

UNIVERSIDAD PAMERICANA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Ingeniería Agroforestal y Ambiental



Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorata* L.), en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén

Tesis de Licenciatura

Francisco García Arévalo

Guatemala, septiembre de 2023

Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorata* L.), en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén

Tesis de Licenciatura

Francisco García Arévalo, ID 000028800

Ingeniero Agrónomo Víctor Augusto Yoj Alvarado (**Asesor**)

Licenciada María de los Angeles Martínez Yac (**Revisora de Forma**)

Guatemala, septiembre de 2023

Autoridades Universidad Panamericana

M.Th. Mynor Augusto Herrera Lemus

Rector

Dra. HC. Alba Aracely Rodríguez de Gonzáles

Vicerrectora Académica

M.A. Cesar Augusto Custodio Cobar

Vicerrector Académico

EMBA: Adolfo Noguera Bosque

Secretario General

Autoridades de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ingeniero Cesar Augusto Cuevas Guerra M.Sc. MBA.

Decano

M.A Mónica Lissette Alcázar Serralde

Coordinadora

Carta de Responsabilidad de Derechos de Autor

En la ciudad de Santa Elena en el departamento y municipio de Petén

a los 03 días del mes de diciembre de 2021

Por medio de la presente YO, **Francisco García Arévalo** y en lo sucesivo “LA PERSONA AUTORA” hago constar que soy el único titular intelectual de la obra denominada “**Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba, (Swietenia Macrophylla King) y Cedro (Cedrela Odorata L.), en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (Theobroma Cacao) y Anual de Maíz (Zea Mays) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén**” en lo sucesivo “LA OBRA”, en virtud de lo cual autorizo Universidad Panamericana de Guatemala, “EL ORGANISMO” para que efectuase resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital e impresa con la finalidad de garantizar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de esta sin fines de lucro y con el objetivo de divulgarla.

“LA PERSONA AUTORA” autoriza a “EL ORGANISMO” y/o a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la mencionada casa de estudios “LA OBRA” de forma exclusiva en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique que se le concede licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionado respecto a la “propiedad intelectual” de la misma obra; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad industrial o intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes.

Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir “LA OBRA” se debe reconocer y dar crédito de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales de “LA PERSONA AUTORA”.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido artístico y/o intelectual de cualquier parte de “LA OBRA” son responsabilidad de “LA PERSONA AUTORA”, por lo que se deslinda a “EL ORGANISMO” por cualquier violación a los derechos de autora o autor, de acuerdo con lo establecido en la Ley Guatemalteca y/o tratados internacionales, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros.



Francisco García Arévalo



UNIVERSIDAD
PANAMERICANA

"Sapientia ante todo, adquiere sapientia"

Guatemala, 25 de septiembre de 2023

Ref. FICA-PF-121/2023

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

De acuerdo con el dictamen rendido por el Ingeniero Agrónomo Víctor Augusto Yoj Alvarado, asesor de la tesis denominada **Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*) en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca "La Máquina", Flores, Petén**, presentado por el estudiante Francisco García Arévalo quien se identifica con ID 000028800 y, la aprobación de la Evaluación de Competencias Profesionales (ECP), según consta en el Acta No. 028 - 2023, de fecha 12 de junio de 2023; por lo tanto, se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN**, previo a conferirle el título de Licenciado en Ingeniería Agroforestal y Ambiental.



Ing. César Augusto Cuevas Guerra
Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M. Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Guatemala, 25 de septiembre de 2023

Ref. FICA-120/2023

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

CARTA DE ACUSE

Por este medio hago constar que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería Agroforestal y Ambiental, el estudiante **Francisco García Arévalo** quien se identifica con ID **000028800**, ha desarrollado la Tesis denominada **“Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*) en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén”**.

Aunado a ello, posterior a la lectura del informe de Licenciatura, se hace constar que el trabajo realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En calidad de Decano de Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Ing. César Augusto Cuevas Guerra
Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M. Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



DICTAMEN DEL ASESOR DE TESIS

Nombre del estudiante: García Arévalo, Francisco

Título de la tesis: Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*) en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca "La Máquina", Flores, Petén.

Asesor de la tesis: Ingeniero Agr. Víctor Augusto Yoj Alvarado

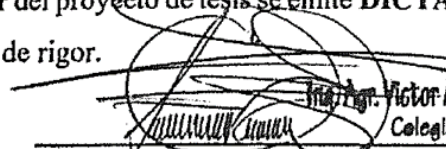
Considerando,

Primero: Que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería Agroforestal y Ambiental, Francisco García Arévalo quien se identifica con ID 000028800, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado "Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*) en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca "La Máquina", Flores, Petén".

Segundo: Que el profesional Ingeniero Agrónomo Víctor Augusto Yoj Alvarado, ha leído el informe de tesis donde consta que el trabajo de tesis realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de asesor del proyecto de tesis se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.


Ingeniero Agr. Víctor Augusto Yoj Alvarado
Colegiado 2,287

Ingeniero Agrónomo Víctor Augusto Yoj Alvarado
Asesor de Tesis

Guatemala, 22 de septiembre de 2023

DICTAMEN DEL REVISOR DE FORMA DE LICENCIATURA

Nombre del estudiante: García Arévalo, Francisco

Título de la Tesis: Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorota L.*), en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén

Revisora de forma de Tesis: Licda. Ma. de los Angeles Martínez Yac de Flores

Considerando,

Primero: Que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Agroforestal y Ambiental, el estudiante **Francisco García Arévalo** quien se identifica con ID **000028800**, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado “**Evaluación del Crecimiento de Dos Especies Forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorota L.*), en un Sistema Agroforestal de Cultivo Perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén.**”.

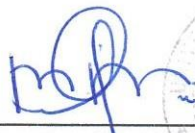
Segundo: Que he leído el trabajo de Tesis, donde consta que el estudiante en mención realizó el proyecto investigativo de egreso atendiendo a un método y técnicas propias de esta modalidad académica.

Tercer: Que ha realizado todas las correcciones de redacción y estilo que le fueron planteadas en su oportunidad.

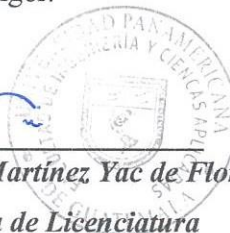
Cuarto: Que dicho trabajo reúne las calidades necesarias de un trabajo de licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de revisora de forma del proyecto de Tesis de licenciatura se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Licda. Ma. de los Angeles Martínez Yac de Flores
Revisora Metodológica de Licenciatura



Agradecimientos

A:

Dios: Que me dio la vida, sabiduría y bendición de superarme.

Ing. Agr. Víctor Yoj A.: Por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Universidad Panamericana Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas en Agroforestal y Ambiental, por ser parte de mi formación profesional.

Todas las personas que de otra forma colaboraron en la realización de esta investigación.

Dedicatoria

A:

Dios: Por la vida, sabiduría que me brinda y fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida.

Mis padres: Benito García y Tomasa Arévalo Mayén, a quienes quiero mucho; por su inmenso amor y consejos oportunos.

Mi esposa: Claudia Leticia Dubón Castillo, por su comprensión y paciencia que me brindó en la culminación de carrera profesional.

Mis hijos: Ander Manfredo, Walter Hereoldany, Wilfred Francisco y Zury Yoleinny García Dubón, a quienes amo mucho y son la razón de mi esfuerzo, alegría y motivación constante de superación académica.

Mis hermanos: Sergio Danilo, Elmer Galindo, Zaida Marleni, Mayra Azucena, Carmen Odilio y Celi Francisca García Arévalo; por su cariño y apoyo; por ser parte importante de mi vida profesional.

Mis amigos: Por los buenos recuerdos y el apoyo brindado en todo momento.

Índice

Resumen	i
Introducción	ii
Capítulo I	1
Marco Contextual	1
1.1. Antecedentes del Problema	1
1.2. Justificación de la Investigación	1
1.3. Planteamiento del Problema	3
Capítulo II	5
Marco Teórico	5
2.1 Zona de Vida	5
2.2 Características Climáticas	5
2.3 Características Físicas	5
2.4 Definición de Términos Básicos	7
2.4.1 <i>Sistemas Agroforestales</i>	7
2.4.2 <i>Aprovechamiento Forestal</i>	7
2.4.3 <i>Concesión Forestal</i>	8
2.5 Especies Forestales	8
2.5.1. <i>Caoba (Swietenia Macrophylla King)</i>	8
2.5.2. <i>Cedro (Cedrela Odorata L.)</i>	9
2.6 Especies Agrícolas	10
2.6.1. <i>Cacao (Theobroma Cacao)</i>	10
2.6.2. <i>Maíz (Zea Mays)</i>	11
Capítulo III	14

Marco Metodológico	14
3.1 Problemática Por Investigar	14
3.2 Enfoque de la Investigación	14
3.3 Alcance de la Investigación	14
3.4 Objetivos	15
<i>3.4.1. Objetivo General</i>	15
<i>3.4.2. Objetivos Específicos</i>	15
3.5 Pregunta de Investigación	15
3.6 Operacionalización de las variables	16
3.6. 1 Variable Independiente	16
<i>3.6.1. Variable Dependiente</i>	16
3.7 Definición Operativa	17
3.8 Delimitación	19
<i>3.8.1. Temporal</i>	19
<i>3.8.2. Espacial</i>	19
3.9 Universo	19
3.10 Muestra	19
3.11 Sujetos de Investigación	21
3.12 Técnicas de Análisis de Datos	21
3.13 Instrumentos	21
3.14 Prueba Piloto	21
3.15 Factibilidad y Viabilidad	21
Capítulo IV	22
Presentación y Discusión de Resultados	22
4.1 Presentación de Resultados	22

4.2 Discusión de Resultados	26
4.2.1 Evaluación y comparación del crecimiento en DAP (cm) y Altura total (m) entre las especies Caoba (Swietenia Macrophylla) y Cedro (Cedrela Odorata) en una plantación de 2.5 años	26
4.2.2 Funcionamiento del sistema agroforestal compuesto por árboles de Caoba (Swietenia Macrophylla King) y Cedro (Cedrela Odorota L.) en asocio con Cacao (Theobroma cacao) y Maíz (Zea mays)	26
4.2.3 Generación de información sobre el crecimiento y asocio de árboles de Caoba (Swietenia Macrophylla King) y Cedro (Cedrela Odorota L.) con Cacao (Theobroma cacao) y Maíz (Zea mays).	27
Capítulo V	29
Conclusiones y Recomendaciones	29
5.1 Conclusiones	29
5.2 Recomendaciones	30
Capítulo VI	31
Referencias Bibliográficas	31
Anexos	33
Anexo A	33
<i>Etapa de producción de elote del componente agrícola Maíz dentro del sistema agroforestal.</i>	33
	33
Anexo B	33
<i>Instrumento utilizado para recolectar las variables de crecimiento en DAP y Altura Total para las especies Caoba y Cedro.</i>	33
Anexo C	34
<i>Estado del componente agrícola perenne Cacao al momento de la evaluación.</i>	34
Anexo D	34

<i>Medición de la variable altura total en Caoba.</i>	34
Anexo E	35
<i>Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para Caoba en Guatemala, según categorías de sitio.</i>	35
Anexo F	35
<i>Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para Cedro en Guatemala, según categorías de sitio.</i>	35
Anexo G	36
<i>Densidad (plantas por hectárea) de Cacao según Sistema Agroforestal (SAF).</i>	36
Anexo H	36
<i>Resultados de ANDEVA y comparación de medias mediante el estadístico Tukey empleando Infostat® para la variable DAP (cm) y los tratamientos especies forestal (Caoba versus Cedro).</i>	36
Anexo I	37
<i>Resultados de ANDEVA y comparación de medias mediante el estadístico Tukey empleando Infostat® para la variable Altura Total (m) y los tratamientos especies forestal (Caoba versus Cedro).</i>	37
Anexo J	38
<i>Croquis de ubicación del proyecto de investigación.</i>	38

Listado De Figuras

Figura 1 Ubicación del proyecto agroforestal	6
Figura 2 Ubicación de unidades de muestreo	20
Figura 3 Diseño del Sistema Agroforestal “Árboles de Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King o Cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.) en asocio con Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y Maíz (<i>Zea mays</i>)	22
Figura 4 Estado del SAF al momento de la evaluación dasométrica de la especie Caoba	23
Figura 5 Estado del SAF al momento de la evaluación dasométrica de la especie Cedro	24
Figura 6 Crecimiento en DAP (cm) altura total (m) de las especies Caoba y Cedro	24
Figura 7 Densidad de plantación de las especies Caoba y Cedro	25

Listado De Tablas

Tabla 1 Distanciamientos y densidades por componente del sistema agroforestal	17
Tabla 2 Comparación de crecimiento de la especie Caoba según parámetros de crecimiento definidos por INAB	23
Tabla 3 Comparación de crecimiento de la especie Cedro según parámetros de crecimiento definidos por INAB	25
Tabla 4 Comparación de crecimiento de la especie Cedro según parámetros de crecimiento definidos por INAB	26

Resumen

La presente investigación está centrada en evaluar el crecimiento de dos especies forestales, siendo la primera Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y la segunda Cedro (*Cedrela Odorota L.*), en un sistema agroforestal de cultivo perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y anula de Maíz (*Zea Mays*) en la finca “La Máquina”, ubicada en el Municipio de Flores, Departamento de Petén, Guatemala.

El sistema agroforestal estudiado fue establecido en el año 2,019 con el apoyo de Rainforest Alliance, quien brindó soporte a productores agrícolas y forestales en el diseño e implementación del sistema agroforestal (SAF); un aspecto a destacar es que el proyecto está ubicado en las zonas de amortiguamiento y de usos múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM). Por otro lado, posterior a dos años (2 años) de establecimiento, surge el interés por parte de los productores de conocer el estado del sistema agroforestal y crecimiento de las especies forestales, con el fin de evaluar e implementar correcciones y/o modificaciones necesarias al plan de manejo vigente.

A partir de lo anteriormente expuesto, se llevó a cabo la evaluación bajo un enfoque cuantitativo, con el propósito de analizar las variables medibles del estudio; aunado a ello, se desarrolló el enfoque descriptivo dado que se describieron las medidas de distanciamiento de siembra para cada especie. A partir de los resultados obtenidos se indica que el Cedro presentó un mayor crecimiento promedio tanto en DAP (cm) como en altura total en relación con la especie Caoba.

Introducción

En el territorio guatemalteco, diariamente se evidencia el aumento de la frontera agrícola, por lo que algunas Organizaciones No Gubernamentales (ONG) como Rainforest Alliance han promovido el establecimiento de especies de alto valor comercial como lo es la Caoba (*Swietenia Macrophylla*) y Cedro (*Cedrela Odorata*) con el propósito de generar opciones amigables al medio ambiente y, paralelamente, obtener productos de las plantaciones con valor económico. En esta misma línea, se establecen los primeros ensayos asociando las especies mencionadas con cultivos agrícolas bajo el concepto de sistema agroforestal (SAF), a fin de prever la generación de ingresos y productos de consumo para corto y mediano plazo. Cabe mencionar que inicialmente, las primeras pruebas se conforman de un proyecto de dos hectáreas y media (2.5 Ha), establecidas en conjunto con la empresa comunitaria “CUSTOSEL”, mismo que fue objeto de estudio para desarrollar la presente investigación.

La problemática abordada en el estudio está enfocada en la falta de información y obtención de datos por parte de los productores que conforman CUSTOSEL para la determinación del crecimiento del componente forestal en los SAF está esgrimiendo un progreso adecuado, así como evaluar si el plan de manejo agroforestal vigente es acorde a los objetivos del proyecto o es necesario que sean modificados.

La investigación busca responder *¿cuál es el crecimiento de dos especies forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) en un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (*Theobroma Cacao*) y anual de Maíz (*Zea Mays*) en finca “La Máquina”, Flores, ¿Petén?* para ello, se define como objetivo general la evaluación del crecimiento de dos especies forestales Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.); aunado a ello, se plantean objetivos específicos que están vinculados en medir y comparar el crecimiento en DAP (cm) y Altura Total (m) para las especies forestales de Caoba y Cedro en una plantación de dos años y medio (2.5 años) de establecimiento; evaluar el funcionamiento del SAF compuesto por árboles de Caoba y Cedro en asocio de Cacao y Maíz y; generar información sobre el crecimiento y asocio de árboles de Caoba y Cedro con Cacao y Maíz.

Dentro de los aspectos a resaltar se engloba que el estudio es el resultado del proceso de metodológico preciso basado en los enfoques investigativos provistos por Universidad Panamericana, razón por la cual la presente investigación contempla cinco (05) capítulos. En el primer capítulo, se enmarca el marco contextual del estudio, en éste se describen antecedentes de la problemática, importancia de la investigación y planteamiento del problema. El segundo capítulo está conformado por el marco teórico, en el cual se describen las bases teóricas, definición de términos básicos realizados por autores nacionales e internacionales.

Por otro lado, el tercer capítulo contempla el marco metodológico, en éste se desarrolla la problemática a investigar y se aborda el enfoque, alcance, interrogantes del estudio, objetivos, operacionalización de variables, delimitación de la investigación, técnicas de análisis de datos, instrumentos y análisis de factibilidad y viabilidad. Mientras que, en el capítulo cuatro, se enfoca en la presentación y discusión de los resultados obtenidos en el proceso investigativo, para ello, se hacen uso de elementos gráficos que permitan mostrar visualmente los logros alcanzados con en el desarrollo del proyecto. Por último, el quinto capítulo, a partir de los datos arrojados en capítulos anteriores, se desglosan conclusiones y recomendaciones. De igual forma, se detalla en un apartado del documento las referencias que sustentan las fuentes y citados bibliográficos empleados; así como, anexos de material informativo que permite comprender y obtener data más precisa sobre la investigación desarrollada.

Capítulo I

Marco Contextual

1.1. Antecedentes del Problema

El estudio por desarrollar se llevará a cabo en un sistema agroforestal con las especies forestales Caoba y Cedro, el cual fue establecido en el año 2019 con el apoyo de Rainforest Alliance, quien dio apoyo a productores agrícolas y forestales en el diseño e implementación del SAF; los proyectos, fueron ubicados en las zonas de amortiguamiento y de usos múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en el departamento de Petén, con el propósito de aportar esfuerzo en la reducción del avance de la frontera agrícola.

Posterior a dos años del establecimiento del proyecto, surgió el interés por parte de los productores de indagar sobre el estado del sistema y el crecimiento de las especies forestales con el propósito de implementar modificaciones o correcciones necesarias para mejorar o continuar con el plan de manejo vigente. Considerando el desconocimiento de los agricultores del grupo, en relación con la concesión forestal Sociedad Civil Custodios de la Selva, CUSTUSEL, se planteó la propuesta de investigación de “Análisis del Crecimiento de las Especies Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*), en un sistema agroforestal de cultivo perenne de Cacao (*Theobroma Cacao*) y anual de Maíz (*Zea Mays*) en Finca “La Máquina”, Flores, Petén.

1.2. Justificación de la Investigación

La pérdida de bosque en Guatemala es una realidad latente día a día, esto sigue ocasionando que el país posea menor superficie con cobertura boscosa; tal como explica Regalado et al. (2012) en el estudio Cambio de Cobertura Boscosa en el Período 2006 – 2010, “la tasa de deforestación en Guatemala alcanza en promedio -1%, presentando Petén en el estudio con -2.08%”; es importante resaltar lo alarmantes de las cifras, considerando que en un periodo de diez años (10 años) el país puede perder alrededor del diez por ciento (10%) de la cobertura y, en el Departamento de Petén el doble.

En la actualidad, las concesiones forestales en el Departamento de Petén rondan aproximadamente entre los veintiocho años (28 años) desde su origen, realizando el manejo sostenible del bosque y obteniendo beneficios por la venta de madera y productos no maderables del bosque; un dato a resaltar es que las concesiones fueron creadas en el año de 1,994, ocupando el área de la Zona de Usos Múltiples (ZUM) de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM). Por otro lado, dichas concesiones cumplen la función de administrar el bosque natural mediante el manejo sostenible y la producción de madera y productos no maderables del bosque para la comercialización a través de Empresas Forestales Comunitaria.

Stoian et al., (2018) indican que,

Según la información recabada de reportes realizados por ONG's y las mismas Empresas Forestales Comunitarias (EFC), las tasas de deforestación reportadas dentro de las zonas administradas por la EFC están muy cercanas a 0%, con una tasa de 0.1%, tasa que es inferior a las reportadas fuera de las concesiones, las cuales superan el 2.2%. (p.3).

Las cifras indicadas anteriormente, poseen similitudes a lo reportado por otros autores. Aunado a ello, cabe mencionar que el investigador menciona;

La EFC depende de la producción de Caoba (*Swietenia Macrophylla*) hasta en un 69% de la producción total de un año normal (679.65 m³ / año promedio), aumentando la importancia cuando se habla de los ingresos brutos totales, donde la dependencia de Caoba aumenta hasta 74% (6.05 millones de quetzales / año promedio).

A partir de los resultados que han presentado las concesiones forestales para la reducción de la deforestación en la Zona de Usos Múltiples (ZUM), y los beneficios económicos brindados a las Empresas Comunitarias Forestales (EFC) por el desarrollo de la acción y cuidado de bosques mediante el manejo sostenible del mismo, además de la importancia y representación de la especie Caoba dentro de la comercialización, algunas Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) como Rainforest Alliance une esfuerzos para la restauración de áreas externas a las concesiones

forestales ubicadas siempre en la Zona de Usos Múltiples o de amortiguamiento mediante el diseño e implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) que incluya la especie forestal Caoba; buscando así proporcionar ingresos a corto y mediano plazo mediante la producción agrícola y a largo plazo a través de la producción forestal.

A la fecha, se han instalado pequeños proyectos SAF en zonas de productoras individuales y en un proyecto en conjunto con la concesión forestal CUSTOSEL; por lo que a partir del presente estudio se pretende trabajar con el plan ya establecido por medio de la concesión forestal CUSTOSEL, el cual posee dos años y medio (2.5 años) de haberse establecido, Es importante acotar que las Empresas Forestales Comunitarias mostraron interés en el desarrollo de la investigación, así como en el impacto que ha tenido el crecimiento de las especies de Caoba y Cedro, dado la viabilidad de toma de decisiones en pro de mejoras o correcciones que permitan continuar con el programa de manejo vigente.

Ante lo expuesto anteriormente, se desarrollan evaluaciones de crecimiento de las especies Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*) asociadas a cultivos perennes de Cacao (*Theobroma Cacao*) y cultivo anual de Maíz (*Zea Mays*) en la Finca “La Máquina”, ubicada en el Municipio de Flores, Departamento de Petén, Guatemala, con el propósito de generar información útil para el área de influencia donde se desarrollará la investigación.

1.3. Planteamiento del Problema

Rainforest Alliance, ha mostrado interés en la promoción de sistemas agroforestales en la región de la Finca La Máquina, ubicada en Flores, Petén, como parte de los objetivos de apoyo en el desarrollo de comunidades. Dentro la finca, existen plantaciones establecidas de las especies de Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorata L.*), en asocio con Cacao (*Theobroma Cacao*) y Maíz (*Zea Mays*); un aspecto a resaltar es que de dichas especies se desconoce el crecimiento que han tenido posterior al establecimiento del sistema agroforestal, es por ello por lo que, mediante el estudio a ejecutar se pretende evaluar el desarrollo sostenido.

A partir de lo expuesto, surge la siguiente interrogante de investigación *¿Cuál es el crecimiento que han tenido las especies forestales Caoba (Swietenia Macrophylla King) y Cedro*

(Cedrela Odorata L.) dentro del sistema agroforestal establecido? Por otro lado, con el propósito de dar respuesta al cuestionamiento planteado se diseña la evaluación de crecimiento, con el fin de obtener datos que permitan analizar cada una de las especies forestales establecidas, con el objetivo de tener un mejor manejo del SAF.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Zona de Vida

La zona de vida del estudio corresponde a Bosque Húmedo Sub Tropical Cálido (BhSc). Tal como explica Morales (2007).

Los bosques húmedos subtropicales son extensiones de tierra cubierta de densa vegetación comprendida en la región intertropical (es decir, entre el Trópico de Cáncer en el hemisferio norte y entre el Trópico de Capricornio en el hemisferio sur). Se diferencian de los bosques húmedos tropicales por presentar una pluviosidad (precipitaciones anuales) menor a la de éstos, aunque en promedio sigue siendo mayor a la de otros ecosistemas, estando entre los 1700 y los 2000 mm anuales, al igual que una temperatura menor comprendida en el intervalo de los 17° a 24° C.

2.2 Características Climáticas

Dentro de las características climáticas del área a evaluar, predomina el clima cálido húmedo, con la particularidad que no evidencia una estación seca definida. Según Morales (2007) “la temperatura máxima promedio alcanza los 39.72°C. y una mínima de 11°C, con promedio anual de 25.32°C. La humedad relativa anual alcanza el 78%, con precipitación anual de 1,800 mm y 180 días de lluvia”.

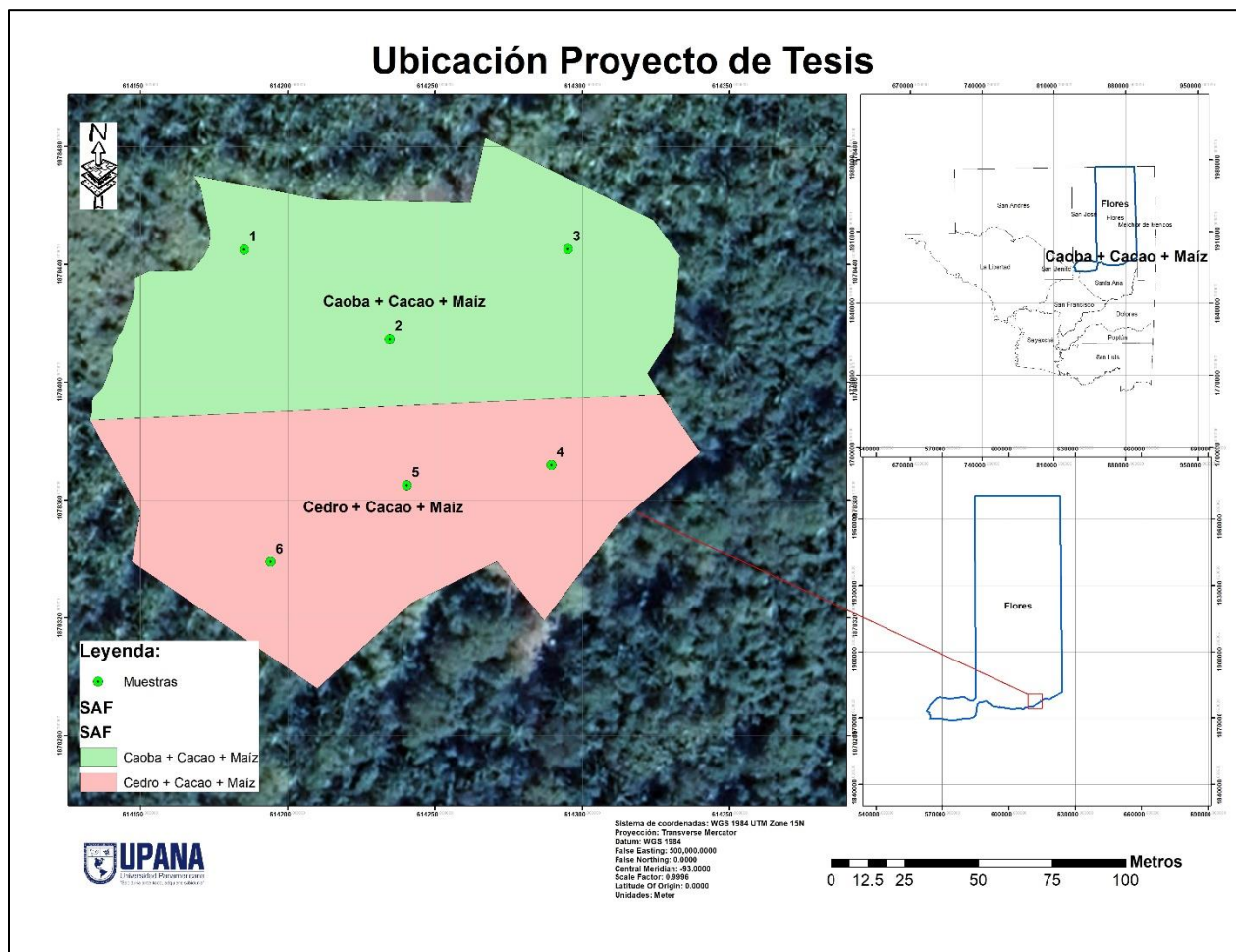
2.3 Características Físicas

Según datos obtenidos por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA) del año 2,001, el área del proyecto, en general, se ubica en una elevación promedio de doscientos cuarenta metros sobre el nivel del mar (240 m s.n.m); adicional, la topografía corresponde a una planicie con pendientes que oscilan entre el cuatro por ciento (4%) al dieciséis por ciento (16%).

La Finca “La Máquina”, está constituida como propiedad de la Sociedad Civil de la Selva “CUSTOSEL”, la cual posee sede en el Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén. Ésta, está inscrita en el Registro de Propiedad con la fina No.2173, folio 170 del libro 19 de Petén; la ubicación geográfica del inmueble se ubica en el Municipio de Flores, Departamento de Petén, en la Finca La Máquina en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya.

Figura 1

Ubicación del proyecto agroforestal.



La Finca “La Máquina”, posee una extensión de noventa hectáreas (90 ha), en las cuales actualmente se realizó un plan de manejo preventivo de incendios forestales; por otro lado, las plantaciones que esgrime son sistemas agroforestales en un área de dos hectáreas y media (2.5 ha), en la cuales se incluyen especies forestales de alto valor comercial como Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorota L.*), dado que a largo plazo será factible obtener

madera de éstas; por otro lado, también existen especies que anualmente, en el corto y mediano plazo, producirán frutos y semillas como el cacao y maíz.

2.4 Definición de Términos Básicos

2.4.1 Sistemas Agroforestales

El Instituto Nacional de Bosques – INAB – (2016), define un sistema agroforestal como:

Un sistema agroforestal (SAF) es la combinación de especies forestales con cultivos agrícolas, ganado o con los dos a la vez, en una porción de tierra donde se hace uso intensivo de la misma en espacio y tiempo, a fin de obtener un sistema de producción estable. (p. 4)

Los sistemas agroforestales, son agrupaciones de cultivos dentro de los cuales se llevan a cabo prácticas caracterizadas por estar enfocadas en el cuidado del medio ambiente, para ello, se utilizan especies forestales y agrícolas que cumplan con funciones ambientales y socioeconómicas.

2.4.2 Aprovechamiento Forestal

Tal como estipula la Ley Forestal, en el Decreto Número 101-96, en el Artículo 4, sobre el aprovechamiento forestal.

Es el beneficio obtenido por el uso de los productos o subproductos del bosque, en una forma ordenada, de acuerdo con un plan de manejo técnicamente elaborado, que por lo tanto permite el uso de los bienes del bosque con fines comerciales y no comerciales, bajo estrictos planes silvícolas que garanticen su sostenibilidad. (p. 4)

2.4.3 Concesión Forestal

Según lo dicta la Ley Forestal, Decreto Número 101-96, en el Artículo No.4, se define como concesión forestal.

Es la facultad que el Estado otorga a personas guatemaltecas, individuales o jurídicas, para que por su cuenta y riesgo realicen aprovechamientos forestales en bosques de propiedad estatal, con los derechos y obligaciones acordados en su otorgamiento, de conformidad con la ley. (p.4)

2.5 Especies Forestales

Las especies forestales, también reconocidas como especies maderables, son plantas productoras de tejido leñoso y que, dadas las características anatómicas, física y/o mecánicas, son susceptibles de uso.

2.5.1. Caoba (*Swietenia Macrophylla King*)

Según la descripción morfológica del árbol de Caoba por el Instituto Nacional de Bosques – INAB – (2019), éste presenta las siguientes características.

- Porte del árbol: El árbol de Caoba llega a medir entre 30 y 45 metros de altura, y hasta 1.5 metros de DAP, es no deciduo y presenta un fuste cilíndrico, recto y libre de ramas gruesas.
- Corteza externa: Presenta fisuras, es de color gris y la textura es lisa cuando es joven, cuando los árboles son adultos la corteza se torna de color marrón oscura escamosa.
- Hojas: Son compuestas, agrupadas a final de las ramas, son alternas con largos entre 12-45 centímetros, regularmente cada hoja tiene entre 3 y 6 pares de folíolos opuestos.
- Flores: Son de color amarillento, de tamaño pequeño, agrupadas en inflorescencias axilares, el tamaño de estas puede estar entre 10 y 18 centímetros de largo. La especie

es monoica con flores unisexuales, las masculinas se abren después de las femeninas en un mismo árbol.

- Frutos: son cápsulas erectas, la forma es ovoide al inicio y piriformes en la madurez, el tamaño se encuentra entre 12 y 22 centímetros de largo, cada fruto puede contener entre 35 y 45 semillas, el color es café y el tamaño se puede encontrar entre 7.6 y 12 centímetros. La producción de semillas con regularidad es factible encontrar a los 12 años.

2.5.2. Cedro (*Cedrela Odorata L.*)

Según la descripción morfológica del árbol de Cedro por el Instituto Nacional de Bosques – INAB – (2019), éste presenta las siguientes características.

- Porte del árbol: El árbol de Cedro llega a medir entre 25 y 30 metros de altura, y hasta 2 metros de DAP, es caducifolio y presenta un fuste cilíndrico y recto.
- Corteza externa: Es lisa y grisácea, cuando el árbol está maduro éste presenta fisuras verticales y el color tiene a cambiar a pardo grisáceo o pardo negruzca. La corteza interna presenta color rosado a rojo oscuro de textura fibrosa.
- Hojas: Son compuestas paripinadas, rara vez imparipinadas, el largo puede estar entre 15 a 50 centímetros, cada hoja puede presentar de 5 a 11 pares de folíolos opuestos de 7.5 a 15 centímetros de largo y 3 a 5 centímetros de ancho.
- Flores: Son de color blanco, agrupadas en racimos florales o panículas grandes de 20 a 40 centímetros al final de las ramas, es una especie monoica y posee ambos sexos en la misma inflorescencia, en este caso las flores femeninas abren primero para fomentar la

polinización cruzada. En las zonas donde es originario el Cedro, las flores surgen al mismo tiempo que las hojas nuevas.

- Frutos: Es una capsula rodeada en ambos extremos, el largo de estos puede estar entre 5 a 7 centímetros, los frutos abren cuando se maduran para liberar las semillas, el color cuando está maduro es de color marrón café oscuro, el fruto se abre en 5 partes para liberar las semillas, cada fruto puede contener entre 20 y 40 semillas, éstas son planas y pueden medir de 5 a 6 mm.

2.6 Especies Agrícolas

Las especies agrícolas son aquellas que se cultivan año tras año y en las cuales la producción es a corto y mediano plazo.

2.6.1. Cacao (*Theobroma Cacao*)

Maroto et al (2017), argumenta la descripción botánica del cacao de la siguiente manera:

- Género: *Theobroma*, que pertenece a la familia Malvaceae y subfamilia Sterculioideae, comprende especies en seis secciones.
- Morfología: *Theobroma cacao* es un árbol o arbusto semicaducifolio glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. De corteza oscura (generalmente, de color gris-café) con ramas cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas simples (con limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado. El pecíolo es

de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. Las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceoladas, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de 6 a 9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineares: cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios. Todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo. Los estambres fértiles son de 2,5 a 3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5 a 7.5 mm de largo. El ovario es de 2 a 3 mm de largo, anguloso ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6, 12 o 16 óvulos por fila. El fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, con medidas de 10, 20 o 35 cm de largo y 7 cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnososo, y leñoso. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor.

2.6.2. Maíz (*Zea Mays*)

Deras (2020), brinda generalidades morfológicas de la planta de Maíz (*Zea Mays*):

- Género: El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas, tribu maideas.

- Descripción de la planta: El sistema radicular del maíz se desarrolla a partir de la radícula de la semilla, que ha sido sembrada a una profundidad adecuada, para lograr su buen desarrollo. El crecimiento de las raíces disminuye después que la plúmula emerge, y virtualmente, detiene completamente su crecimiento en la etapa de tres hojas de la plántula. Las primeras raíces adventicias inician su desarrollo a partir del primer nudo en el extremo del mesocotilo; esto ocurre, por lo general, a una profundidad uniforme, sin relación con la profundidad con la que fue colocada la semilla. Un grupo de raíces adventicias se desarrolla a partir de cada nudo sucesivo hasta llegar a los siete o diez nudos, todos debajo de la superficie del suelo. Estas raíces adventicias se desarrollan en una red espesa de raíces fibrosas. El sistema de raíces adventicias es el principal sistema de fijación de la planta, y además absorbe agua y nutrientes. Mistrik y Mistrikova (1995) encontraron que el sistema de raíces adventicias seminales constituye cerca del 52% y que el sistema de nudos de las raíces es el 48% de la masa total de raíces de la planta de maíz. El tallo de la planta es robusto, formado por nudos y entrenudos más o menos distantes; presenta de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadoras de 4 a 10 centímetros de ancho por 35 a 50 centímetros de longitud; tienen borde áspero, finamente ciliado y algo ondulado. Desde el punto donde nace el pedúnculo que sostiene la mazorca, la sección del tallo es circular hasta la panícula o inflorescencia masculina que corona la planta.
- Hábitos de floración: El maíz es normalmente monoico, con inflorescencia terminal estaminada (panoja) o flor masculina; y flores femeninas pistiladas, ubicadas en yemas laterales (mazorcas); así, el maíz produce su rendimiento económico (grano) en ramificaciones laterales. Como resultado de esta separación de mazorca y panoja, y del

fenómeno llamado proterandria en la floración, el maíz es una especie alógama (de polinización cruzada) y su tipo de inflorescencia ha permitido la producción de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación.

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 Problemática Por Investigar

El presente estudio surge a partir del interés de la Sociedad Civil “CUSTOSEL”, la cual está ubicada en la Finca La Máquina, Municipio de Flores, Departamento de Petén, quienes desconocen el crecimiento de las especies Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrella Odorota L.*) en asocio con Cacao (*Theobroma Cacao*) y Maíz (*Zea Mays*), posterior a dos años y medio (2.5 años) del establecimiento del sistemas agroforestal, dado que no poseen datos que registren el desarrollo de cada especie; derivado de ello, los productores no pueden evaluar si el mantenimiento que se está brindando al SAF es el idóneo o correcto o es necesario realizar correcciones y/o modificaciones dentro del mismo.

3.2 Enfoque de la Investigación

El enfoque del trabajo investigativo será cuantitativo, basándose en la recolección de datos de crecimiento de los árboles de Caoba y Cedro; asimismo, se incluye una fase descriptiva que aborda el diseño del sistema agroforestal, distanciamiento y ubicación de cada componente del SAF.

3.3 Alcance de la Investigación

El proyecto de investigación se desarrollará en el municipio de Flores, Departamento de Petén, en una finca de propiedad privada; donde está establecido el sistema agroforestal en dos hectáreas y media (2.5 ha) con especies forestales de Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrella Odorota L.*) en asocio con las especies agrícolas de Cacao (*Theobroma Cacao*) y Maíz (*Zea Mays*). El estudio tendrá una duración alrededor de cuatro meses, comprendidos de agosto a noviembre del año 2021.

Cabe mencionar que la evaluación se llevará a cabo dos años y medio (2.5 años) posterior al establecimiento del sistema agroforestal, por lo que la recolección de datos sobre el crecimiento

de la Caoba y Cedro y, la descripción del diseño agroforestal se realizará durante los primeros tres meses del estudio.

3.4 Objetivos

3.4.1. Objetivo General

Evaluar el crecimiento de dos especies forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.), en un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (*Theobroma cacao*) y anual de Maíz (*Zea mays*) en finca La Máquina, Flores, Petén.

3.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar y comparar el crecimiento en DAP (cm) y Altura Total (m) para las especies forestales Caoba y Cedro en una plantación de 2.5 años de establecimiento.
- Valorar el funcionamiento del sistema agroforestal compuesto por Árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) en asocio con Cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*).
- Generar información sobre el crecimiento y asocio de Árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) con Cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*).

3.5 Pregunta de Investigación

¿Cuál es el crecimiento de dos especies forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) en un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (*Theobroma cacao*) y anual de Maíz (*Zea mays*) en finca La Máquina, Flores, Petén?

3.6 Operacionalización de las variables

3.6.1 Variable Independiente

- Diámetro a la altura del pecho (DAP): Variable medida a 1.30 metros de suelo sobre el fuste principal del árbol, la misma fue evaluada en el 100% de individuos.
- Altura total: Variable medida desde la base del árbol hasta el meristemo apical, la misma fue medida al 100% de individuos.
- Densidad: Variable determinada a partir del conteo de número de árboles por unidad de muestreo (parcelas de 300 m²) y proyectada a la hectárea a través de una regla de tres simple.

3.6.1. Variable Dependiente

- Desconocimiento de crecimiento de las especies.
- Manejo silvícola

3.7 Definición Operativa

Tabla 1

Definición operativa de variables.

Problema central de la investigación	Variable de estudio	Variable dependiente	Variables independientes	Objetivo general	Objetivos específicos	Sujetos de investigación
El estudio surge a partir del interés la Sociedad Civil “CUSTOSEL ” ubicados en La Máquina, Flores, Petén, quienes desconocen el crecimiento de las especies Caoba (<i>Swietenia Macrophylla King</i>) y Cedro (<i>Cedrella</i>)	Evaluación del crecimiento de dos especies forestales Caoba, (<i>Swietenia Macrophylla King</i>) y Cedro (<i>Cedrella</i>)	Desconocimiento del crecimiento de las especies Caoba y Cedro. Manejo silvícola.	Diámetro a la altura del pecho (DAP) Alturas Densidad	Evaluar el crecimiento de dos especies forestales Caoba, (<i>Swietenia Macrophylla King</i>) y Cedro (<i>Cedrella</i>), en un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y anual de Maíz (<i>Zea</i>	Evaluar y comparar el crecimiento en DAP (cm) y Altura Total (m) para las especies forestales Caoba y Cedro. Evaluar el funcionamiento del sistema agroforestal. Generar información sobre el crecimiento y asocio de Árboles de Caoba (<i>Swietenia Macrophylla King</i>) y Cedro (<i>Cedrella Odorota L.</i>).	Caoba Cedro

Odorata L.) en de Maíz (*Zea*
asocio con *mays*).

Cacao

(*Theobroma*

cacao) y Maíz

(*Zea mays*),

tras pasar 2.5

años después

del

establecimient

o del sistema

agroforestal

no se cuenta

con datos que

registren el

crecimiento de

cada especie.

mays) en finca

La Máquina,

Flores, Petén.

3.8 Delimitación

3.8.1. Temporal

El proyecto de investigación tendrá una duración de cuatro meses, dentro de los cuales se incluye la implementación del sistema agroforestal y la toma de resultados; la fase de planificación dará inicio en el mes de agosto, en conjunto con el diagnóstico y recolección de información dasométrica; posteriormente, en septiembre se llevará a cabo la visita de campo al terreno y se procederá a realizar la medición de las variables DAP (cm) y Altura Total (m). Finalmente, en los meses de octubre y noviembre se ejecutará el análisis y preparación de informe donde se incluirán los resultados finales del trabajo realizado.

3.8.2. Espacial

La investigación será desarrollada en finca privada perteneciente a la Sociedad Civil “CUSTOSEL”, la cual está ubicada a sesenta kilómetros (60 km) de la cabecera del municipio de Flores del departamento de Petén, Guatemala.

3.9 Universo

El universo de interés será el total de plantas de Caoba y Cedro que se ubican en la extensión de tierra de dos hectáreas y media (2.5ha) de la Finca “La Máquina”; éstas ascienden a un total de cuatrocientos seis (406) plantas de Caoba, localizadas en uno coma tres hectáreas (1,3 ha), y trescientas setenta y cuatro (374) plantaciones de Cedro, emergentes en una coma dos hectáreas (1,2 ha).

3.10 Muestra

La muestra de investigación estará conformada por seis (6) parcelas de trescientos metros cuadrados (300m²) de forma circular, en las cuales se distribuye dos (2) grupos; el primero abarca tres (3) parcelas en el área del SAF donde se encuentra Cedro en asocio de Cacao y Maíz y; el

segundo conjunto conformada por tres (3) parcelas del área SAF donde se localiza Caoba en asocio de Cacao y Maíz.

Un aspecto por resaltar es que el distanciamiento inicial del componente forestal, Caoba y Cedro, es de cuatro metros por ocho metros (4m x 8m), es decir trescientas doce (312) plantas por hectáreas y; el distanciamiento del componente agrícola de Maíz fue de tres coma ocho metros por cero coma cinco metros (3,8m x 0,5m), es decir nueve mil cuatrocientas treinta y ocho (9,438) plantas por hectárea.

Ante ello, se resalta que el maíz fue implementado únicamente en el sesenta y seis (66%) de la superficie total, al centro de las calles formadas por las filas de Cedro y Caoba (figura 2). Para la instalación de las parcelas, fue empleado el radio de éstas, éste fue estimado a partir de la siguiente función.

$$\text{Radio del círculo} = \sqrt{\text{Superficie del círculo} / \pi}$$

$$\text{Dónde: Radio del círculo} = \sqrt{300 \text{ m}^2 / \pi}$$

Radio del círculo = 9.77 metros.

La distribución espacial de las unidades de muestreo se llevará a cabo a través del software Arc Map, en éste, se colocaron las parcelas en puntos representativos de la superficie bajo estudio (Figura 2)

Figura 2

Ubicación de unidades de muestreo



3.11 Sujetos de Investigación

Los sujetos de investigación estarán conformados por las plantas de Caoba y Cedro que se encuentran en el sistema agroforestal, de igual forma, se tomarán las plantas de Cacao y Maíz empleadas en la caracterización del SAF.

3.12 Técnicas de Análisis de Datos

Las técnicas de análisis a utilizar serán esquemas que permitan explicar el diseño del sistema agroforestal; análisis de medidas de tendencia central y de dispersión empleadas para la comparación del crecimiento en DAP (cm) y Altura Total (m) de las especies forestales de Caoba y Cedro.

3.13 Instrumentos

En el desarrollo del proceso investigativo se empleará para la recolección y análisis de datos, el formato de boleta de campo, el cual permitirá registrar información que se origine en cada variable de estudio de las plantas sometidas a la evaluación. En el anexo B, será colocado el bosquejo de ficha a utilizar.

3.14 Prueba Piloto

Derivado de la línea de la investigación, no se realizará prueba piloto dado que los resultados totales serán sometidos a análisis de datos recopilados directamente de los objetos de estudio, los cuales en este caso son árboles pertenecientes al sistema agroforestal establecido.

3.15 Factibilidad y Viabilidad

En la ejecución del estudio se tendrá la autorización y apoyo de la Sociedad Civil “CUSTOSEL”; asimismo, se tendrá la disposición de los recursos humanos, financieros y técnicos. Por otro lado, se resalta que la financiación del proyecto será absorbida por el investigador Francisco García Arévalo.

Capítulo IV

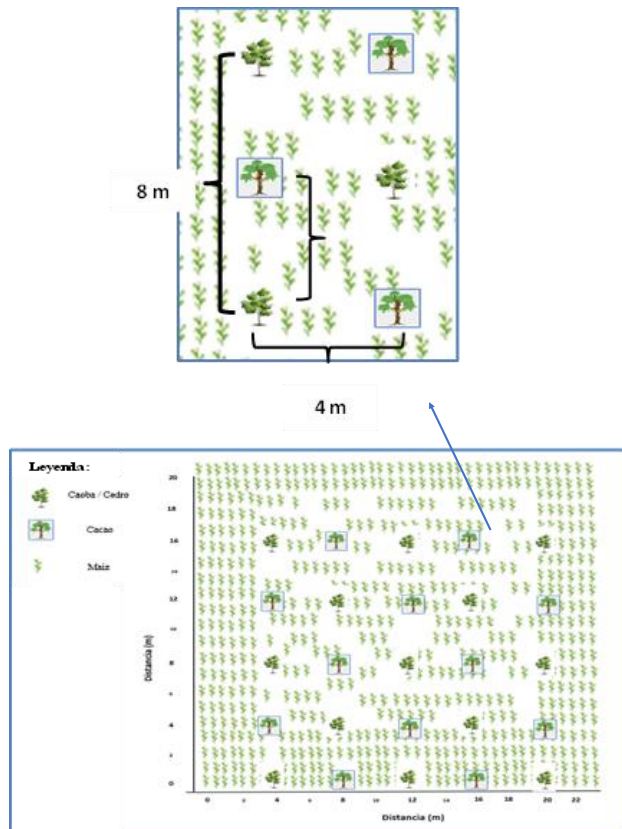
Presentación y Discusión de Resultados

4.1 Presentación de Resultados

Con el propósito de evaluar el crecimiento de dos (2) especies forestales Caoba, (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorota L.*), bajo un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (*Theobroma cacao*) y anual de Maíz (*Zea mays*) en finca “La Máquina”, Flores, Petén, se procedió a realizar la toma de datos con la boleta de campo, dichos resultados se detallan a continuación.

Figura 2

Diseño del Sistema Agroforestal “Árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla King* o Cedro (*Cedrela Odorata L.*) en asocio con Cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*).



El croquis esbozado anteriormente, representa el Caoba y Cedro con un mismo símbolo, eso se debe a que el SAF almacena el mismo diseño, sin embargo, se contiene en uno coma tres

hectáreas (1,3 ha) la especie de Caoba y en una coma dos hectáreas (1,2 ha) la especie de Cedro.
(Figura 2)

Tabla 2

Distanciamientos y densidades por componente del sistema agroforestal. Nota: el Maíz se implementará en el 66 % del área (6,600 m² / ha)

Componente	Especie	Distanciamiento (m)	Densidad (plantas / hectárea)
Forestal	Caoba / Cedro	4 * 8	312
Agrícola Perenne	Cacao	4 * 8	312
Agrícola anual	Maíz	3,9.* 0.5	9,438

Figura 3

Estado del SAF al momento de la evaluación dasométrica de la especie Caoba.



Figura 4

Estado del SAF al momento de la evaluación dasométrica de la especie Cedro.



Figura 5

Crecimiento en DAP (cm) altura total (m) de las especies Caoba y Cedro.

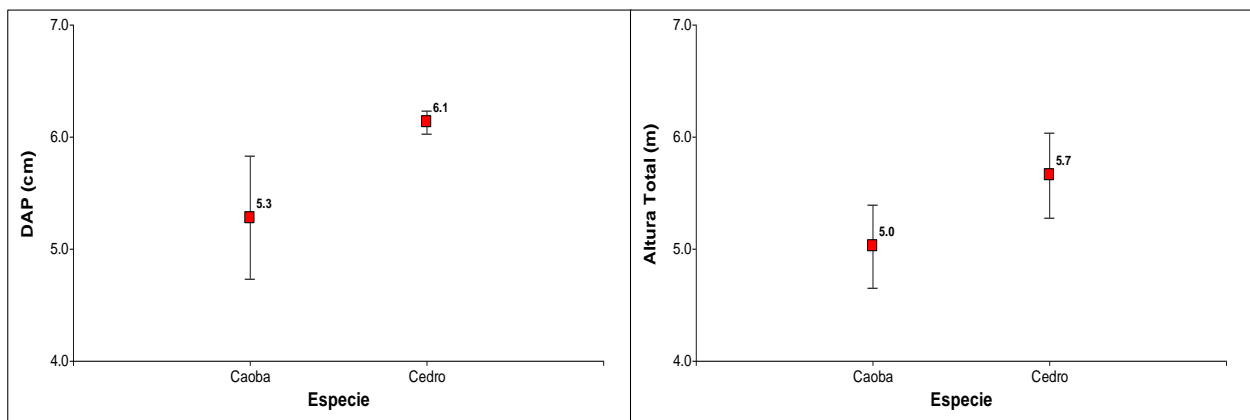
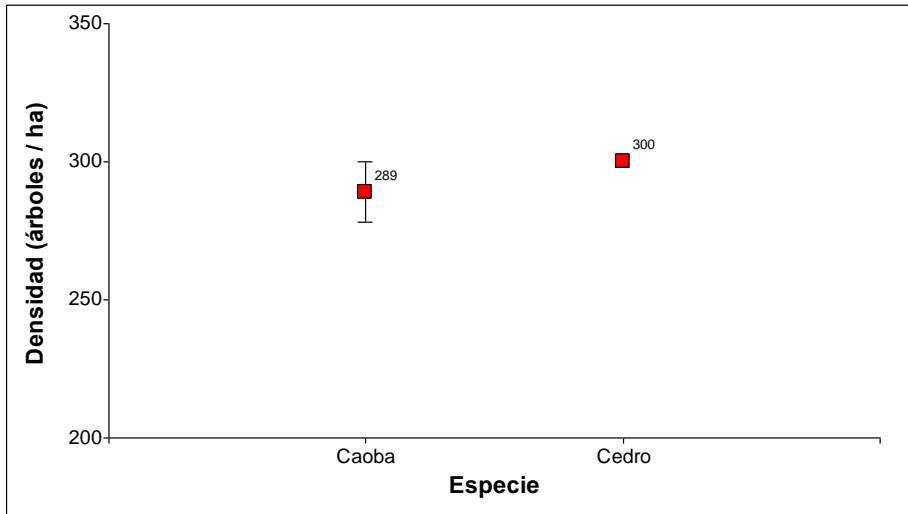


Figura 6

Densidad de plantación de las especies Caoba y Cedro.



Nota. Elaborado a partir de información consultada de INAB (2019, p. 61)

Tabla 3

Comparación de crecimiento de la especie Caoba según parámetros de crecimiento definidos por INAB.

Índice de sitio	Parámetros INAB		Crecimiento proyecto	
	IMA DAP (cm)	IMA Altura Total (m)	IMA DAP (cm)	IMA Altura Total (m)
Pésimo	0.39	0.30	2.18	2.07
Malo	0.53	0.51		
Medio	0.73	0.72		
Bueno	1.00	0.93		
Excelente	1.37	1.14		

Tabla 4

Comparación de crecimiento de la especie Cedro según parámetros de crecimiento definidos por INAB.

Índice de sitio	Parámetros INAB		Crecimiento proyecto	
	IMA DAP (cm)	IMA Altura Total (m)	IMA DAP (cm)	IMA Altura Total (m)
Pésimo	0.51	0.35	2.53	2.33
Malo	0.65	0.49		
Medio	0.82	0.63		
Bueno	1.12	0.83		
Excelente	1.54	1.03		

Nota. Elaborado a partir de información consultada de INAB (2019, p. 60)

4.2 Discusión de Resultados

El siguiente apartado estará dividido en tres (3) partes, cada una de ellas estará enfocada en los resultados obtenidos, según los objetivos generales.

4.2.1 Evaluación y comparación del crecimiento en DAP (cm) y Altura total (m) entre las especies Caoba (Swietenia Macrophylla) y Cedro (Cedrela Odorata) en una plantación de 2.5 años

Los resultados indican que la especie Cedro presentó mejor crecimiento promedio tanto en DAP (cm) como en altura total con respecto a la especie Caoba, los diferenciales son 0.8 cm más en DAP y 0.7 metros más en altura total a favor del Cedro (ilustración 6). Luego de realizar una comparación de medias se encontró que no existen diferencias importantes en crecimiento de DAP y Altura Total para las especies Cedro y Caoba cultivadas de forma independiente en dos sistemas agroforestales asociadas con Cacao.

4.2.2 Funcionamiento del sistema agroforestal compuesto por árboles de Caoba (Swietenia Macrophylla King) y Cedro (Cedrela Odorata L.) en asocio con Cacao (Theobroma cacao) y Maíz (Zea mays)

Según la evaluación del terreno del sistema agroforestal (SAF), el proyecto se encuentra conformado por dos SAF, el primero bajo el asocio de árboles de Caoba con Cacao y Maíz y el segundo con árboles de Cedro en asocio con Cacao y Maíz. El diseño agroforestal implementado en los dos SAF es el mismo, el único cambio que se dio fue la implementación de Caoba y Cedro en ambos sistemas, la superficie de los SAF, son 1.3 has para Caoba + Cacao + Maíz y 1.2 has para Cedro + Cacao + Maíz.

De acuerdo con la caracterización de los SAF, el componente forestal (Caoba o Cedro) fue establecido a 4 metros entre calle y 8 metros entre planta lo cual corresponde a una densidad de 312 árboles por hectárea, para el caso de los componentes agrícolas, el cultivo perenne (Cacao) fue establecido al mismo distanciamiento que el componente forestal (4 m x 8 m, 312 plantas por hectárea), pero éste fue incorporado al centro de las plantas de Caoba o Cedro sobre la hileras o filas (ilustración 3); por último el componente agrícola anual Maíz, éste fue incorporado al centro de las calles conformadas por las hileras o filas de Caoba / Cedro y Cacao, para determinar la densidad de siembra fue estimado en terreno un distanciamiento promedio del cultivo de 1.4 metros entre fila y 0.5 metros entre planta, así mismo se consideró que el cultivo únicamente cubre un 66% de la superficie total, la densidad de Maíz haciende a 9,438 plantas por hectárea.

La funcionalidad del SAF según la evaluación visual de los componente Cacao y Maíz se considera adecuada, esperando poder medir productividad entre el tercer y cuarto año del establecimiento, para el caso del Cacao y para el caso de Maíz por tener como objetivo “subsistencia” se considera que el mayor valor aportado es el social; con respecto a los componentes forestales, según la evaluación de crecimiento y comparación con indicadores de crecimiento generados por INAB, se considera se encuentran creciendo bien, en esta ocasión clasificándolos en un sitio productivo “excelente” (tablas 2 y 3).

4.2.3 Generación de información sobre el crecimiento y asocio de árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla King*) y Cedro (*Cedrela Odorota L.*) con Cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*).

Las variables de crecimiento en DAP y Altura Total permiten conocer si el manejo silvicultura aplicado al cultivo ha sido el adecuado, esto partiendo de hacer comparación con indicadores de crecimiento de las especies.

Para realizar el análisis de crecimiento de las especies forestales fueron empleadas las variables IMA, DAP e IMA Altura Total, las cuales proporcionan el Incremento Medio Anual (IMA) esta no fue una variable, que las especies han ganado a la edad de evaluación, en este caso a los 2.5 años. Según la evaluación realizada La Caoba presentó IMA y DAP de 2.18 cm / año e IMA Altura Total de 2.07 metros / año en Altura Total, el Cedro presentó un IMA y DAP de 2.53 (cm) / año e IMA Altura Total de 2.33 metros / año.

Según la comparación de las variables IMA DAP e IMA Altura Total con los indicadores proporcionados por INAB en 2019, los proyectos de Caoba y Cedro son clasificados como sitios de productividad excelente, dicho resultado correlacionado con la densidad de plantación actual (289 árboles / hectárea de Caoba y 300 árboles / hectárea de Cedro, ver ilustración 7) se puede indicar que los árboles no presentan competencia de momento, por lo cual no requieren aplicar el tratamiento silvícola “raleo”.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Según la comparación de crecimiento realizada entre las especies Caoba y Cedro se logró determinar que no existen diferencias cuantitativas para las variables DAP (cm) y Altura Total a la edad de 2.5 año. El objetivo de la comparación fue con fines de recomendar una especie de las dos por temas de rápido crecimiento para ser utilizada en Sistemas Agroforestales.
- La funcionalidad del SAF según la evaluación visual de los componente Cacao y Maíz se considera adecuada, esperando poder medir productividad entre el año 3 y 4 para el caso del Cacao y para el caso de Maíz por tener como objetivo “subsistencia” se considera que el mayor valor aportado es el social; con respecto a los componentes forestales, según la evaluación de crecimiento y comparación con indicadores de crecimiento generados por INAB, se considera se encuentran creciendo bien, en esta ocasión clasificándolos en un sitio productivo “excelente”.
- La presente investigación generó información base del SAF la cual será de utilidad para la sociedad civil Custodios de la Selva “CUSTOSEL” en la toma de decisiones respecto al manejo agroforestal de las especies forestales, así mismo les permitirá analizar a mediano plazo el comportamiento de crecimiento y productividad del Cacao según el diseño del SAF implementando, y por último les permitirá ponderar la importancia para el tema social el incluir Maíz en el sistema, el cual si bien no representan ingresos económicos al proyecto, da valor social al mismo a través de generar alimento para el personal que apoya en las actividades de mantención de los componentes forestal (Caoba / Cedro) y agrícola perenne (Cacao).

5.2 Recomendaciones

- Generar información a la sociedad civil “CUSTOSEL”: sobre el crecimiento y asocio de Árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) con Cacao (*Theobroma cacao*) y maíz (*Zea mays*). utilizando la información generada producto de la presente investigación para implementar el manejo silvicultural a las especies forestales y dar continuidad al monitoreo de los componentes agrícolas perenne y anual.
- Al lector e investigadores en general, al utilizar la presente investigación como base para continuar generando información sobre el comportamiento del crecimiento de los componentes forestales en sistemas agroforestales, así mismo incluir en futuras investigaciones y evaluación de productividad de los componentes agrícolas.
- Evaluar el funcionamiento del sistema agroforestal compuesto por Árboles de Caoba (*Swietenia Macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela Odorota* L.) en asocio con Cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*).
- Considerando que no se encontraron diferencias cuantitativas del promedio anual entre el crecimiento de las especies Cedro y Caoba a los 2.5 años, se recomienda seguir monitoreando el mismo por lo menos 3 años más para validar lo encontrado en el presente estudio.

Capítulo VI

Referencias Bibliográficas

- Deras Flores, H. (2020). Guía técnica: el cultivo de maíz. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- INAB (Instituto Nacional de Bosques) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Guía técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala. Guatemala, SERIE TÉCNICA GT-009. Pág. 4. http://portal.inab.gob.gt/images/centro_descargas/industria_comercio_forestal/Gu%C3%ADa%20de%20Especies%20Forestales%20para%20Le%C3%B1a.PDF
- Instituto Nacional de Bosques. 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Caoba de Petén *Swietenia Macrophylla* King versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 85 p. (Serie técnica DT-026-2019).
- Instituto Nacional de Bosques. 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Caoba de Petén *Swietenia Macrophylla* King versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 85 p. (Serie técnica DT-026-2019).
- Instituto Nacional de Bosques. 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Cedro *Cedrela odorata* L. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 87p. (Serie técnica DT-029-2019).
- Ley Forestal, Decreto número 101-96. Constitución Política de la Republica de Guatemala. 31 de octubre de 1996. http://www.sice.oas.org/investment/natleg/gtm/forestal_s.pdf
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). (2001). *Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000* - Memoria Técnica. Pág. 39 – 41.
- Maroto, S., Montoya, P., González, D., Delgado, T., & Arvelo, M. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas.

- Morales, C. (2007). Evaluación de la política forestal en Guatemala, el programa de incentivos forestales (PINFOR) 1997 – 2004. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Pág. 4 – 6.
- Regalado, O., Villagrán, X., Pérez, G., Castellanos, E., Martínez, G., Incer, D., ... & Gómez, J. M. (2012). Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006–2010. National Forestry Institute (INAB), National Council for Protected Areas (CONAP), Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Guatemala City.
- Rendón, A. y Neyra, L. (2020) Maderable, Biodiversidad Mexicana <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/maderable>
- Stoian, D., Rodas, A., Butler, M., Monterroso, I., & Hodgson, B. (2018). Las concesiones forestales en Petén, Guatemala: Un análisis sistemático del desempeño socioeconómico de las empresas comunitarias en la Reserva de la Biósfera Maya. CIFOR.

Anexos


Anexo A

Etapas de producción de elote del componente agrícola Maíz dentro del sistema agroforestal.



Anexo B

Instrumento utilizado para recolectar las variables de crecimiento en DAP y Altura Total para las especies Caoba y Cedro.

Boleta para captura de información						
						
"Evaluación del crecimiento de dos especies forestales Caoba, (<i>Swietenia macrophylla</i> King) y Cedro (<i>Cedrela odorata</i> M. Roem), asociado a un sistema agroforestal de cultivo perenne Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y anual de Maíz (<i>Zea mays</i>) en finca la Maquina, Flores, Petén".						
Fecha de medición:			Responsable:			
Fila	Planta #	DAP (cm)	Altura Total (m)	Especie	Estatus ±	Observaciones

Anexo C

Estado del componente agrícola perenne Cacao al momento de la evaluación.



Anexo D

Medición de la variable altura total en Caoba.



Anexo E

Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para Caoba en Guatemala, según categorías de sitio.

Categoría de sitio	IMA DAP [cm]	IMA altura total [m]	IMA área basal [m ² /ha]	IMA volumen total (m ³ /ha)
Pésimo	0.39	0.30	0.09	0.27
Malo	0.53	0.51	0.17	0.66
Medio	0.73	0.72	0.31	1.63
Bueno	1.00	0.93	0.57	4.14
Excelente	1.37	1.14	1.06	10.50

Nota. Departamento de investigación Forestal, INAB (2019, p. 61).

Anexo F

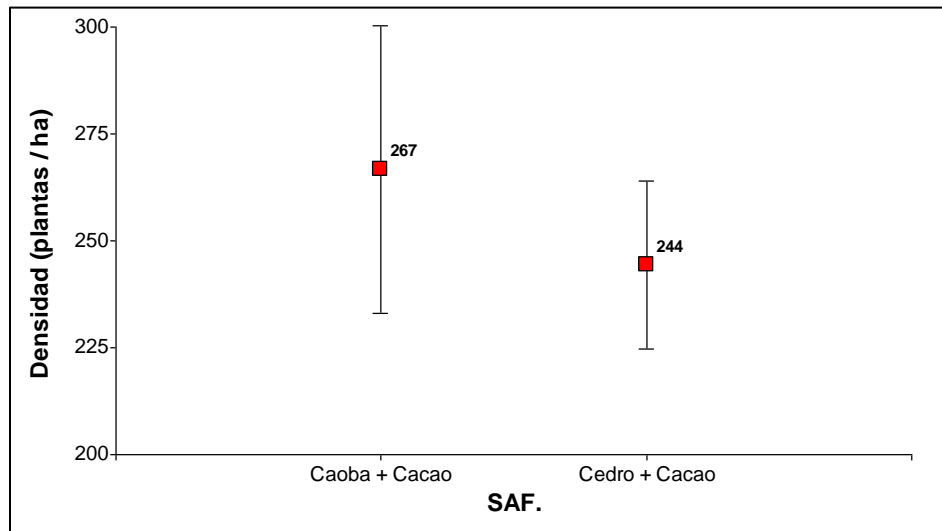
Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para Cedro en Guatemala, según categorías de sitio.

Categoría de sitio*	IMA DAP [cm]	IMA altura total [m]	IMA área basal [m ² /ha]	IMA volumen total (m ³ /ha)
Pésimo	0.51	0.35	0.10	0.29
Malo	0.65	0.49	0.16	0.59
Medio	0.82	0.63	0.26	1.20
Bueno	1.12	0.83	0.50	3.19
Excelente	1.54	1.03	0.94	8.50

Nota. Departamento de investigación Forestal, INAB (2019, p. 60); Índice de sitio a una edad de 10 años: estimaciones del IMA para el IS medio de cada categoría de 6, 7, 11, 14 y 18 m respectivamente.

Anexo G

Densidad (plantas por hectárea) de Cacao según Sistema Agroforestal (SAF).



Anexo H

Resultados de ANDEVA y comparación de medias mediante el estadístico Tukey empleando Infostat® para la variable DAP (cm) y los tratamientos especies forestal (Caoba versus Cedro).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP (cm)	6	0.64	0.55	6.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.08	1	1.08	7.00	0.0572
Especie	1.08	1	1.08	7.00	0.0572
Error	0.62	4	0.15		
Total	1.70	5			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.89207

Error: 0.1549 gl: 4

<u>Especie</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>		
Cedro	6.13	3	0.23	A
Caoba	5.28	3	0.23	A

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

Anexo I

Resultados de ANDEVA y comparación de medias mediante el estadístico Tukey empleando Infostat® para la variable Altura Total (m) y los tratamientos especies forestal (Caoba versus Cedro).

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Altura Total (cm)	6	0.52	0.40	6.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.60	1	0.60	4.33	0.1060
Especie	0.60	1	0.60	4.33	0.1060
Error	0.56	4	0.14		
Total	1.16	5			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.84544

Error: 0.1391 gl: 4

<u>Especie</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>		
Cedro	5.66	3	0.22	A
Caoba	5.02	3	0.22	A

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

Anexo J

Croquis de ubicación del proyecto de investigación.

