

Crecimiento, rendimiento y costos durante los primeros tres años de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) establecida en sistemas agroforestales

Growth, yield and costs during the first three years of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) established in agroforestry systems

Orlando Chinchilla-Mora¹  • Eugenio Corea-Arias¹  • Víctor Meza-Picado¹  • Carlos Ávila-Arias¹ 

Recibido: 13/11/2019

Aceptado: 14/7/2020

Publicado: 17/12/2020

Abstract

Establishing high-value timber species in agroforestry systems (AFS) represents the opportunity for farmers to produce wood with agricultural crops as a primary goal. Mahogany is a widely known species, its wood is precious and easy to work, information on its growth, yield and costs in AFS through real documented cases is extremely rare. The objective of the present investigation was to determine yields and costs of five different AFS. The average diameter reached by the clones at Venecia site was 10.1 cm*tree⁻¹ and 7.3 m*tree⁻¹ in total height at 36 months old (MAI: 3.37 cm*tree⁻¹*year⁻¹ and 2.43 m*tree⁻¹*year⁻¹, respectively). The average yield of the genetic set at Venecia was 0.037 m³*arb⁻¹, values of up to 0.0540 m³*arb⁻¹ were recorded. The combination with cocoa at Sarapiquí at 31 months old recorded an average height and diameter of 7.66 m*tree⁻¹ and 7.55 cm*tree⁻¹, respectively. The sites combined with coffee show that as rise in the altitudinal floor, growth in height, diameter and volume decreases. If we compare Venecia with Santa Lucia, the difference in volume for clone 96 at both sites is 384 % at the age of 3 years old (Santa Lucia 0.0097 m³*tree⁻¹ and Venecia 0.0470 m³*tree⁻¹). The purchase price of the plant constitutes the most important item to consider within all caoba costs. The cost of the forestry component increases per unit area as the number of trees increases and the greater the number of trees you get lower unit cost.

Key words: Growth, yield, costs, clones cultivation, *Swietenia macrophylla*, Costa Rica..

1. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. orlando.chinchilla.mora@una.ac.cr, eugeniocorea@hotmail.com, victor.meza.picado@una.ac.cr, carlos.avila.arias@una.ac.cr

Resumen

Establecer especies maderables de alto valor en sistemas agroforestales (SAF) representa la oportunidad para el agricultor de producir madera con el cultivo agrícola como fin primordial. La caoba es una especie ampliamente conocida, su madera es preciosa y fácil de trabajar, la información de su crecimiento, rendimiento y costos en SAF mediante casos reales documentados es sumamente escasa. El objetivo de la investigación fue recopilar la experiencia generada sobre rendimiento y costos de cinco SAF distintos. El diámetro promedio alcanzado por los clones en Sitio Venecia fue de $10,1 \text{ cm}^3\text{árb}^{-1}$ y $7,3 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$ en altura total a los 36 meses (IMA: $3,37 \text{ cm}^3\text{árb}^{-1}\text{año}^{-1}$ y $2,43 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}\text{año}^{-1}$, respectivamente). El rendimiento promedio del conjunto genético en Venecia fue de $0,037 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$, se registraron valores de hasta $0,0540 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$. La combinación con cacao en Sarapiquí a los 31 meses registró altura y diámetro promedio de $7,66 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$ y $7,55 \text{ cm}^3\text{árb}^{-1}$, respectivamente. Los sitios combinados con café muestran que a medida que subimos de piso altitudinal disminuye el crecimiento tanto en altura, diámetro y volumen. Si se compara Venecia con Santa Lucía la diferencia en volumen para el clon 96 en ambos sitios es de 384 % a la edad de 3 años (Santa Lucía $0,0097 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$ y Venecia $0,0470 \text{ m}^3\text{árb}^{-1}$). El precio de compra de la planta constituye el rubro más importante para considerar dentro de todos los costos. El costo del componente forestal aumenta por unidad de área a medida que aumenta el número de árboles y a mayor cantidad de árboles menor es el costo unitario.

Palabras clave: Crecimiento, rendimiento, costos, cultivos clones, *Swietenia macrophylla*, Costa Rica.

Introducción

Un sistema agroforestal es la combinación de especies forestales y agronómicas, en tiempo y espacio, en procura de la sostenibilidad de determinado ciclo productivo [2]. Es decir, incorporar árboles distribuidos en áreas con cultivos, mediante un diseño tal que el componente forestal no interfiera en la producción agropecuaria [3], y por el contrario la complementa.

Diversos autores han apuntado la diversidad de ventajas que se registran en este tipo de asociaciones; ya sea para un componente, para el otro y en algunos casos para ambos. Dentro de ellos se desatacan proteger el cultivo de la radiación solar y de los vientos, aporte de materia orgánica al suelo, eficiencia en el uso de los nutrientes y el agua de horizontes inferiores, fijación de carbono, aprovechamiento óptimo del espacio físico,

conservación de la biodiversidad, conservación del agua, control de arvenses, creación de microclimas, protección de los suelos contra la erosión y la degradación, reciclaje de nutrientes, diversificación de la producción, sostenibilidad de los componentes agrícolas y forestales, incremento en la producción de madera, reducción del tiempo de cosecha y contribuir a una mayor estabilidad socioeconómica principalmente para pequeños productores [4]; [2]; [3].

Históricamente los pequeños y medianos productores agropecuarios han sufrido importantes fluctuaciones en sus ingresos anuales, debido a factores biológicos y/o de mercado; por ejemplo frecuentes fluctuaciones de los precios en el mercado internacional de productos como café, cacao, macadamia, vainilla, pimienta y carne, entre otros; así como la ocurrencia de plagas de alto impacto en los cultivos, tales como la broca y la roya del café o la Monilia del cacao, que no solo disminuyen la producción, sino que aumentan los costos y un tercer aspecto es el escaso o nulo aporte financiero de los árboles que integran el sistema de producción agroforestal. Aunado a lo anterior, los árboles asociados han sido establecidos y manejados por lo general únicamente en función del cultivo agrícola o componente animal, es decir para fijación de nitrógeno, sombra y/o rompe vientos. Es decir, en el pasado en pocas ocasiones han sido cultivados como un componente más del sistema de producción y, a partir de ello, como una fuente de ingresos. Algunos productores han dejado crecer regeneración natural de especies como laurel y cedro dentro de su componente agropecuario, con lo que se crea un SAF. Ellos han logrado cosechar ocasionalmente árboles y generar recursos económicos adicionales. No obstante, se trata de semilla silvestre, lo que resulta en árboles de crecimiento y calidad muy variable, que se les brinda poco o ningún manejo.

La producción económica en dichos casos podría ser mejorada sustancialmente mediante especies de alto valor, especialmente si provienen de procesos de selección y mejoramiento genético y, desde luego, con un manejo adecuado. El ejemplo más conocido de sistemas agroforestales son los cafetales, donde se cultiva una gran cantidad de árboles que fijan nitrógeno y aportan materia orgánica al suelo, pero que casi no generan ingresos directos al sistema de producción [5]. En la zona sur del país (Coopeagri, Valle del General) existen ejemplos de cafetales en los que se han plantado árboles cedro y roble coral, los que hoy en día cuentan con 20 años o más.

De todo lo anterior se desprende que, la información acerca del crecimiento y rendimiento de especies forestales productoras de madera, establecidas en distintas modalidades de sistemas agroforestales, es escasa. Es común establecer especies arbóreas en el

Cuadro 1. Tipo de cultivo asociado, distancia de siembra y número de árboles por hectárea en diferentes Sistemas Agroforestales en la zona de Heredia y Guanacaste, Costa Rica.

Table 1. Type of associated crop, planting distance and number of trees per hectare in different agroforestry systems in Heredia and Guanacaste area, Costa Rica.

Tipo de cultivo asociado	Distancia de siembra	No. de árboles /ha
Cultivos agrícolas de corto plazo	5 m X 5 m	400
Cultivo asociado con café	8 m X 8 m	156
Cultivo asociado con cacao	6 m X 6 m	278

sistema, no obstante, no se contabiliza la producción durante su ciclo de crecimiento, debido a que el objetivo es el cultivo agrícola. La selección de la especie caoba en un sistema agroforestal, obedece a su buen desarrollo inicial, la calidad de la madera, precio de mercado, además, existe un protocolo de control de *Hypsipyla grandella* y manejo de la especie, en especial, durante los primeros tres años de crecimiento [1].

Como alternativa para contribuir, en alguna medida, a la solución de los problemas antes descritos, en la presente investigación se planteó la necesidad de establecer clones superiores de caoba en asocio con distintos componentes agrícolas (café, cacao y cultivos de rápida rotación), de manera que los pequeños y medianos productores continúen con los ingresos producto de sus actividades agropecuarias tradicionales, mientras los árboles alcanzan un tamaño comercial. El objetivo final de este plan piloto fue aumentar la productividad económica en fincas integrales, mediante la cuantificación del crecimiento, rendimiento y costos asociados a casos particulares de sistemas de producción agrícola, pero presentes en gran cantidad en Costa Rica.

Materiales y métodos

Establecimiento de la caoba en diversos sistemas agroforestales

Se seleccionaron los sitios y se combinó el cultivo agrícola con la caoba a diferentes distanciamientos, acorde al sistema de producción existente, cuadro 1.

Se establecieron clones genéticamente superiores, seleccionados previamente de acuerdo con las condiciones de sitio, se midió su altura total y diámetro a la altura de pecho (DAP) cada año durante tres años consecutivos y se calculó el volumen total de cada clon. Para ello se asumió un factor de forma de 0,6, el cual fue calculado previamente en una plantación de 6 años mediante la cubicación de todos los árboles cosechados en un primer raleo. Simultáneamente se llevaron registros de los costos del manejo básico de la caoba por parte de pequeños productores de las fincas seleccionadas para el presente estudio, desde su establecimiento hasta los tres primeros años de desarrollo.

Diseño de sistemas de producción

El primer sistema fue establecido con la finalidad de combinar la caoba con productos agrícolas diversos. Los mismos fueron distribuidos en carriles separados por una fila de árboles de caoba a un distanciamiento de 5 metros entre árboles y entre líneas. El sitio seleccionado se ubica en el cantón San Carlos, Distrito Venecia, provincia Alajuela. El área experimental neta es el área de trabajo en la cual se llevó a cabo el experimento en búsqueda de alternativas, su tamaño fue de una hectárea, de un total de dos hectáreas que fueron plantadas con dicha combinación. Se llevaron al campo los 35 mejores clones, seleccionados con base al crecimiento en DAP, altura y volumen totales de 117 clones establecidos preliminarmente en la zona de Guápiles y que durante 4 años fueron evaluados. En este sitio (Venecia), se estableció entre líneas de caoba pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum*), camote (*Ipomoea batatas*), yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa paradisiaca*), vainica (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*); así como forrajeras dentro de las que se destacan nacedero (*Trichanthera gigantea*), morera (*Morus alba*), cratilea (*Cratylia argentea*) y moringa (*Moringa oleifera*). La distribución de dichos componentes del sistema se aprecia en el Figura 1.

El sitio del ensayo se ha destinado tradicionalmente a los cultivos agrícolas. Anteriormente cumplía un ciclo de producción de yuca (*Manihot esculenta*), por lo que no hubo necesidad de mecanizar el sitio como parte de su preparación, al presentar profundidad efectiva mayor a 60 cm. El sitio presentó muy buenas condiciones de suelo (Cuadro 2)

Un segundo sistema fue establecido mediante la combinación de caoba con café. El mismo fue ubicado en tres lugares: 1- Finca experimental de la UNA en Santa Lucía de Barva, 2- Getsemaní de San Rafael (ambos en la provincia Heredia) y 3- parcela experimental más reciente en la zona de Monte Romo de Hojanca, Guanacaste.



Figura 1. Distribución de cultivos agrícolas entre las filas de clones de caoba establecidos a 5m x 5m, en la zona de Venecia, San Carlos, Costa Rica.

Figure 1. Agricultural crops distribution between mahogany clones rows established at 5m x 5m, Venecia, San Carlos, Costa Rica.



Figura 3. Distribución del cultivo de cacao combinado con de clones de caoba establecidos a 6 m x 6 m, en la zona de Rio Zapote, Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Figure 3. Distribution of cocoa cultivation combined with mahogany clones established at 6 m x 6 m, in the Rio Zapote area, Puerto Viejo, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.



Figura 2. Distribución del cultivo de café combinado con clones de caoba establecidos a 8m x 8m, en la zona Santa Lucia (foto) y Getsemaní de Heredia y Monte Romo de Guanacaste, Costa Rica.

Figure 2. Distribution of coffee crop combined with mahogany clones established at 8m x 8m, in the Santa Lucia area (photo) and Getsemaní, Heredia and Monte Romo, Guanacaste, Costa Rica.

La caoba fue plantada en la misma línea de siembra del café, pero a 8 m x 8 m entre árboles y filas. Los diferentes sitios presentaban renovación de su cafetal por lo que la combinación de los componentes se realizó en forma simultánea. En la figura 2 se observa la forma el planteamiento del ensayo en el campo.

Los tres sitios de estudio seleccionados para esta combinación agroforestal se han destinado tradicionalmente a cultivos agrícolas. Anteriormente cumplían un ciclo de producción de café, por lo que no hubo necesidad de mecanizar. Santa Lucía, y Getsemaní al ser de origen volcánico, se caracteriza por la presencia de roca volcánica en gran abundancia, y profundidad efectiva cercana a los 60 cm a pesar de la alta pedregosidad. El análisis de suelo registró características buenas para la implementación del ensayo en ambos sitios (Cuadro 2)

En Monte Romo de Hojanca, no se realizó análisis de suelo debido a su reciente establecimiento. Sin embargo, el sitio presenta una alta profundidad mayor a 60 cm, poca pedregosidad, pendiente del 25 % y una altitud de 700 m.s.n.m. Hay que indicar que, posterior al establecimiento del ensayo se sembró frijol durante los primeros 6 meses, con lo que se lograron dos cosechas durante el año.

Cuadro 2. Características generales de los sitios donde se establecieron los diferentes Sistemas Agroforestales en la zona de Heredia y Guanacaste, Costa Rica.

Table 2. General characteristics of the sites where the different agroforestry systems were established in Heredia and Guanacaste area, Costa Rica.

Sitios seleccionados	Santa Lucía	Getzemaní	Monte Romo Hojancha	Rio Zapote Sarapiquí	Venecia San Carlos
Profundidad efectiva	<60cm	<60cm	>60cm	>60cm	>60cm
Pedregosidad	alta	alta	baja	baja	baja
Textura	Franca- arenosa	Franco-arenoso-limoso		Franca	Franca-arenosa-arcillosa
pH (H ₂ O 1:25)	5.9	4.91		5.38	4.2
Acidez					
cmol (+) / L	Muy baja	alta		baja	alta
Ca cmol (+) / L	Rango óptimo	Rango óptimo		Rango óptimo	Rango óptimo
Mg cmol (+) / L	Rango óptimo	Bajo		Rango óptimo	Rango óptimo
K µg / ml	Rango óptimo	Rango óptimo		Rango óptimo	Rango óptimo
Cu µg / ml	Rango óptimo	Alto		Rango óptimo	Rango óptimo
P µg / ml	Rango óptimo	Rango óptimo		Rango óptimo	Rango óptimo
Fe µg / ml	Rango óptimo	Alto		Alto	Rango óptimo
Zn µg / ml	Bajo	Rango óptimo		Rango óptimo	Rango óptimo
Mn µg / ml	Bajo	Rango óptimo		Bajo	Rango óptimo
Mo %	14.61	5.5		4.1	4.9
Pendiente %	10	40		2	8
Altura (msnm)	1230	700		300	314

Finalmente, el tercer sistema de producción desarrollado se ubicó en la comunidad de Rio Zapote de Puerto Viejo, cantón Sarapiquí, provincia Heredia. Consistió en la combinación de cacao con clones de caoba, los cuales fueron establecidos a una distancia de 6 m x 6 m entre filas y árboles en el centro de dos líneas de cacao, a solicitud expresa del productor. El cacao, recientemente establecido, fue plantado a un distanciamiento de 3 m x 3 m entre plantas y entre líneas (Figura 3).

En el cuadro 2, se presenta la información correspondiente a los análisis de suelo de este sitio. Los 5 sitios presentaron condiciones óptimas de suelo en la mayor parte de macronutrientes y micronutrientes, con algunas pequeñas diferencias en Santa Lucía, Getzemaní y Río Zapote. En los sitios de alta acidez no se aplicó cal para bajar el grado de acidez. El sistema de siembra fue en filas con rumbo fijo, con excepción de los sitios Getzemaní y Monte Romo los cuales se establecieron siguiendo el contorno del terreno en curvas de nivel.

Los clones de caoba fueron manejados en todos los sitios experimentales según el protocolo establecido por [1].

Resultados y discusión

Crecimiento de la caoba en asocio con cultivos agrícolas de corta duración

La experiencia de establecer sistemas agroforestales, a sabiendas que la prioridad de manejo y producción la lleva el cultivo agrícola, permite tener claro que el árbol en el sistema se beneficia indirectamente de los cuidados y aportes realizados al suelo con el fin de favorecer dicha producción. En el sitio Venecia se presentó la ventaja del establecimiento de 35 clones identificados como superiores, producto de la evaluación parcial en los cuatro primeros años de crecimiento de la especie en condiciones similares. La productividad de dichos genotipos, expresada en el crecimiento en volumen desde el año 1 hasta el año 3 se visualiza en la figura 4. El volumen promedio registrado al año 3 fue 0,0366 m³*arb⁻¹, es decir 239 % superior al rendimiento obtenido en Sarapiquí (0,0108 m³) por [1] para el mejor clon, en el año 4.

Dentro de los clones establecidos en Venecia, 14 superan la media del conjunto genético (Figura 5). El volumen total

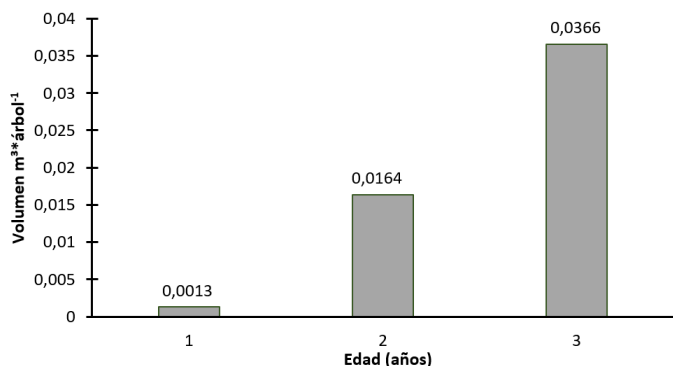


Figura 4. Rendimiento promedio del volumen por árbol y por año en una plantación de caoba de diferentes clones, combinada con productos agrícolas en la zona de Venecia, San Carlos, Costa Rica.

Figure 4. Average volume yield per tree and per year in a mahogany plantation of different clones, combined with agricultural crops in Venecia, San Carlos, Costa Rica.

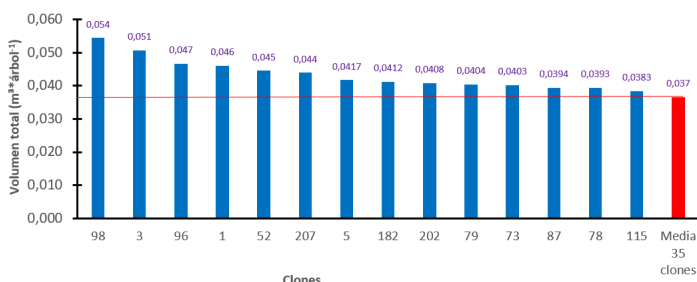


Figura 5. Rendimiento promedio en volumen total por árbol a los tres años de clones de caoba establecidos en sistemas agroforestales, en la zona de Venecia, San Carlos, Costa Rica.

Figure 5. Total volume average yield per tree after three years of mahogany clones established in agroforestry systems, in Venecia, San Carlos, Costa Rica.

promedio de los clones 98 y 3 superan significativamente la media de todo el conjunto genético (0,0540 m³*árbol⁻¹ y 0,0510 m³*árbol⁻¹, respectivamente). El clon 98, a la edad de tres años, fue 372% superior al mejor clon creciendo en Sarapiquí, en uno de los ensayos de investigación, a la edad de cuatro años [1]. Otros genotipos para tomar en cuenta fueron el 1, 96, 52 y 207 al obtener valores altos en volumen con respecto a la media. La altura promedio de los 35 clones establecidos en Venecia a la edad de tres años fue de 7,3 m*árbol⁻¹ (IMA: 2,4 m*árbol⁻¹*año⁻¹). De los clones plantados, hay tres (3, 115 y 288) que superan la altura de ocho metros (información no presentada aquí), dato muy similar al reportado en la zona de Yurimaguas, Perú con 8,5 m*árbol⁻¹ en 32 meses para árboles que no fueron atacados por el barrenador [6].

Por otra parte, el diámetro promedio alcanzado por todos los clones en la zona de Venecia fue de 10,1 cm*árbol⁻¹ (IMA: 3,37 cm*árbol⁻¹*año⁻¹) a los 36 meses de edad. El incremento registrado es superior al reportado [7] en el estado de Portuguesa en Venezuela, quienes obtuvieron crecimientos promedio en diámetro de 3,92 cm y en altura 3,07 m a un año de edad en un sistema agroforestal de caoba con papaya; lo anterior mediante la aplicación de 5 fertilizaciones con la fórmula 12-12-17-2 (a la siembra y a los 2, 3, 5 y 7 meses). Además, [8] registraron en una asociación agroforestal de caoba y lima persa, un crecimiento promedio de 2,72 cm*árbol⁻¹*año⁻¹ en DAP y 1,95 m*árbol⁻¹*año⁻¹ en altura total.

Para este sitio, el distanciamiento inicial de la caoba (5 m x 5 m) ha generado buenos crecimientos en diámetro y altura, simultáneamente ha permitido el establecimiento y la producción de muchas especies agrícolas de corta y larga duración. Se proyecta un cierre de copas hasta los 10 años, con altura promedio de 16 m*árbol⁻¹ o más, por lo que la combinación con cultivos agrícolas es factible al menos hasta los 8 años, con excepción, de especies tolerantes a la sombra o aquellas que no requieran mucha luz. Al llegar el cierre de copas se prevé la realización de un raleo comercial, el cual permitiría aumentar el distanciamiento promedio a 7 m x 7 m, lo que aumentaría la posibilidad de mantener el sistema agroforestal.

Cabe destacar algunas actividades agrícolas dentro del ensayo, entre las que destacan, la producción de pasto y otras especies arbustivas como cratilea, nacedero, morera y moringa han ayudado mucho con la producción de leche del ganado existente en otras áreas de la finca, debido a la incorporación del material vegetal en su alimentación, e inclusive según el dueño de la propiedad, la compra de alimento procesado ha disminuido gracias a la producción de los pastos para la ingesta del ganado. Por otra parte, la producción y comercialización en mercados cercanos de camote en 4 carriles de 500 m² generó un alto ingreso que cubrió la totalidad de los gastos de mantenimiento de la caoba en los primeros dos años. Sin embargo, cuando la caoba se asocia con plátano, presenta una disminución en su crecimiento, esto se debe a que la especie agrícola absorbe mucho potasio, macroelemento importante en su crecimiento. [6] reportó la misma situación en la zona de Yurimaguas en Perú, además indicó que su combinación con maní, en especial en dos ciclos, produce un efecto negativo en el crecimiento de la caoba por la alta dependencia de elementos como el calcio, magnesio y fósforo. El mismo autor destaca también que, abonar con materia orgánica a razón de 10 TM*ha⁻¹ genera un crecimiento en diámetro y altura de la especie forestal el doble que cualquier sistema agroforestal o abono orgánico aplicado, en especial para suelos degradados [6].

Desarrollo de caoba en asocio con café

Se estableció dicho sistema de producción agroforestal en tres sitios que representan pisos altitudinales diferentes (700, 1 230 y 1 441 m.s.n.m.), con su consiguiente diversidad de suelo, clima y topografía. La caoba naturalmente puede crecer desde 0 m.s.n.m. hasta inclusive 1500 m.s.n.m. [9, 10]. Con base en las condiciones de los sitios seleccionados, se eligieron clones provenientes de sur américa para ser ahí establecidos, por la similitud en cuanto a las condiciones climáticas de su origen. No se plantó ningún clon procedente de Costa Rica.

Los resultados en el campo muestran que, a una altitud superior a los 1 200 m.s.n.m. la caoba crece, no obstante, su rendimiento en volumen es muy inferior al encontrado en otras zonas con menor altitud. El volumen obtenido por los 10 clones plantados y un testigo en la zona de Getsemaní a 1441 m.s.n.m. se representan en la figura 6.

El rendimiento en volumen a los dos años en este sitio identifica al clon 202 con un margen de superioridad con respecto al resto de la población, incluido el testigo (0,0009 m³*árb⁻¹). A pesar de ello, su desempeño se coloca muy por debajo del registrado en el sitio localizado en Santa Lucía de Barva a 1 230 m.s.n.m., en especial el clon 96 con 0,0050 m³*árb⁻¹ a la misma edad de dos años, con una diferencia de 455 % entre ellos. El clon 96 y el 21 presentan una gran diferencia de crecimiento en volumen, con respecto a los restantes 13 genotipos establecidos en este sitio de Santa Lucía de Barva. Incluso el clon 202, identificado con el de máximo crecimiento en volumen en el sitio Getsemaní, ocupa la última posición en el rendimiento en volumen en el sitio Santa Lucía (Figura 7).

Para el año tres del ensayo en el sitio Santa Lucía, el rendimiento en volumen con respecto al año dos se incrementó en un 100 %. La distribución de crecimiento en volumen alcanzado por los diferentes clones es notoria (Figura 8).

Los clones 96, 21 y 57 alcanzaron volúmenes de 0,0097 m³*árb⁻¹, 0,0088 m³*árb⁻¹ y 0,0081 m³*árb⁻¹, respectivamente. Sin embargo, si se comparan estos crecimientos con los obtenidos en el Sitio Venecia (Figura 5) se aprecia el gran rezago de crecimiento en volumen que se presenta en Santa Lucía. La diferencia en volumen para el clon 96, entre ambos sitios, fue de 384 % a la edad de 3 años (Santa Lucia 0,0097 m³ - Venecia 0,0470 m³).

[11] proyectó para el año 25 en cafetales de Honduras, un volumen de 25,17 m³*ha⁻¹, con 100 árboles por hectárea. Para nuestro país, a pesar de que se debe ser cauteloso y medurado con las proyecciones, los resultados

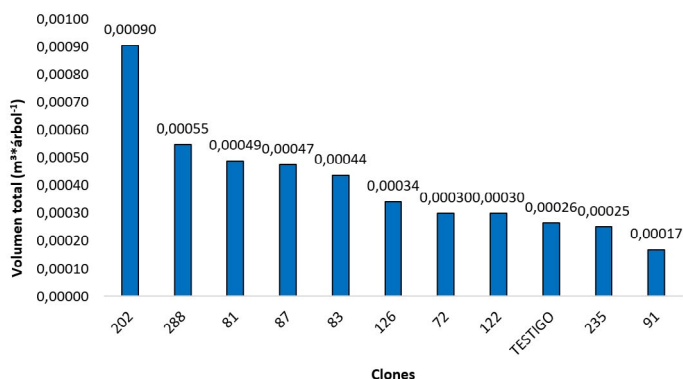


Figura 6. Rendimiento promedio del volumen por árbol a los dos años, de diversos clones establecidos en combinación con Café en la zona de Getsemaní, San Rafael de Heredia, Costa Rica a una altura de 1441 m.s.n.m.

Figure 6. Average yield of the volume per tree after two years, of various clones established in combination with Coffee in Getsemaní, San Rafael de Heredia, Costa Rica at a height of 1441 m.a.s.l.

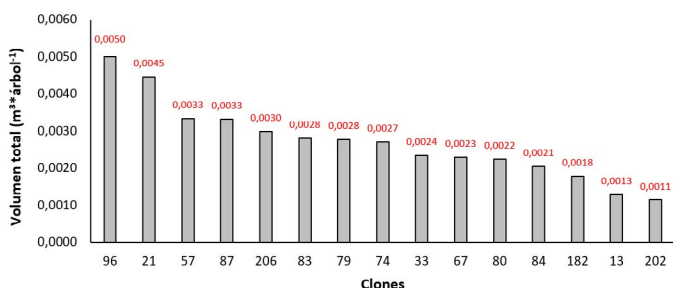


Figura 7. Rendimiento promedio del volumen por árbol a los dos años, de diversos clones establecidos en combinación con café en el Sitio Santa Lucía, Barva de Heredia, Costa Rica.

Figure 7. Average volume yield per tree at two years, of various clones established in combination with coffee at Santa Lucía, Barva de Heredia, Costa Rica.

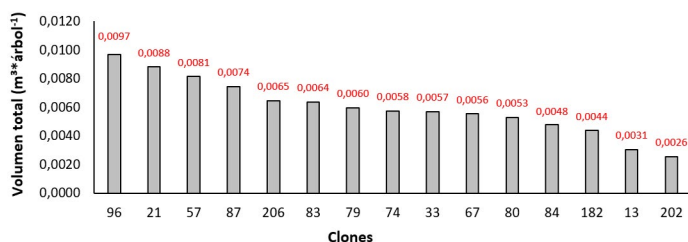


Figura 8. Rendimiento promedio del volumen por árbol a los tres años de clones de caoba establecidos en combinación con café en la zona de Santa Lucía, Barva de Heredia, Costa Rica.

Figure 8. Average yield of the volume per tree after three years of mahogany clones established in combination with coffee at Santa Lucía, Barva de Heredia, Costa Rica.

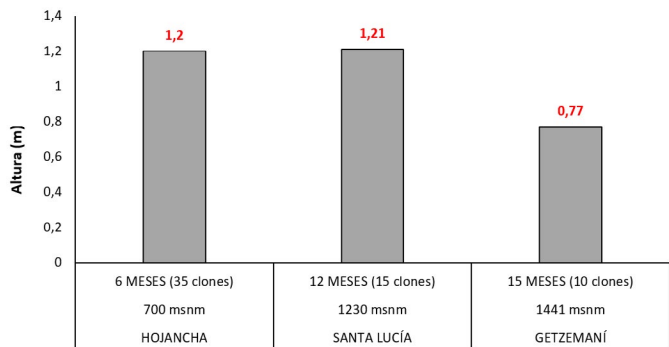


Figura 9. Tiempo en meses necesario para alcanzar 1,2 m de altura en los tres sitios de estudio de caoba con café.

Figure 9. Necessary time in months to reach 1,2 m height in the three study sites with mahogany and coffee.

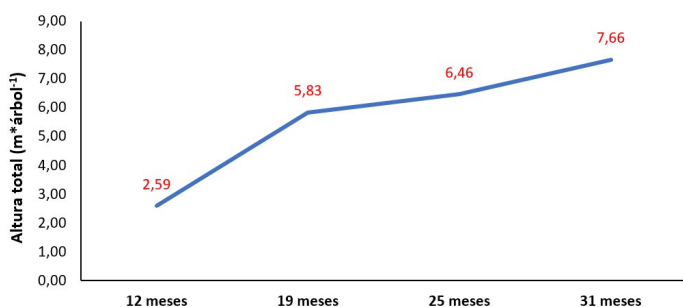


Figura 10. Crecimiento en altura durante 31 meses de edad para clones de caoba en asocio con cacao en la zona de Rio Zapote, Heredia, Costa Rica.

Figure 10. Height growth during 31 months for mahogany clones in association with cocoa at Rio Zapote area, Heredia, Costa Rica.

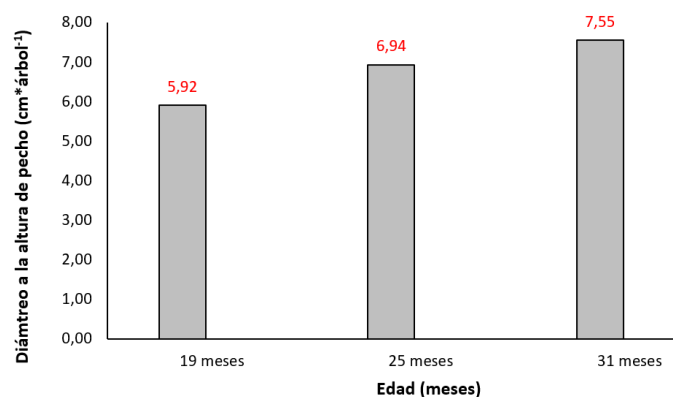


Figura 11. Crecimiento en diámetro a los 31 meses de edad para clones de caoba en asocio con cacao en la zona de Rio Zapote de Sarapiquí Heredia, Costa Rica.

Figure 11. Diameter growth at 31 months of age for mahogany clones in association with cocoa at Rio Zapote, Sarapiquí Heredia, Costa Rica.

obtenidos hasta los tres años sugieren un volumen superior al registrado por dicho autor, esto debido a su crecimiento inicial y el control sistemático del barrenador de la caoba aplicado durante los primeros tres años.

Al comparar los resultados de los tres sitios experimentales, a medida que la altitud es mayor el crecimiento tanto en altura como el diámetro, y consecuentemente en volumen, de los clones disminuye (700 = 1230 > 1441 m.s.n.m.). La precipitación en los tres sitios es muy similar (2385 mm en Monte Romo, Hojancha; 2820 mm en Getzemaní y Santa Lucía) [14].

Superar un metro de altura total demoró 6 meses para los 35 clones establecidos a 700 m.s.n.m. en la zona de Hojancha, Guanacaste. Por su parte, a 1230 m.s.n.m. en Santa Lucía, con 15 clones, fueron necesarios 12 meses para lograr esa misma altura. En el sitio Getzemaní, para 10 clones establecidos, a los 15 meses de edad solo han logrado alcanzar 0,77 m³ árbol⁻¹ (Figura 9). Los resultados anteriores sugieren que, la caoba puede presentar limitaciones en su crecimiento a una altitud igual o superior a los 1200 m.s.n.m., por lo que para fines comerciales no es recomendable su establecimiento. [11] en Honduras encontró grandes diferencias de crecimiento en caoba en combinación con café, entre la región de Copán (alto crecimiento) y Meambar y Opalaca (bajo crecimiento), debido, principalmente, a que estas dos últimas regiones presentan mayores pisos altitudinales. Dicho autor registró un promedio de crecimiento en altura y diámetro para los árboles de caoba a los tres años, de 2,3 m³ árbol⁻¹ y 4,14 cm³ árbol⁻¹, respectivamente.

Crecimiento de la caoba en asocio con cacao

Se registró una buena respuesta de su crecimiento combinado con cacao. Al respecto, su desarrollo en altura ha sido muy similar a los resultados registrados en los ensayos establecidos en Sarapiquí y Guápiles [1]. A los 12 meses se obtuvo un crecimiento promedio en altura de 2,59 m y de 5,83 m a los 19 meses. A los 19 meses los árboles fueron atacados por *Hypsipyla grandella* debido a un descuido del dueño de la parcela, por no aplicar la cipermetrina según la recomendación realizada, es por esto por lo que su crecimiento en altura se vio afectado notoriamente en aproximadamente un metro. A pesar de su recuperación a los 31 meses la altura promedio era de 7,66 m³ árbol⁻¹ significativamente inferior a lo proyectado para esa edad (Figura 10). A pesar del ataque del barrenador, los resultados registrados superan los obtenidos en altura promedio por [12], en la zona de Guácimo a los 36 meses de edad con rangos de 2,75 m³ árbol⁻¹ y 3,76 m³ árbol⁻¹. De la misma manera, los resultados obtenidos mediante la presente investigación son superiores a los reportados por [13], en la zona de Chiapas México, quienes combinaron caoba con cacao

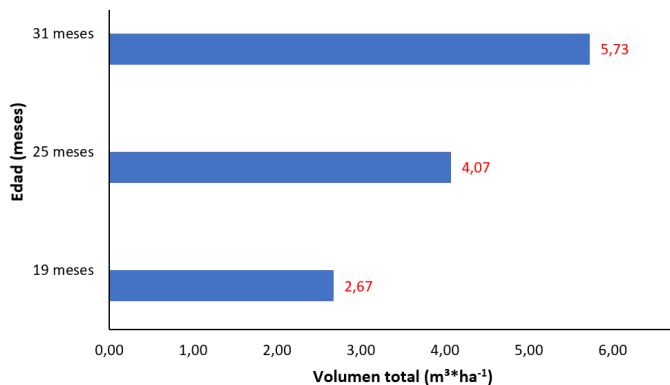


Figura 12. Rendimiento en volumen/ha registrado a los 31 meses de edad para clones de caoba en asocio con Cacao en la zona de Rio Zapote de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

Figure 12. Yield in volume / ha recorded at 31 months of age for mahogany clones in association with Cacao at Rio Zapote, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica.

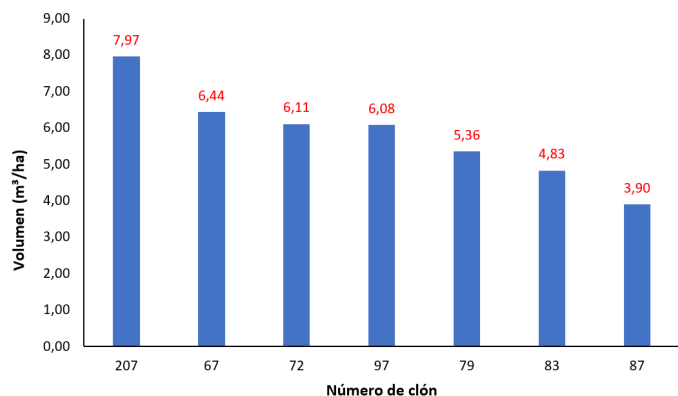


Figura 13. Rendimiento en volumen/ha/clon de Caoba combinado con Cacao, registrado a los 31 meses en la zona de Rio Zapote, Heredia, Costa Rica.

Figure 13. Yield in volume / ha / clone of Mahogany combined with Cacao, recorded at 31 months at Rio Zapote, Heredia, Costa Rica.

y ornamentales, sistema que a los ocho años generó una altura de 14,3 m*árb⁻¹ en la especie para producción de madera. Es importante indicar que la precipitación anual en la zona supera los 4000 mm [14].

Con los crecimientos aquí obtenidos en diámetro y altura y con un distanciamiento inicial de siembra de 6 m x 6 m, que representa 278 árboles por hectárea, se obtiene un volumen total promedio para los 7 clones establecidos de 5,73 m³*ha⁻¹ a los 31 meses de edad (Figura 12). El mismo fue 29 % superior al reportado por [1] en la zona de Sarapiquí para el mejor clon de 4,44 m³*ha⁻¹ a la misma edad.

El cálculo de volumen por clon para este ensayo, a los 31 meses de edad, generó 7,97 m³*ha⁻¹ para el clon 207 y 6,44 m³*ha⁻¹ para el clon 67 (Figura 13). Este crecimiento en volumen obtenido para el sistema agroforestal es mayor a los reportados en la zona de Sarapiquí y Guápiles en plantaciones puras.

Los tres sistemas establecidos han demostrado que la caoba es una especie forestal idónea para combinarla con cultivos agrícolas. Su rápido crecimiento en altura y la escasa producción de ramas a partir de los 5 o 6 m de alto le permiten una baja competencia por luz durante los primeros 4 años a densidades altas (1 111 árboles*ha⁻¹) y hasta los 10 años a densidades bajas de 400 árboles*ha⁻¹. Inclusive para café y cacao, la sombra que produce la caoba es leve (aproximadamente 8 o 10 m), comparada con otras especies como *Inga* sp. y el poró (sombra abundante y a baja altura, 4-5 m), con lo que permite una circulación del aire más libre y cálido favoreciendo al cultivo agrícola.

Costos de manejo de la caoba en sistemas de producción agrícola para estas tres experiencias

Los costos de mantenimiento de malezas y manejo de la especie varían dependiendo del objetivo de producción agrícola y del productor. Si el cultivo es por ciclos largos como el café y cacao o ciclos medios como el plátano y la yuca, los costos son menores que si los combina con cultivos de ciclos cortos como vainica, pepino, camote, maíz, frijol, entre otros. En cuanto al productor, depende de cuantas veces produzca esos ciclos cortos, si es una vez al año en vez de dos (zonas con períodos de 6 meses de verano), los costos de mantenimiento de la caoba aumentan, principalmente en el primer año.

Para efectos de esta investigación, los rubros de gasto contemplados en la producción maderera, durante los primeros tres años, contemplan acciones directas como podas, aplicación de fertilizante, aplicación de insecticidas y todo lo referente a la fase de establecimiento. En el cuadro 3 se aprecian los costos generados por la especie durante los primeros tres años de crecimiento en diferentes sistemas agroforestales.

Los costos más altos corresponden a la densidad inicial de 400 árboles*ha⁻¹ y la de menor costo corresponde a 156 árboles*ha⁻¹. El precio de compra de la planta constituye el rubro más importante para considerar dentro de todos los costos.

Si comparamos con el monto de 1478 colones por árbol de alguna especie forestal nativa bajo un sistema agroforestal que FONAFIFO paga a cinco años como incentivo, dicho monto solo alcanza para cubrir un 47 % del total de los costos durante tres años para caoba

Tabla 3. Costos de establecimiento y mantenimiento de caoba en diferentes Sistemas Agroforestales para los tres primeros años de crecimiento en la zona de Heredia y Guanacaste, Costa Rica.**Table 3.** Mahogany establishment and maintenance costs in different agroforestry systems for the first three years of growth in Heredia and Guanacaste area, Costa Rica.

Año 0	156 árboles*ha-1	278 árboles*ha-1	400 árboles*ha-1
Actividad	Caoba-Café - Heredia y Guanacaste	Caoba-Cacao - Río Zapote-Sarapiquí	Caoba- cultivos 3 meses Venecia-San Carlos
Compra de árboles	95 160	169 580	244 000
Trazado y marcación	10 500 (1 jornal)	10 500 (1 jornal)	10 500 (1 jornal)
Hoyado	15 750 (1,5 jornal)	31 500 (3 jornales)	42 000 (4 jornales)
Distribución y siembra	10 500 (1 jornal)	15 750 (1,5 jornal)	21 000 (2 jornales)
Asistencia técnica	25 000	25 000	25 000
Aplicación de fertilizante 100 g*árbol-1 (10-30-10)	5 502,1 (0,125 jornal)	9 805,05 (0,19 jornal)	14 108 (0,31 jornal)
Total, año 0	162 412,1	262 135,05	356 608
Año 1			
Fertilización 3 veces 100 g*árbol-1 (10-30-10)	16 506,3 (0,375 jornal)	29 415,15 (0,6 jornal)	42 324 (0,93 jornal)
Aplicación insecticida 15 veces (Guanacaste) 26 veces (Venecia y Sarapiquí)	75 750 (2,56 jornales)	131 300 (4,5 jornales)	131 300 (4,5 jornales)
Asistencia técnica	15 000	15 000	15 000
Total, año 1	107 256,3	175 715,5	188 624
Año 2			
Fertilización 3 veces 100 g*árbol-1 (10-30-10)	16 506,3 (0,375 jornal)	29 415,15 (0,6 jornal)	42 324 (0,93 jornal)
Aplicación insecticida 15 veces (Guanacaste) 26 veces (Venecia y Sarapiquí)	75 750 (2,56 jornales)	131 300 (4,5 jornales)	131 300 (4,5 jornales)
Asistencia técnica	15 000	15 000	15 000
Total, año 2	107 256,3	175 715,5	188 624
Año 3			
Fertilización 3 veces 100 g*árbol-1 (10-30-10)	16 506,3 (0,375 jornal)	29 415,15 (0,6 jornal)	42 324 (0,93 jornal)
Aplicación insecticida 15 veces (Guanacaste) 26 veces (Venecia y Sarapiquí)	75 750 (2,56 jornales)	131 300 (4,5 jornales)	131 300 (4,5 jornales)
Asistencia técnica	15 000	15 000	15 000
Total, año 3	107 256,3	175 715,5	188 624
Gran Total para los 3 años	484 181	789 281,55	922 480

con café; un 52 % para caoba con cacao y un 64 % para Caoba con cultivos agrícolas de tres meses de duración.

Lecciones aprendidas del establecimiento de Caoba en SAF

Con distanciamientos de 5 m x 5 m los árboles en SAF no generan competencia a nivel de copa, lo que es una ventaja para el desarrollo de los cultivos agrícolas.

El uso de germoplasma superior y la aplicación de un sistema de cultivo intensivo, hace que la rentabilidad aumente y se beneficie aún más a los grupos sociales meta.

Las plantaciones puras tradicionales por lo general no permiten al productor obtener ingresos previos a la cosecha de los árboles, caso contrario al cultivo de árboles en SAF.

La densidad inicial de siembra de los árboles en los SAF es significativamente menor (50 a 400 árb*ha-1) que en plantaciones puras (600 a 816 árb*ha-1), por lo que generalmente no es necesario hacer intervenciones fuertes a la masa a edades tempranas.

El cultivo agrícola cubre rápida y fácilmente el costo de establecimiento y manejo del recurso forestal, lo que representa un tipo de subvención de estos.

El costo de control de arvenses atribuible al componente forestal es prácticamente cero, al aplicarse rutinariamente al cultivo agrícola.

El costo del componente forestal aumenta por unidad de área a medida que aumenta el número de árboles, sin embargo, a mayor cantidad de árboles por unidad de área, menor es el costo por árbol.

Especial atención para aquellos sitios con altitud superior a 1 200 m.s.n.m. al generar rendimientos muy por debajo de lo que se presenta en pisos altitudinales inferiores.

En resumen, se puede decir que la producción de madera en SAF es la forma social y económicamente más viable y sostenible para pequeños y medianos productores. Al mismo tiempo es la forma más barata de producir madera y la manera en que se obtienen mayores rendimientos por árbol.

Recomendaciones

- Considerar a la caoba como una especie idónea para combinar con productos agrícolas en sistemas agroforestales.
- No plantar caoba con fines comerciales en altitudes superiores a 1 200 m.s.n.m. Si se trata de fines de protección si es recomendable su establecimiento.
- Realizar ensayos clonales de procedencia en diversos sitios para valorar su
- productividad en plantaciones puras y asociados con productos agrícolas.
- Promover en diversas comunidades del país el establecimiento de la caoba en sistemas agroforestales, como una alternativa más de ingreso en un futuro cercano.

Referencias

- [1] O, Chinchilla; E, Corea; V, Meza. Silvicultura de Clones superiores de Caoba (*Swietenia macrophylla*) en los primeros cuatro años de crecimiento, Costa Rica. Tercera edición. ed., Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional., 2018, p. 38 p.
- [2] Oficina Nacional Forestal. Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables. Oficina Nacional Forestal, Heredia, Costa Rica, 2013.
- [3] F, Gutiérrez. Manual para el establecimiento y manejo de sistemas agroforestales para las comunidades de la parroquia Hatun Sumaku, Archidona, Napo, Ecuador. Rainforest Alliance; USAID, ICAA, 2015.
- [4] J. Beer, M. Ibrahim, E. Somarriba, A. Barrance, R. Leakey. "Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales", in Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas, J. Cordero and D.H. Boshier, Eds. CATIE and Oxford Forestry Institute, 2003, pp. 197-242.
- [5] F, Rojas; R, Canessa; J, Ramírez, Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. ICAFE, 2004.
- [6] J.M., Pérez, Manual para el cultivo de caoba. Serie técnica No. 1. Instituto Laudato Sí para la custodia de la creación, Centro de investigación, enseñanza y producción agroforestal (CEPIAGRY), 2017.
- [7] I, Schargel, G, Hernando, "Un sistema agroforestal de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y lechosa (*Carica papaya* L.), en Gato Negro, Estado Portuguesa, Venezuela". In Proc. Del IV Congreso Forestal Venezolano Barinas, Venezuela. 2004, pp. 6.
- [8] I, Schargel, N, Solórzano, "Un sistema agroforestal de caoba y lima persa en Gato Negro, Estado Portuguesa, Venezuela", Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología, vol. 18, no.1, pp. 67-84, 2000.
- [9] C, Navarro, J, Wilson, A, Gillies, M, Hernández. (2003) "A New Mesoamerican Collection of Big-Leaf Mahogany", in Ecological Studies (Analysis and Synthesis), Lugo A.E., Figueroa Colón J.C., Alayón M. (eds) Big-Leaf Mahogany, Springer, New York, NY. 2003
- [10] R. J.S, Saldaña, "Estimación del potencial para manejo de semillas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en tres comunidades indígenas del Purús, Ucayali, Perú", MSc tesis, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, 2015.
- [11] N. G., Jiménez, "Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras". MSc. Tesis, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, 2012.
- [12] L, Rodríguez, "Análisis de crecimiento de Caoba (*Swietenia macrophylla* King.) asociada con tres diferentes especies de Inga spp. en la región Tropical Húmeda de Costa Rica". Lic tesis, Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, Costa Rica, 1999.

- [13] M, Grajales, "Desarrollo de sistemas agroforestales con maderables y ornamentales en cacao". 2008. [En línea]. Disponible en: http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/DESARROLLO_DE_SISTEMAS_AGROFORESTALES.pdf [Fecha de acceso: 30 de octubre de 2019]
- [14] Instituto Meteorológico Nacional. Regionalización Climática de Costa Rica. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. IMN, Gestión de desarrollo. 32 pp. 1997.