

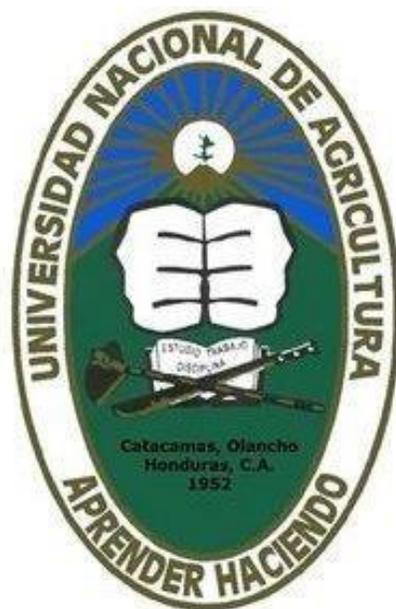
UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

MODELACIÓN DE SOMBRA PARA SISTEMAS AGROFORESTALES DE CA-
CAO (*Theobroma cacao* L.) EN OLANCHO

PRESENTADO POR:

JOSE CARLOS PEREIRA AGUILERA

TESIS



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

NOVIEMBRE 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

PRESENTADO POR:
JOSE CARLOS PEREIRA AGUILERA

JORGE ERNESTO GUEVARA OHARA M.Sc
Asesor Principal

TESIS

PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TITULO DE INGENIERO AGRO-
NOMO

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

NOVIEMBRE 2020

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso gracias por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

Mis Padres Alfredo Espinoza Martínez y Mileydi Catalina Aguilera por su amor incondicional, trabajo, sacrificio y todos sus consejos.

A Mi Hermano Alex Alfredo Espinoza.

A Mi Abuela Rosa Lilia Aguilera por brindarme su apoyo en todo momento.

A Mis Amigos y Compañeros que estuvieron junto a mi durante este proceso.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso infinitamente gracias, por haberme dado fuerza, sabiduría, entendimiento y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A Mis Padres gracias por la confianza y el apoyo incondicional durante este proceso de formación profesional.

A Mis Tíos Sandra Aguilera y Armando Aguilera por estar para mí durante todo este proceso.

A Mis Primos Nora Aguilera, Marisela Espinal, Gustavo Gudiel, Michell Gudiel, Milady Gudiel y Melisa Aguilera por siempre estar para mí a lo largo de este camino.

A la Universidad Nacional de Agricultura por permitir mi formación profesional y ser parte de esta noble casa de estudios, y a cada docente que hizo parte de este proceso de formación.

Al M.Sc. Jorge Guevara, M.Sc. Zamir Erazo y al M.Sc. Miguel Sosa por ser piezas fundamentales al asesorarme durante este proceso de investigación.

Al Ing. Julio Godoy, M.Sc. Edwin García, Ph.D. Eduardo Somarriba, Ph.D Rolando Cerda y a la Ph.D Arlene López-Sampson por brindarme la oportunidad y la ayuda para la realización de esta investigación junto al CATIE en marco del programa TonF.

A Mis Amigos, Compañeros gracias por su apoyo y brindarme su amistad durante estos años de formación siendo parte fundamental de ella: Byron Zapata, Lilibeth Borjas, Inocencia Quiroz, Alejandra Laínez, Othoniel Meza, Kevin Villeda, Víctor Valle, Paola Sánchez, Kennart Zuniga, Kelvin Pérez, Rolando Perdomo, Fernando Palma, Dennis Pastrana, Kevin Pérez.

Entre los socios de financiación que han apoyado esta investigación están: Programa de Investigación de CGIAR sobre Bosques, Árboles y Agroforestería (CRP-FTA), con el apoyo financiero del Fondo del CGIAR y el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS	3
2.1.	General.....	3
2.2.	Específicos.....	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1.	Sombra.....	4
3.1.1.	Radiación solar	4
3.1.2.	Efectos de la radiación ultravioleta	5
3.1.3.	Efectos de la radiación	6
3.1.4.	Estructura de dosel	7
3.1.5.	¿Cuánta sombra deben proyectar las plantas de dosel?	9
3.2.	Cultivo de Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	10
3.2.1.	Origen e historia del cultivo.....	10
3.2.2.	Taxonomía y morfología.....	11
3.2.3.	Condiciones edafoclimáticas.....	11
3.2.4.	Requerimientos de suelos	12
3.2.5.	Requerimientos nutricionales.....	12
3.2.6.	Siembra en semillero.....	13

3.2.7.	Variedades.....	13
3.2.8.	Tipos de sombra y especies utilizadas en los sistemas productivos de cacao.....	14
3.2.9.	Manejo de las podas en el cultivo de Cacao.....	14
3.3.	Sistemas agroforestales.....	15
3.3.1.	Componentes y tipos de sistemas agroforestales.....	15
3.3.2.	Objetivos de los sistemas agroforestales según Palomeque (2009)	16
3.3.3.	Características de los sistemas agroforestales	16
3.3.4.	Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales. ..	17
3.3.5.	Tipos de árboles usados en sistemas agroforestales.....	18
3.3.6.	Selección de árboles para sistemas agroforestales.....	19
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1.	Ubicación y descripción de la zona de estudio.....	20
4.2.	Materiales y equipo	20
4.3.	Diseño metodológico	21
4.4.	Caracteres evaluados.....	21
4.5.	Análisis de datos.....	23
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
5.1.	Simulaciones de sombra.....	25
5.2.	Diagnostico agroforestal.....	31
5.3.	Importancia del estudio de sombra	35
5.4.	Ventajas y uso de ShadeMotion 5.0.....	35
5.5.	Resultados gráficos y visuales de ShadeMotion	36
VI.	CONCLUSIONES	42

VII. RECOMENDACIONES	43
VIII. BIBLIOGRAFÍAS.....	44
IX. ANEXOS.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efectos de la radiación ultravioleta en relación del tipo de fotorreceptor.....	5
Cuadro 2. Clasificación taxonómica del cacao.....	11
Cuadro 3. Requerimiento nutricional para la producción de una tonelada de cacao.	13

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Numero de árboles presente en el área muestreada de cada finca	25
Tabla 2. Especies de árboles con mayor presencia en fincas estudiadas..	26
Tabla 3. Porcentaje de sombra presente en cada finca.	27
Tabla 4. Especies con mayor porcentaje de cobertura con relación al porcentaje de sombra presentes en cada finca.	29
Tabla 5. Horas sombra anual en fincas estudiadas	30
Tabla 6. IVI de las especies encontradas en las parcelas de cacao de Olancho.....	32
Tabla 7. Número de individuos por clase diamétrica. DAP min y máximo de cada clase diamétrica.	33
Tabla 8. Número de individuos por clases de altura. Altura min y máximo de cada clase de altura.	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estratos de dosel en cultivo de cacao.....	9
Figura 2. Gráfico a escala de parcelas de muestreos en SAF con cacao...	21
Figura 3. Comparación de la distribución del porcentaje de sombra dentro de cada finca.	28
Figura 4. Comparación de promedios anuales de horas sombra en fincas.	31
Figura 5. Distribución de número de individuos por clase diamétrica	34
Figura 6. Distribución del número de individuos por clases de altura	35
Figura 7. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-13	36
Figura 8. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-13.....	36
Figura 9. Mapa de distribución de sombra en AC-13	37
Figura 10. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-18	37
Figura 11. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-18.....	38
Figura 12. Mapa de distribución de sombra en AC-18	38
Figura 13. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-32	39
Figura 14. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-32.....	39
Figura 15. Mapa de distribución de sombra en AC-32	40
Figura 16. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-39	40

Figura 17. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-39.....	41
Figura 18. Mapa de distribución de sombra en AC-39	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Reconocimiento parcela de cacao.....	49
Anexo 2. Medición de altura de la parcela.	49
Anexo 3. Definición del centro de la parcela.	50
Anexo 4. Trazado de cuadro interior.....	50
Anexo 5. Medición de altura de árbol.	51
Anexo 6. Nikon Foretry pro con resultados de la medición de altura de árbol.	51
Anexo 7. Medición con estadia de altura de tallo.	52
Anexo 8. Medición de ancho de copa.....	52
Anexo 9. Medición de inclinación de pendiente.....	53
Anexo 10. Nikon Forestry pro con resultados de inclinación de pendiente.	53
Anexo 11. Medición de circunferencia a altura de pecho.	54
Anexo 12. Formatos de recolección de datos en campo.....	54
Anexo 13. Formato de digitalización de datos en Excell.	55
Anexo 14. Pantalla de trabajo de ShadeMotion 5.0.....	56

RESUMEN

Esta investigación se hizo con el objetivo de realizar simulaciones de sombras de sistemas agroforestales del cultivo de cacao mediante el programa ShadeMotion 5.0, usando como punto de inicio fincas de diversas asociaciones y localizadas en distintos municipios del departamento de Olancho, los análisis de datos para este trabajo se eligió que fuesen descriptivos por la dificultad de realizar estudios estadísticos del mismo. Las variables evaluadas fueron: Horas sombra, % de sombra y distribución de la sombra en la parcela, mediante los análisis se lograron encontrar los árboles con mayor incidencia de cobertura dentro de las fincas, además que realizando sumatorias de los resultados de las simulaciones se pudo establecer que existen diferencias abismales en el manejo de la sombra dentro de cada finca, llegando haber promedios de 74 hasta 2,252 horas luz anuales, y con % de sombra que van de 2 hasta un 100 % de cobertura, la distribución de la sombra con relación a la pendiente es otro factor para que estas diferencias significativas de cada parcela sean aún más notorias, esto es observable en los mapas de sombras brindados por el mismo programa y en los cuales se puede mirar la disposición y la intensidad de la sombra acumulada a lo largo de todo un año. Con esto se pudo identificar también las especies arbóreas de mayor relevancia dentro de los sistemas agroforestales y su contribución al ecosistema. Como resultado de todo se puede concluir que el mal manejo de las fincas ha provocado la falta de homogeneidad de la sombra y con ello un bajo aprovechamiento del sistema agroforestal.

Palabras clave: Sistema agroforestal, Cacao, Sombra, ShadeMotion.

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de la sombra en cultivos umbrofilos tropicales como cacao es un área poco trabajada por parte de investigadores, debido a la gran complejidad de factores que se asocian para poder realizar estudios de este tipo. Además, las reacciones metabólicas de la radiación solar en los procesos de las plantas umbrofilas son en modo una respuesta a la sombra proveída por el sistema utilizado con este fin. El cultivo de cacao ha tenido un bajo crecimiento a nivel tecnológico e industrial. Por otro lado, se presentan incompatibilidades genéticas que afectan los sistemas productivos.

En el departamento de Olancho se ha producido un rápido crecimiento, con relación al número de productores en los últimos años, una gran parte de estos se encuentran distribuidos en diferentes zonas del municipio de Catacamas, Dulce Nombre de Culmi y Patuca. Por otra parte, con la creciente aparición de amenazas al planeta por la contaminación y con el fin de garantizar una buena producción en los cacaotales presentes en las diferentes zonas, se debe trabajar de cerca con el manejo de la sombra, las especies arbóreas utilizadas y la estructura de dosel utilizada.

El mal manejo de la sombra en los sistemas agroforestales conlleva a la disminución del rendimiento de los cultivos, debido a la competencia por luz que se presenta entre el cultivo y las especies dentro del mismo sistema.

Muchos estudios que se han realizado en zonas tropicales han demostrado la importancia de los sistemas agroforestales, ya sea en ámbito social, económico, conservacionista y asimismo en la productividad del cultivo en el que se utilice (Ramírez, *et al.* 2009). Actualmente en el país se están adoptando distintas técnicas para la conservación de recursos y darle valor agregado a las fincas productoras de cacao en todo el territorio, debido a la creciente deforestación a causa de los incendios forestales.

La modelación de sombras de sistemas agroforestales es una herramienta que se ha convertido en algo de gran utilidad para la expansión y sistematización de los conocimientos ya existentes acerca de influencia de la sombra en la producción de cultivos umbrofilos debido a la gran relación entre estos factores. Además que sirve para fundamentar la toma de decisiones en la elección de especies arbóreas y arreglos espaciales que deberán usarse dentro de un sistema de plantación como lo es el cultivo de cacao (Jiménez, *et al.* 2016).

En el país no se ha desarrollado investigaciones que permita demostrar las condiciones óptimas de sombra que requiere el cultivo de cacao, más aun teniendo en cuenta la poca ayuda brindada a los productores en este tipo de situaciones. Es de suma importancia la realización de análisis que permitan obtener resultados claros con los cuales se puede incrementar la producción y vida de las parcelas, además de otros beneficios como la conservación de especies y biodiversidad dentro de un sistema agroforestal.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Modelar sombra en las fincas de diferentes asociaciones (APROSACAO, APROBIL, APROCAPAPAN, ECAPAN) en el departamento de Olancho mediante la utilización del programa Shade Motion .

2.2. Específicos

Identificar las especies arbóreas de mayor importancia para sombra utilizadas en cada finca.

Determinar el porcentaje de sombra en cada finca en base a los arreglos espaciales naturales.

Recomendar a los productores las condiciones óptimas de sombra dentro de la finca para un mejor aprovechamiento del sistema agroforestal.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Sombra

3.1.1. Radiación solar

La radiación solar es uno de los principales factores ambientales que afectan la vida en nuestro planeta. Esta controla el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos tanto a través del control de procesos fotobiológicos (fotosíntesis, fotoperíodo, fototropismos, etc.) así mismo otros factores ambientales como ser (temperatura, humedad, etc.) y ciclos naturales que finalmente inciden en la distribución de los organismos (Carrasco, 2009).

La radiación solar puede llegar a tener muchos efectos en la morfología y anatomía de las plantas. A la superficie llegan tres tipos de rayos ultravioletas: UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm). siendo de estas la UV-A de la que más llega a tierra siendo de esta el 95%, mientras que las otras 2 son muy pocos los rayos que logran atravesar la capa de ozono. Las plantas requieren de la luz que se encuentra en el espectro lumínico en longitudes de onda que van de los 400 a los 700 nm en estos encontramos colores como ser violeta, verde, amarillo, azul naranja y rojo que son los necesarios por los vegetales para sus procesos fotosintéticos (Carrasco, 2009).

3.1.2. Efectos de la radiación ultravioleta

la radiación ultravioleta puede llegar a producir diferentes efectos sobre las plantas, algunos de estos pueden ser beneficiosos sin embargo también existe la posibilidad de que algunos de estos pueden llegar a ser dañinos pudiendo causar daños de manera irreversible en la morfología o fisiología de la misma, en el Cuadro 1 se muestran esos efectos y sus interacciones.

Cuadro 1. Efectos de la radiación ultravioleta en relación del tipo de fotorreceptor.

	λ (nm)	Acciones y efectos	Tipo de fotorreceptor y otras moléculas que absorben la energía lumínica
UV-C	< 280	Mutaciones, Daño y muerte celular	DNA- RNA
UV-B/UV-A	315-400	Acción fotomorfológica; síntesis de pigmentos; daño y muerte celular	Criptocromos (ζ ?), Fotorreceptores UV
Violeta-Azul	400-510	Acción fotosintética, fotomorfogénesis, ritmo circadiano, tiempo de floración, fototropismo, movimiento de cloroplastos, apertura de estomas, estimulación de la síntesis de clorofila y carotenos	Fotosistemas (clorofilas a y b), Criptocromos, Fototropinas
Verde-Amarillo	510-610	Acción reducida sobre la fotosíntesis	Carotenos

Anaran- jado- Rojo/Rojo	610- 1,000	Acción fotosintética, germi- nación de semillas, tiempo de floración, fotomorfogénesis, elongación celular	Fotosistemas, (cloro- filas a y b), Fitocromos
Infrarrojo	>1,000	Efectos mínimos, poco estu- diados	¿?

Fuente: (Meisel, *et al.* 2011)

3.1.3. Efectos de la radiación

Estrés por exceso de radiación

Por una alta radiación solar las plantas sufren estrés cuando las clorofilas de las antenas de los fotosistemas, que se encuentran en las membranas tilacoides de los cloroplastos, absorben más energía lumínica de la que puede utilizarse en el proceso de la fotosíntesis (Fischer 2012).

El estrés producido por luz conduce inicialmente a la fotoinhibición de la fotosíntesis que previene las lesiones oxidativas al aparato fotosintético por la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS; reactive oxygen species) en el fotosistema I (PSI) y II (PSII). Además, la alta radiación, las temperaturas elevadas y el estrés hídrico, aumentan la fotorrespiración de la planta lo que afecta su productividad debido al consumo considerable de los carbohidratos, fijados en la fotosíntesis (Fischer 2012).

Estrés por radiación baja

La baja intensidad lumínica reduce la fotosíntesis neta, implicando mayor competencia por los fotoasimilados lo que afecta el desarrollo y la producción de la planta. Una radiación solar baja provoca alargamiento de los entrenudos, tallos más delgados, hojas anchas y finas y escaso desarrollo del sistema radical. En casos de extremada reducción de la intensidad lumínica u oscuridad, las plantas reaccionan con una etiolación (deficiencia de cloroplastos) y un crecimiento muy alargado, además con una disminución de ciertas enzimas y una alteración en la estructura de los cloroplastos. Además puede ocasionar frutos más pequeños, por causa de una fotosíntesis deficiente en las hojas cercanas a éstos; y en general, una coloración deficiente y la reducción del brillo de la piel (Fischer 2012).

Importancia de la radiación solar en el crecimiento de la planta y calidad de los frutos

La radiación fotosintética es el efecto más grande sobre el crecimiento de la planta que ejerce la luz, actuando como fuente de energía para la síntesis de carbohidratos a partir de CO₂ y agua. La captación de los cuantos de energía (fotones) funciona a través de las partes verdes que contienen clorofila en la planta, principalmente la hoja, que son una trampa altamente eficiente para los fotones, gracias a sus recolectores o antenas de luz. El crecimiento de la planta y la formación de frutos tienen una estrecha relación con el aprovechamiento lumínico (Fischer 2012).

3.1.4. Estructura de dosel

El dosel de un cultivo es una estructura compleja de un determinado arreglo espacial de las copas que forman las plantas/árboles de sombra. Éste actúa como un captador de radiación y como un intercambiador de vapor de agua

y CO₂. La estructura de un dosel ejerce influencia en la temperatura, concentración de vapor y régimen de radiación en el medio ambiente de la planta; afecta los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento de células, crecimiento y competencia entre especies. La inclinación, distribución y orientación de la hoja pueden ser importantes para determinar la intercepción de radiación (Trejo *et al.* 2006).

Existen cultivos perennes tropicales que deben de cultivarse bajo un dosel de sombra, en estos el dosel esta conformados por hojas y ramas que van en alturas desde los 1.5 m hasta los 25 m dependiendo de las especies arbóreas utilizadas para este fin. La sombra determina la cantidad de la tasa fotosintética de los cultivos en estratos inferiores, su crecimiento, la demanda de nutrientes y agua, la incidencia de plagas y enfermedades y sobre todo la producción comercial (Somarriba, 2002).

La regulación del dosel o de la sombra le permite al productor ajustarse a las condiciones de control de maleza, fertilidad del suelo y regular el microclima para así controlar la incidencia de plagas y enfermedades. Es por ello por lo que en cacaotales con baja fertilidad se mantiene mayor sombra para así atenuar la demanda de nutrientes por la planta, al igual que en cacaotales se mantienen más sombra debido a la autosombra que estos mismos se proveen. En cambio las plantaciones adultas se deben de mantener con altos porcentajes de sombra ya que con la exposición solar directa sus hojas jóvenes se marchitan con gran facilidad (Somarriba, 2002).



Fuente: (Somarriba, 2005)

Figura 1. Estratos de dosel en cultivo de cacao.

3.1.5. ¿Cuánta sombra deben proyectar las plantas de dosel?

Para Somarriba, (2005) poder determinar el porcentaje de sombra que debe proyectar un dosel dentro de un cacaotal y así lograr una buena producción existen cuatro factores que intervienen:

- El ciclo de vida y el ciclo fenológico anual del cacao: Al momento de sembrar una plantación las plantas jóvenes requerirán un mayor porcentaje de sombra, ya que no son capaces de producir la propia y con esto reciben más radiación que la que ocupan para fotosíntesis, pierden más agua y más nutrientes. A medida van creciendo la sombra se debe ir reduciendo paulatinamente.
- Las condiciones del sitio: No toda la sombra que reciben las plantas de cacao proviene de las plantas del dosel. Las características del sitio modifican la cantidad de radiación que recibe una plantación y tienen implicaciones directas sobre la densidad de plantas por mantener en

el dosel, como ser: latitud, exposición y pendiente; nubosidad local; y sombra lateral.

- El manejo agronómico del cacao: Hay muchos factores del manejo de la plantación que se deben tomar en cuenta para el establecimiento de las plantas de dosel, dentro de estos destacan: Autosombra; rendimiento esperado, plagas y enfermedades; entre otros.
- Las características del dosel: Todas las plantas del dosel, útiles o no, interceptan parte de la radiación solar y proyectan sombra dentro de la plantación. En el dosel, la copa de cada planta se ubica a cierta altura sobre el suelo y posee características particulares de forma, tamaño, densidad y patrón fenológico que determinan las características de la sombra que proyecta sobre los estratos inferiores del dosel.

3.2. Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao*)

3.2.1. Origen e historia del cultivo

El cacao es una planta originaria de América, antiguamente los Aztecas en México la consideraban el árbol de los Dioses, al igual que en otras culturas como la Maya en donde solo la elite podía consumir de esta. Su semilla era de gran valor por lo que era utilizada como moneda, su nombre científico se deriva de la unión de dos palabras Theo-Broma que significan Bebida de Dioses (Isla, et al. 2009).

Este cultivo fue llevado por los españoles durante la conquista a Europa en donde se popularizó y se terminó convirtiendo en uno de los productos más conocidos como lo es el chocolate, en la actualidad es mayormente producido en el continente africano; siendo Costa de Marfil y Ghana los países que lideran la producción mundial convencional y a nivel latinoamericano

se encuentra Perú como el mayor productor orgánico de Cacao en el mundo (Isla, et al. 2009).

3.2.2. Taxonomía y morfología

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del cacao.

División	Espermatofita
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Malvales
Suborden	Malvinas
Familia	Esterculáceas
Tribu	Bitneria
Género	Theobroma
Especie	Cacao

Fuente: (Batista 2009).

Theobroma cacao es un arbusto o árbol semicaducifolio que llega a registrar una altura de 12-20 m, pero en los sistemas productivos se mantienen entre 4-8 metros para facilitar labores. En los ejes jóvenes el tallo es parcialmente pubescente teniendo una coloración que va de gris hasta café. Las hojas son coriáceas simples, enteras y angostamente ovaladas; presentan también inflorescencias caulinares o cimosas, con flores pentámeras, hermafroditas y actinomorfas; el fruto de este es una baya grande (Conocida como mazorca) polimorfa de esférica a fusiforme que va de un color amarilla a púrpura en su madurez (Doster, et al. 2011).

3.2.3. Condiciones edafoclimáticas

El desarrollo de la planta de cacao está de alguna manera cercanamente relacionado con las condiciones climáticas y medioambientales en las que

se encuentre. Los factores climáticos tienen una gran influencia en la producción, la precipitación óptima para el cultivo dependerá de la zona en la que se siembre, en lugares de clima cálido puede ir de 1,600 - 2,500 mm y en zonas frescas y valles de 1,200 - 1.600 mm, la temperatura es de suma importancia debido a sus orígenes tropicales por ese motivo esta debe rondar entre los 23-25 °C, los vientos continuos pueden provocar diversas anomalías en la fisiología (Torres 2012).

La altitud adecuada para el desarrollo de este cultivo va desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, la intensidad lumínica es un factor determinante por esa razón se hace la utilización de pantas de sombra que logren un 70 % de cobertura en el establecimiento el cual se irá reduciendo hasta un 30 % en el quinto año de plantación (Torres 2012).

3.2.4. Requerimientos de suelos

Los suelos más recomendados para el cultivo de cacao deben ser de preferencia sueltos y profundos debido a que el cultivo necesita desarrollar un sistema radicular de hasta 1.50 m. los suelos aluviales, francos y con subsuelo permeable, este debe ser bien drenado ya que la presencia de una alta humedad ocasiona proliferación de diferentes enfermedades, el pH de los mismos debe estar entre 6.0 - 7.0, pero se llegan a adaptar a terrenos muy ácidos o muy alcalinos, la materia orgánica presente en el suelo puede rondar los 3.5 (Torres 2012).

3.2.5. Requerimientos nutricionales

Como cualquier otro cultivo el cacao requiere de 17 elementos nutricionales para su desarrollo entre macro y micronutrientes, dentro de lo que se encuentran: carbono (C), hidrogeno (H), Oxigeno (O), estos 3 los obtiene la planta del agua y aire. Mientras que los 14 restantes los absorbe del suelo: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), zinc (Zn) (Winowiecki 2007).

Cuadro 3. Requerimiento nutricional para la producción de una tonelada de cacao.

	N (Kg/ T)	P (Kg/T)	K (Kg/T)	Ca (Kg/T)	Mg (Kg/T)
Estimacio- nes	36	5	39	4	5

Fuente: (Winowiecki 2007).

3.2.6. Siembra en semillero

Para la formación de patrones, la semilla a utilizar debe ser de frutos recién cosechados las cuales se colocarán en bolsas de 7 x 10 con un sustrato hecho de la mezcla de tierra negra y materia orgánica (Compost, vacaza, gallinaza, casulla de arroz, cascara de cacao descompuesta, entre otros.) en una proporción de 3:1, colocando la semilla en una posición acostado en la cual el punto de germinación se encuentre hacia abajo evitando profundizarla mucho y cubriéndola con una capa de aserrín de madera de unos 2-3 cm de espesor (Dubón et al. 2018).

3.2.7. Variedades

Para la elección de variedades de cacao se recomienda la utilización de clones mediante la injertación. El principal motivo es conservar las bondades presentes en los patrones utilizados, para esto, es recomendable la siembra de material clonal auto compatible o la mezcla de 3-4 inter compatible entre sí. De esta manera se garantiza que el intercambio de polen sea viable y así lograr un mayor índice de frutos cuajados (Dubón et al. 2018).

3.2.8. Tipos de sombra y especies utilizadas en los sistemas productivos de cacao

- Sombra provisional: El Plátano (*Musa paradisiaca*) es la especie más utilizada para este tipo de sombra principalmente en los 3 primeros años del cultivo.
- Sombra intermedia: En este tipo de sombra el Madreado (*Gliricida sepium*) conocido también como ``Mata ratón`` o ``Madre de cacao`` es el más utilizado. Esta especie de leguminosa da al productor la generación de ingresos ya sea por la venta de prendones; postes; leña y carbón.
- Sombra permanente: En esta se utilizan diferentes especies maderables dentro de los que destacan La Caoba (*Swietenia macrophylla*); San Juan Areno; entre otros. Gran parte de los árboles usados para sombra tiene como característica principal un crecimiento rápido además de una alta demanda de su madera en el mercado local (Dubón et al. 2018).

3.2.9. Manejo de las podas en el cultivo de Cacao

Las podas en el cultivo de cacao consisten en la eliminación de partes improductivas de la planta para así estimular el crecimiento de nuevas yemas,

además de esta forma se consigue una mayor entrada de luz al cacaotal y con ello la disminución de plagas y enfermedades; como principal objetivo es prolongar la vida útil y aumentar los rendimientos; estas también se deben realizar de acuerdo con la edad y las condiciones del árbol. Existen tres tipos de poda: Poda de formación, de mantenimiento y de rejuvenecimiento (Juárez, et al. 2016).

- Poda de formación: esta poda consiste en darle estructura a la planta dejando de 3-4 ramas principales y así pueda adoptar la mejor forma.
- Poda de mantenimiento: consiste en la eliminación de frutos y partes infectadas de la planta por enfermedades y plagas de esta manera evitar la proliferación de las mismas.
- Poda de rejuvenecimiento: esta tiene como objetivo generar nuevos árboles mediante la obtención de yemas terminales y por ende un nuevo árbol (Juárez et al. 2016).

3.3. Sistemas agroforestales

Un sistema agroforestal es aquel en el que se establece simultáneamente el cultivo de especies de árboles (frutales, maderables, forraje) en la misma unidad de tierra que una plantación de importancia o la cría y reproducción de animales, esto puede ser de forma temporal o permanente, dentro de dicho sistema deben existir diferentes interacciones entre los componentes (plantas, animales), las más importantes a tomar en cuenta son las ecológicas y económicas (Palomeque 2009).

3.3.1. Componentes y tipos de sistemas agroforestales.

Para que el productor obtenga mejores resultados los sistemas agroforestales deben estar conformados por distintos componentes, estos se complementan para lograr cumplir los objetivos esperados. Dentro de estos se encuentran los siguientes: Cultivos agrícolas, animales, pastos y árboles forestales (Rodríguez & Ulate 2013).

Sistema agrosilvopastoril: consiste en la combinación de árboles de importancia, cultivos agrícolas y pastos para la producción de una finca. Este se puede implementar de forma secuencial o simultánea; además es posible combinarlo con el uso de otras técnicas de conservación como son las cortinas rompevientos, cercas vivas o árboles en hileras (Rodríguez & Ulate 2013).

3.3.2. Objetivos de los sistemas agroforestales según Palomeque (2009)

- Diversificar la producción.
- Mejorar la agricultura migratoria.
- Aumentar los niveles de materia orgánica del suelo.
- Fijar el nitrógeno atmosférico.
- Reciclar los nutrientes.
- Modificar el microclima.
- Sostenible.

3.3.3. Características de los sistemas agroforestales

Según Valencia, (2014) la productividad y sostenibilidad de un sistema agroforestal son características brindadas por los árboles presentes en el mismo, entre otras tenemos:

- Incremento de la producción: los sistemas agroforestales en algunas zonas tienden a mejorar la producción y también en gran manera la productividad de los suelos, gracias a los productos obtenidos del cultivo o de los mismos árboles.
- Aceptación: la agroforestería a pesar de que es un sistema relativamente nuevo en comparación a la gran mayoría de prácticas utilizadas comúnmente ha sido muy bien aceptada por la comunidad agrícola en general, aunque para la implementación se requiere de la adaptación de nuevas técnicas.
- Continuidad: la agroforestería como tal puede alcanzar y mantener los objetivos de la conservación y fertilidad de los suelos.
- Resiliencia: es la capacidad de recuperación de un ecosistema para volver a su estado original después de ser perturbado, manteniendo sus características esenciales.

3.3.4. Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales.

Valencia, (2014) menciona, que la agroforestería es una parte fundamental de la conservación y mejoramiento de los suelos en los sitios en donde se implementan; el objetivo principal de esta estrategia es reforzar la sostenibilidad de las parcelas de agricultores y de todo aquel que hace implementación de los mismos. Dentro de las interacciones tenemos positivas y negativas de las cuales encontramos:

Interacciones positivas:

- Aspectos climáticos: mejoramiento de las condiciones micro climáticas dentro de las parcelas como la reducción de la temperatura del suelo y del aire.

- Aspectos edáficos: mejoramiento de la fertilidad de los suelos gracias a la acción del reciclaje de nutrientes y adición de residuos al suelo.
- Aspectos bióticos: se logra la reducción de la presencia de hongos patógenos o de plagas importantes que afectan los cultivos presentes.
- Aspectos económicos: se aumenta la ganancia económica adicionales debido a la explotación de las especies arbóreas utilizadas.

Interacciones negativas

- Una de las principales interacciones negativas es el uso indebido de especies arbóreas que compiten con el cultivo establecido, el porcentaje de sombra excesivo y la dificultad de las maniobras de cosecha.
- El uso de especies con sistemas radiculares demasiado superficiales en zonas de sequías prolongadas y con suelos pobres en estructura y nutrientes, esto viene a crear competencia entre los árboles y el cultivo.
- El potencial de producción de los cultivos se puede llegar a ser limitado o hasta altamente perjudicado por respuesta de la arborización y la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados.

3.3.5. Tipos de árboles usados en sistemas agroforestales.

- Árboles maderables: Son árboles de gran tamaño que generalmente se regeneran de forma natural, estos requieren de espacios amplios, en la mayoría de los casos son utilizados en linderos, el producto de estos es a largo plazo.

- Árboles de servicio: Estos no proporcionan ningún tipo de producto comercial. Mayormente son utilizados con otros fines y casi siempre son sembrados con cultivos anuales y perennes, estas especies dan otros beneficios como ser: sombra, evitar la erosión, fijar nitrógeno al suelo y control de malezas a través del mulch.
- Árboles frutales: El principal producto de estos son los frutos potencialmente comerciales o para consumo familiar, estas especies son manejadas con espaciamientos bajos.
- Árboles forrajeros: Estos árboles proveen altas cantidades de alimento de muy buena calidad para el consumo animal, proporcionan una alta cantidad de proteínas en la dieta, estos suministran de alimento en la época seca y son utilizados en densidad que van desde bajas a muy altas.
- Árboles para leña y carbón: todos los árboles dan leña aunque hay preferencias totalmente claras para cada una de las especies y éstas se basan en las características de la madera que proveen.(Beer et al. 2003)

3.3.6. Selección de árboles para sistemas agroforestales

La selección de árboles a utilizar en un sistema agroforestal se basará en las condiciones y necesidades del productor, la zona donde establecerá, el propósito del sistema, y también el factor monetario, además de tener el conocimiento debido de las técnicas a implementar.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en 38 fincas de 4 diferentes asociaciones de productores de cacao (APROSACAO, APROBIL, APROCAPAPAN y ECAPAN) en el departamento de Olancho, ubicadas en 3 municipios (Catacamas, Dulce Nombre de Culmi y Patuca) en la región nororiental de Honduras. Fueron 6 las Subzonas analizadas (Rio Tinto, Cuyamel, Rio Blanco, Poncaya, Dulce Nombre de Culmi y Patuca). Las fincas se encuentran a una altitud 400-800 msnm; estas zonas registran una precipitación promedio anual de entre 1,200- 1,400 mm; la temperatura media de la zona es de 24.7 °C; la topografía en su mayoría es pendiente por lo cual la gran cantidad de las parcelas estudiadas se encontrarán con este tipo de terreno.

4.2. Materiales y equipo

Los materiales y equipos que se utilizaron fueron: cintas graduadas para trazar el cuadrante dentro de la finca; cinta métrica para medir el ancho del tallo, ancho de la copa con la medición de su radio y el DAP (diámetro de altura de pecho); estadia e hipsómetro digital (NIKON Forestry pro) para la altura del tallo y de la copa; HabitApp para estimar opacidad; GPS para la localización y datos de identificación de cada una de las fincas y el programa ShadeMotion para correr las simulaciones.

4.3. Diseño metodológico

En el 2017 se realizaron muestreos de árboles en fincas de APROSACAO, de esa base de datos se seleccionaron un número en específico de fincas y se planteó la posibilidad de muestrear fincas de otras asociaciones como una medida de mayor representatividad del estudio. En cada una se trazó una parcela circular de 39.6 m de radio ($4,926.51\text{m}^2$) y dentro de la misma se marcó otra de forma cuadrada con dimensiones de 40 x 40 m ($1,600\text{ m}^2$). En cada una de estas se contabilizaron la cantidad de árboles presentes, las densidades en que están sembrados y las especies, tomando a prioridad los que son de interés para el productor y el sistema agroforestal.

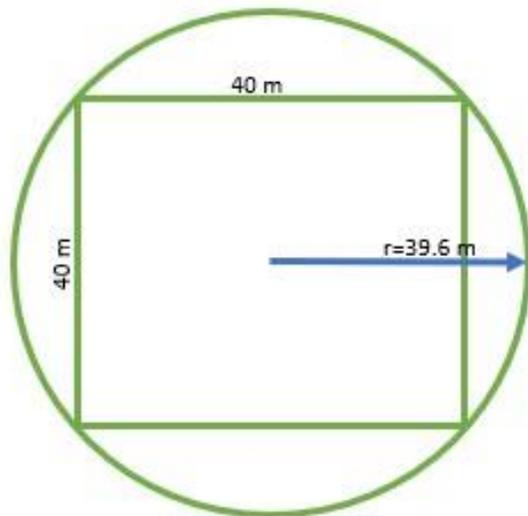


Figura 2. Gráfico a escala de parcelas de muestreos en SAF con cacao.

4.4. Caracteres evaluados

- La altura de tallo: Se midió con el uso de una estadia, usando de referencia la base del árbol hasta la primera bifurcación del tallo.

- Diámetro de la copa: Este caracter se midió con una cinta métrica por debajo del árbol, tomando dos mediciones en forma de cruz desde diferentes extremos de las ramas y promediando para obtener el diámetro final.
- Altura de copa: La altura de la copa se midió con la utilización del NIKON Forestry pro, en este caso midiendo desde la primera bifurcación del tallo hasta la rama más lejana en lo alto.
- Forma de la copa: Para determinar la forma de las copas se hizo mediante la visualización de las mismas y tomando en cuenta modelos ya antes predeterminados.
- Opacidad: La opacidad de la copa se midió con el uso de la aplicación HabitApp, la cual determinaba el porcentaje de cobertura de la misma al trasponer una imagen de la copa con la iluminación que esta dejaba pasar.
- DAP (diámetro de altura de pecho): Este se midió con el uso de una cinta métrica a una altura promedio de 1.50 metros en el tallo principal, en dado caso que un árbol tuviera bifurcaciones de ramas a una altura menor se median todas y los resultados se sumaban para promediar el diámetro del tallo del árbol.
- Pendiente del terreno: Con la ayuda del NIKON Forestry pro se calculaba esta medición, una persona se colocaba en la parte mas baja del terreno y a una distancia entre 10-15 metros arriba de la pendiente otra persona se colocaba con la estadia y a la altura de 1.50 metros de la misma se apuntaba el dispositivo para obtener la pendiente en grados.
- Especie y uso de esta: Siempre anduvo acompañándonos en cada finca una persona de la zona que conocía las especies, sus nombres comunes y los usos de la misma y era la encargada del reconocimiento de las mismas.

- Horas sombra: Se estimó mediante área del halo proyectado en la parcela virtual de ShadeMotion en un rango específico de horas de exposición solar.
- % de sombra: Mediante la proyección virtual de la sombra en ShadeMotion se estimó el % en cada parcela estudiada.
- Distribución de sombra en la parcela: El grado de pendiente en las fincas dio como resultado alteraciones en las proyecciones de sombra dentro de las parcelas con respecto a la posición del sol.

4.5. Análisis de datos

Simulaciones de sombra

Mediante un análisis descriptivo se logró ordenar y encontrar las especies con mayor incidencia de cobertura dentro de cada finca esto por medio de la sumatoria de los resultados de cada uno de los intervalos se pudo obtener este dato, además de realizar sumatorias de porcentajes totales de sombra de las fincas estudiadas. Estos datos fueron obtenidos gracias a los reportes de las simulaciones provistos por ShadeMotion 5.0 al igual también que los reportes de horas sombra a lo largo de todo el trayecto del año de estudio.

Diagnostico agroforestal

El índice de valor de importancia (IVI) define como de las especies presentes en la comunidad contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema (Cottam y Curtis, 1956). Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad y la dominancia relativas.

$$IVI = (DR + FR + DmR)/3$$

DR: Densidad relativa: O abundancia relativa, es el número de individuos de una especie dividida entre el número total de individuos de la comunidad multiplicado por cien.

FR: Frecuencia relativa: Es la frecuencia (número de parcelas/subparcelas en las cuales ocurre la especie) dividida por la suma de las frecuencias de todas las especies, multiplicado por cien.

DmR: Dominancia relativa: La dominancia se mide en función al área basal (es el área en m^2 que ocupa un corte transversal del tronco) de cada una de las especies, se calcula dividiendo el área basal de la especie por la sumatoria de las áreas basales de todas las especies presentes en la parcela, multiplicándola por cien.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Simulaciones de sombra

Dentro de las 38 fincas estudiadas se encontró un total de 1,015 árboles perennes los cuales comprendían 99 especies de 35 familias diferentes las cuales se distribuían de la siguiente manera:

Tabla 1. Número de árboles presente en el área muestreada de cada finca

FINCA	N. DE ARBOLES	FINCA	N. DE ARBOLES
AC-02	21	AC-21	33
AC-03	46	AC-22	20
AC-04	30	AC-23	89
AC-05	12	AC-24	18
AC-06	10	AC-25	27
AC-07	15	AC-26	50
AC-08	12	AC-27	19
AC-09	14	AC-28	27
AC-10	35	AC-29	18
AC-11	28	AC-30	17
AC-12	18	AC-31	22
AC-13	21	AC-32	40
AC-14	24	AC-33	33
AC-15	23	AC-34	34
AC-16	19	AC-35	27

AC-17	53	AC-36	14
AC-18	36	AC-37	37
AC-19	7	AC-38	26
AC-20	27	AC-39	13

De las especies que más destacan son: Guama guanijiquil (*Inga edulis*), Laurel negro (*Cordia allidora*), Caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*) y Plátano (*Musa Paradisiaca*), estas llegan a representar el 45.71% del total de especies encontradas en las parcelas, el otro 54.39% lo comprenden árboles de 95 diferentes especies de menor presencia en las fincas como ser, Laurel (*Laurus nobilis*), Cedro (*Cedrela odorata*); Aguacate (*Persea americana*) Caulote (*Guazuma ulmifolia*) y Madreado (*Gliricida sepium*). Como estas hay más especies que terminan de conformar el total de las estudiadas con una menor presencia dentro de las parcelas muestreadas Tabla 2.

Podemos mencionar diferentes familias de estas especies, pero las que más destacan son: Lauráceae, Fabáceae, Musáceae, Meliáceae, Pináceae, entre muchas otras. La densidad de árboles dentro del área muestreada (1,600 m²) es de 27 árboles pudiendo llegar a encontrarse hasta 169 árboles por Ha.

Tabla 2. Especies de árboles con mayor presencia en fincas estudiadas

ESPECIE	NOMBRE CIENTIFICO	N. DE FINCAS PRESENTE	N. DE ARBOLES TOTALES
Caoba del atlántico	<i>Swietenia macrophylla</i>	14	153
Guama guanijiquil	<i>Inga edulis</i>	18	137
Laurel negro	<i>Cordia Allidora</i>	14	88

Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	8	86
Laurel	<i>Laurus nobilis</i>	6	35
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	8	26
Laurel de valle	<i>Laurus azorica</i>	7	26
Aguacate	<i>Persea americana</i>	9	26
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	9	24
Madreado	<i>Gliricida sepium</i>	3	23

En cada una de las fincas estudiadas dio como resultados de las simulaciones diferentes porcentajes de sombra que comprenden al área total de cobertura del dosel de primer estrato al cultivo de cacao. De esta manera se logran apreciar fincas con un alto nivel de sombra este mayor al recomendado para este tipo de cultivos.

Tabla 3. Porcentaje de sombra presente en cada finca.

FINCA	% DE SOMBRA	FINCA	% DE SOMBRA
AC-02	12.0138	AC-21	32.1522
AC-03	34.8495	AC-22	39.2443
AC-04	52.4680	AC-23	61.3911
AC-05	12.9742	AC-24	46.3939
AC-06	12.5096	AC-25	53.9445
AC-07	50.1133	AC-26	55.7578

AC-08	15.7599	AC-27	43.0177
AC-09	5.9091	AC-28	47.8022
AC-10	30.9192	AC-29	50.8162
AC-11	30.9068	AC-30	40.0376
AC-12	28.3514	AC-31	53.1390
AC-13	2.1344	AC-32	100
AC-14	51.6104	AC-33	42.06
AC-15	20.2392	AC-34	40.3694
AC-16	24.5554	AC-35	88.8756
AC-17	36.1596	AC-36	34.7774
AC-18	9.6721	AC-37	77.8438
AC-19	43.0349	AC-38	88.1417
AC-20	36.7080	AC-39	57.1293

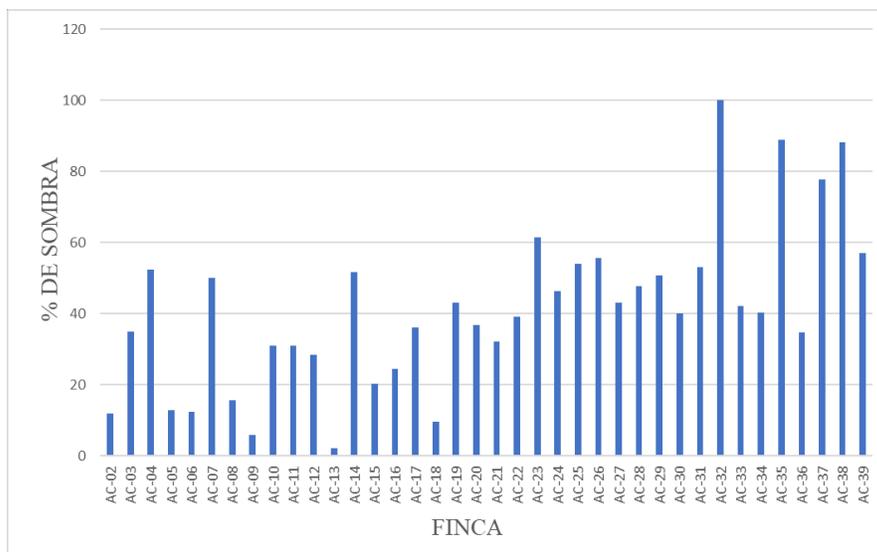


Figura 3. Comparación de la distribución del porcentaje de sombra dentro de cada finca.

Cada especie estudiada proveía un número exacto en el porcentaje de la sombra dentro de las parcelas en las fincas estudiadas, sin embargo había

especies que destacaban entre el resto, es por ello por lo que siempre había alguna que en conjunto diera un mayor porcentaje de la cobertura dentro de cada finca en específico como se muestra en el Tabla 4.

Tabla 4. Especies con mayor porcentaje de cobertura con relación al porcentaje de sombra presentes en cada finca.

FINCA	ESPECIE	% DE COBERTURA	FINCA	ESPECIE	% DE COBERTURA
AC-02	Laurel	72.9261	AC-21	Laurel negro	51.1448
AC-03	Madreado	65.2385	AC-22	Laurel negro	42.3123
AC-04	Gualiqueme	48.7243	AC-23	Caoba del atlántico	67.4353
AC-05	Macuelizo	56.1576	AC-24	Guama guaniji-quil	13.5895
AC-06	Mora	47.6290	AC-25	Sombra de ternero	18.0007
AC-07	Guama Guaniji-quil	50.5229	AC-26	Paleta	48.4337
AC-08	Laurel blanco	26.7235	AC-27	Caulote	25.5011
AC-09	Aguacate	36.7585	AC-28	Guarumo	50.7681
AC-10	Laurel de valle	32.6789	AC-29	Higuero	36.8008
AC-11	Guama guaniji-quil	46.9275	AC-30	Ron ron	46.7080
AC-12	Vara blanca	49.3305	AC-31	Laurel de valle	41.4580
AC-13	Laurel	46.6454	AC-32	Mango	24.6016
AC-14	Guama blanca	24.0336	AC-33	Laurel	31.2869
AC-15	Guayaba	53.1952	AC-34	Plátano	66.5437
AC-16	Laurel negro	40.6684	AC-35	Caulote blanco	16.1502
AC-17	Laurel negro	33.9641	AC-36	Laurel negro	82.7362

AC-18	Plátano	55.5008	AC-37	Guama guaniji- quil	68.8740
AC-19	Barba de jolote	45.8581	AC-38	Guama guaniji- quil	78.4474
AC-20	Guama guaniji- quil	17.8841	AC-39	Guama guaniji- quil	100

Las horas sombra proyectadas en una finca, son el resultado de la sumatoria total anual de un recorrido de 12 horas diarias de exposición, el cual se ve representado en un promedio total dentro de la parcela con el que se puede estimar la cantidad de horas de luz total recibidas en un año por el cultivo de cacao, en la Tabla 5 se muestran los promedios, el mínimo y el máximo de horas sombra como resultado de las simulaciones virtuales y en la figura # se aprecia la comparación de horas sombra entre las fincas estudiadas.

Tabla 5. Horas sombra anual en fincas estudiadas

FINCA	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	FINCA	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
AC-02	564.0862	0	2256	AC-21	756.5843	50	3124
AC-03	1048.1318	0	3981	AC-22	743.1562	0	3911
AC-04	2536.3306	207	3603	AC-23	1053.0212	0	4255
AC-05	472.3837	7	2852	AC-24	1095.7856	0	4344
AC-06	584.0275	0	2167	AC-25	1272.2218	0	3849
AC-07	1645.4381	262	3503	AC-26	1119.2681	0	3795
AC-08	460.1687	0	3113	AC-27	546.7243	0	2731
AC-09	175.9456	0	1674	AC-28	1167.7587	0	3560
AC-10	948.2531	42	3500	AC-29	1292.2806	0	3669
AC-11	639.0112	0	4285	AC-30	599.5	0	3848
AC-12	609.3406	0	3587	AC-31	1505.555	102	3416

AC-13	74.1475	0	931	AC-32	2423.4475	91	4315
AC-14	1318.6337	0	3902	AC-33	975.84	1	3196
AC-15	602.6868	0	3526	AC-34	1367.4181	43	4342
AC-16	823.6506	0	4204	AC-35	1453.895	0	3841
AC-17	921.6618	0	4102	AC-36	824.2262	0	3077
AC-18	208.2737	0	2766	AC-37	1876.3318	208	3793
AC-19	992.16	0	2843	AC-38	318.0275	0	3304
AC-20	1115.8418	87	3687	AC-39	2252.7643	0	4174

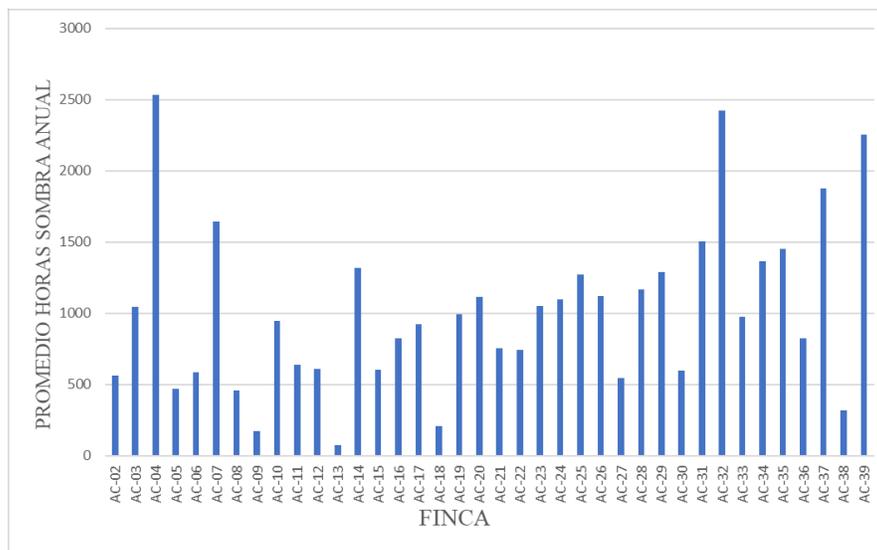


Figura 4. Comparación de promedios anuales de horas sombra en fincas.

5.2. Diagnostico agroforestal

Las especies de mayor índice de valor de importancia (IVI) ecológica encontradas dentro de las 38 parcelas se muestran en la Tabla 6, estas son las especies que tienen mayor número de individuos, frecuente y dominantes en las parcelas. Las especies con IVI mayor a 5 fueron Guama guanijiquil, caoba del atlántico, laurel negro y plátano.

Tabla 6. IVI de las especies encontradas en las parcelas de cacao de Olancho.

VALOR	ESPECIE	N INDIVIDUOS	N SP PLOT	SUM ÁREA BASAL	DENS RELA	FREC RELA	DOM RELA	IVI
1	Guama Guani- jiquil	137	22	7.05	13.5	7.38	13.3	11.4
2	Caoba del Atlántico	153	15	2.17	15.1	5.03	4.09	8.07
3	Laurel Negro	88	14	4.18	8.67	4.7	7.87	7.08
4	Plátano	86	8	2.19	8.47	2.68	4.11	5.09
5	Higuero	3	2	5.2	0.296	0.671	9.78	3.58
6	Laurel	35	9	2.09	3.45	3.02	3.94	3.47
7	Caulote	26	10	1.74	2.56	3.36	3.27	3.06
8	Laurel de Valle	26	7	1.38	2.56	2.35	2.6	2.5
9	Aguacate	26	9	0.675	2.56	3.02	1.27	2.28
10	Cedro	24	10	0.544	2.36	3.36	1.02	2.25

Mediante la clasificación de clases diamétricas y de altura se pudo tener una mejor visión del tipo de individuos presentes en las fincas y su importancia comercial para el productor. De esta manera se conoce el número de individuos con características determinadas para un objetivo en específico dentro o fuera de la parcela. En cuanto a la distribución de individuos por categoría diamétrica, la mayoría de los individuos (82%) están en la categoría diamétrica 2 y 3 (10-30 cm dap), mientras que, para la distribución en alturas, el 89% de los individuos se incluyeron en las clases de altura 1 y 2 (1-9 m de

altura). Los diámetros mínimos y máximos registrados fueron de 1 a 194 cm, respectivamente y para altura fueron mínimo de 1 m y máximo de 24 m de altura.

Clases diamétricas:

Clase 1: $DAP \geq 1 \ \& \ DAP < 10$

Clase 2: $DAP \geq 10 \ \& \ DAP < 20$

Clase 3: $DAP \geq 20 \ \& \ DAP < 30$

Clase 4: $DAP \geq 30 \ \& \ DAP < 40$

Clase 5: $DAP \geq 40 \ \& \ DAP < 50$

Clase 6: $DAP \geq 50 \ \& \ DAP < 60$

Clase 7: $DAP \geq 60 \ \& \ DAP < 70$

Clase 8: $DAP \geq 70$

Tabla 7. Número de individuos por clase diamétrica. DAP min y máximo de cada clase diamétrica.

CLASE DIAMÉTRICA	DAP MIN	DAP MAX	N INDIVIDUOS
Clase 1	1	9	34
Clase 2	10	19	513
Clase 3	20	29	315
Clase 4	30	39	90
Clase 5	40	48	33
Clase 6	50	59	11
Clase 7	60	67	6
Clase 8	70	194	13

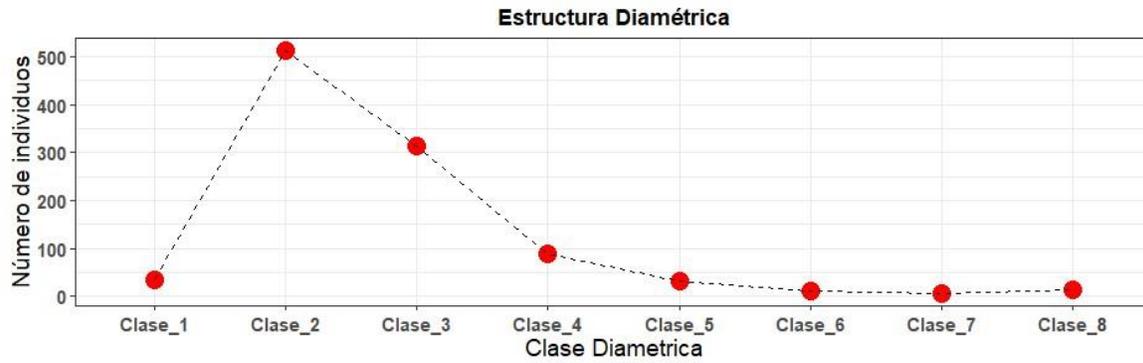


Figura 5. Distribución de número de individuos por clase diamétrica.

Clases de altura

Clase 1: 1-5 m

Clase 2: 5-10 m

Clase 3: 10-15 m

Clase 4: 15-20 m

Clase 5: >20 m

Tabla 8. Número de individuos por clases de altura. Altura min y máximo de cada clase de altura.

CLASES DE ALTURA	ALTURA MIN	ALTURA MAX	N INDIVIDUOS
Clase 1	1	4	599
Clase 2	5	9	307
Clase 3	10	14	86
Clase 4	15	19	20
Clase 5	20	24	3

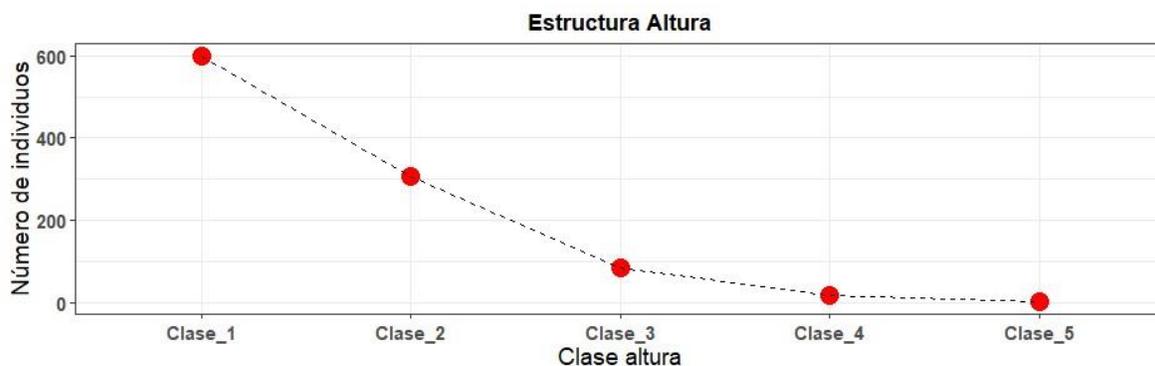


Figura 6. Distribución del número de individuos por clases de altura.

5.3. Importancia del estudio de sombra

El estudio de la sombra de cacaotales es de gran importancia tanto para las asociaciones como productores, ya que el buen manejo de esta puede llegar a prevenir diferentes problemas dentro de la plantación, como ser: presencia de enfermedades fungosas, creación de microclimas que pueden ser perjudiciales para las plantas, además también que ayuda al cuidado y manejo de ecosistemas de relevancia dentro de las fincas, entre otros.

5.4. Ventajas y uso de ShadeMotion 5.0

El uso de ShadeMotion 5.0 presenta diferentes ventajas como ser: acceso gratuito al programa, una interfaz relativamente sencilla y entendible, reportes claros y puntuales de los resultados, gráficos ilustrativos y mapas representativos de sombra con una muy buena resolución. A todo esto se le suma el fácil uso del programa y la rapidez con la que se obtienen los resultados.

5.5. Resultados gráficos y visuales de ShadeMotion

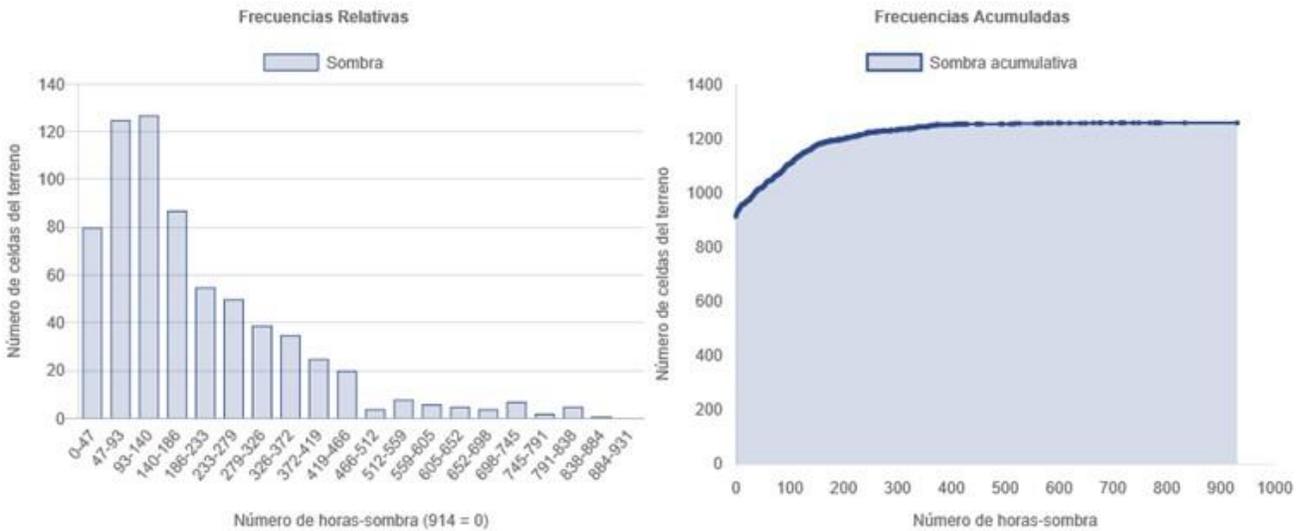


Figura 7. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-13.

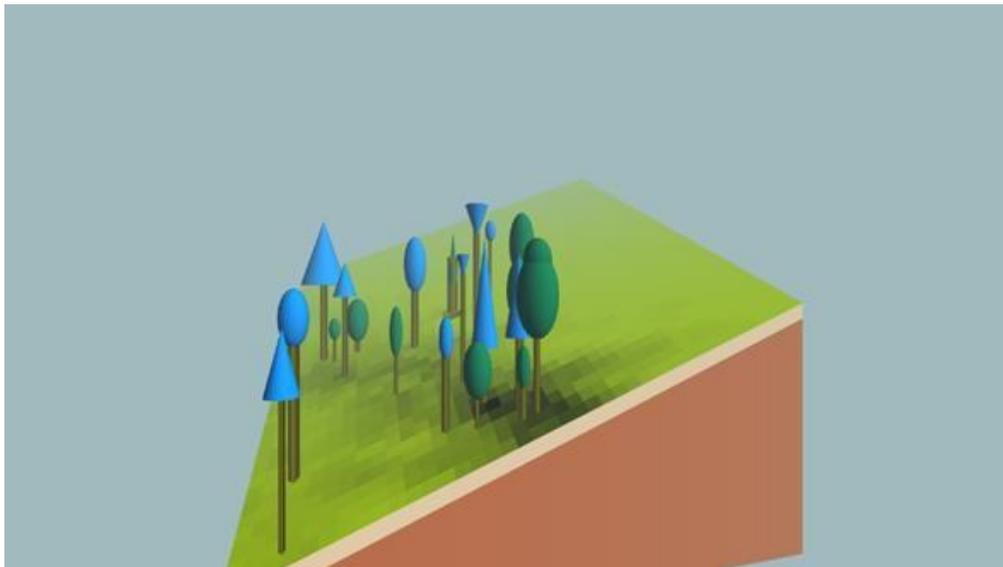


Figura 8. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-13.

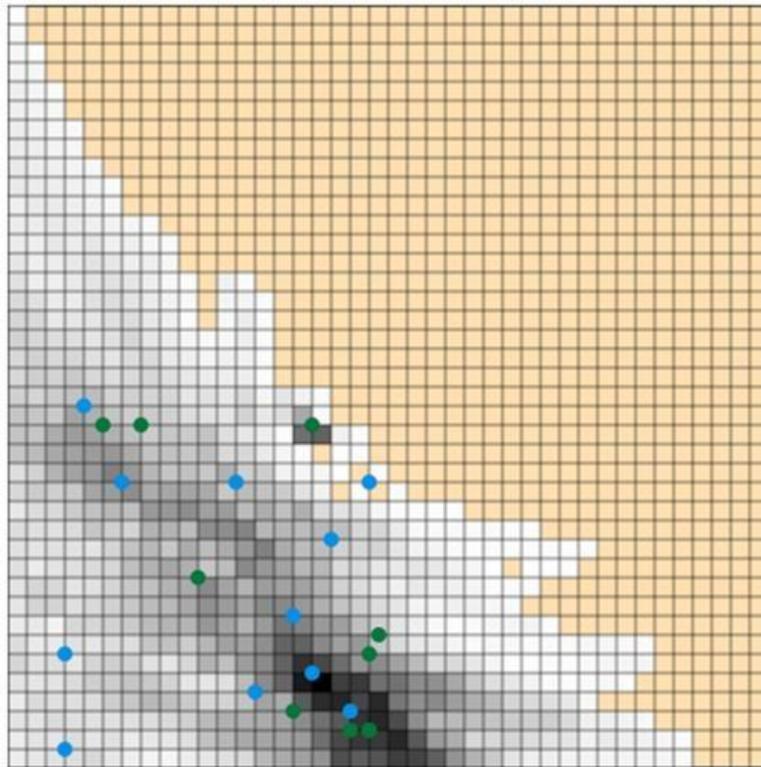


Figura 9. Mapa de distribución de sombra en AC-13.

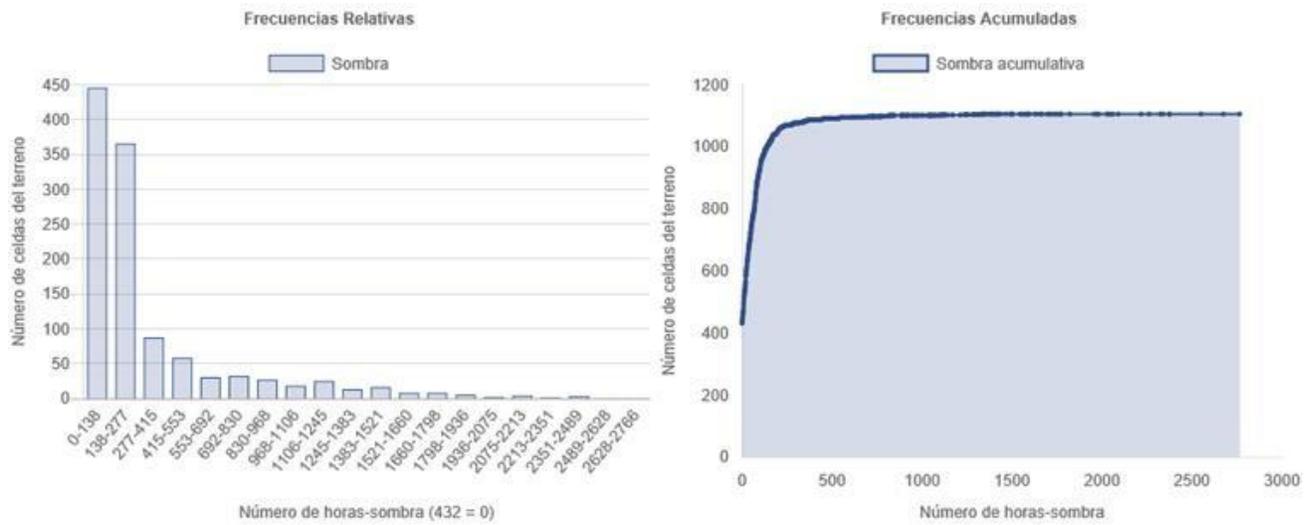


Figura 10. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-18.



Figura 11. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-18.

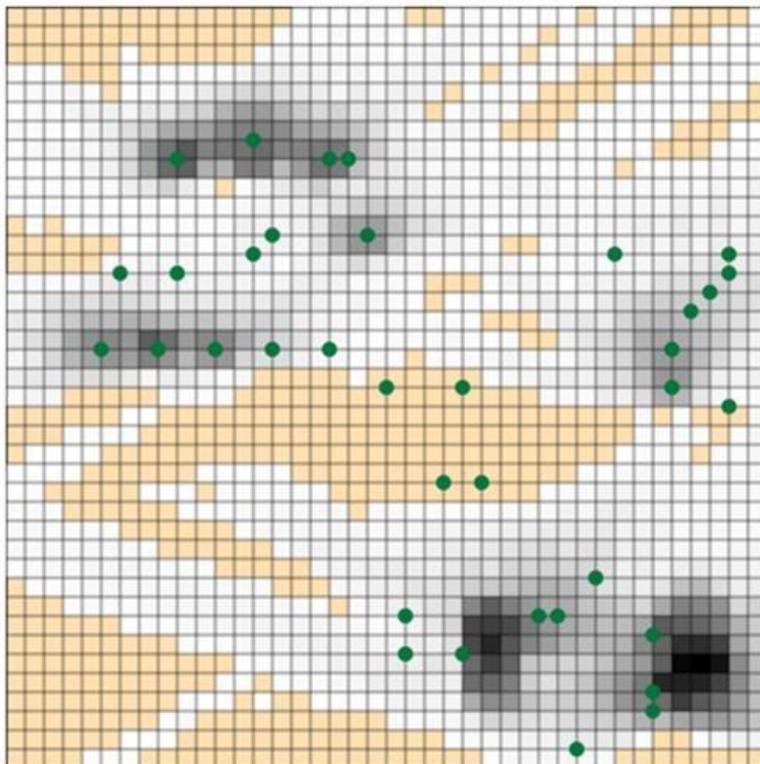


Figura 12. Mapa de distribución de sombra en AC-18.

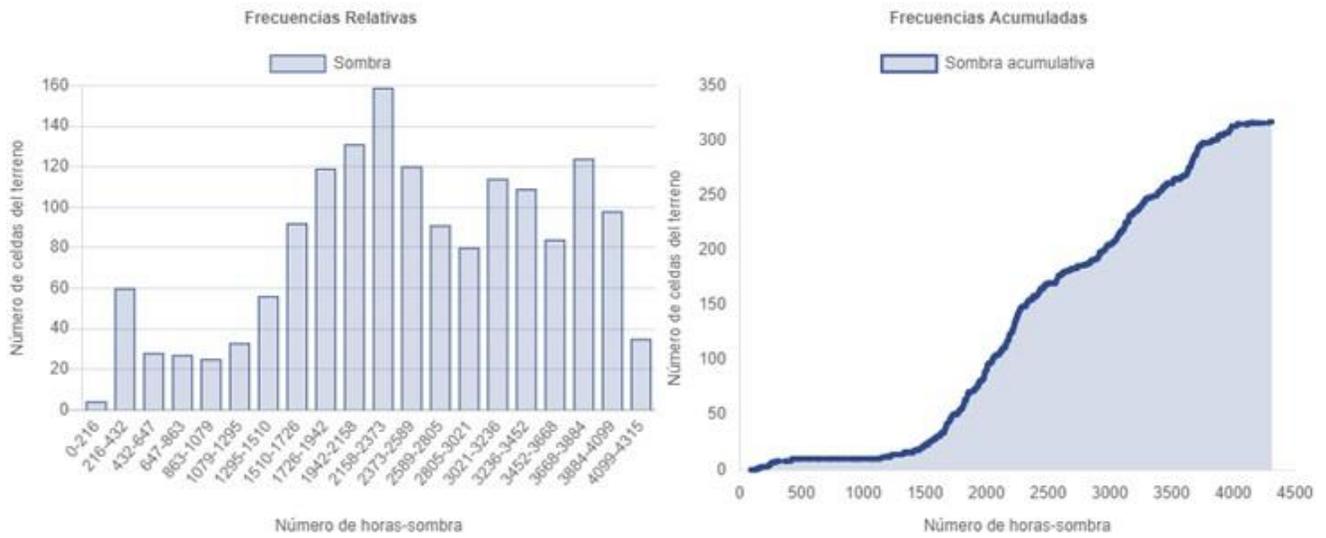


Figura 13. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-32.

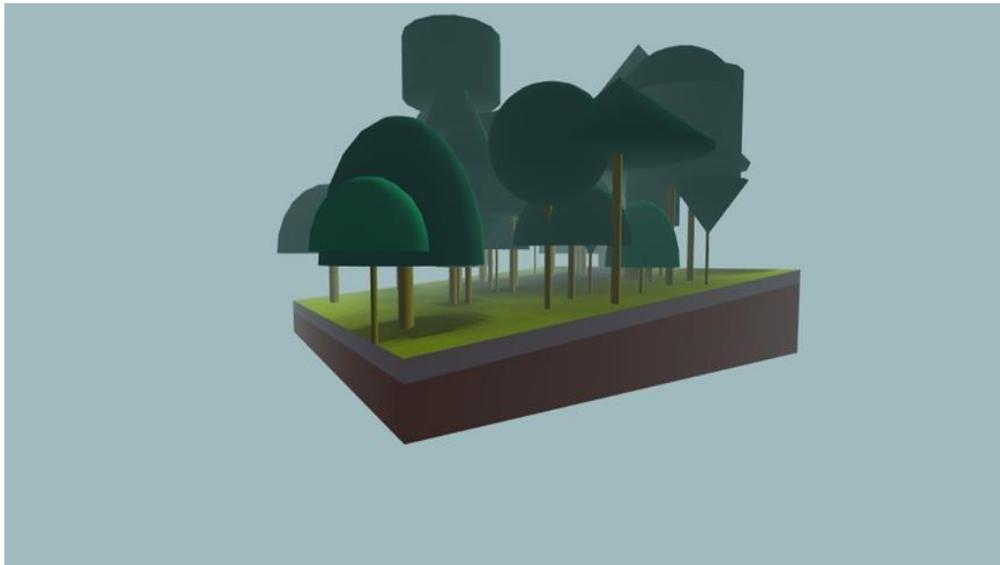


Figura 14. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-32.

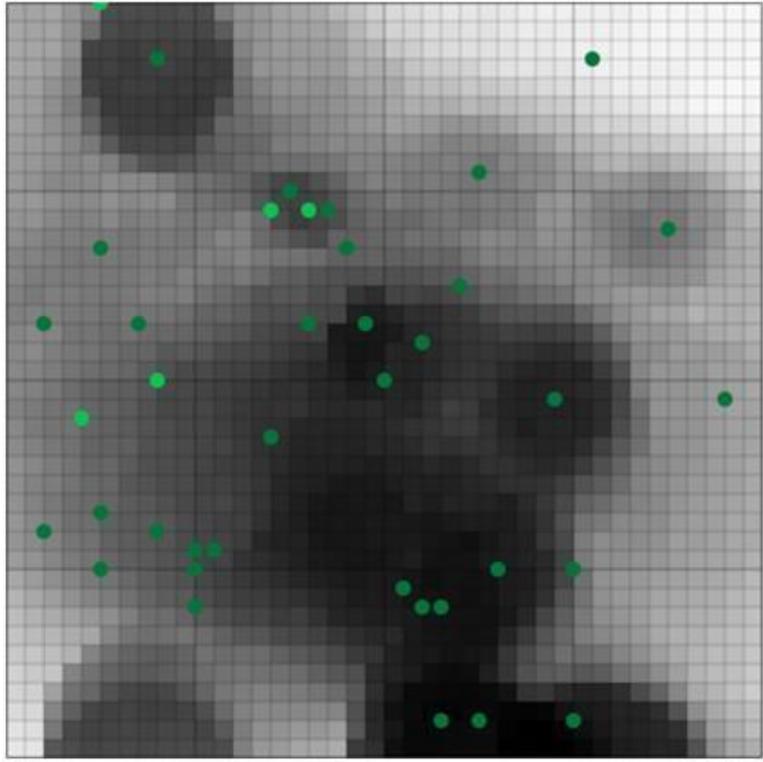


Figura 15. Mapa de distribución de sombra en AC-32.

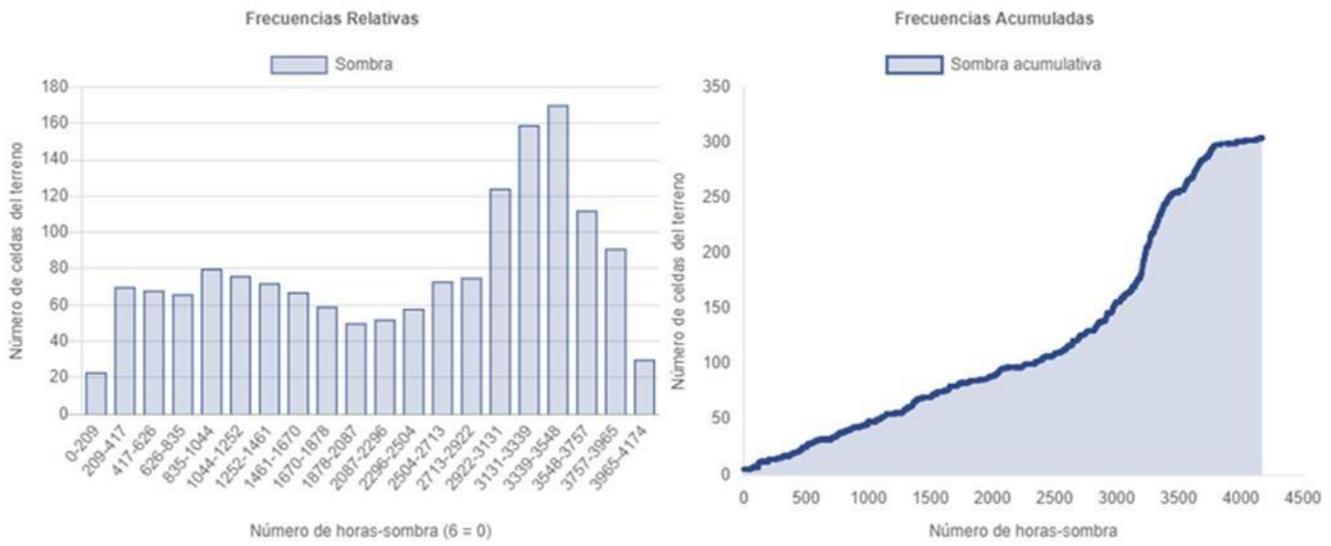


Figura 16. Distribución de la sombra con relación del número de celdas ocupadas, en frecuencias relativas y acumuladas en AC-39.

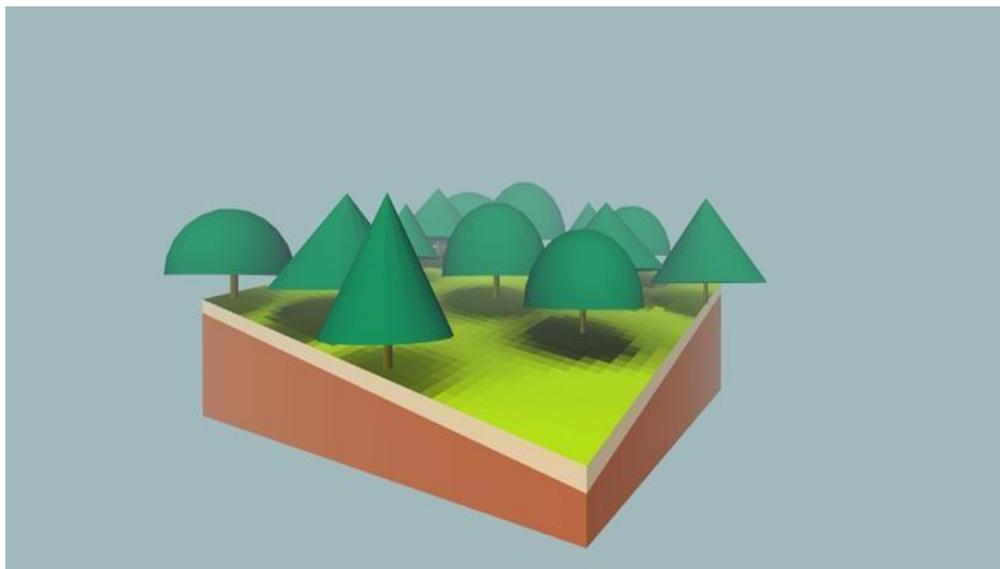


Figura 17. Simulación 3D de la posición de los árboles dentro de la parcela AC-39.

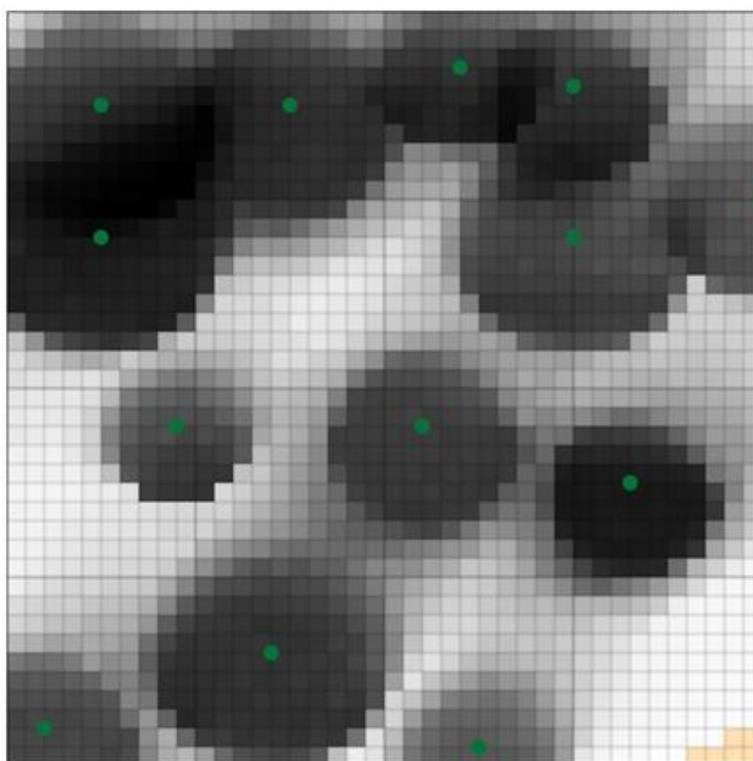


Figura 18. Mapa de distribución de sombra en AC-39.

VI. CONCLUSIONES

Las especies arbóreas que presentan mayor importancia entre las fincas estudiadas son en su mayoría especies de tipo maderable y frutal ya que estas representan otra fuente de ingreso para el productor además de que cumplen muy bien la tarea de brindar sombra al cultivo.

Los porcentajes de sombra analizados en la mayoría de las 38 fincas están o muy por encima o por debajo del nivel óptimo recomendado para sistemas agroforestales de cacao, siendo este un impedimento directo para una buena producción.

Como principal recomendación a los productores es la regulación de la sombra para poder optimizar el rendimiento del sistema agroforestal con el cultivo y esto se vea reflejado en una mayor producción.

VII. RECOMENDACIONES

Es de gran importancia el uso de medidas sanitarias como las podas, que pueden llegar a ser de gran beneficio para el sistema agroforestal y el cultivo ya que llevando un control de las mismas se puede evitar problemas que pondrían en riesgo la productividad.

El uso de especies para sombra debe ser realizado con la finalidad de obtener más que un solo beneficio así no se compromete la calidad económica del productor y sirve como un valor agregado a la finca.

Con el fin de alargar la vida del cultivo es recomendable hacer las practicas necesarias que ayuden a que este se desarrolle de la mejor manera, utilizando las densidades recomendadas y evitando la sobrepoblación de otras especies arbóreas que solo servirán de obstáculo para metas propuestas por el productor.

VIII. BIBLIOGRAFÍAS

Arroyo, E. M. (2011). Guía técnica para el establecimiento y manejo del cultivo de cacao asociación de productores de cacao de Los Montes María -3. Consultado en <https://asprocamm.jimdo.com/app/download/14183641930/guia+tecnica+para+el+cultivo+de+Oca+cao+en+los+montes+de+maria.pdf?t=1539806920>

Batista, L. (2009). Guía técnica el cultivo de Cacao. Consultado en <http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>

Beer, J., Ibrahim, M., Somarriba, E., Barrance, A., & Leakey, R. (2003). Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. In *Arboles en Centroamérica* (Primera edición, pp. 197–242). Consultado en https://www.researchgate.net/publication/324214176_Establecimiento_y_manejo_de_arboles_en_sistemas_agroforestales

Carrasco-Ríos, Libertad. 2009. “Efecto De La Radiación Ultravioleta-B En Plantas Effect of Ultraviolet-B Radiation in Plants.” 59–76. Consultado en https://www.researchgate.net/publication/240840873_efecto_de_la_radiacion_ultravioleta-B_en_plantas

Duster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). Hoja botánica: cacao *Theobroma cacao* L. In *Hoja botánica* (Primera edición). Consultado en http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf

Dubón, A., Martínez, R., Martínez, A., Durán, E., Ramírez, O., Bardales, M. T., & Tejada, R. (2018). Producción de cacao en sistemas agroforestales guía técnica. Consultado en http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/Guia_Tecnica_cacao_en_SAF.pdf

Fischer, Gerhard. 2012. “Efecto de La Radiación Solar En La Calidad de Los Productos Hortícolas.” P. 15 in Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio. Bogotá. Consultado en https://www.researchgate.net/publication/256575856_Efecto_de_la_radiacion_solar_en_la_calidad_de_los_productos_hortícolas

Isla Ramírez, E., & Andrade Adaniya, B. (2009). Propuesta de manejo de cacao orgánico. In Proyecto “Paz y conservación binacional en la cordillera del Cóndor, Ecuador-Perú-Fase II (Componente Peruano)” (Primera edición). Lima, Perú: Fundación Conservación Internacional.

Jiménez, M., Vera, J., & Mora-delgado, J. (2016). Comparación de resultados de modelación de sombras empleando Qgis y ShadeMotion en un potrero arbolado. *Revista agroforestería neotropical*, 1, 41–48. Consultado en <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/1207>

Juárez, S. A. L., Sol-Sánchez, Á., Ávalos, V. C. L., & Gallardo, F. (2016). Efecto de la poda en plantaciones de cacao en el estado de Tabasco , México * Effect of pruning on cocoa plantations in the state of Tabasco , México Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2807–2815. Consultado en <https://doi.org/ISSN: 2007-0934>

Meisel, Lee A., Daniela C. Urbina, & Manuel E. Pinto. 2011. "Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas." *Fisiología Vegetal* 18:1-9
Consultado En <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fotorreceptores%20y%20Respuestas%20de%20Plantas%20a%20Se%C3%B1ales%20Lum%C3%ADnicas.pdf>

Palomeque, F. E. (2009). *Sistemas Agroforestales*. Consultado en <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales.pdf>

Pérez, Y. A. M. (2009). El cultivo del cacao (*Theobroma Cacao*. L.) en el Sureste de México. (Universidad autónoma agraria "Antonio Narro"). Consultado en [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4620/T17597MAZARIEGOS PEREZ%2C YOANA ANABEL MONOG..pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4620/T17597MAZARIEGOS%20PEREZ%20YOANA%20ANABEL%20MONOG..pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Reyes, H., & Reyes, L. C. de. (2000). *Cacao en Venezuela moderna tecnología para su cultivo* (Primera edición). Consultado en <https://es.scribd.com/doc/23271157/Cacao-REYES>

Rodríguez, A. B., & Ulate, A. C. (2013). *Guía técnica SAF* (p. 33). p. 33. Consultado en http://www.biopasos.com/biblioteca/guia_sistemas_agroforestales.pdf

Sánchez, M., León, D., Arce, S., López, T., & Rodríguez, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. Consultado en <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>

Somarriba, Eduardo. 2002. "Estimación Visual de La Sombra En Cacaotales y Cafetales." *Agrofores* 9:86–94. Consultado en <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/346/497>

Somarriba Eduardo. 2005. "¿Cómo Evaluar y Mejorar El Dosel de Sombra En Cacaotales?" *Agroforestería de Las Américas* 41–42(Diciembre):122–30. Consultado en <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6941>

Suárez, C., Moreira, M., & Vera, J. (1994). *Manual del cultivo de cacao* (Segunda edición). Consultado en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1621>

Torres, L. A. (2012). *Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico* (Universidad de Cuenca). Consultado en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>

Trejo, Montemayor, José Alfredo, Alejandro Zermeño González, Jesús Olayue Ramirez, Rogelio Aldaco Nuncio, Manuel Fortis Hernández, Enrique Salazar Sosa, José Cruz Rodríguez Rios, & Cirilo Vázquez-Vázquez. 2006. "Efecto de La Densidad y Estructura Del Dosel de Maíz En La Penetración de La Radiación Solar." *Phyton* 75(844):47–53. Consultado en https://www.researchgate.net/publication/242420116_Efecto_de_la_densidad_y_estructura_del_dosel_de_maiz_en_la_penetracion_de_la_radiacion_solar

Valencia, F. F. (2014). Agroforestería y sistemas agroforestales con café (p. 342). p. 342. Consultado en https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforestería_y_sistemas_agroforestales_con_café.pdf

Winowiecki, L. (2007). Nutrición del cacao y sus necesidades de abono y fertilización Plantas requieren 17 elementos esenciales (nutrientes). Consultado en https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/Nutricion_de_cacao_y_necesidades_fertilización.pdf

<http://www.shademotion.net/v5/#>,

IX. ANEXOS



Anexo 1. Reconocimiento parcela de cacao.



Anexo 2. Medición de altura de la parcela.



Anexo 3. Definición del centro de la parcela.



Anexo 4. Trazado de cuadro interior.



Anexo 5. Medición de altura de árbol.



Anexo 6. Nikon Forestry pro con resultados de la medición de altura de árbol.



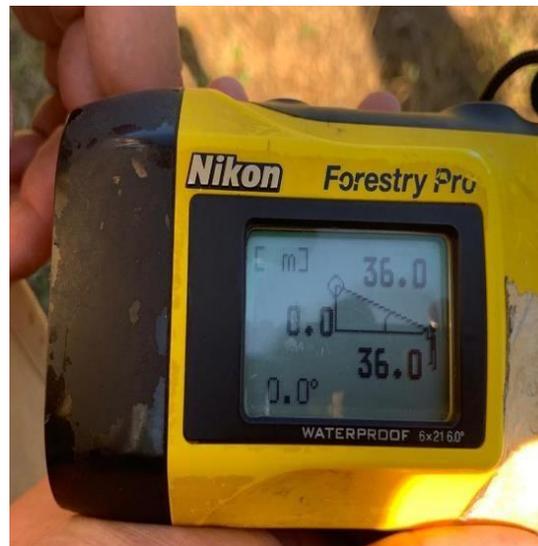
Anexo 7. Medición con estadia de altura de tallo.



Anexo 8. Medición de ancho de copa.



Anexo 9. Medición de inclinación de pendiente.



Anexo 10. Nikon Forestry pro con resultados de inclinación de pendiente.



Anexo 11. Medición de circunferencia a altura de pecho.

DATOS GENERALES			
Código Parcela:	PC 04	Angulo (°):	80°
Fecha:	17/12/2014	Topografía del terreno:	pendiente
Nombre productor (a):	Miguel Martínez	Parcela topográfica:	04/01/04
Sector:	1-00001	Área total del tipo del suelo:	1 ha
Comunidad:	22-00001	Área muestreo:	0.1 ha
Uso de suelo:	Agropecuario	Área de las marcas:	
Tipo de vegetación:	Agropecuario	Año de siembra cacao/pasto:	2013
Latitud:	16° 2' 50" S	Año de siembra plátano:	2013
Longitud:	76° 4' 14" W	Fertirrigación:	NO
Altura mean:	600 m	Cultivo anterior:	Cacao
Pendiente (°):	1.0°	Fertirrigación (kg/ha):	0.0
Observación de la manifestación:	5.5%	Alfalfa que se corta al bosque?	NO

DATOS SUBPARCELA			
Variable	1	2	# Subparcelas
Uso de suelo:	1.00001	1.00002	4
Suelo drenado (Da):	1	2	4
Colcheta huletera (Ch):	1	2	4
Colcheta huletera (Ch):	1	2	4
Colcheta Plátano (Ch):	1	2	4
Estado suelo (Es):	1	2	4
Colcheta huletera (Ch) (hect):	1	2	4
# árboles de 1 a 5 cm DAP:	1	2	4
# árboles de cacao:	1	2	4
Muestra suelo campo (a):	1	2	4
Muestra campo (a):	1	2	4
Muestra suelo forestal (a):	Muestra suelo seco (a)		
Muestra huletera forestal (a):	Muestra huletera seco (a)		

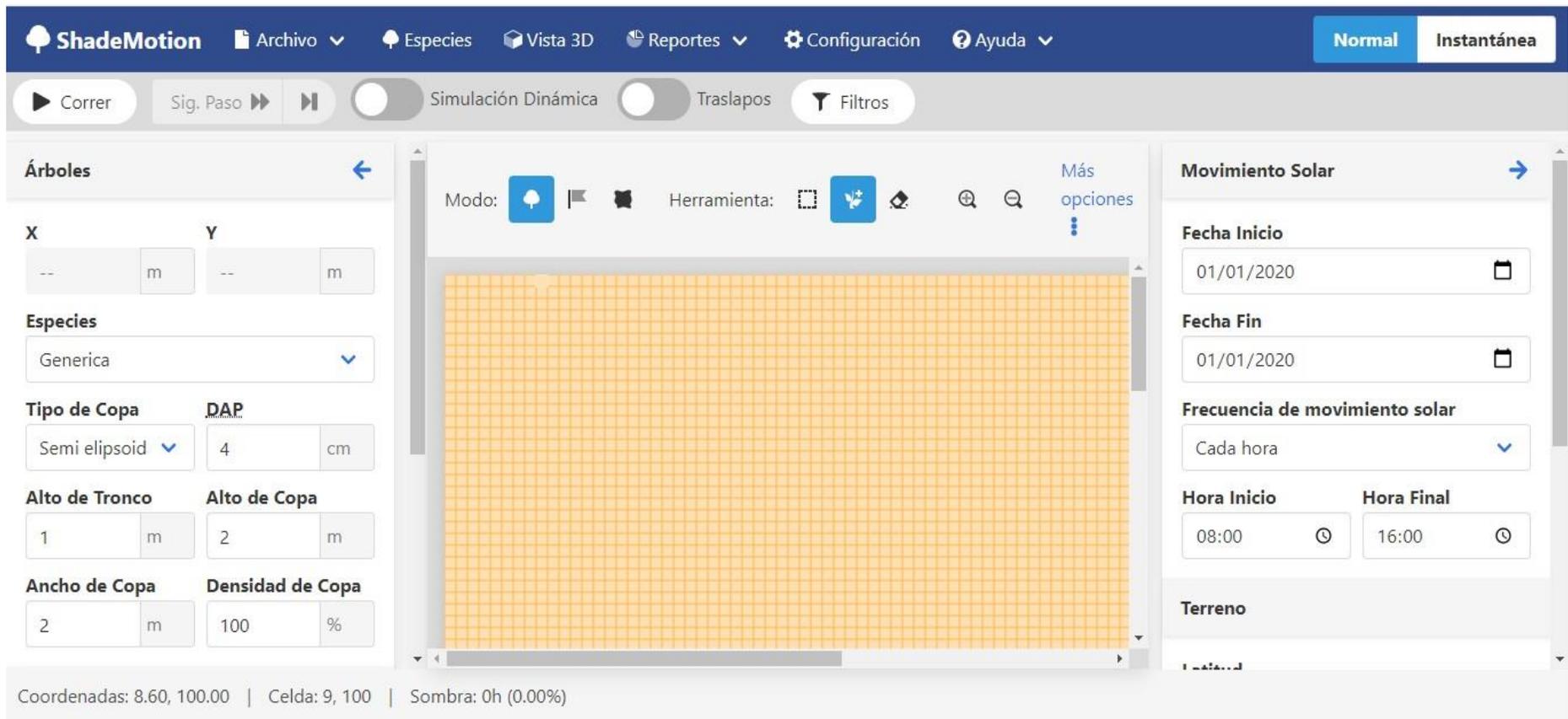
MADERA MUEERTA						
No.	Transecto 1			Transecto 2		
	Circ. (cm)	Long. (m)	Nivel	Circ. (cm)	Long. (m)	Nivel
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

MEDIDAS PLANTAS DE CACAO				
No.	Sub-parcela	# de CACAO	Tallo	
			CASO	Alto total (m)
1	1	13	1.00	1.50
2	1	13	0.78	1.80
3	1	20	0.92	2.42
4	1	20	2.22	2.72
5	2	15	2.22	1.62
6	2	17	0.92	1.82
7	3	28	1.02	2.10
8	3	32	0.92	1.30
9	3	26	1.01	1.60
10	4	25	0.81	2.10
11	4	16	1.22	2.00
12	4	1	-	-

Anexo 12. Formatos de recolección de datos en campo.

N o:	Codigo Parcela	# árbol	Nombre Común	Nombre Científico	Coord.		CAP (cm)	DAP (cm)	Altura Tronco (m)	Altura Total (m)	Diámetro de copa		Ancho de copa	altura de copa	Ocusi ón de copa (%)	Forma copa*	Trepadoras		Origen**	Tipo***	Ubic****	Poda *****	Esti ***
					X	Y					D1(m)	D2 (m)					si/no	% de copa					
AC-02	1	Laurel			0	0	48	15	6	10	9	5	7	4	44	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	2	Laurel			3	7	68	22	5	11	8	6	7	6	56	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	3	Laurel			14	12	71	23	8	12	8	4	6	4	30	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	4	Laurel			31	13	64	20	5	14	5	4	5	9	41	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	5	Laurel			32	19	73	23	7	10	7	6	7	3	57	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	6	Caoba			20	18	24	8	3	7	2	2	2	4	20	E	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	7	Laurel			11	19	70	22	6	10	6	9	8	4	54	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	8	Caoba			8	23	72	23	2	4	1	1	1	2	15	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	9	Laurel			16	27	97	31	9	15	8	6	7	6	32	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	10	Laurel			18	27	73	23	7	15	6	5	6	8	52	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	11	Laurel			19	23	57	18	6	13	4	3	4	7	42	Cl	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	12	Cortez			17	30	49	16	4	8	5	4	5	4	22	E	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	13	Caoba			21	39	29	9	4	6	2	1	2	2	38	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	14	Caoba			25	38	28	9	5	7	2	1	2	2	35	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	15	Granadillo Blanco			26	39	102	32	6	15	10	8	9	9	54	SD	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	16	Caoba			27	37	26	8	5	6	2	1	2	1	31	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	17	Caoba			29	35	14	4	3	4	1	1	1	1	27	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	18	Caoba			33	34	19	6	3	4	1	1	1	1	8	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	19	Laurel			28	34	42	13	4	8	8	7	8	4	60	Cl	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	20	Caoba			15	38	16	5	3	4	1	1	1	1	6	S	no	0	P	M,S	S	E	
AC-02	21	banano			5	32	68	22	3	6	5	5	5	3	46	Cl	no	0	P	F,S	S	E	
AC-03	1	Caoba del Atlantico			22	21	30	10	4	6	2	2	2	2	45	E	no	0	P	M,S	S	PL	
AC-03	2	Madreado			26	24	30	10	2	6	7	5	6	4	37	SD	no	0	P	Fr,S	S	E	
AC-03	3	Madreado			32	22	44	14	3	7	4	5	5	4	60	SD	no	0	P	Fr,S	S	E	
AC-03	4	Madreado			39	19	61	19	3	8	12	8	10	5	45	SD	no	0	P	Fr,S	S	E	
AC-03	5	Caoba del Atlantico			32	25	42	13	5	7	3	3	3	2	61	E	no	0	P	M,S	S	PL	

Anexo 13. Formato de digitalización de datos en Excell.



Anexo 14. Pantalla de trabajo de ShadeMotion 5.0.