AF with *D. glomerata* yielded more cocoa and therefore deliver higher income sooner; in cocoa-AF with *Ilex tectonica* most of the long-term income is generated by harvesting the standing timber and cocoa-AF with *H. alchornoides* which made similar income from both cacao and timber yields. All of three cocoa-AF described before, delivered a mean annual net income of US\$3,800.00/ha. Timber-based cacao-AF are a promising alternative to foster farm diversification across the Atlantic zone of Honduras.

Keywords: timber species, coverage, DAP, total height, volume, biomass, associations.

3. Introducción

Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como la asociación e interacción entre las plantas leñosas (frutales, maderables, forrajeras, palmáceas, especies de uso múltiple), que pueden ser plantadas o manejadas de regeneración natural, con cultivos agrícolas y/o pecuarios, y de carácter secuencial o simultáneo. Esta manera de producir se ha visualizado como una alternativa para el incremento de la productividad, adaptación, mitigación y resiliencia de los efectos de la variabilidad y el cambio climático, contribuyendo directamente al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), especialmente los encaminados a una producción sana y equilibrada (Somarriba 1990; Beer *et al.* 1998; Torquebiau 2000; Rojas-Downing *et al.* 2017; Vélez *et al.* 2018; Ghosh *et al.* 2019; Bunn *et al.* 2019).

La capacidad de mitigación de los SAF-cacao se demuestra por el secuestro de más carbono, el cual puede ser hasta 2,5 veces más (aproximadamente 37 ton C/ha), en comparación con los monocultivos de cacao (14,3 ton C/ha). Este carbono es acumulado en las especies leñosas acompañantes que a su vez aumentan la productividad del SAF, generando productos adicionales como por ejemplo: la producción de madera, leña, alimentos, medicamentos y fibras. Otros de los beneficios de los SAF orientados a la adaptación son: el aumento de materia orgánica, reciclaje de nutrientes, conservación de la biodiversidad y de las fuentes de agua. Los SAF también son más resilientes ya que las leñosas amortiguan los eventos climáticos extremos, además de proporcionar un microclima más estable (Beer *et al.* 1998; Bentley *et al.* 2004; Orozco *et al.* 2008; IDEAM 2011; Tschardtke *et al.* 2011; Koko *et al.* 2013; Jaimez *et al.* 2013; Cerda *et al.* 2014; Vaast y Somarriba 2014; Dubón y Sánchez 2016; Somarriba *et al.* 2018; Ghosh *et al.* 2019; Niether *et al.* 2020).

Los efectos de utilizar árboles sobre los cultivos se describieron a finales del siglo XIX. La importancia del uso de estos está más relacionada con las condiciones agroecológicas del sitio, la edad y densidad poblacional del cultivo. Entre los SAF más conocidos están los asociados entre cultivos perennes (café y cacao) con árboles de leguminosas, frutales y maderables. Aunque la planta de cacao se considera “amiga de la sombra”, este efecto puede disminuir hasta un 25% en su producción; no obstante, la reducción del rendimiento es compensada por el aumento de la vida productiva del cultivo. Sin embargo, haciendo una correcta selección de las especies leñosas y conociendo sus interacciones con el cultivo, se puede disminuir este efecto negativo (Somarriba 2002; Somarriba y Beer 2011; Dubón y Sánchez 2016; Somarriba *et al.* 2018; Somarriba y López 2018; Niether *et al.* 2020).

En el mundo se estima que se producen alrededor de 4,8 millones de toneladas métricas de cacao por año procedentes de 12 millones de hectáreas (33% cultivadas bajo sombra) y distribuidas entre 10,2 millones de productores (Fountain y Huetz-Adams 2020; ICCO 2021). El cultivo de cacao influye en los medios de vida de unas 40-50 millones de personas. En Latinoamérica y el Caribe el *boom* de las plantaciones de cacao con sombra se dio en el siglo XX, como alternativa de reemplazo del cultivo de banano que fue afectado por la enfermedad de “mal de Panamá” (Beer *et al.* 1998; Dahlquist *et al.* 2007). En la actualidad Latinoamérica y el Caribe cultivan alrededor de 1,80

millones de hectáreas, de las cuales el 85% (1,63 millones) se producen bajo sombra. Día a día las áreas de este cultivo siguen expandiéndose. Los SAF-cacao utilizando maderables de alto valor comercial se convierten en una alternativa para la mejora de la rentabilidad, ya que a los árboles maderables se les considera una “cuenta de ahorro” que permite obtener ingresos de hasta 10 veces más en comparación con cacaotales a pleno sol o con especies de sombra tradicional (*Inga* sp., *Gliricidia* sp., *Erythrina* sp., *Cassia* sp., entre otras) (Somarriba 1992; Dubón y Sánchez 2006, 2011a; Ryan *et al.* 2009; Somarriba *et al.* 2012; Vaast y Somarriba 2014; Montagnini *et al.* 2015; Somarriba y López 2018; Niether *et al.* 2020).

Para ampliar las áreas con SAF-cacao es necesario dar a conocer y comprobar la rentabilidad y resiliencia financiera de estos SAF en largo plazo. Para lograrlo, es necesario implementar algunas estrategias como: a) que el productor perciba los árboles maderables como cultivo que requiere de manejo para aumentar la calidad y cantidad de bienes y servicios ecosistémicos; b) conocer las interacciones positivas y negativas del SAF; c) brindar el acompañamiento técnico y el proceso de certificación de los árboles para aprovechar los productos maderables de forma legal, accediendo a mejores precios. En Honduras, instituciones como la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), a través de su Programa de Cacao y Agroforestería, ha liderado la implementación de estas estrategias a nivel nacional (Somarriba y López 2018; La Gaceta 2020).

El estudio “Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao en la zona norte de Honduras”, tuvo como propósito recopilar la información agronómica y dasométrica generada de los SAF desarrollados en el Centro Experimental Demostrativo de Cacao Jesús Alfonso Sánchez (CEDEC-JAS) de la FHIA. Usando como punto de partida el registro de datos durante el periodo 1997 hasta 2021 (25 años), se realizó un análisis productivo y económico de los productos provenientes del SAF. Además, se documentó la información sobre el manejo agroforestal y silvícola de las especies maderables y sus potenciales efectos sobre la producción y dinámica de enfermedades en el cacao. Para el cumplimiento de este estudio se necesitó: a) estimar las curvas y tasas de crecimiento en diámetro, altura, volumen y biomasa de las especies maderables; b) realizar análisis de correlación entre la cobertura arbórea, área basal del maderable, incidencia a enfermedades (monilia y mazorca negra) y el rendimiento del cacao; c) realizar un análisis de mediano-largo plazo del desempeño financiero de cada SAF.

Esta investigación también busca generar directrices técnicas que contribuyan a diseñar y manejar mejor las interacciones que ocurren en los socios agroforestales cacao-sombra-madera (Dubón y Sánchez 2006; Rapidel *et al.* 2015).

4. Metodología

4.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el CEDEC-JAS de la FHIA, ubicado en el municipio de La Masica, Atlántida, Honduras (15°38-43.5 N, 87°-05-59.5 W) (Bertoli 2017); la zona de vida corresponde a bosque húmedo tropical, el tipo de suelo es aluvial y la altitud promedio de 18 msnm (Gramlich *et al.* 2018). La temperatura y precipitación se registran desde 1987 con valores medios de 25,6 C (24°C en invierno y 27°C en verano), y precipitación promedio anual de 2938 mm (Díaz *et al.* 2019), variando mensualmente entre 100 mm (abril y mayo) a 500 mm (octubre, noviembre y diciembre) (Gramlich *et al.* 2018).

4.1.1. Selección de las especies maderables

Se seleccionaron 12 de las 36 especies maderables establecidas en el CEDEC-JAS, considerando su importancia económica, características productivas y su buen crecimiento junto al cacao (Dubón y Sánchez 2016). Se utilizaron los registros históricos recopilados durante 25 años (incluidos datos del 2021), de las variables agronómicas, dasométricas y de atributos fenológicos de los ensayos agroforestales de la FHIA establecidos en 1997. Las especies seleccionadas fueron: marapolán (*Guarea grandifolia*), granadillo rojo (*Dalbergia glomerata*), barba de jolote (*Cojoba arborea*), hormigo (*Plathymiscium dimorphandrum*), san Juan guayapeño (*Tabebuia donnell-smithii*), san Juan areno (*Ilex tectonica*), santa María (*Calophyllum brasiliense*), rosita (*Hieronima alchorneoides*), cincho (*Lonchocarpus* sp.), jigua (*Nectandra* sp.), huesito (*Macrohasseltia macroterantha*) y caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*).

El SAF con *S. macrophylla* también incluyó el laurel negro (*Cordia megalantha*) con una densidad de población igual. A los 24 años, los árboles de laurel negro fueron aprovechados, teniendo un diámetro a la altura de pecho promedio de 59,3 cm (Sánchez y Dubón 2020). Los 57 árboles sobrevivientes de esta especie representaron un área basal de 16,1 m²/ha y un Vc de 92,1 m³/ha de madera. Estos resultados fueron considerados en los análisis del SAF con *S. macrophylla*.

4.2. Colecta de datos

Los SAF-cacao seleccionados estaban conformados por poblaciones entre 15-36 árboles maderables útiles, establecidos según el hábito de crecimiento de la especie (proyección de área de copa-m²), en arreglos espaciales de: 6 × 9, 9 × 9, 8 × 10, 9 × 10 y 10 × 12 m (Dubón y Sánchez 2006). Inicialmente cada SAF-cacao estaba integrado por tres componentes de sombra más el cultivo de cacao por semilla de genética híbrida trinitaria. Posteriormente, esta especie fue renovada mediante injertación en campo utilizando las plantas de cacao adulto como portainjerto. Se utilizaron en su mayoría clones de cacao de uso internacional como: IMC-67, UF-613, UF-667, UF-650, ICS-1, ICS-6, ICS-39, ICS-60, ICS-95, TSH-565, CAP-34, EET-62, EET-162, EET-400.

Se utilizó plátano (*Musa sp.*) y madreño (*Gliricidia sepium*) como sombra temporal y la especie maderable como sombra permanente. Se registraron los productos generados por cada componente del SAF: frutos y cormos de plátano (año 1 al 3), el 100% de los frutos en cada parcela en estudio fueron cosechados en los dos primeros años. En el tercer año solo se dejó el 50% de la población de plátano cosechando los frutos más cuatro cormos por planta a lo largo del año. También se realizó la cosecha de cuatro estacones de madreño por planta (año 4 al 9).

En el cacao se registraron todas las cosechas. Los frutos sanos cosechados sirvieron de base para determinar el rendimiento en grano seco, el cual se estimó al dividir el total de frutos cosechados en cada año entre el índice de mazorca (IM). Se realizó además, el registro de los frutos con monilia (Mon) y mazorca negra (Mne) para estimar la incidencia (%) de estas dos enfermedades por SAF-cacao.

Además, en cada árbol maderable se registraron las variables: diámetro a la altura de pecho (DAP, cm), altura total (Ht, m), altura comercial hasta la bifurcación del tronco del árbol (Hc, m) y el diámetro a la altura comercial (Dac, cm) para obtener el factor de forma del tronco (Ff). Con las variables dasométricas antes descritas se calculó el volumen de madera comercial (Vc) acumulada y/o cosechada de manera parcial en árboles con diámetro >20 cm. Se estimó la oclusión (Oc) y área de copa (Arc) para calcular la cobertura de sombra en la parcela (Cp). También se colectaron muestras de madera del tronco a 1,30 m de altura de cuatro árboles por SAF, utilizando un barrenador de incremento para estimar la densidad de la madera (Dm) y con ello la biomasa (Bio) del Vc. Una vez construida la base de datos se procedió a su acondicionamiento y curado, siguiendo los protocolos propuestos por Casanoves et al. (2012).

A continuación se presenta la metodología para estimar las variables antes descritas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resumen metodológico para el levantamiento de las variables evaluados en los sistemas agroforestales, zona norte de Honduras

Componente	Variable	Instrumento	Método utilizado	Unidad de medida	Registro de datos
Plátano	Fruto	Calculadora	Recuento en la cosecha	Racimo	Año 1-3 (1997-1999)
	Cormo			Cormo	Año 3 (1999)
Madreado	Estacón			Estacón	Año 4-9 (2000-2008)
Cacao	Frutos sanos y enfermos			Fruto sano Con Mne (%) Con Mon (%)	Cada 14 días (2006-2020)
	IM	Contador manual más balanza	Microfermentación de almendras cont. en frutos, se calculó: # frutos en microfermentación /kg cacao seco 6,5%. Se utilizó el IM en los 25 años de producción del cacao (López <i>et al.</i> 2017)	Frutos necesarios para 1 kg de cacao	Año 25 (2021)
Maderable	DAP DAC	Cinta métrica o diamétrica	En DAP se midió a 1,30 m. En Dac hasta la bifurcación. Con cinta métrica se calculó: $\text{circunferencia}/3,1416$ (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	cm	Dap: año 1-25 (1998-2021) Dac: año 25 (2021)
	Ff		Se calculó con unidades en m: $0,7854 [(DAP + Dac) / 2]^2(Hc)$ $(0,7854) (DAP)^2(Hc)$ Se empleó este Ff desde el año uno (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	Factor (0-1)	Año 25 (2021)

Cuadro 1 (continuación). Resumen metodológico para el levantamiento de las variables evaluados en los sistemas agroforestales, zona norte de Honduras

Componente	Variable	Instrumento	Método utilizado	Unidad de medida	Registro de datos
Madera ble	Ht Hc	Vara telescópica ó clinómetro más cinta métrica	Desde el pie del árbol, con clinómetro mediante fórmula: (distancia al árbol) (porcentaje de inclinación de Ht o Hc – porcentaje de inclinación a la base del árbol) /100 Se calculó Ht entre 1-17 años y al año 25 Con el registro de Hc se determinó un factor en Hc mediante la división Hc/Ht. Con el factor Hc/Ht se determinó las curvas y tasas de crecimiento en Vc desde el año 1-17 (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	m	Ht: año 1- 17 y 25 (1998-2014 y 2021) Hc: año 18-24 (2014-2020)
	Oc	App: HabitApp	Visual, fotografía de Arc (último año) (Farfán <i>et al.</i> 2016; Somarriba 2002)	%	7 años de lectura (2006, 2008, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2020)
	Arc	Cinta métrica	Formula: $(0.7854) (\text{diámetro de copa})^2$ (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	m ²	
	Cp		Método de estimación visual: <u>(Arc)(Oc) (cantidad árboles)</u> (área parcela) (Somarriba 2002)	%	
	Vc	Software InfoStat	Se calculó con unidades en m: Vc: DAP x Ht x Ff También se calculó el volumen en pie tablar (p.t.), dividiendo el volumen en m ³ /200 p.t. (Ammuor <i>et al.</i> 2012; La Gaceta 2020)	m ³ Pie tablar (p.t.)	año 1-24 (1998-2020)
	Dm	Barreno de incremento, cinta métrica, balanza y horno	Se calculó el volumen en cm ³ de la muestra de madera, luego se eliminó la humedad de esta (24 horas en horno) Dm: peso en gramos (g)/ volumen (cm ³) (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	g/cm ³	Año 25 (2021)
Bio		Se estimó mediante: Vc x Dm (Ammuor <i>et al.</i> 2012)	kg/árbol	Año 25 (2021)	

4.2.1. Cálculo del área de la población de los componentes del SAF

Se determinó la población (densidad) en el cacao mediante el inventario de plantas solo en el área de influencia de los árboles maderables seleccionados (distancia entre plantas \times cantidad de árboles evaluados por especie maderable). Para la población de plátano se aplicó el criterio utilizado por la FHIA (Dubón y Sánchez 2016, el cual consiste en el establecimiento de este componente del SAF en igual densidad que el cacao para lograr entre el 40-50% de sombra en el cacaotal. El madreado se estableció al doble del distanciamiento del cacao, equivalente a un 25% de su población (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cálculo de las poblaciones de cada componente en los SAF-cacao evaluados

SAF-Cacao	Distancia del maderable (m)	# de árboles evaluados	Área en estudio (m ²)	Extrapolación de población/ha			
				Cacao	Plátano	Madreado	Maderable
<i>M. macroterantha</i>	6 \times 9	30	1620	1037	1037	259	185
<i>I. tectonica</i>	9 \times 9	30	2430	1111	1111	278	123
<i>Nectandra</i> sp.	9 \times 9	24	1944	1049	1049	262	123
<i>T. donnell-smithii</i>	8 \times 12	15	1440	1097	1097	274	104
<i>C. brasiliense</i>	9 \times 9	30	2430	988	988	247	123
<i>C. arborea</i>	9 \times 10	30	2700	944	944	236	111
<i>Lonchocarpus</i> sp.	9 \times 9	25	2025	1185	1185	296	123
<i>P. dimorphandrum</i>	9 \times 9	30	2430	938	938	235	123
<i>G. grandifolia</i>	9 \times 9	30	2430	1111	1111	278	123
<i>H. alchorneoides</i>	10 \times 12	36	4320	1056	1056	264	83
<i>D. glomerata</i>	9 \times 10	30	2700	1007	1007	252	111
<i>S. macrophylla</i> más							
<i>C. megalantha</i>	10 \times 12	35	4200	1114	1114	279	83+83
Promedio		29	2556	1053	1053	263	118

4.3. Manejo de los SAF

El manejo agronómico del cacao fue muy similar en todos los SAF. En términos generales se realizó control de malezas cada 3 meses; en la medida que incrementaba la sombra en la parcela, disminuía la demanda en mano de obra en esta actividad. En promedio el cacao recibió una poda de formación hasta los seis años y una poda de mantenimiento desde el año siete al 24, realizada entre los meses de febrero y agosto. La poda iba acompañada con la fertilización, aplicando aproximadamente 12 onzas por planta de la mezcla física en proporción de 60-20-20 de: 15-15-15, nitrato de amonio y cloruro de potasio equivalente a 53 g de N, 31 g de P (P₂O₅) y 72 g de K (K₂O). Se eliminaron los chupones (rebotes no deseados) cada tres meses. El control de las enfermedades en el cacao se realizó de manera cultural mediante la eliminación de frutos enfermos cada 14 días. En el cultivo de plátano se realizaron todas las actividades que conlleva su buena gestión; al final de la segunda cosecha se eliminó el 50% de la población original ya que la demanda se sombra del cacao iba disminuyendo. El madreado no exigió mayor nivel de manejo, más que la eliminación de las ramillas raquílicas con crecimiento mal orientado (horizontal o hacia abajo).

Las especies maderables recibieron poda de formación desde sus inicios hasta los 12 años, utilizando entre uno a dos jornales/ha/año para realizar esta actividad. El raleo de los maderables se realizó de manera selectiva o sistemática, cuando por observación se notaba exceso de sombra en la parcela. Especies como *D. glomerata* y *C. brasiliense* tuvieron mayor demanda de mano de obra (poda, deshije y tutorado) en los primeros cinco años, tanto por su hábito de crecimiento “inclinado” como por la formación de troncos múltiples. La especie *C. arborea* presentó ramificación secundaria desde el primer tercio de altura del árbol demandando podas desde los primeros años para realzar la copa del árbol. Por el contrario, especies como: *I. tectonica*, *T. donnell-smithii*, *P. dimorphandrum*, *Lonchocarpus* sp., *H. alchornoides* y *M. macroterantha* formaban normalmente un único tallo sin demandar mayores cuidados. Finalmente, especies como *G. grandifolia* y *S. macrophylla*, a pesar de presentar tallo único, se vieron afectados por el ataque de la larva de *Hypsiphyla grandella* que dañó el meristemo apical por lo que fue necesaria la poda y posterior selección del rebrote más vigoroso para la formación de un tronco principal.

4.4. Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2019). En las especies maderables se construyeron las curvas de crecimiento y estimaron las tasas de crecimiento anual en DAP, Ht, Vc y Bio, usando registros históricos de las mediciones dasométricas anuales hasta los 16-18 años, dependiendo de la especie. Para cada una de las variables de crecimiento se realizó un análisis de regresión lineal en función del tiempo (usando años como variable regresora), y se seleccionaron los modelos de regresión (simples o polinómicos) con mejor ajuste según el AIC (criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano).

Con el modelo seleccionado se estimó el crecimiento de los árboles despejando la fórmula: $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es la variable de respuesta en crecimiento; β_0 , β_1 , β_2 y β_3 los coeficientes de los efectos fijos y “X” la variable regresora. También se realizó un ANAVA para detectar diferencias entre las curvas de crecimiento registradas por especies, complementado la prueba de comparación de medias DGC (Di Rienzo *et al.* 2002).

El análisis de correlación (Pearson), se realizó utilizando los datos extrapolados a hectárea. Entre las variables dasométricas y agronómicas se incluyó: cobertura arbórea (%) y área basal del maderable (m^2/ha), rendimiento (kg/ha), incidencia de monilia (%) y mazorca negra (%). Para las correlaciones se utilizaron los registros de siete años (2006, 2008, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2020) ya que solo en estos años fue posible registrar las variables necesarias para estimar la cobertura (Arc y Oc) de los árboles de sombra evaluados. Sin embargo, los promedios de rendimiento e incidencia a enfermedades corresponden a los recopilados durante 16 años, es decir, desde el inicio de la edad productiva estable del cacao (ocho años) (Ryan *et al.* 2009; Dubón y Sánchez 2011b, 2016).

Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) usando las variables financieras: costos (cost.), ingreso bruto (I.B.) e ingreso neto (I.N.), limitados a precios de los

últimos cinco años (Dubón *et al.* 2018; La Gaceta 2020), para cada uno de los componentes agroforestales (cacao, plátano, madreño y maderable) más la variable I.N. del SAF-cacao. Aunque en el cacao la producción se estabiliza a los siete años (Dubón y Sánchez 2016), este cultivo inició su producción a los tres años; por lo tanto, en el análisis financiero se incluyeron los rendimientos desde esa edad.

Para cada especie se utilizó los precios de la madera establecidos y regulados por el Instituto de Conservación Forestal (ICF), según el acuerdo-001-2020 publicado en el diario oficial La Gaceta de Honduras, en diciembre de 2020 (Cuadro 3). Para el cacao se utilizó el promedio de precios mantenidos entre los años 2016-2018 por la empresa de chocolates Halba de Suiza (US\$3,63/kg de cacao seco) en vista de que, a este país se exporta la mayor cantidad del cacao hondureño (Dubón *et al.* 2018). Para los precios del fruto y corno de plátano se utilizó el precio promedio en el mercado local (US\$3,30 por racimo de plátano y US\$0,206 /corno). Para el madreño se estimó un precio de US\$0,25 por cada estación.

Entre los principales costos se destacaron la planta de cacao (US\$1,45), planta maderable (US\$0,62), cormos de plátano (US\$0,206) y estación de madreño (US\$0,28). Se promedió un costo por quintal de fertilizante en US\$24,81. Se consideró un precio de mano de obra en US\$8,27. La cosecha de la madera implicó un costo de US\$0,25/pt., más un costo de 1% en declaración de ingresos ante la municipalidad/cantón. También se incluyó entre los costos considerados la certificación de los árboles, estimados en alrededor de US\$827,13/ha. Del costo total del SAF se consideró un 5% por imprevistos con el fin de solventar costos que surgieron y que no fueron declarados en el análisis financiero.

Cada SAF presentó una densidad poblacional de cacao diferente (entre 938 a 1185 plantas/ha) y de los árboles maderables (83 a 185 árboles/ha). Por lo tanto, se realizó un análisis de correlación entre las densidades poblacionales del cacao y el rendimiento (kg/ha) y las densidades poblacionales de los maderables (83 a 185 árboles/ha) y el rendimiento en volumen comercial (p.t./ha), para determinar el efecto de la densidad poblacional sobre los rendimientos en ambos componentes agroforestales, para, de esta manera determinar si los SAF pueden ser comparables.

5. Resultados

A continuación se muestran los resultados en las variables agroforestales usadas para la estimación de las curvas de crecimiento, análisis de correlación y los precios de la madera utilizados para el análisis de componentes principales en la economía de los SAF-cacao (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables dasométricas y agronómicas complementarias y precios de madera provenientes de sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

SAF-cacao	Factor Hc/Ht (0-1)	Ff (0-1)	Dm (g/cm ³ o t/m ³)	Arc (m ²)	Oc (%)	Precio de p.t. (US\$)	Mon (%)	Mne (%)	IM (frutos/kg)
<i>H. alchorneoides</i>	0,58	0,77	0,593	76,3	73	1,70	3,36	4,66	14,4
<i>D. glomerata</i>	0,32	0,86	0,601	33,7	47	1,45	7,75	3,69	14,4
<i>P. dimorphandrum</i>	0,40	0,86	0,583	39,4	64	1,45	8,80	7,51	16,1
<i>I. tectonica</i>	0,55	0,75	0,461	41,7	78	1,61	5,36	8,01	18,9
<i>S. macrophylla</i>	0,57	0,71	0,537	39,8	77	2,39	12,03	5,46	17,0
<i>Nectandra</i> sp.	0,59	0,79	0,525	82,9	75	1,45	7,24	6,97	17,6
<i>T. donnell-smithii</i>	0,50	0,87	0,493	51,7	47	1,45	10,30	7,26	15,9
<i>M. macroterantha</i>	0,34	0,72	0,616	32,3	73	1,69	3,22	9,25	17,9
<i>C. brasiliense</i>	0,35	0,76	0,552	50,1	73	1,65	5,63	8,51	20,5
<i>Lonchocarpus</i> sp.	0,41	0,76	0,800	83,1	75	1,45	9,67	7,41	19,0
<i>G. grandifolia</i>	0,43	0,85	0,528	64,8	86	1,86	9,21	6,38	19,2
<i>C. arborea</i>	0,28	0,78	0,569	72,5	83	1,79	7,95	5,26	17,6
Promedio	0,44	0,79	0,572	55,7	71	1,66	7,54	6,70	17,38

p.t: pie tablar, US\$: dólar estadounidense, Hc: altura tota, Ht: altura total, Ff: factor de forma, Dm: densidad de madera, Arc: área de copa, Oc: oclusión, Mon: monilia, Mne: mazorca negra, IM: índice de mazorca; Cambio del dólar: L. 24.18

El factor Hc/Ht estimado para la Hc fluctuó entre 0,28 (*C. arborea*) y 0,59 (*Nectandra* sp.), en relación con la Ht que siempre representó el valor de “1,0”. *S. macrophylla* fue la especie con mayor conicidad del tronco (0,71) mientras que *T. donnell-smithii* se aproximó más a una forma cilíndrica con el mayor Ff (0,87). *Lonchocarpus* sp. presentó la más alta Dm (0,80 g/cm³), en contraposición, *I. tectonica* registró la menor (0,461 g/cm³). El Arc osciló entre 83,1 a 33,7 m² para las especies *Lonchocarpus* sp. y *D. glomerata*, respectivamente. Las especies *T. donnell-smithii* y *D. glomerata* presentaron un valor medio de Oc de 47%, el menor de todas las especies. En los SAF-cacao con *S. macrophylla* se registró la mayor incidencia a Mon y en el SAF-cacao con *M. macroterantha*, la menor incidencia, con 12,03 y 3,22%, respectivamente. En las parcelas con *M. macroterantha*, a pesar de que presentó la menor incidencia a Mon, fue el SAF con la mayor incidencia registrada (9,25%). El rango de índice de mazorca (IM) en los SAF-cacao osciló entre 14,4-20,5 frutos por kilogramo de cacao seco; los SAF-cacao con *H. alchorneoides* y *D. glomerata* fueron los de menor índice (14,4) y *C. brasiliense* el de mayor IM (20,5).

5.1. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión

5.1.1. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en DAP

Los ANAVA y curvas de crecimiento de las especies maderables realizadas hasta los 17-18 años, demuestran que hay diferencias en el DAP entre las especies maderables (p-valor<0,05). La prueba de media DGC agrupa las mismas en cuatro categorías. Hasta los 17 años las especies con mayor crecimiento diamétrico fueron *T. donnell-smithii* y *Nectandra* sp. con 51,3 y 50,0 cm representando

un crecimiento medio anual (IMA) de 3,0 y 2,9 cm, respectivamente. Entre las especies de menor crecimiento se encontraron *M. macroterantha*, *D. glomerata* y *P. dimorphandrum* con IMA de 28,7 (1,7), 27,9 (1,6) y 27,7 (1,6) cm, respectivamente. Todas las especies a los 13 años lograron el diámetro mínimo de corte mayor o igual a 20 cm que, según experiencias de la FHIA ya pueden ser aprovechables. Sin embargo, a partir de esa edad las especies crecieron a un ritmo pronunciado, excepto *T. donnell-smithii* que ya alcanzaba un diámetro de 48,5 cm y que hasta los 17 años solo alcanzó un incremento diamétrico de hasta 51,4 cm (Figura 1).

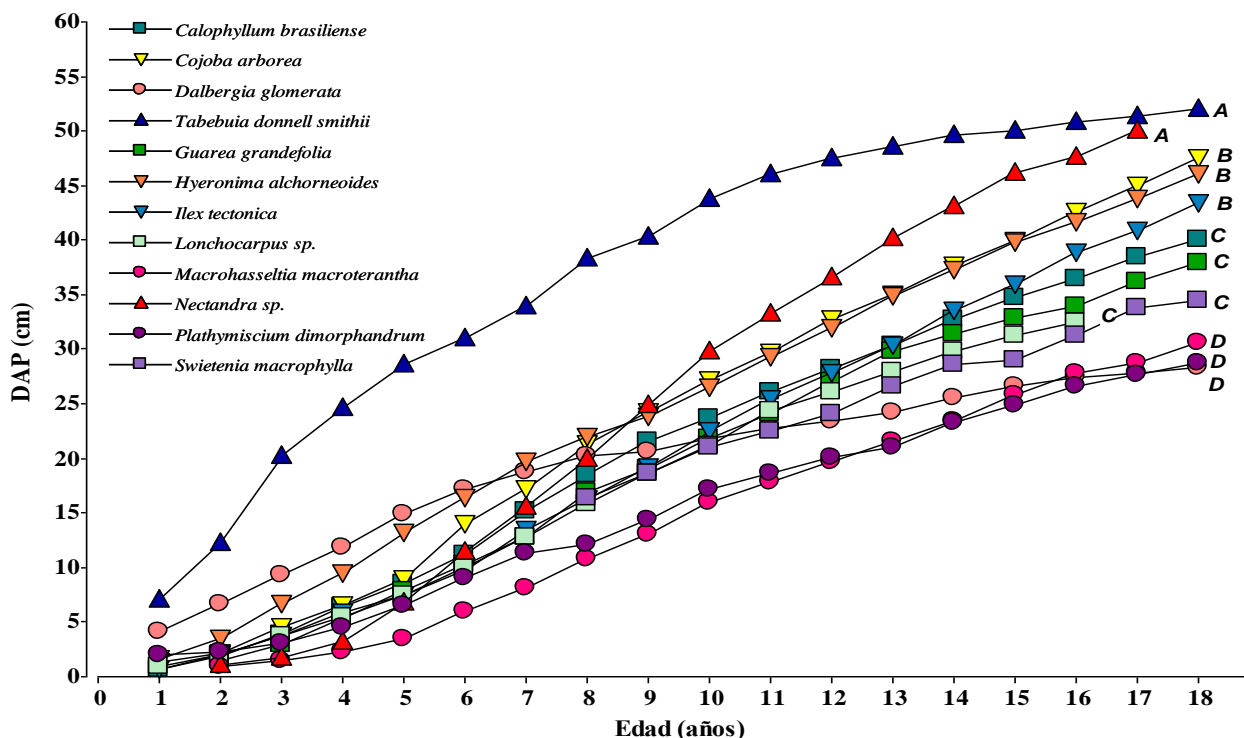


Figura 1. Curvas de crecimiento en DAP (cm) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con el mismo DAP en el último año de evaluación (prueba DGC, $p > 0,05$)

En el Cuadro 4 se muestran los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3) para estimar el DAP de las especies maderables entre 1-18 años, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es el DAP esperado, “x” la edad (años) que es multiplicado por su expresión: lineal, cuadrática y cúbica.

Cuadro 4. Modelos con mejor ajuste para la estimación del DAP (cm) para cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

Especie maderable en SAF	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	$\beta_3 \pm \text{E.E.}$	R ²
<i>C. brasiliense</i>	-1.92809 ± 0.78690	1.69104 ± 0.34900	0.14253 ± 0.04209	3.40202 ± 0.00146	0.9979
<i>C. arborea</i>	-1.94154 ± 1.07267	1.86927 ± 0.47574	0.16058 ± 0.05737	-0.00637 ± 0.00199	0.9971
<i>D. glomerata</i>	-0.07945 ± 0.54110	3.92881 ± 0.23998	-0.22399 ± 0.02894	0.00525 ± 0.00100	0.9968
<i>T. donnell-smithii</i>	0.81548 ± 0.96787	6.83968 ± 0.42926	-0.30384 ± 0.05176	0.00453 ± 0.00179	0.9972
<i>G. grandefolia</i>	-2.33224 ± 0.96601	1.37061 ± 0.38173	0.17251 ± 0.04263	-0.00703 ± 0.00141	0.9985
<i>H. alchorneoides</i>	-2.31596 ± 0.37278	3.22479 ± 0.09034	-0.02966 ± 0.00462		0.9990
<i>I. tectonica</i>	-0.49720 ± 0.46697	0.81454 ± 0.20711	0.20961 ± 0.02498	-0.00670 ± 0.00087	0.9993
<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.45116 ± 0.34893	0.18735 ± 0.17237	0.31576 ± 0.02319	-0.01272 ± 0.00090	0.9995
<i>M. macroterantha</i>	-0.26088 ± 0.94108	-0.10157 ± 0.37188	0.24385 ± 0.04153	-0.00803 ± 0.00137	0.9979
<i>Nectandra</i> sp.	-0.99071 ± 1.57361	-0.55139 ± 0.65117	0.55993 ± 0.07641	-0.02084 ± 0.00266	0.9983
<i>P. dimorphandrum</i>	0.35086 ± 0.64266	0.78888 ± 0.28503	0.12786 ± 0.03437	-0.00471 ± 0.00119	0.9971
<i>S. macrophylla</i>	-1.99432 ± 2.75767	2.53555 ± 0.44151	-0.02771 ± 0.01688		0.9946

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar; R²: coeficiente de determinación

5.1.2. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en altura total

El resultado del ANAVA de los árboles, realizado a los 17-18 años, indica que hay diferencias estadísticas significativa en la Ht entre las especies maderables (p-valor<0,05). La prueba DGC reúne las especies en cuatro grupos. A los 17 años las especies *T. donnell-smithii* y *H. alchornoides* fueron las de mayor crecimiento, con 25,91 y 22,87 m, correspondiendo a una tasa de crecimiento anual de 1,52 y 1,34 m, respectivamente. En el grupo de las especies con menor crecimiento se incluyeron *C. arborea*, *D. glometara* y *P. dimorphandrum* que registraron IMA de 17,77 (1,04), 17,56 (1,03) y 17,29 (1,01) m, respectivamente. Todas las especies lograron en promedio un crecimiento anual en altura mayor a 1 m (Figura 2).

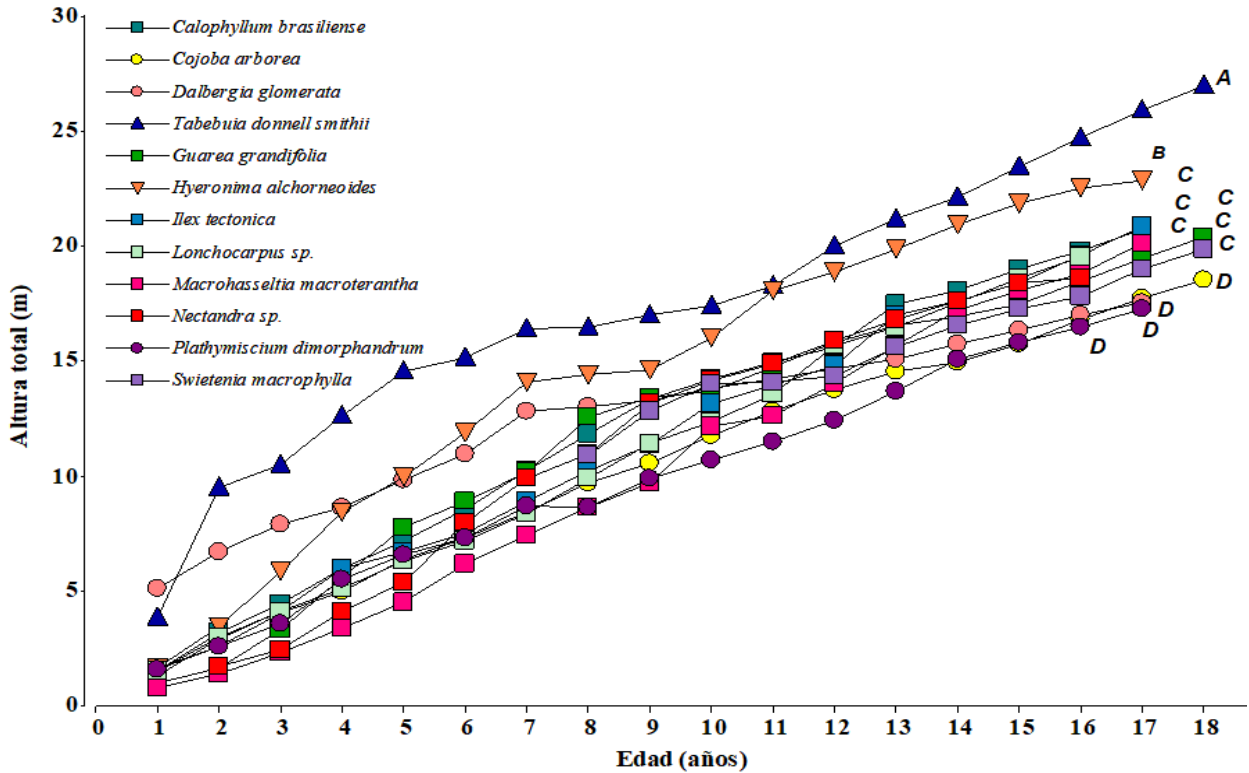


Figura 2. Curvas de crecimiento en altura total (m) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con la misma altura en el último año de evaluación (prueba DGC, $p > 0,05$)

A continuación se presentan los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3) para estimar la Ht entre 1-18 años, en las especies maderables, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es la Ht esperada, “x” la edad (años) que es multiplicada por su expresión: lineal, cuadrática y cúbica (Cuadro 5).

Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste para la estimación de la altura total (m) por cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

Especie maderable en SAF	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	$\beta_3 \pm \text{E.E.}$	R ²
<i>C. brasiliense</i>	-0.28991 ± 0.24282	1.70478 ± 0.06210	-0.02772 ± 0.00335		0.9980
<i>C. arborea</i>	0.19094 ± 0.15582	1.31082 ± 0.03776	-0.01660 ± 0.00193		0.9988
<i>D. glomerata</i>	3.15580 ± 0.40720	1.92654 ± 0.19033	-0.11729 ± 0.02421	0.00316 ± 0.00089	0.9936
<i>T. donnell-smithii</i>	2.17198 ± 1.01700	3.47239 ± 0.45105	-0.27246 ± 0.05439	0.00883 ± 0.00189	0.9835
<i>G. grandifolia</i>	-1.50143 ± 0.43749	1.99514 ± 0.10602	-0.04551 ± 0.00542		0.9929
<i>H. alchorneoides</i>	-1.26060 ± 0.64950	2.82867 ± 0.30358	-0.13115 ± 0.03861	0.00292 ± 0.00141	0.9950
<i>I. tectonica</i>	0.57217 ± 0.17480	1.20944 ± 0.01706			0.9970
<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.98087 ± 0.36109	0.80773 ± 0.17838	0.05644 ± 0.02400	-0.00212 ± 0.00093	0.9982
<i>M. macroterantha</i>	0.11356 ± 0.35705	0.49911 ± 0.16688	0.09952 ± 0.02123	-0.00353 ± 0.00078	0.9984
<i>Nectandra</i> sp.	-1.81187 ± 0.91903	1.38818 ± 0.39913	0.06169 ± 0.04933	-0.00434 ± 0.00181	0.9958
<i>P. dimorphandrum</i>	0.10788 ± 0.45208	1.44835 ± 0.21131	-0.05379 ± 0.02688	0.00171 ± 0.00098	0.9955
<i>S. macrophylla</i>	5.11766 ± 0.55307	0.81346 ± 0.04134			0.9773

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar; R²: coeficiente de determinación

5.1.3. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en volumen de madera comercial

Al igual que en Ht, el resultado del ANAVA para la variable Vc realizado a las 17 años, señala diferencias estadísticas significativas (p-valor<0,05) para el volumen comercial en pie de los maderables. La prueba de comparación de media DGC separa las especies en cinco categorías según el Vc por árbol/especie (Figura 3). La primera categoría incluye solo la especie *T. donnell-smithii*, la cual presentó la media mayor, con 2,40 m³/árbol para un un Vc de 134 m³/ha e IMA de 7,9 m³. Las especies *Nectandra* sp. y *H. alchornoides* correspondieron a la segunda categoría, con un Vc similar entre sí: 1,74 y 1,61 m³/árbol, equivalente a un Vc de 151 y 100 m³/ha y una tasa de acumulación de 8,9 y 5,9 m³/ha/año. La especie *I. tectonica* pertenece a la tercera categoría con 1,19 m³/árbol y un Vc de 141m³/ha (8,3 m³/ha/año) con una población a esa fecha de 119 árboles/ha. Las especies incluidas en la cuarta y quinta categoría tuvieron la menor tasa de acumulación de volumen en pie (Vc por debajo de 0,74 m³/árbol, siempre a los 17 años). Especies como *G. gradifolia*, *S. macrophylla*, *C. brasiliense*, *C. arborea* y *Lonchocarpus* sp., registraron un Vc por árbol alrededor de 0,73, 0,73, 0,66, 0,63 y 0,61 m³, correspondiente a 42, 45, 73, 65 y 39 m³/ha e IMA de 2,5, 2,6, 4,3, 3,8 y 2,3 m³/ha acumulados en 57, 61, 110, 103 y 64 árboles/ha, respectivamente. Las especies con menor Vc acumulado por árbol fueron: *P. dimorphandrum*, *M. macroterantha* y *D. glometara* con 0,39, 0,33 y 0,30 m³ representado 43, 20 y 22 m³/ha e IMA de 2,6, 1,2 y 1,3 m³/ha con cantidad de árboles/ha sobrevivientes hasta esa fecha de: 111, 61 y 74 respectivamente/ha. Como promedio general, el IMA de volumen comercial de los 12 SAF evaluados fue de 4,4 m³/ha/año.

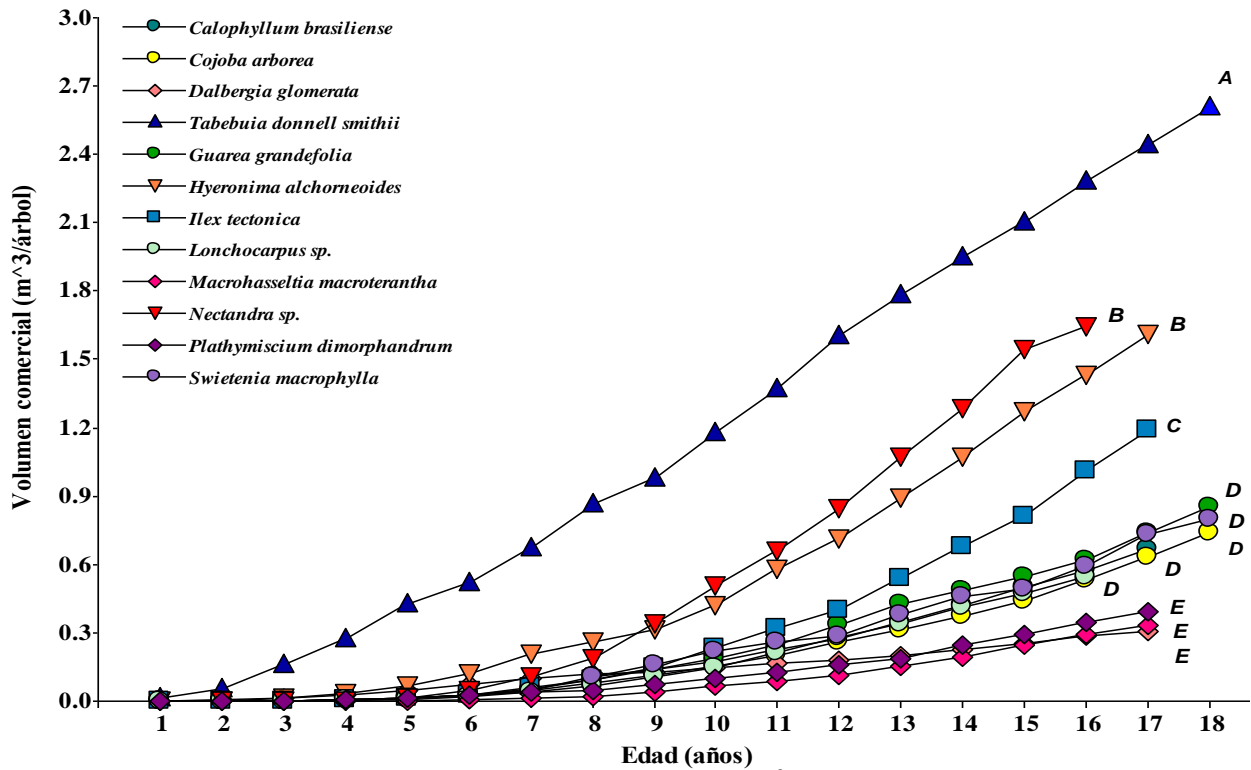


Figura 3. Curva de crecimiento en volumen comercial (m³/árbol) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con el mismo volumen comercial en el último año de evaluación (prueba DGC, p>0,05)

El Cuadro 6 muestra los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3), para estimar el Vc entre 1-18 años (dependiendo de la especie) en los maderables, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es el Vc esperado, “x” la edad (años) que es multiplicada por su expresión: lineal, cuadrática y cúbica.

Cuadro 6. Modelos con mejor ajuste para la estimación del volumen comercial (m³/árbol) por cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

Especie maderable en SAF	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	$\beta_3 \pm \text{E.E.}$	R ²
<i>C. brasiliense</i>	0.01736 ± 0.00508	-0.01675 ± 0.00130	0.00323 ± 0.00007		0.9993
<i>C. arborea</i>	0.00647 ± 0.00695	-0.00799 ± 0.00308	0.00169 ± 0.00037	0.00005 ± 0.00001	0.9994
<i>D. glomerata</i>	-0.01795 ± 0.00599	0.01234 ± 0.00153	0.00038 ± 0.00008		0.9951
<i>T. donnell-smithii</i>	-0.03039 ± 0.02702	0.02505 ± 0.01198	0.01361 ± 0.00144	-0.00038 ± 0.00005	0.9994
<i>G. grandifolia</i>	0.01338 ± 0.01569	-0.01672 ± 0.00356	0.00350 ± 0.00017		0.9973
<i>H. alchorneoides</i>	0.03518 ± 0.02015	-0.03193 ± 0.00515	0.00744 ± 0.00027		0.9982
<i>I. tectonica</i>	0.02213 ± 0.01180	-0.01560 ± 0.00551	0.00167 ± 0.00070	0.00019 ± 0.00002	0.9994
<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.02283 ± 0.00892	-0.01978 ± 0.00241	0.00333 ± 0.00013		0.9973
<i>M. macroterantha</i>	0.03797 ± 0.00619	-0.01931 ± 0.00147	0.00218 ± 0.00007		0.9977
<i>Nectandra</i> sp.	0.26379 ± 0.07361	-0.15671 ± 0.03196	0.02253 ± 0.00395	-0.00044 ± 0.00014	0.9972
<i>P. dimorphandrum</i>	0.00536 ± 0.00676	-0.00419 ± 0.00316	0.00096 ± 0.00040	0.00003 ± 0.00001	0.9985
<i>S. macrophylla</i>	0.11107 ± 0.11638	-0.02808 ± 0.01863	0.00369 ± 0.00071		0.9933

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar; R²: coeficiente de determinación

5.1.4. Curvas, tasas de crecimiento y modelos de regresión en biomasa de volumen comercial

El ANAVA también muestra diferencias estadísticas significativas (p-valor<0,05) para la biomasa entre las especies. La prueba de separación de medias DGC divide las especies en las mismas cinco categorías formadas para la variable Vc y ordenadas de forma muy similar, a excepción de la especie *Lonchocarpus* sp. que en esta variable, debido a su alta densidad de madera (0,80 g/cm³), acompaña a *I. tectonica* en la tercera categoría. La especie *T. donnell-smithii*, al igual que en el Vc, mantiene el promedio mayor en Bio (1,20 t/árbol). Las especies con menor Vc también presentan menor valor de Bio: *P. dimorphandrum*, *M. macroterantha* y *D. glometara*, con: 0,23, 0,21 y 0,18 t/árbol, respectivamente (Figura 4).

Tomando como base el volumen comercial en m³/ha, la densidad de la madera de cada especie y un valor de fracción de carbono de 0,50 para todas las especies maderables, los SAF con valores de Bio ordenados de mayor a menor fueron: *Nectandra* sp., *T. donnell-smithii*, *I. tectonica*, *H. alchornoides*, *C. brasiliense*, *C. arborea*, *Lonchocarpus* sp., *P. dimorphandrum*, *S. macrophylla*, *G. grandifolia*, *D. glomerata* y *M. macroterantha*, con valores de: 79,5, 66,2, 65,2, 59,1, 40,4, 36,9, 31,2, 25,3, 24,0, 22,2, 13,5 y 12,6 toneladas/ha, respectivamente, y valores de carbono de: 39,7, 33,1, 32,6, 29,5, 20,2, 18,5, 15,6, 12,7, 12,0, 11,1, 6,7, 6,3 toneladas/ha, respectivamente. En promedio, los 12 SAF-cacao acumularon una biomasa en el Vc de 39.7 t/ha hasta los 17 años, con un carbono fijado estimado en 19,8 t/ha.

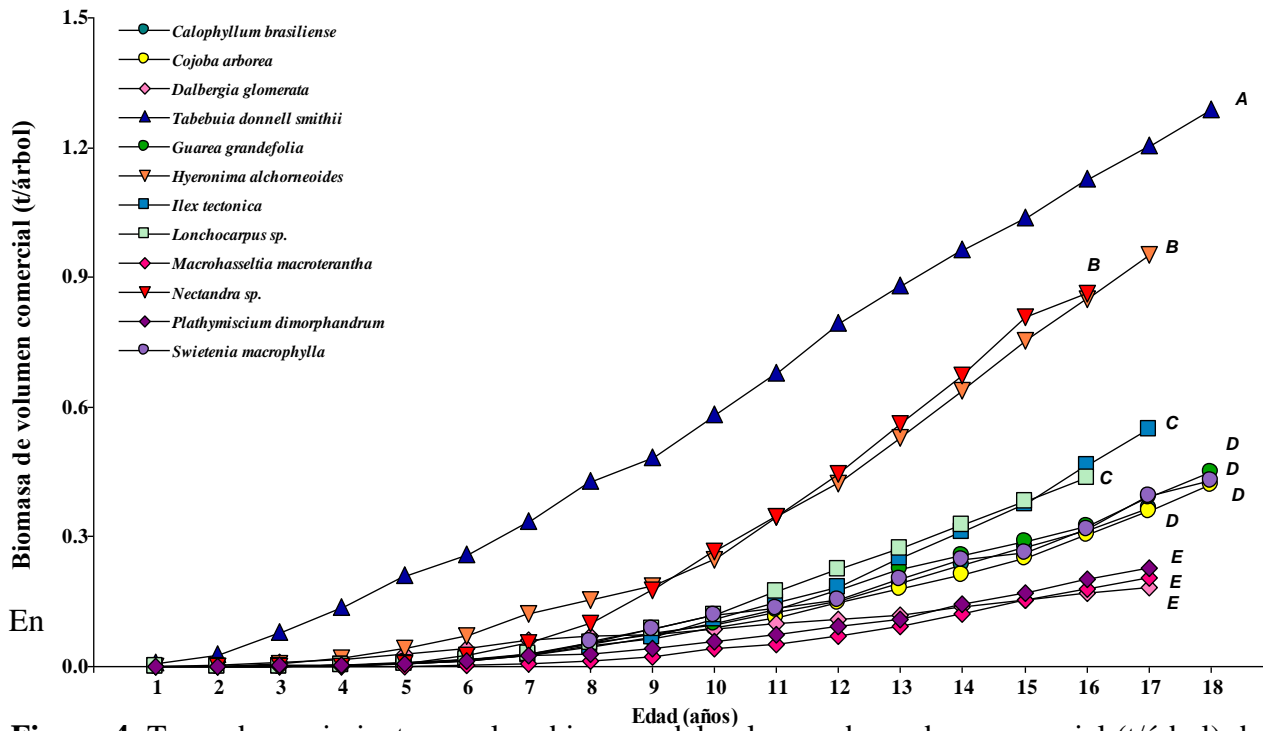


Figura 4. Tasas de crecimiento anual en biomasa del volumen de madera comercial (t/árbol) de 12 especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras. Letras iguales muestran especies con la misma biomasa en el último año de evaluación (prueba DGC, $p > 0,05$)

El Cuadro 7 se presentan los coeficientes de regresión (valores de β_0 , β_1 , β_2 , β_3) para estimar la Bio del Vc entre 1-18 años en las especies maderables, despejando la fórmula $Y = \beta_0 + \beta_1(x) + \beta_2(x)^2 + \beta_3(x)^3$, donde “Y” es la Bio esperada, “x” la edad (años) que es multiplicada por su expresión: lineal, cuadrática y cúbica.

Cuadro 7. Modelos con mejor ajuste para la estimación de la biomasa (t/árbol) de cada especie maderable, según los criterios AIC y BIC, en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

Especie maderable en SAF	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	$\beta_3 \pm \text{E.E.}$	R^2
<i>C. brasiliense</i>	0.00959 ± 0.00281	-0.00925 ± 0.00072	0.00178 ± 0.00004		0.9993
<i>C. arborea</i>	0.00369 ± 0.00396	-0.00455 ± 0.00176	0.00097 ± 0.00021	0.00003 ± 0.00001	0.9995
<i>D. glomerata</i>	-0.01079 ± 0.00361	0.00742 ± 0.00092	0.00023 ± 0.00005		0.9951
<i>T. donnell-smithii</i>	-0.01499 ± 0.01332	0.01235 ± 0.00591	0.00671 ± 0.00071	-0.00019 ± 0.00002	0.9994
<i>G. grandefolia</i>	0.00707 ± 0.00828	-0.00883 ± 0.00188	0.00185 ± 0.00009		0.9974
<i>H. alchorneoides</i>	0.02087 ± 0.01195	-0.01894 ± 0.00306	0.00441 ± 0.00017		0.9982
<i>I. tectonica</i>	0.01020 ± 0.00544	-0.00719 ± 0.00254	0.00077 ± 0.00032	0.00009 ± 0.00001	0.9995
<i>Lonchocarpus</i> sp.	0.01827 ± 0.00714	-0.01583 ± 0.00193	0.00267 ± 0.00011		0.9973
<i>M. macroterantha</i>	0.02340 ± 0.00382	-0.01190 ± 0.00091	0.00134 ± 0.00005		0.9978
<i>Nectandra</i> sp.	0.13849 ± 0.03865	-0.08227 ± 0.01678	0.01183 ± 0.00207	-0.00023 ± 0.00008	0.9973
<i>P. dimorphandrum</i>	0.01063 ± 0.00311	-0.00683 ± 0.00080	0.00116 ± 0.00004		0.9978
<i>S. macrophylla</i>	0.06411 ± 0.06099	-0.01601 ± 0.00976	0.00203 ± 0.00037		0.9937

β_0 : ordenada al origen; β_1 - β_3 : coeficientes de regresión; E.E.: error estándar; R^2 : coeficiente de determinación

5.2. Análisis de correlación

5.2.1. Correlación entre densidad poblacional y producción agroforestal

No se encontró correlación significativa entre la densidad poblacional del cacao (plantas/ha) y el rendimiento (kg/ha) (p-valor=0.2437); es decir, los resultados en rendimiento del cacao no se vieron afectados por la densidad poblacional del cultivo que osciló entre 938-1185 plantas/ha. Por lo tanto, los rendimientos del cacao entre SAF son comparables. La densidad poblacional de los maderables tampoco afectó el rendimiento (p-valor=0.5582), permitiendo también la comparación de los SAF-cacao.

5.2.2. Correlación entre variables agroforestales

Solo en cuatro de los 12 SAF-cacao se encontraron correlaciones negativas significativas (p-valor<0,05), entre la cobertura arbórea y el rendimiento del cacao; es decir, que a la medida que incrementaba la cobertura arbórea disminuía el rendimiento del cultivo. Estas correlaciones se dieron cuando el cacao se asoció con *S. macrophylla*, *P. dimorphandrum*, *C. brasiliense* e *I. tectónica*, mostrando valores de coeficiente de Pearson (R) de: -0,90, -0,85, -0,81 y -0,77, respectivamente. Para el caso de las correlaciones entre la cobertura y la incidencia a enfermedades (monilia y mazorca negra), no se encontraron correlaciones significativas, excepto para el SAF con la especie *Lonchocarpus* sp., donde incrementaba la incidencia a monilia cuando incrementaba la cobertura (Cuadro 8). Se puede inferir que la no significancia de la correlación de cobertura sobre la incidencia de enfermedades responde al control cultural y/o manejo dado al cacaotal, especialmente por la práctica de eliminación periódica de frutos enfermos.

Cuadro 8. Correlación de Pearson entre cobertura (%), rendimiento (kg/ha) e incidencia de monilia y mazorca negra en los 12 sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

SAF-Cacao	Cobertura (%)	Rendimiento de cacao			Incidencia de monilia			Incidencia de m. negra		
		R	P-valor	(kg/ha)	R	P-valor	(%)	R	P-valor	(%)
<i>S. macrophylla</i>	34-44	-0.90	0.0058**	547	0.20	0.6594 ns	12,0	0.56	0.1913 ns	5,5
<i>P. dimorphandrum</i>	16-31	-0.85	0.0152*	1250	0.20	0.6689 ns	8,8	0.68	0.0960 ns	7,5
<i>C. brasiliense</i>	14-34	-0.81	0.0289*	647	-0.75	0.0592 ns	5,6	0.64	0.1214 ns	8,5
<i>I. tectonica</i>	22-37	-0.77	0.0439*	700	0.18	0.6939 ns	5,4	0.15	0.7536 ns	8,0
<i>Lonchocarpus</i> sp.	12-23	-0.66	0.1046 ns	752	0.82	0.0233*	9,7	0.37	0.4147 ns	7,4
<i>M. macroterantha</i>	3-8	-0.54	0.2083 ns	1011	0.13	0.7807 ns	3,2	-0.46	0.3034 ns	9,3
<i>T. donnell-smithii</i>	10-17	-0.14	0.7676 ns	397	0.64	0.1207 ns	10,3	-0.14	0.7609 ns	7,3
<i>D. glomerata</i>	7-12	-0.04	0.9260 ns	1367	0.48	0.2750 ns	7,8	0.18	0.6913 ns	3,7
<i>C. arborea</i>	4-33	0.60	0.2079 ns	467	0.25	0.6345 ns	8,0	-0.67	0.1448 ns	5,3
<i>G. grandifolia</i>	11-36	0.44	0.3183 ns	564	-0.59	0.1621 ns	9,2	-0.61	0.1454 ns	6,4
<i>Nectandra</i> sp.	24-41	0.11	0.8102 ns	565	0.72	0.0684 ns	7,2	-0.33	0.4717 ns	7,0
<i>H. alchorneoides</i>	16-31	0.02	0.9706 ns	907	0.71	0.0742 ns	3,4	-0.02	0.9705 ns	4,7

Correlaciones altamente significativas**, Correlaciones significativas*, Correlaciones no significativas: ns

De manera general, se encontró correlación positiva y altamente significativa (p -valor $<0,01$) entre las variables dasométricas cobertura y área basal maderable sobre el rendimiento de cacao (figuras 5 y 6). El área basal de los maderables también se correlacionó significativa y positivamente con la incidencia a mazorca negra (mayor área basal, mayor incidencia de mazorca negra). Adicionalmente se encontró que a la medida que incrementó el rendimiento, disminuyó la incidencia de mazorca negra. Finalmente, se detectó una correlación significativa entre las incidencias de las dos enfermedades, disminuyendo la incidencia de mazorca negra cuando aumenta la incidencia a monilia (Figura 6).

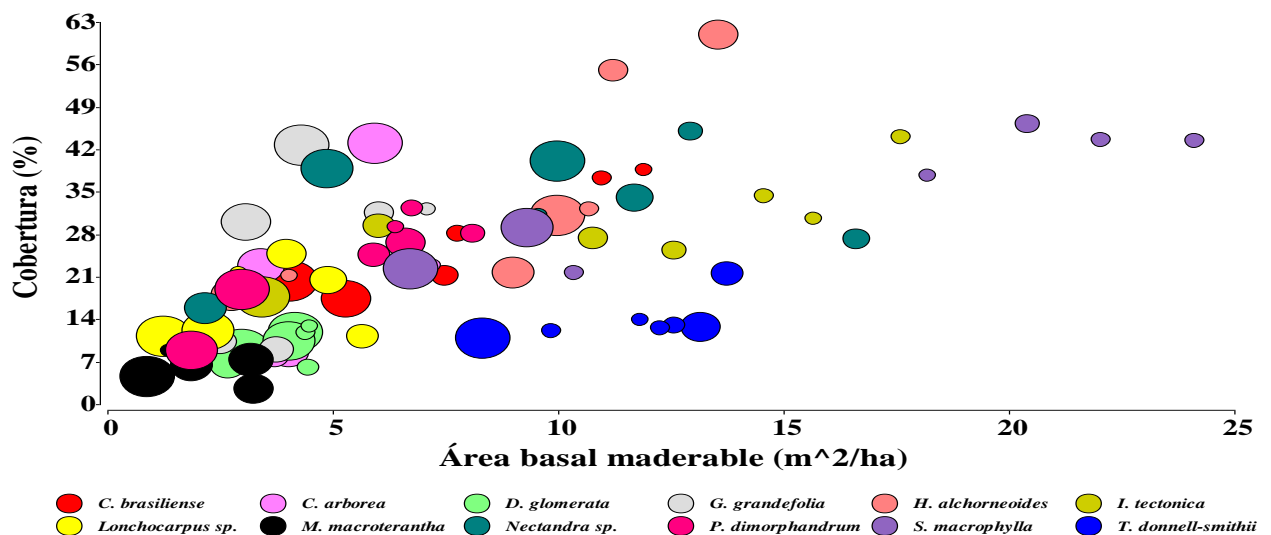


Figura 5. Representación de la correlación entre cobertura (%) y área basal de los maderables (m^2/ha) y su influencia sobre el rendimiento del cacao (círculos de $>$ tamaño $>$ rendimiento del cacao) en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

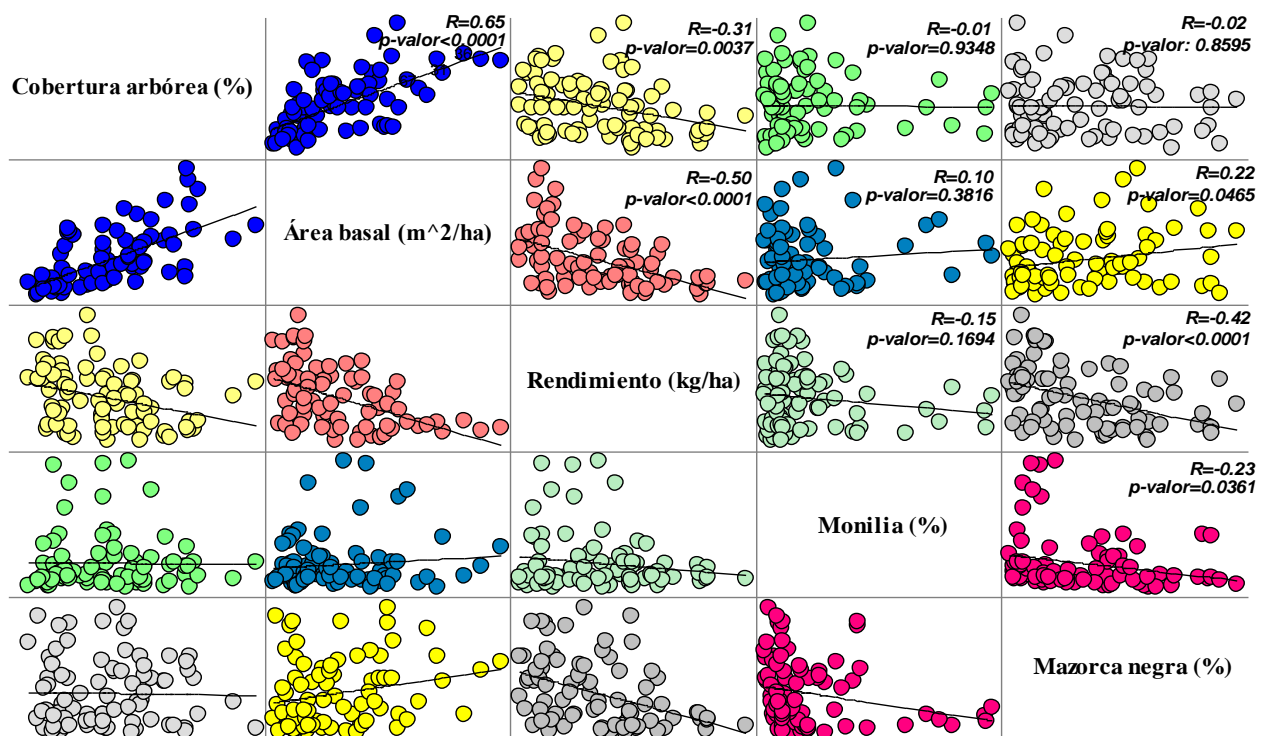


Figura 6. Diagrama de dispersión mostrando la asociación entre las variables

5.3. Análisis de componentes principales en variables financieras del SAF

El ACP realizado con las 13 variables financieras estudiadas explica el 94,4% de la variabilidad de los datos con los tres primeros componentes principales. Se encontró una alta correlación positiva entre las variables financieras dentro del mismo componente agroforestal. El CP1 explica el 54% de la variabilidad separando los SAF-cacao por ingresos provenientes de la cosecha del plátano (ptn) y maderado (mdrd). Los SAF con mayores ingresos se ubican al lado derecho, sobresaliendo los socios de cacao con *Lonchocarpus* sp., *I. tectonica* y *S. macrophylla*. Estos SAF-cacao se caracterizan porque fueron establecidos con mayor población de plátano y maderado. El CP2 explica el 23,1% de la variabilidad y separa los I.N. e I.B. entre el cacao y el maderable (mdrb), encontrándose una alta correlación negativa, es decir, que a medida que se incrementan los ingresos por cacao en el SAF, disminuyen los ingresos del maderable y viceversa (Figura 7).

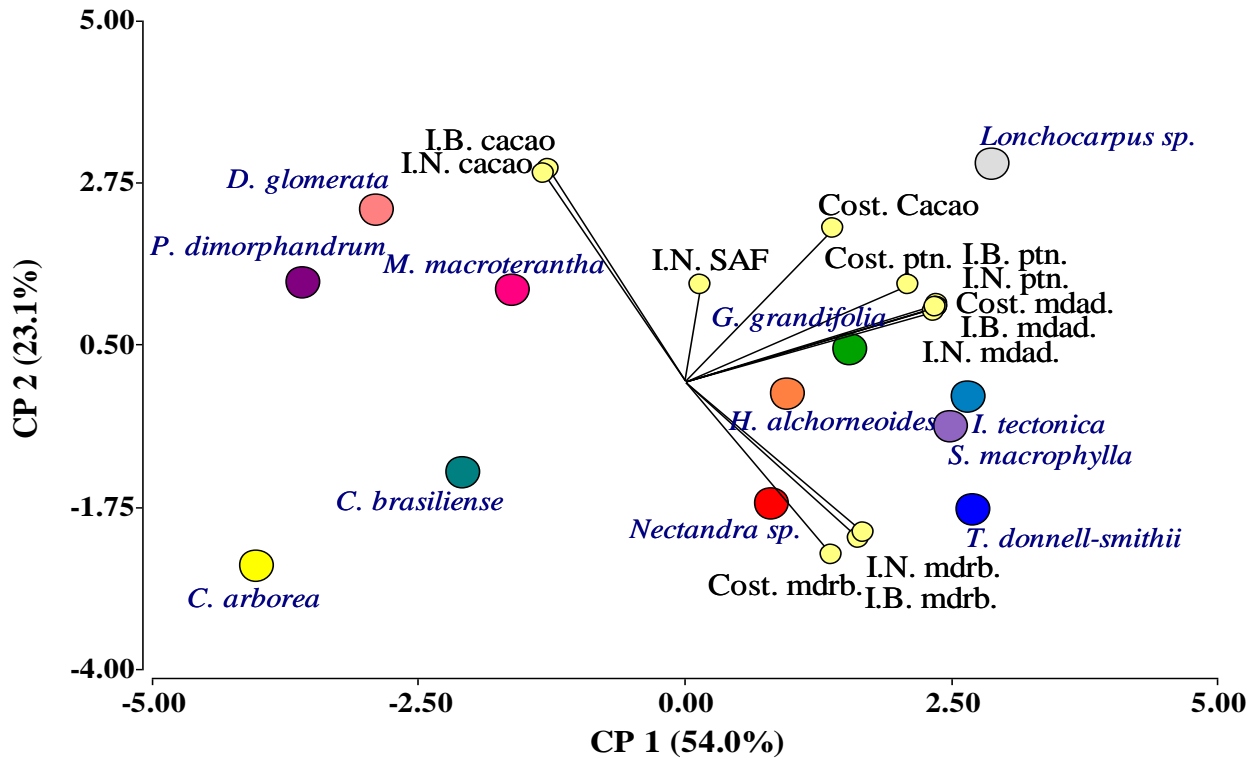


Figura 7. Biplots de CP1 y CP2, de las variables financieras de sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

En la Figura 8 se observan, en la parte superior, los SAF con mayores ingresos por la venta de cacao y en la parte inferior los de mayor ingreso por la de maderables. El CP3 explica el 17,3% de la variabilidad y separa los SAF por los I.N. totales; los SAF-cacao con mayores ingresos se visualizan en la parte superior de la Figura 7 y corresponden a la combinación cacao-plátano-madreado con maderables como: *H. Alchornoides*, *D. glomerata*, *P. dimorphandrum*, *I. tectonica* y *S. macrophylla* (Cuadro 9).

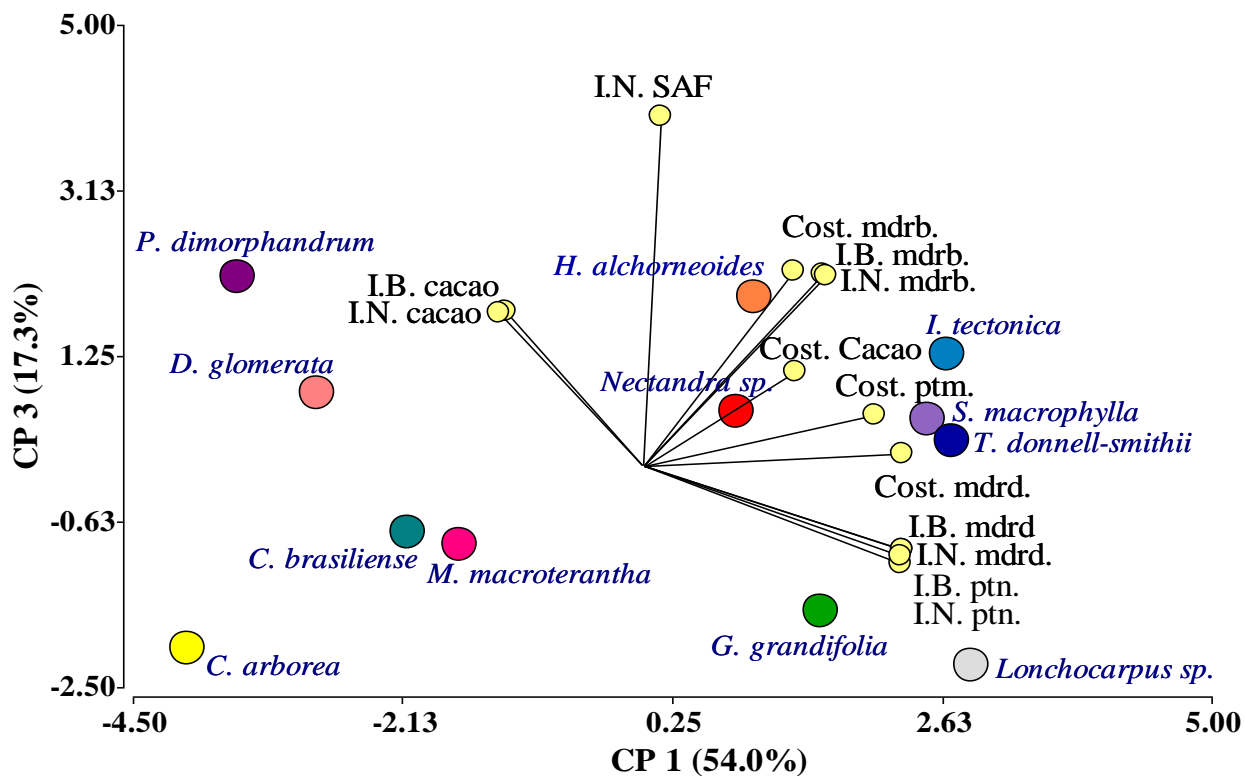


Figura 8. Biplots de CP1 y CP3, de las variables financieras del SAF sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

5.3.1. Análisis financiero de los SAF

En cinco SAF los ingresos generados hasta los 24 años superaron el valor promedio acumulado de US\$90 500,00, equivalentes a más de US\$3770,00 por año. Los I.N. del SAF pueden estar influenciados tanto por el maderable (los asociados *I. tectónica* y *S. Macrophylla* con *C. megalantha*), como por el cacao (los asociados con *D. glomerata* y *P. dimorphandrum*). Sin embargo, dentro de las mejores asociaciones sobresalió cacao con *H. alchornaides* que generó US\$95 355,00 (US\$3973,00 anuales) y presentó la misma importancia económica tanto del cacao como del maderable. Los SAF con menor costo de producción fueron aquellos en los que el cacao fue más influyente en los ingresos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados productivos y financieros por hectárea hasta 24 años de sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en la zona norte de Honduras

SAF-cacao	Rendimiento acumulado					Costos del SAF (US\$/ha)	Ingreso neto acumulado (US\$)						
	Cacao (kg/ha)	Mdrb (p.t.)	Ptn (racimo)	Ptn (cormo)	Mdrd (estacón)		Cacao	%	Mdrb	%	Ptn	Mdrb	SAF
<i>H. alchorneoides</i>	17 876	31 462	2640	2112	6312	34 112	43 470	46	43 483	46	7059	1343	95 355
<i>D. glomerata</i>	28 252	5577	2518	2014	6024	26 459	81 682	86	5268	6	6748	1265	94 964
<i>P. dimorphandrum</i>	26 068	14 080	2345	1876	5592	30 192	72 297	76	15 336	16	6143	1148	94 924
<i>I. tectonica</i>	14 321	38230	2778	2222	6648	33103	30 267	33	53 014	57	7533	1436	92 251
<i>S. macrophylla*</i>	12 035	36 374	2785	2228	6648	36 404	21 548	24	48 836	66	7631	1439	90 518
<i>Nectandra</i> sp.	11 737	36 358	2623	2098	6264	35 317	21 194	30	41 617	58	7062	1333	71 205
<i>T. donnell-smithii</i>	8768	41 134	2743	2194	6592	36 744	10 285	15	47 314	71	7411	1410	66 420
<i>M. macroterantha</i>	19 916	5498	2593	2074	6192	26 707	51 223	78	6386	10	6923	1319	65 851
<i>C. brasiliense</i>	13 714	15 714	2470	1976	5904	28 973	29 027	51	20 364	36	6600	1234	57 224
<i>Lonchocarpus</i> sp.	16 599	7659	2963	2370	7080	27 850	37 657	67	8670	15	8158	1557	56 043
<i>G. grandifolia</i>	12 388	14 177	2778	2222	6648	29 680	23 230	44	21 134	40	7559	1438	53 361
<i>C. arborea</i>	10 280	9412	2360	1888	5640	26 541	17 152	46	12 947	34	6303	1169	37 571
Promedio	15 996	21 306	2633	2106	6295	30 796	36 586	50	27 953	39	7094	1341	72 974

US\$: dólares estadounidenses, p.t.: pie tablar, Mdrb: maderable, Ptn: plátano, Mdrd: madreado

El SAF con *S. macrophylla* incluye 18 420 p.t. de *Cordia megalantha* y un precio de US\$: 1,55 p.t.

Para determinar el Vc en m³, se divide el Vc en p.t./200

6. Discusión

A los 24 años de edad, los 12 SAF-cacao evaluados tuvieron una densidad poblacional promedio de 1053 plantas/ha y alcanzaron un rendimiento medio de cacao de 762 kg/ha/año. Estos SAF acumularon un volumen maderable de 21 306 p.t./ha, equivalentes a 106,5 m³ (4,4 m³/ha/año), obtenidos a partir de una media de 118 árboles/ha de los cuales se registró el Vc de 80 árboles/ha entre los cosechados de manera parcial, cuando tenían un DAP igual o mayor a 20 cm, y árboles que aún siguen en pie.

Desde los 17 años los SAF mantuvieron un incremento medio anual de 4,4 m³/ha. Dubón y Sánchez (2011a), indican que en *C. megalantha* y *C. odorata*, el tiempo de cosecha de los maderables es muy variable y para el caso de SAF-cacao, bajo las condiciones de la costa norte de Honduras, los árboles pueden cosecharse a partir de los 17 años. A los 24 años los SAF-cacao con *T. donnell-smithii* lograron el mayor Vc (41134 p.t. / 8.6 m³/año) y SAF-cacao con *D. glomerata* el menor (5577 p.t. / 1,2 m³/año). Estos SAF-cacao también mostraron el rendimiento más alto y bajo, siendo el de *D. glomerata* el más productivo (1367 kg/ha/año) y el *T. donnell-smithii* el menos productivo (398 kg/ha/año). Entre los 12 SAF-cacao evaluados, cinco generaron ingresos por arriba de US\$90 500,00, equivalentes a más de US\$3770,00/ha/año. En estos SAF de mayor ingreso fue importante conocer la producción y distribución de ingresos por componente agroforestal, lo cual permitió seleccionar los SAF-cacao más apropiado de acuerdo con los objetivos del productor: más producción e ingresos por cacao o por madera, o ingresos más compartidos entre los componentes como en el caso de los SAF-cacao con *H. alchornoides*.

Dubón (2020), siempre bajo las condiciones del CEDEC-JAS, evaluó durante cuatro años (2017-2020), progenies de cacao tolerantes a monilia; obtuvo un rendimiento promedio de 1254 kg/ha en cacao asociado con *D. glomerata*. Dubón y Sánchez (2011a) finalizaron un estudio de 23 años de evaluación de diferentes SAF-cacao con cedro (*Cedrela odorata*), laurel negro (*Cordia Megalantha*), rambután (*Nephelium lappaceum*) y leguminosas como tratamiento testigo. En dicho estudio el SAF cacao-cedro rindió 704 kg cacao/ha y 189 m³/ha (37 800 p.t) y la asociación cacao-laurel 538 kg y 333 m³/ha (66 600 p.t), mientras que el SAF con sombra de leguminosas obtuvo en promedio 672 kg de cacao/ha sin producción de madera. Los resultados presentados por estos autores son muy similares a los reportados en este estudio, donde el cacao asociado con *I. tectonica*, *S. macrophylla* y *Nectandra* sp. rindieron 700, 547 y 565 kg/ha/año y 38 230, 36 374 y 36 358 p.t., respectivamente.

Somarriba y Beer (2011) evaluaron por 11 años SAF-cacao con *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea* y *Terminalia ivorensis* en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá, establecidos con 1111 plantas de cacao/ha y maderables a una densidad poblacional de 278 plantas/ha, raleados al quinto año a 175 árboles/ha en SAF. Según sus resultados, no encontraron efecto de la sombra de los árboles sobre la incidencia de las enfermedades en cacao. La clave fue que en ambos sitios se manejó el dosel de sombra de manera

diferencial y, al igual que en esta investigación, no se encontró efecto debido al control de enfermedades cada 14 días. Así mismo, los rendimientos del cacao en Costa Rica fueron entre 802-903 kg/ha/año y en Panamá entre 669-767 kg/ha/año. Aunque estos autores estudiaron SAF con otros maderables, los rendimientos en el cacao son muy similares a los reportados en esta investigación (762 kg/ha/año). En Changuinola, las especies maderables consideradas de rápido crecimiento (*C. alliodora*, *T. rosea* y *T. ivorensis*), presentaron un DAP e IMA a los 11 años de 30 (2,73), 31 (2,82) y 34 (3,09) cm; la Ht e IMA fue de 24 (2,18), 17 (1,54) y 25 (2,27) m y volumen de madera cosechable de 128 (11,63), 93 (8,45) y 172 (15,63) m³/ha, respectivamente. Resultados similares se obtuvieron para las especies de rápido crecimiento, los cuales fueron comparables con los resultados obtenidos en esta investigación a los 11 años para *T. donnell smithii*, *Nectandra* sp. y *H. alchorroides*; con valores de DAP e IMA de 46 (4,18), 33 (3,00) y 29 (2,64) cm; Ht e IMA de 18 (1,64), 15 (1,36) y 18 (1,64) m y Vc de 75 (6,81), 81 (7,36) y 72 (6,54) m³/ha. Las 12 especies maderables estudiadas promedian una tasa de crecimiento anual en DAP de 2.25 cm. Las especies de menor crecimiento para esta variable son: *M. macroterantha*, *D. glomerata* y *P. dimorphandrum*, con IMA a los 17 años de 1,7, 1,6 y 1,6 cm, respectivamente.

Dubón y Sánchez (2016), indicaron un IMA en DAP > a 1,5 cm como una tasa de crecimiento aceptable. Estos mismos autores establecen la altura de los árboles en tres categorías: baja (<10 m), media (11 a 20 m) y alta (>20 m). A los 17 años, especies como *T. donnell-smithii* y *H. alchorroides*, *I. tectonica*, *C. brasiliense*, *M. macroterantha* y *Lonchocarpus* sp., se agruparon dentro de las especies “altas”. El resto de las especies se clasifican como de altura “media”: *S. macrophylla*, *G. grandifolia*, *Nectandra* sp. *C. arborea*, *D. glometara* y *P. dimorphandrum*. Todas las especies lograron, en promedio, un crecimiento anual mayor a 1 m. La altura total alcanzada a los 24-25 años en todos los SAF, fueron superiores a los 20 m, lo que las ubica en la categoría de “altas”.

Niether y sus colegas (2020), recopilaron los resultados de 52 investigaciones comparando SAF-cacao vs monocultivos de cacao, en términos de rendimiento económico, producción de cacao, incidencia a las enfermedades, potencial de almacenamiento y secuestro de carbono y mitigación del cambio climático. En términos generales, los SAF son superiores en la mayoría de las variables. En su metaanálisis se encontró en promedio 3,4% de mazorca negra, 37 t C/ ha equivalentes a 2,5 veces más en comparación con cacaotales a pleno sol y un área basal de las especies leñosas acompañantes de 10,2 m²/ha. Sin embargo, los rendimientos del cacao en SAF fueron inferiores en un 25% (600 kg/ha/año), en contraste con cacaotales a pleno sol. Dicho estudio es comparable con los resultados obtenidos en esta investigación donde se obtuvo: 6,7% de incidencia a mazorca negra, 20 t C/ha como promedio de los 12 SAF (solamente el acumulado en el Vc de los maderables hasta los 18 años), 7,5 m²/ha de área basal de los maderables y un rendimiento del cacao 762 kg/ha/año.

En el estudio de Niether *et al.* (2020), se encontró una relación negativa y significativa entre el área basal (m²) y la cobertura (%) de los árboles de sombra y el rendimiento anual del cacao. Cuando al área basal de los árboles acompañantes sobrepasa el umbral de los 10 m² y la cobertura está por

encima del 45%, el rendimiento del cacao se ve reducido. Considerando esos parámetros y la densidad poblacional promedio mantenida hasta los 17 años, los SAF tuvieron que ser aprovechados en su totalidad a los 19 años. Los mayores rendimientos en cacao (1000-1350 kg/ha/año) se obtuvieron en SAF con cobertura menor al 31% y un área basal <6 m²/ha, coincidiendo con las recomendaciones de mantener la cobertura entre 25-30% en la etapa de producción (Carrillo *et al.* 2012; Dubón y Sánchez 2016), y el área basal <10 m² (Dubón y Sánchez 2006, Somarriba *et al.* 2018).

Según Somarriba *et al.* (2018), los rendimientos del cacao bajo 55% de sombra, son de 585 kg/ha, acumulando hasta 65 t C/ha. Koko *et al.* (2013), compararon siete tipos de SAF-cacao en Garango, Costa de Marfil. Estos sistemas fueron desde monocultivo de cacao, hasta su asocio con frutales como naranja (*Citrus sinensis*) y aguacate (*Persea americana*) a tres diferentes distancias (10,6, 6,36 y 2,12 m). Como resultado, los sistemas que permitieron mayor cantidad de horas luz en el cacaotal fueron más productivos. Se obtuvo una mayor producción de cacao en monocultivo, seguido de los socios cacao-naranja distanciado a 10,6 m y cacao-aguacate distanciado a 10,6 m con 64,0, 51,0 y 45,8 frutos/árbol/año, cuando la luz recibida fue de 100, 96 y 94%, respectivamente.

Cerda *et al.* (2014), estudiaron 179 SAF (254 ha en total), distribuidos en cinco países centroamericanos. Encontraron que el área basal en las especies utilizadas como sombra varió entre 4-7 m²/ha y el IMA en volumen maderable fue de 0,6 m³/ha/año, producto de los maderables que generalmente son de regeneración natural vs 4,4 m³/ha/año producidos por los 12 SAF estudiados bajo sistema de plantación. En este mismo estudio, los autores cuantificaron los ingresos de los subproductos del SAF (plátano, leña y madera). Como resultado encontraron que en SAF-cacao bien gestionados, se pueden obtener fácilmente rendimientos de 1000 kg/ha/año, que pueden generar hasta US\$3200,00/ha/año correspondientes a US\$2150 (67%) aproximadamente, provenientes de los subproductos de los SAF. Resultados similares se obtuvieron con respecto a los ingresos netos promedio por hectárea de los 12 SAF igual a US\$3040,00 (US\$72 974,00 en 24 años) y que el 50% (US\$1520,00) de los ingresos provienen de los productos de las especies que acompañan el cacao, incrementó aún más los ingresos entre US\$3970,00 y US\$3770,00 cuando se establecen SAF con: *H. alchornaides*, *D. glomerata* *P. dimorphandrum* *I. tectonica* y *S. Macrophylla* (Figura 9).

En Talamanca, Costa Rica, Ryan *et al.* (2009) realizaron un análisis económico en 11 fincas de la región, partiendo de los registros de ingresos por cosecha de madera de laurel seleccionados de la regeneración natural y los ingresos por cosecha de cacao. En dicha investigación el volumen de madera en pie con corteza fue de 4,4 m³/ha y el volumen comercial de 2,8 m³/ha (árboles con 62 cm de diámetro y 35,5 m de altura en promedio), en árboles con un promedio de 32 años. El rendimiento de cacao fue de 0,75 kg/árbol, y 243 kg/ha, considerado no muy atractivo debido a la baja densidad de población del cacao, manejo pobre de la plantación y edad avanzada del cacao. En este estudio se obtuvieron resultados similares al comparar el Vc de las cinco especies con mayor rendimiento maderable hasta los 24 años, promediando un IMA de 7,6 m³/ha, es decir, un

Vc a los 24 años de 182,4 m³/ha o 2,6 m³/árbol (520 p.t.), al distribuirlo entre 70 árboles/ha, que es lo que recomienda la FHIA para mantener la cobertura arbórea en el rango ideal (25-30%) (Carrillo *et al.* 2012; Dubón y Sánchez 2016). En este estudio se estimó la cobertura arbórea mediante el método de estimación visual (Somarriba 2002), considerando las características dasométricas presentadas, en promedio, en los 12 maderables: área de copa (55,7 m²) y oclusión (0,71), obteniendo un valor medio de 28% de cobertura. El rendimiento medio del cacao en los cinco SAF fue superior (623 kg/ha), al rendimiento reportado en los SAF-cacao evaluados por Ryan y sus colegas (2009) (243 kg/ha).

Mediante un inventario forestal en 212 fincas se determinó que la población de maderables de regeneración natural en SAF-cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia, es baja (Orozco 2005). Como resultado se encontró una baja densidad (3,5-6 árboles/ha) en especies como *Swietenia macrophylla*, *Schyzolobium parahyba*, *Amburana cearensis*, *Centrolobium ochroxylum* y *Cedrela odorata*. En las fincas muestreadas, los árboles recibieron poco manejo y como consecuencia, registraron un volumen comercial de madera bajo (<3 m³/ha). Mussak y Laarman (1989), realizaron un estudio con 122 productores y en 4000 hectáreas en tres subregiones de Ecuador (Ventanas, La Troncal y Babahoyo). La cantidad de árboles en los SAF con cultivos perennes como café y cacao están por debajo (12 árboles/ha), del potencial que tienen las granjas por la abundancia de tierra y la excelente regeneración natural, pudiéndose establecer fácilmente 21 árboles/ha, sin generar competencia con el cultivo.



Figura 9. SAF-cacao de los más promisorios según sus ingresos netos que forman parte del estudio a) *Ilex tectonica*, b) *Dalbergia glomerata*

7. Conclusiones

Con la reconstrucción de las curvas de crecimiento, se encontró que a partir de los 11 años las variables de crecimiento de las especies maderables evaluadas tuvieron una tendencia similar, pero se destacan especies como *Tabebuia donnell-smithii*, *Hieronima alchornoides* y *Nectandra* sp.

Los rendimientos del cacao fueron afectados negativamente a medida que incrementaba la cobertura y el área basal de los maderables. Los mejores rendimientos de cacao se registraron en Los sistemas asociados con *Dalbergia glomerata*, *Macrohasseltia macroterantha* y *Plathymiscium dimorphandrum*.

Los SAF son una alternativa de diversificación productiva atractiva para la zona atlántica de Honduras, lo cual permite establecer los SAF-cacao más apropiados de acuerdo con los objetivos del productor: más producción e ingresos por cacao, por madera, o ingresos más compartidos entre los componentes.

8. Recomendaciones

Hacer investigaciones sobre los “modelos de regresión o ecuaciones alométricas” relacionadas a la estimación de volumen y densidad de ramas y de raíces de los maderables, para poder realizar estimaciones totales del biomasa y, por ende, estimar el potencial de almacenamiento y secuestro de carbono del SAF.

Implementar “validar” los cinco SAF con mejores ingresos en las fincas de productores de la región centroamericana con condiciones climáticas similares a los del CEDECJAS, Honduras.

Calcular el rendimiento de madera aserrada de cada especie forestal utilizando sierra de banda, pues permitiría estimar, con mayor precisión, el volumen comercial, ya que en este estudio se utilizó un rendimiento general estimado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF) de 200 p.t./m³ de madera en rollo.

Utilizar los valores de cobertura arbórea (25-30%) y área basal (5-10 m²/ha), como directrices técnicas para diseñar y manejar las poblaciones de cacao y especies de sombra en los SAF-cacao que se fomentan.

9. Referencias bibliográficas

- Ammuor, T; Andrade, H; Beer, J; Ibrahim, M; Kent, J; López, A; Ordoñez, Y; Orozco, L; Pezo, D; Quirós, D; Salgado, J; Scheelje, M; Schlonvoigt, A; Venegas, G; Zapata, P. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales en Centroamérica. (en línea). *In* Detlefsen, G; Somarriba, E. (eds.). 2012. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 224 p. (Serie técnica, Manual técnico no. 109).
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* (38):139-164. DOI:10.1023/A:1005956528316

- Bentley, JF; Boa, E; Stonehouse, J. 2004. Neighbour trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Hum Ecol* 32(2):241-270. DOI:10.4067/S0717-75182013000200006
- Bertoli, A. 2017. The effect of different cocoa cultivars on cadmium uptake by cocoa. Tesis Mag. Sc. Zurich, Swiss, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich Swiss Federal Institute of Technology Zurich. 72 p.
- Bunn, C; Lundy, M; Wiegel, J; Castro-Llanos, F. 2019. Impacto del cambio climático en la producción de cacao para Centroamérica y El Caribe (en línea). Atlas. Consultado 10 oct. 2020. Disponible en https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Impacto+del+cambio+clim%C3%A1tico+en+la+producci%C3%B3n+de+cacao+para+Centroam%C3%A9rica+y+El+Caribe&btnG=
- Casanoves, F; Cifuentes, M; Chacón, M. 2017. Buenas prácticas para la recolección, manejo y análisis de datos. Serie técnica. Informe técnico, no.410.
- Carrillo, FÁ; Molina, JR; Salazar, JCS. 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores (en línea). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(2):145-150. Consultado 11 oct. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624578>
- Cerda, R; Deheuvels, O; Calvache, D; Niehaus, L; Saenz, Y; Kent, J; Vilchez, S; Villota, A; Martinez, C; Somarriba, E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agroforestry System* 88(6):957-81. DOI: 10.1007/s10457-014-9691-8
- Dahlquist, RM; Whelan, MP; Winowiecki, L; Polidoro, B; Candela, S; Harvey, CA; Wulfhorst, JD; McDaniel, PA; Bosque-Pérez, NA. 2007. Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: a case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Biodivers Conserv* 16:2311-2333. DOI: 10.1007/s10531-007-9192-4
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; González L; Tablada M., Robledo CW. 2019. InfoStat versión 2019 Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo, JA; Guzmán, AW; Casanoves, F. 2002. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 2(7):129-142. DOI: 10.1198/10857110260141193

- Díaz, FJ; Dubón, A; Martínez, A. 2019. Análisis histórico climático en el CEDEC-JAS (1987-2019). *In* Informe técnico 2019 Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 5-9. (Informe técnico).
- Dubón, A; Sánchez, J. 2006. Economía del uso de especies maderables tropicales latifoliadas como sombra del cacao. Cortés, Honduras, FHIA. 22 p.
- Dubón, A; Sánchez, J. 2011a. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad agroforestal multiestratos con cacao. *In* Informe técnico 2010 Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 6-23. (Informe técnico).
- Dubón, A; Sánchez, J. 2011b. Manual de producción de cacao. Cortés, Honduras, FHIA. 208 p.
- Dubón, A; Sánchez, J. 2016. Manual de producción de cacao. 2nd edición. Cortés, Honduras, FHIA. 264 p.
- Dubón, A. 2020. Evaluación de clones promisorios seleccionados de progenies híbridas con mayores índices de rendimiento y tolerancia a moniliasis. *In* Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 11-17. (Informe técnico 2019).
- Dubón, A; Sánchez, J. 2020. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad agroforestal multiestratos con cacao. *In* Programa de Cacao y Agroforestería. Cortés, Honduras, FHIA. p. 41-46. (Informe técnico 2019).
- Dubón, A; Martínez, R; Martínez, A; Durán, E; Ramírez, O; Bardales, M; Tejada, R. 2018 Guía técnica de producción de cacao en SAF (en línea) Consultado 16 ago. 2021. Disponible en http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/Guia_Tecnica_cacao_en_SAF.pdf
- Farfán, F; Bermúdez, L; González, N. Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café. *Cenicafe (avances técnicos 472)*.
- Fountain, AC; Huetz-Adams, F. 2020. Cocoa barometer (on line). Consultado 18 ago. 2021. Disponible en <https://docplayer.net/199484590-Cocoa-barometer-2020.html>
- Ghosh, A; Reja, H; Nalia, A; Kanthal, S; Nath, R. 2019. Climate Smart Agricultura (on line) *Environment and Ecology* 37(4):1221-1124. Consultado 29 ago. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Ananya_Ghosh2/publication/335601128_Climate_Smart_Agriculture/links/5d6f5ac345851542789f8d1f/Climate-Smart-Agriculture.pdf
- Gramlich, A; Tandy, S; Gauggel, C; López, M; Perla, D; Gonzalez, V; Schulin, R. 2018. Science of the Total Environment Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment* 612:370-378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.145.

- ICCO (International Cocoa Organization). 2021. Production of cocoa beans (on line). Côte d'Ivoire. Consultado 15 ago. 2021. Disponible en: [//www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLVII-No.-1.pdf](http://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLVII-No.-1.pdf)
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia). 2011 Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña: caso piloto proyecto Nacional de adaptación al cambio climático-INAP-componente B. (en línea) Bogotá, Colombia. Consultado 29 ago. 2020. Disponible en <http://observatorio.epacartagena.gov.co/ftp-uploads/pub-guiasistemasagroforestalesfinal.pdf>
- Jaimez, RE; Araque, O; Guzmán, D; Mora, A; Espinoza, W; Tezara, W. 2013. Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. *J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop.* 114 (1):1-11. DOI: 34-2012112642171
- Koko, LK; Snoeck, D; Lekadou, TT; Assiri, AA. 2013 Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Côte d'Ivoire. *Agroforestry systems* 87(5):1043-1052. DOI: 10.1007/s10457-013-9619-8
- La Gaceta. 2020. Diario oficial de la república de Honduras. Poder legislativo decreto No. 164-2020. Tegucigalpa, Honduras. Consultado 16 ago. 2021. Disponible en <https://legislativa.kubernesis.tech/gacetitas/2020/Diciembre/20201205.pdf>
- López, M; Ramírez, O; Dubón, A. 2017. Catálogo de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). Evaluados y seleccionados por la FHIA. Cortés, Honduras. 88 p.
- Mussak, MF; Laarman, JG. 1989. Farmer's production of timber in the cacao-coffee region of coastal Ecuador (on line). *Agrofor Syst* 9(2):155-170. Consultado 4 oct. 2020. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A7944I/A7944I.PDF>
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Turrialba, Costa Rica, CATIE; Cali, Colombia, Editorial CIPAV. 454 p. (Serie técnica. Informe técnico 402)
- Niether, W; Jacobi, J; Blaser, WJ; Andres, C; Armengot, L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters* 15(2020) 104085. DOI: 10.1088/1748-9326/abb053
- Orozco, L. 2005. Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con maderables valiosos en Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 94 p.

- Orozco, L; López, A; Somarriba, E. 2008. Enriquecimiento de fincas cacaoteras con frutales y maderables en el Alto Beni Bolivia (en línea). *Agroforestería en las Américas* 46:65-72. Consultado 4 oct. 2020. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A3124E/A3124E.PDF>
- Ryan, D; Bright, GA; Somarriba, E. 2009. Damage and yield change in cocoa crops due to harvesting of timber shade trees in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry systems* 77(2):97-106. DOI: 10.1007/s10457-010-9364-1
- Rapidel, B; Ripoche, A; Allinne, C; Matey, A; Deheuvels, O; Lamanda, N; Blazy, J; Valdés-Gómez, H; Gary C. 2015. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for Sustainable Development* 35:1373-1390. DOI: 10.1007/s13593-015-0317-
- Rojas-Downing, MM; Nejadhashemi, AP; Harrigan, T; Woznicki, SA. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* 16:145-163. DOI: 10.1016/j.crm.2017.02.001
- Somarriba, E. 1990. Qué es agroforestería (en línea). *El Chasqui*: No. 24:5-13. Consultado 16 ago. Disponible en http://www.researchgate.net/publication/323884356_Que_es_agroforesteria
- 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(1):69-82. DOI: 10.1007/BF00114817
- Somarriba E. 2002. Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas* 9(84-94):86-94. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/324212927>
- Somarriba, E; Beer, J 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforest Syst* 8(2):109-121. DOI: 10.1007/s10457-010-9364-1.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, H; Cerda, R; DeClerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, I; Mena, VE; Mora-Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. *In* Nair, PKR; Garrity, DP (eds). *Agroforestry-The future of Global Land Use* 9:31-67. DOI:10.1007/978-94-007-4676-3_21

- Somarriba, E; Orozco, L; Cerda, R; López, A. 2018. Analysis and design of the shade canopy of cocoa-based agroforestry systems. Achieving sustainable cultivation of cocoa (on line). Consultado 29 ago. 2020. Disponible http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8916/Analysis_and_design_of_the_shade.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Somarriba, E; López, A. 2018. Coffee and Cocoa Agroforestry Systems: Pathways to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change (on line). Innovation and action for forests. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 30 ago. 2020. Disponible en <http://201.207.189.89/handle/11554/9035>
- Tscharntke, T; Clough, Y, Bhagwat, SA; Buchori, D; Faust, H; Hertel, D; Ischer, DH; Jhrbandt, J; Kessler, M; Perfecto, I; Scherber, C; Schroth, G; Veldkamp, E; Wanger, TC. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes. *Journal of Applied Ecology* 48(3):619-29. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01939
- Torquebiau, EF. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Sciences de la vie / Life Sciences* 323:1009-1917. DOI: 10.1016/S0764-4469(00)01239-7
- Vélez, MI; Chavarro, DA; Hernández, A; Niño, AM; Tovar, GE; Montenegro, IC (eds.). 2018. Libro Verde 2030. Política nacional de ciencia e innovación para el desarrollo sostenible (en línea). Colciencias, Bogotá, Colombia. (Adoptado mediante Resolución no. 0674 del 9 de julio de 2018.). Consultado 29 ago. 2020. Disponible en <https://cinda.cl/wp-content/uploads/2019/10/libro-verde-2030-politica-nacional-de-ciencia-e-innovacion-para-el-desarrollo-sostenible.pdf>
- Vaast, P; Somarriba, E. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems* 88(6):947-956. DOI: 10.1007/s10457-014-9762-x