

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL Y
MONOCULTIVO DE PALMA AFRICANA (*ELAEIS
GUINEENSIS* JACQ.) ESTABLECIDOS POR EL PROYECTO
LAPA EN LA REGIÓN DE OSA-GOLFITO, PUNTARENAS,
COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

LUCÍA GRACIELA MACK RIVAS

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL Y
MONOCULTIVO DE PALMA AFRICANA (*ELAEIS
GUINEENSIS* JACQ.) ESTABLECIDOS POR EL PROYECTO
LAPA EN LA REGIÓN DE OSA-GOLFITO, PUNTARENAS,
COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

LUCÍA GRACIELA MACK RIVAS

CARTAGO, COSTA RICA, 2019



Esta obra está bajo una Licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Licencia
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

RESUMEN

Lucía Graciela Mack Rivas*

Actualmente, más del 60% del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) producido en Costa Rica proviene de los cantones de Osa y Golfito. Buscando una estrategia de desarrollo sostenible, la Iniciativa Osa-Golfito (INOGO) desarrolló el Laboratorio Experimental de Palma Africana Sostenible (LAPA), un modelo productivo diversificado de *E. guineensis* con *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao* y *Musa* spp. Este estudio tiene como objetivo caracterizar la cobertura vegetal, las propiedades químicas y físicas del suelo y generar una guía de recomendaciones para cinco parcelas de tres años de edad, establecidas por el proyecto LAPA. Se realizó un análisis FODA del diseño agroforestal y se determinó la mortalidad, altura, diámetro, calidad y el porcentaje de cobertura. Además, se determinaron las propiedades químicas y físicas del suelo. En Chacarita se encontró la mayor mortalidad de *T. cacao* y en La Guaría el crecimiento en altura y diámetro de *C. megalantha* fue estadísticamente diferente, siendo en esta menor. La altura de *E. guineensis* fue mayor en el sistema agroforestal que en el monocultivo en todas las parcelas. Las parcelas presentan un porcentaje de cobertura menor al 12% en el sistema agroforestal. Se identificaron los posibles factores limitantes del suelo para cada parcela. La menor velocidad de infiltración instantánea se registró en La Palma, y la mayor en Rancho Quemado. El mantenimiento y manejo son clave para garantizar el buen desarrollo de los cultivos. Al haber una apropiación adecuada por parte del productor se potencializa la posibilidad de generar productos de calidad, así obteniendo mejores ingresos económicos.

Palabras claves: Sistema agroforestal, palma africana, *Elaeis guineensis*, *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao*, propiedades químicas, propiedades físicas, infiltración.

*Mack, L. 2019. Evaluación del sistema agroforestal y monocultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) establecidos por el proyecto LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

ABSTRACT

Currently, more than 60% of the palm oil (*Elaeis guineensis*) produced in Costa Rica comes from the Osa-Golfito region. The Osa-Golfito Initiative (INOGO), developed the Experimental African Palm Laboratory (LAPA, by its spanish acronym), a diversified productivity model. This system consists on *E. guineensis* with *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao* and *Musa* spp. The present study aims to characterize the vegetation and the physical and chemical soil properties in the three year old plots established by LAPA and generate recommendations. A SWOT analysis was done on the agroforestry system's design. The mortality rate, height, diameter, quality and coverage percentage was determined for each plot, as well as the chemical and physical properties of the soil. Chacarita presented the highest mortality rate for *T. cacao* and La Guaria has a growth in height and diameter for *C. megalantha* statistically inferior than the rest of the plots. The plots present a percentage of coverage below 12%. The possible limiting factors in the soil were identified for each plot. The plot with the slowest infiltration velocity was La Palma and the fastest was found in Rancho Quemado. In diversified productive systems, management and maintenance are key factors to guarantee a good crop development. An adequate appropriation from the producer increases the possibility to generate quality products, therefore generating better income.

Key words: agroforestry system, oil palm, *Elaeis guineensis*, *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao*, physical properties, chemical properties, soil infiltration.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por Ing. Mario Guevara Bonilla, M.Sc., Hansel Herrera, M.Sc., Ing. Ricardo A. Salazar Díaz, PhD, y Ing. Parménides Furcal Beriguete, M.Sc., como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Mario Guevara Bonilla, M.Sc.

Director de tesis



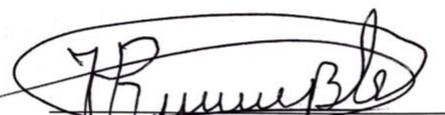
Hansel Herrera Vargas, M.Sc.

LAPA, Iniciativa Osa-Golfito, Stanford Woods



Ing. Ricardo A. Salazar Díaz, PhD

Profesor lector



Ing. Parménides Furcal Beriguete, M.Sc.

Profesor lector



Ing. Dorian Carvajal Vanegas, M.Sc.

Coordinador de Trabajos Finales de Graduación



Lucía Mack Rivas

Estudiante

DEDICATORIA

Para mi abuelita Mary Therese Mack.
(18 diciembre, 1928 – 5 octubre, 2019)

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional.

Mami, Dad, María, Lala, Grandma y Lolo.

A mis guías académicos en todo este proceso.

Profesores: Mario Guevara, Edwin Esquivel, Ricardo Salazar, Parménides Furcal, Edgar Ortiz y Braulio Vílchez.

Al Proyecto LAPA (Hansel Herrera y Rodolfo Dirzo) y al Proyecto de Investigación del TEC (coordinado por Ricardo Salazar) por la confianza en mi trabajo.

A las personas que me ayudaron en el trabajo de campo.

Profesores/Investigadores: Mario, Ricardo, Hansel, Parménides y Carlos.

Amigos: Joshua, Benjamín y Fio.

Locales: Don Vicente, Martín y Don Enrique.

A los propietarios de las parcelas

Don Enrique y Doña Alice en Rancho Quemado, Don Álvaro en La Palma, Diego en Piedras Blancas y Chacarita y Don Norman en La Guaria.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Región Osa Golfito	4
3.1.1 Iniciativa Osa-Golfito (INOGO).....	4
3.2 El cultivo de Palma Africana	5
3.2.1 El cultivo de Palma Africana en Costa Rica.....	7
3.2.2 Palma Africana y el suelo	8
3.2.3 Manejo de Palma Africana	8
3.2.4 Nutrición.....	10
3.2.5 Impacto Ambiental.....	10
3.3 Sistemas Agroforestales	12
3.3.1 Especies asociadas a sistemas agroforestales	13
3.3.2 Combinaciones similares.....	17

3.4	Suelos Tropicales.....	17
3.4.1	Suelos de la Zona Sur, Osa – Golfito, Costa Rica.	17
3.4.2	Muestreo de suelos.....	18
3.4.3	Propiedades del suelo.....	19
4	MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1	Sitio de Estudio.....	24
4.2	Parcelas experimentales	25
4.3	Diseño Agroforestal (SAF)	27
4.4	Monocultivo (M).....	30
4.5	Caracterización de las propiedades del suelo	32
4.5.1	Propiedades químicas	32
4.5.2	Propiedades físicas	32
4.5.3	Guía de mejoras y recomendaciones	34
5	RESULTADOS	35
5.1	Cobertura	35
5.1.1	Diseño Agroforestal	35
5.1.2	Caracterización de la cobertura por sitio.	39
5.1.3	Estructura vertical y porcentaje de cobertura.	43
5.1.4	Crecimiento de Cordia megalantha.....	45
5.1.5	Análisis FODA	48
5.2	Propiedades del suelo	49
5.2.1	Propiedades químicas y físicas por sitio.....	49
5.2.2	Infiltración por sitio.....	59
6	DISCUSIÓN	62
6.1	Guía de recomendaciones.....	68
7	CONCLUSIONES.....	71
8	REFERENCIAS.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales del proyecto LAPA en Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	25
Figura 2. Distanciamiento citado y establecido por el proyecto LAPA entre individuos en las parcelas experimentales, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica.	26
Figura 3. Metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de Palma en cada subparcela del SAF.	27
Figura 4. Metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de cacao de cada subparcela del SAF.	28
Figura 5. Ejemplo de la metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de Laurel de cada subparcela del SAF.	28
Figura 6. Proceso para obtener el porcentaje de cobertura utilizando el programa Gap Light Analyzer. Fotografía tomada en la parcela diversificada de Piedras Blancas, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	29
Figura 7. Muestreo sistemático con arranque aleatorio realizado en las subparcelas de monocultivo de <i>E. guineensis</i> ; ejemplo de la subparcela en Piedras Blancas, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	31
Figura 8. Orientación de establecimiento de las cinco parcelas establecidas por el proyecto LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	35
Figura 9. Distanciamiento real promedio determinado para la subparcela con el monocultivo de las parcelas establecidas por LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	36

Figura 10. Distanciamiento real promedio determinado para la subparcela con el SAF de las parcelas establecidas por LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	37
Figura 11. Gráfico de alturas de la palma, cacao y laurel y el porcentaje de cobertura generado por estos mismos cultivos en el sistema agroforestal de cada parcela del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	44
Figura 12. Gráfico de cajas del diámetro (d) de <i>C. megalantha</i> en cada parcela establecida por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	45
Figura 13. Gráfico de cajas de la altura del <i>C. megalantha</i> en cada parcela establecida por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	46
Figura 14. Análisis FODA del diseño agroforestal del proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	48
Figura 15. Curvas de velocidad de infiltración instantánea en las parcelas de Rancho Quemado y La Palma establecidas por el Proyecto LAPA en la zona de Osa, Puntarenas Costa Rica , 2019.	59
Figura 16. Curvas de velocidad de infiltración instantánea en las parcelas de Piedras Blancas, La Guaria y Chacarita establecidas por el Proyecto LAPA en la zona de Golfito, Puntarenas Costa Rica, 2019.	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Año, época y mes de establecimiento y uso de suelo anterior de cada parcela, Puntarenas, Costa Rica.	26
Cuadro 2. Tiempos y repeticiones aplicados para realizar la prueba de infiltración.	33
Cuadro 3. Distanciamientos teóricos y reales encontrados en las parcelas del proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	38
Cuadro 4. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Piedras Blancas del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	39
Cuadro 5. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de La Guaria del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	40
Cuadro 6. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Rancho Quemado del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	41
Cuadro 7. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de La Palma del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	41
Cuadro 8. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Chacarita del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	43
Cuadro 9. Resultados de la Prueba Tukey-Kramer para diámetro (d) y altura (h) de <i>C. megalantha</i> en las parcelas establecidas por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	47
Cuadro 10. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de Piedras Blancas, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	50
Cuadro 11. Propiedades químicas y físicas del suelo de la parcela de La Guaria, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	52

Cuadro 12. Propiedades químicas y físicas del suelo de la parcela de Rancho Quemado, Osa, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	54
Cuadro 13. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de La Palma, Osa, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	56
Cuadro 14. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de Chacarita, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.	58

1 INTRODUCCIÓN

La palma africana (*Elaeis guineensis* var.) para uso comercial es el cultivo oleaginoso de mayor producción a nivel mundial (IUF, 2015), con una producción de aceite registrada en el 2012 de más de 56 000 millones de toneladas. En Costa Rica, en el 2018, se registraron 84 068,43 hectáreas de palma sembrada, distribuidas en todo el territorio nacional (INEC, 2018) y en el 2016, una producción anual de 1 094 410,68 toneladas métricas (INEC, 2018). En la Región Brunca, se encuentra aproximadamente un 64% del área plantada a nivel nacional (Quesada y Sánchez, 2018) y se presenta un rendimiento de 16,4 t/ha de fruto fresco de palma (Comité Sectorial Regional Agropecuario, 2015). Los principales problemas que presenta la producción masiva de palma africana en siembra como monocultivo son el aumento de la frontera agrícola y la homogenización de la cobertura, lo que lleva a una mayor fragmentación de los bosques, erosión del suelo y un mayor efecto de borde, y por lo tanto un mayor impacto a la biodiversidad (Corella, 2016).

El suelo es un recurso ambiental que cumple un papel determinante en la efectividad de las plantaciones; sin embargo, también puede ser una de las variables más afectadas por las prácticas de manejo realizadas (Núñez, 2011). Si la plantación establecida resulta en una sobreexplotación del suelo, la producción de ésta se verá afectada a mediano y largo plazo, mientras que, si las prácticas agrícolas aseguran una sustentabilidad del suelo, como consecuencia, se asegurará una sustentabilidad productiva de la plantación (Arias, 2007). Algunas de las funciones de un sistema agroforestal incluyen la reducción en la erosión del suelo y el mantenimiento de la fertilidad por medio de la hojarasca y materia orgánica, el reciclaje de nutrientes desde las capas del suelo más profundas, entre otras (Mendieta, 2007). Al ser la región de Osa y Golfito una zona que en el pasado ha sufrido un deterioro del suelo por prácticas intensivas en el cultivo del banano (Dirzo et al, 2014.), y al ser las plantaciones de palma africana tradicionalmente intensivas, la importancia de establecer sistemas de producción que garanticen una producción ambiental, económica y socialmente sustentable y sostenible son cada vez más importantes y necesarias.

Dentro los sistemas de producción alternativos que sean más sustentables con el ambiente se encuentran los sistemas agroforestales. Estos sistemas generan diferentes productos, aportándole una estabilidad económica al productor (Cerdeira, 2014), que ya no será tan vulnerable ante los cambios en los precios del mercado, cambios climáticos, ni al posible ataque de una plaga o enfermedad (Mendieta, 2007). Además, estos sistemas no solo benefician al productor, sino que también garantizan una producción más ambientalmente amigable al aportar diferentes servicios ambientales como por ejemplo la regulación del ciclo hidrológico, una disminución en la erosión del suelo, y múltiples servicios ecosistémicos (Corella, 2016). Los sistemas agroforestales buscan reducir la homogeneización en la cobertura del terreno al establecer plantaciones diversificadas que aumentan la biodiversidad de flora y fauna en el área (Tschardt, 2011).

En marzo del 2018, el periódico nacional La Nación publica un artículo donde menciona que los productores de palma africana están sufriendo por baja productividad del cultivo y una caída en los precios. En el 2012, la palma africana se pagaba a 93 000 colones la tonelada de fruta, y actualmente se paga entre 55 000 y 60 000 colones la tonelada de fruta. Además de estas bajas en los precios de la palma, los productores han sufrido una disminución en la productividad debido al ataque de plagas y enfermedades, el cultivar en terrenos con pendiente, condiciones climáticas desfavorables, entre otros (Barquero, 2018). Estas son algunas de las razones por las cuales los productores que no tienen contratos exclusivos con empresas grandes de palma están comenzando a mezclar la palma con otros cultivos como el cacao. El trabajo se efectúa en la región de Osa y Golfito en el Pacífico Sur de Costa Rica en las parcelas de 3 – 4 años de edad establecidas por el Laboratorio Experimental de Palma Africana (LAPA) de la Universidad de Stanford, donde se plantea evaluar el diseño del sistema agroforestal establecido con el fin de generar un análisis FODA y una guía de recomendaciones basada en el crecimiento y propiedades físicas y químicas del suelo. Los resultados de esta investigación son importantes porque sirven como referencia para un futuro estudio del suelo, donde se podrá definir el efecto de las diferentes coberturas en las propiedades del mismo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar los sistemas de producción de palma africana establecidos por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el crecimiento del sistema agroforestal y del monocultivo para la producción de palma africana establecidos por el proyecto LAPA.
2. Caracterizar el suelo a partir de las propiedades químicas y físicas de cada sistema de producción.
3. Desarrollar un plan de mejoras y recomendaciones para optimizar el sistema agroforestal establecido.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Región Osa Golfito

La región Osa-Golfito se encuentra en la costa del Pacífico Sur de Costa Rica, y alberga la mayor área de bosques tropicales de bajura en todo Centroamérica. Esta área es reconocida por sus altos niveles de biodiversidad con altas cantidades de especies de plantas, aves, mamíferos, y varias especies endémicas a la región (Dirzo et al, 2014).

En la década de los 60 se evidenció una reestructuración del modelo económico tradicional que se basaba en el cultivo del banano y se establecieron nuevas condiciones que consistían en actividades productivas de pequeña escala y de subsistencia. La palma africana surgió como la única alternativa económica para la mayoría de los campesinos de la región (Morera et al, 2005) Es entonces cuando comienzan las plantaciones de palma africana en el Pacífico Sur del país (Ortiz, 2000), para luego convertirse en la principal actividad productiva de la región. Morera et al (2005) establecen que, en la región de Osa, Golfito y Corredores, del Pacífico Sur, la cobertura que tiene mayor área es el bosque denso, seguido por cultivos mixtos y pasto, luego sigue la palma aceitera, bosques menos densos, plantaciones forestales y terreno descubierto. El MAG en el 2007 estableció que ese año habían 9 410 ha, 7400 ha y 14 790 ha plantadas en Osa, Golfito y Corredores respectivamente.

3.1.1 Iniciativa Osa-Golfito (INOGO)

INOGO es un esfuerzo colaborativo internacional que busca desarrollar una estrategia para el desarrollo humano sostenible y la gestión ambiental en los cantones de Osa y Golfito de Costa Rica (Dirzo et al, s.f.). “Su propósito es contribuir con el bienestar y la calidad de vida de la población, al mismo tiempo que asegurar la salud a largo plazo de los recursos primarios base representados en los ecosistemas marinos y terrestres de la región.” (Dirzo et al, s.f.).

3.2 El cultivo de Palma Africana

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es uno de los principales cultivos suplidores de aceite vegetal a nivel mundial (ILACO, 1985). Hartley (1983) menciona que, según las investigaciones realizadas, se cree que es una especie originaria de África tropical, región en donde a lo largo de la historia, la producción y exportación ha sido mayor que en el resto del mundo. La palma africana se mantuvo como cultivo silvestre hasta finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, donde entró al comercio mundial y se comenzó a plantar para diferentes usos (Hartley, 1983). Inicialmente, en el sureste de Asia, la palma africana fue utilizada como planta ornamental, pero no fue hasta comienzos del siglo XX que se comienzan a establecer las plantaciones comerciales. En África, las plantaciones comerciales comenzaron a establecerse a comienzos de 1920. La exportación de palma africana para aceite vegetal llegó a reemplazar el comercio de esclavos a nivel mundial (Hartley, 1983).

La FAO en el 2015 en su reporte bianual de los mercados mundiales de alimento determinó que el aceite de palma es el mayor comercio a nivel mundial, con una producción mundial de 15.3 millones de toneladas entre el 2014 y 2015 y se espera un incremento en la producción de aceite de palma dada la expansión del cultivo principalmente en Asia.

Los requerimientos climáticos para un buen crecimiento y rendimiento de *E. guineensis* son estrictamente tropicales, y por esta razón se va a encontrar entre lo 15° Norte y Sur del Ecuador (Ortiz, 2000). Según Landon (1991), la temperatura óptima se encuentra entre 24 y 30 °C con una precipitación promedio de 1500 mm por año como mínimo que debe de presentar una distribución constante durante todo el año y sin presentar estación seca marcada de más de 3 meses. Williams (1985) enuncia que este cultivo soporta leves inundaciones solo después de tener tres años de plantada en campo. Este cultivo no tiende a encontrarse con buena producción a más de 500 msnm (ILACO, 1985). La cantidad de luz que recibe este cultivo debe ser abundante, idealmente entre 5 y 7 horas luz por día como mínimo con una radiación solar de 350 - 360 cal.cm²/día. La baja luminosidad puede ser un factor limitante en regiones donde hay altos grados de precipitación y nubosidad (Ortiz, 2000). Williams en 1985 estableció que existe una relación directa entre rendimiento y la cantidad de luz que recibe el cultivo cuando hay suficiente humedad para su crecimiento. Múltiples autores enfatizan en la importancia de la luz y la humedad en el suelo que recibe el cultivo para un éxito productivo. Landon (1991), menciona que el exceso de lluvia puede afectar en la densidad de polen producido y el contenido de aceite en el mesocarpio.

Los productos principales de *E. guineensis* son el aceite vegetal y la almendra. El aceite comercial se extrae de la pulpa exterior, mientras que el aceite de la almendra se obtiene de la nuez (Hartley, 1983). Existen tres variedades principales a nivel mundial llamadas Dura, Tenera y Pasífera o Pisífera. Cada una presenta porcentaje de aceite, porcentaje de pulpa, dureza y tamaño de la nuez diferente (ILACO, 1985). A partir de 3 - 4 años después de plantada, la palma africana comienza a producir, y su producción máxima dura entre 8 y 10 años con una vida económica promedio de 30 años (ILACO, 1985).

3.2.1 El cultivo de Palma Africana en Costa Rica

En 1920, se introdujo comercialmente la palma africana al continente americano, primero en Honduras, donde en los años siguientes se fue distribuyendo a diferentes países como Cuba, Perú, Nicaragua, Guatemala y Colombia (Dammert et al, 2012). En los años 40 se comenzaron las siembras anuales en diferentes partes de Costa Rica. Para los 50's habían alrededor de 4000 ha plantadas y para 1969, 8730 ha, (Ortiz, 2000).

En varias regiones del Pacífico Central y Sur, estas plantaciones llegaron a reemplazar a las plantaciones de banano que habían sido afectadas por *Fusarium* sp. Los productores de la región identificaron que la palma africana crece bien a pesar de las altas cantidades de cobre en el suelo que dejaron las plantaciones bananeras (Dirzo et al, s.f.).

En la década de los 70's, las plantaciones tomaron mayor auge ya que no solo grandes empresas como Palma Tica establecieron plantaciones, pero también pequeños productores, con menos de 10 ha, a los cuales luego Palma Tica les compraba el producto. Para 1992, había 25 000 hectáreas de palma africana comercial plantadas, de las cuales 15 000 pertenecían a Palma Tica y 10 000 a productores independientes (Ortiz, 2000). Rodríguez (2010) en el *Análisis del desempeño de la cadena productiva de palma aceitera* menciona que a nivel nacional en el 2004 había 46 600 hectáreas plantadas y en el 2008 incrementó a 52 600 hectáreas. También menciona que un 68% del área plantada de palma se encuentra en la Región Brunca (Pacífico Sur) y prevé una expansión de 56 200 hectáreas en el Pacífico Central y Sur.

El MAG en el 2013 determina que, para el cultivo de palma africana, se considera pequeño productor cuando éste tiene menos de 15 hectáreas sembradas o con vivero de palma, y mediano productor cuando cuenta con 15 a 100 hectáreas sembradas o con vivero de este cultivo. En base a esta información y la proporcionada por el Censo Agropecuario (INEC, 2015), aproximadamente un 14.7% del área sembrada a nivel nacional pertenece a pequeños productores y un 18.5% pertenece a medianos productores.

3.2.2 Palma Africana y el suelo

E. guineensis crece naturalmente en suelos aluviales, en tierras cercanas a la costa, lagos, ríos y zonas selváticas, esto por el nivel de humedad y fertilidad que estos presentan (Ortiz, 2000). Morera (2005) indica que la presencia de plantaciones de palma está determinada principalmente por la topografía dado que se comportan mejor en zonas planas o con leve ondulamiento. Landon (1991) menciona que este cultivo requiere suelos permeables, con buena aireación, y suelos con una profundidad mayor a 100 cm. Además, también indica que la capacidad de retención de humedad debe ser mayor a 150 mm/m² de agua disponible para la planta, pero los suelos sobresaturados resultan perjudiciales en la producción y crecimiento del cultivo, por lo que no deben ser suelos inundables. Para evitar la erosión del suelo, Landon (1991) recomienda sembrar solo en pendientes no mayores a 10 grados. El pH ideal es de 5 - 6 pero esta especie soporta desde pH 4 hasta pH 8 e idealmente la salinidad debe ser menor a 2 mS/cm pero tolera un máximo de 8 mS/cm.

3.2.3 Manejo de Palma Africana

El rendimiento de la palma africana depende en gran medida en la cantidad y tamaño de las hojas producidas y la proporción de hojas que producen inflorescencias femeninas (Hartley, 1983). Los racimos de la palma se producen en la base de cada hoja al ser polinizada la inflorescencia femenina. Naturalmente, *E. guineensis* presenta una polinización por viento, pero para que sea más efectiva, se asiste, ya que el material genético que se utiliza en su mayoría produce más inflorescencias femeninas que masculinas. El polen recolectado se guardado en condiciones secas y se mezcla con talco para aplicar, para idealmente realizar esta polinización asistida una vez por semana (Williams, 1985). La propagación de *E. guineensis* se realiza por medio de la semilla (ILACO, 1985). Ortiz (2000) define que el tiempo ideal para realizar el trasplante de vivero a campo es a las 12 - 13 meses de haberse sembrado y la época del año ideal para establecer la plantación es a comienzos de la estación lluviosa para que haya la cantidad ideal de humedad en el suelo.

Tradicionalmente, el patrón de siembra utilizado en este cultivo es el de tresbolillo con una distancia de 9 m entre plantas (Ortiz, 2000) lo cual permite una densidad de 120 - 143 plantas/ha (MAG, 2007). Williams (1985) establece que los sitios con buen suelo pueden tener una menor densidad de siembra que los sitios con un mal suelo. También menciona que se tienden a incorporar leguminosas como cultivo de cobertura a la hora de realizar el establecimiento, ayudando con la nutrición de la palma pero además con el control de malezas. Para el control de malezas, ILACO (1985) recomienda realizar rodajeas individuales de 4 - 6 veces al año dependiendo de la edad de la palma y chapeas en las entrelíneas de 2 - 3 veces por año.

Algunas recomendaciones con respecto a la fertilización de la plantación que brinda Williams (1985) incluyen agregar fosfato a la hora de la siembra, la aplicación alta de nitrógeno y potasio 3 - 4 veces por año, aplicación de boro principalmente durante los primeros 5 años y a partir de los tres años, potasio, ya que este se vuelve importante para la producción de frutos. La mecanización del suelo se aplica solo al momento de eliminación de la plantación (ILACO, 1985). Además, el MAG establece otros parámetros para el manejo, por ejemplo determina que el control de malezas y las rodajeas se deben de realizar 3 veces al año, el control de plagas es permanente por medio de trampas, las podas se realizan una vez al año y la deshoja al momento de cosechar el racimo.

En 1996, Sterling estudió los efectos de la competencia en las plantaciones de palma aceitera, y encontró que del año 3 al año 8 de hay una elevada producción de racimos, al año 8 ocurre el traslape foliar y a partir del año 10 y hasta el año 12 se evidencia una caída típica en la producción hasta lograr alcanzar un equilibrio al llegar a la madurez.

3.2.4 Nutrición

La palma africana presenta altos requerimientos nutricionales, en este sentido Landon (1991) recomienda realizar un estudio foliar cada 4 años para medir estas deficiencias. El potasio, nitrógeno y fósforo son los tres macroelementos más necesitados por la planta para un crecimiento ideal. El nitrógeno es especialmente necesario cuando la planta está joven. El mismo autor menciona algunas de las características visibles cuando la palma presenta deficiencias de alguno de los elementos:

- Deficiencia en magnesio provoca unas manchas anaranjado oscuro en las zonas sin sombra, síntomas similares causadas por *Fusarium oxysporum*.
- Deficiencia de nitrógeno se evidencia con hojas verde pálido, amarillo.
- Deficiencia de fósforo se logra detectar solo por análisis foliar.
- Deficiencia de potasio causa manchas anaranjadas, algunas partes intermedias de la hoja se tornan amarillas y se evidencia necrosis y muerte en las terminaciones.

3.2.5 Impacto Ambiental

La industria del aceite vegetal en las últimas décadas ha presentado un rápido crecimiento, lo cual representa una de las mayores amenazas a la biodiversidad (Dirzo et al, 2014). En el 2012, Dammert et al mencionan que a nivel mundial “aproximadamente del 50 - 60% de la producción de palma se ha hecho a expensas de la cobertura forestal natural”, incidiendo en la pérdida de biodiversidad e incrementando la amenaza a especies nativas. El establecimiento de plantaciones de palma ha llevado a la deforestación y fragmentación de bosques, lo cual influye directamente en el desplazamiento de flora y fauna, reduciendo paulatinamente las poblaciones (Morera et al, 2005), incrementando el efecto de borde de los remanentes, lo cual se traduce como una pérdida en calidad de parte de estos remanentes de bosque (Corella, 2016).

A pesar de lo establecido por Dammert (2012), Furumo y Aide (2017) determinan que a nivel de América Latina no se sufre de tanta deforestación para la siembra de palma africana. Mas bien, encontraron que del área estudiada, 79% de la palma africana sembrada fue establecida en terrenos previamente intervenido como pasto para ganado, bananeras, agricultura, etc. Solo el 21% del área estudiada fue convertida de bosque a plantación de palma africana, principalmente en la Amazonia y en el norte de Guatemala.

Dammert et al. (2012) también advierte sobre el impacto que tienen las plantaciones de palma africana sobre el recurso hídrico, dado el uso de agroquímicos, herbicidas y fertilizantes que requiere. Al ser regiones con alta precipitación, estos químicos son fácilmente arrastrados al subsuelo para terminar en los cursos de agua. Morera et al (2005) menciona que el cambio en la cobertura ha modificado las condiciones ambientales, alterando el régimen hidrológico, el ciclo de los elementos naturales, el microclima en la región y las propiedades del suelo.

Rodríguez (2010) menciona una serie de prácticas que garantizan una producción más amigable con el ambiente, que incluye la siembra en terrazas en zonas con pendiente para la conservación del suelo, también la siembra de cultivos de variedades arbustivas en los drenajes y leguminosas entre la palma, la reducción en el uso de plaguicidas o su sustitución por productos menos contaminantes y la incorporación de materia orgánica en las plantaciones.

3.3 Sistemas Agroforestales

Dada la fragmentación que ha sufrido el bosque en la región, los objetivos de conservación deben centrarse en conservar lo hábitats intactos y crear áreas de amortiguamiento que permitan mantener la conectividad (Dirzo et al, s.f.). Uno de los beneficios importantes de los sistemas agroforestales es que cuando hay variaciones significativas en los precios del cultivo principal o lo ataca una plaga, el componente arbóreo representa un ingreso para el productor. Además, estos proveen servicios ambientales tanto locales como globales como lo son la polinización, calidad y biota de suelos, la conservación de agua, la fijación de carbono y la conservación de biodiversidad (Detlefsen y Somarriba, 2012).

Ortiz (2000), menciona la importancia de asociar el cultivo de palma africana con coberturas leguminosas por el aporte que brindan a la conservación y mejoramiento químico y físico del suelo, además de ayudar a regular las malezas. También menciona otras ventajas de asociar estos cultivos, como la fijación de nitrógeno atmosférico al suelo para que sea asimilable para las plantas, la producción e incorporación de materia orgánica, una reducción de la erosión del suelo. Existen también dos desventajas principales de asociar la palma con cualquier otro cultivo, y estas son la competencia que se genera si no se utiliza la especie ni manejo adecuado y el obstáculo que estas otras especies representan al realizar el manejo del cultivo principal.

3.3.1 Especies asociadas a sistemas agroforestales

3.3.1.1 *Palma Africana*

En el 2007, el MAG menciona en su *Plan Estratégico de la Cadena Productiva de Palma Aceitera* que, por las características del cultivo, este se debe asociar con otros cultivos solo en las etapas iniciales dadas las distancias de siembra, los índices de área foliar, la disposición foliar y la profundidad de las raíces. Sugiere que es un cultivo de sistema de producción tipo monocultivo a partir del primer año de siembra en campo.

Algunos síntomas asociados al estrés causado por competencia son el aumento en longitud foliar y en consecuencia una mayor área e índice foliar. También se evidencia un incremento en la tasa de crecimiento vertical del tronco (Sterling, 2007).

Como menciona Paredes (1993), el sistema radicular de la palma puede ser altamente competitivo abarcando 6 metros en profundidad y hasta 20 metros horizontalmente, donde la mayor absorción está presente en las raíces más finas que se encuentran en las horizontales, generando así una alta competitividad a nivel radicular con los demás cultivos que componen el sistema.

3.3.1.2 *Cacao*

En el 2012, en Centroamérica habían reportadas 20 000 hectáreas de cacao sembradas, lo que correspondía a 6000 toneladas por año de grano producidas en la región. En su mayoría, estas plantaciones se ubican en zonas remotas de gran importancia para la conservación y se encuentran en manos de pequeños productores (Detlefsen, 2012). En Costa Rica el cacao se cultiva en las regiones Huetar Atlántico, Huetar Norte, Pacífico Sur y Pacífico Central (ONF, 2013).

El cacao (*Theobroma cacao*) es una especie que requiere de sombra para su producción (Sánchez et al, 2002). Normalmente, se utilizan especies de sombra que proveen al productor de madera, leña, aceites, frutas, medicina, fibras, servicios culturales o religiosos, entre otros (Detlefsen, 2012). Según Sánchez et al (2002), las especies tradicionalmente utilizadas son *Erythrina* sp y *Gliricidia sepium*, palmeras y frutales. *Cordia megalantha*, *C. alliodora*, *Terminalia superba*, *Tabebuia rosea* y *Swietenia macrophylla* ha sido estudiadas en cacaotales en Costa Rica, Brasil y Honduras. También, especies como *Cedrela odorata*, *Triplaris cummingiana*, *Schyzolobium parahyba*, *Centrolobium ochroxylum*, *Amburana cearensis* y *Terminalia ivorensis* son especies arbóreas comunes de encontrar en asocio con cacao (Detlefsen, 2012). La ONF (2013) establece que la importancia del establecimiento de la sombra es que regula la luminosidad, temperatura, el viento excesivo y evita deficiencias extremas de humedad en épocas de sequía. *Cordia alliodora* es la especie maderable más utilizada en asocio con cacao en la región de Talamanca, Limón, Costa Rica y representa un 40% del área basal del cacaotal (Detlefsen, 2012). La ONF (2013) determina que la distancia de siembra entre árboles utilizada frecuentemente es de 6 a 15 metros para árboles de sombra permanente y la siembra se realiza en hileras o franjas dentro del cacao, esta sombra se debe de establecer alrededor de cuatro meses antes de plantar el cacao.

El cultivo de cacao es exigente con las variables de temperatura y precipitación. La temperatura media anual ideal es de 22°C a 30°C mientras que la precipitación debe oscilar entre 1.500 mm y 2.500 mm anuales. Además, la precipitación tiene una buena distribución a través de los meses ya que el cacao es una especie que no tolera la sequía. La altitud ideal es de 0 a 1.200 msnm (ONF, 2013). Los suelos deben ser profundos, francos, con adecuada retención de humedad ya que las raíces alcanzan fácilmente los 1,5 m de profundidad. Es preferible que los terrenos utilizados sean planos u ondulados, con pendientes menores al 20 %. Las densidades de siembra más comunes son de 2,5 x 2,5 metros hasta 4 x 4 metros, siendo la más usada 3 x 3 metros. Se recomienda plantar en tresbolillo si se planta en laderas o pendientes superiores al 20 %. La producción inicia cuatro años después de plantado (ONF, 2013).

Bertsch (2003) reporta que la absorción registrada según el rendimiento para 1 t/ha es de: N: 13 - 44 kg/ha, P: 3 - 7 kg/ha, K: 11 - 75 kg/ha, Ca: 3 - 4 kg/ha, Mg: 5 - 6 kg/ha. La absorción por tonelada de cosecha: N: 35 kg/t, P: 5.4 kg/t, K: 35.8 kg/t. La cantidad estimada en kg de N, P, K que se requiere para producir una tonelada de cosecha: N: 36 kg/t, P: 5 kg/t, K: 39 kg/t.

3.3.1.3 Laurel

Cordia megalantha presenta una distribución natural desde México hasta Costa Rica. En Costa Rica se encuentra en la Zona Norte, vertiente Atlántica y en la región suroeste de la costa Pacífica y crece de manera ideal en zonas con una altitud de 0 - 400 msnm que presentan climas muy húmedos. Es un árbol de 30 - 50 m de altura que puede alcanzar 50 cm de diámetro. Los usos de la madera son desconocidos, pero se sabe que presenta un comportamiento similar al de *Cordia alliodora* (Zamora et al, 2000). En la mayoría de literatura, *C. megalantha* se presenta con el nombre común de Laurel Negro; sin embargo, Quesada y Fernández (2005) determinaron que el nombre común en Costa Rica es Laurel Amarillo. *C. megalantha* presenta una estructura foliar mediana y copa angosta, un sistema de autopoda y un sistema radicular aparentemente profundo, haciéndolo una especie óptima para generar la sombra para el cacao (Quirós, 2010).

En el 2002, Sánchez et al desarrollaron un estudio en Honduras de cacao con diferentes socios como sombra. Uno de estos fue con *C. megalantha*, justificando que es una especie maderable para aprovechar que, además de brindar sombra al cultivo principal, se puede aprovechar la madera y así incrementar el ingreso que recibe el productor. Normalmente en Honduras, el cacao se asocia con *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis*, *Tabebuia rosea* pero en el mercado de ese país, la madera de *C. megalantha* se considera más valiosa que inclusive la de *C. alliodora* y *Cedrela odorata*.

3.3.1.4 *Musaceae*

La ONF en el 2013 publicó una guía técnica para la implementación de SAF con árboles forestales maderables en Costa Rica, donde presenta una sección del asocio de plátano (*Musa* sp.) con árboles maderables. En Costa Rica, el género *Musa* se cultiva en las regiones Huetar Atlántico, Huetar Norte y Brunca y se ha observado en asocio con especies arbóreas de rápido crecimiento como *Gmelina arborea*, *Erythrina* spp y *Schizolobium parahyba*, plantadas a una distancia de 9 x 9 entre árboles. De manera óptima el componente forestal debe proporcionar sólo un 50% de sombra y para esto los árboles deben podarse en los primeros 2 - 5 metros para que las ramas arbóreas se encuentren en estratos mayores a la altura de la Musaceae (ONF, 2013).

Algunos de los requerimientos de las Musaceae son una altitud de 0 - 800 msnm, una temperatura promedio anual de 20 - 35 °C, una precipitación anual de 1200-4600 mm y una densidad de siembra baja cuando se encuentra bajo sombra; por ejemplo, 4 x 3 metros que corresponde a 833 cepas por hectárea (ONF, 2013). Detlefsen (2012) en un estudio realizado en Turrialba, Costa Rica con *Cordia alliodora* en asocio con banano, determinó que, dentro de un bananal, el área basal de la especie arbórea no debe ser mayor a 54%.

Para un rendimiento de 1 t/ha de plátano (*Musa* sp), Bertsch (2003) menciona que la absorción registrada es de: N: 2 - 4 kg/ha, P: 0.3 - 0.5 kg/ha, K: 5 - 17 kg/ha, Ca: 0.2 - 3 kg/ha, Mg: 0.3 - 1 kg/ha. La absorción por tonelada de cosecha es N: 2.4 kg/t, P: 0.4 kg/t, K: 5.6 kg/t. La cantidad estimada en kg de N, P, K que se requiere para producir una tonelada de cosecha es de: N: 2 kg/t, P: 0.4 kg/t, K: 6 kg/t.

3.3.2 Combinaciones similares

El estudio realizado por Sánchez et al en el 2002 en La Masica, Atlántida, Honduras, se encontraba a una altitud de 20 msnm, con una precipitación de 3.153 mm/año. La siembra de árboles se realizó en mayo y el cacao en agosto del mismo año (1987), la primera cosecha de cacao se obtuvo en agosto de 1989. El diseño fue el *C. megalantha* plantado a 6 x 9 metros y el cacao a 3 x 3 metros, se utilizó plátano y *Gliricidia sepium* como sombra temporal mientras el Laurel alcanzaba altura requerida. El manejo consistió en una aplicación de fertilizante en junio-julio cada año de 225 g/árbol de 15-15-15 NPK. En 1998 se realizó un raleo del 23% de ambas especies. Cuando la plantación tenía 14 años, el Laurel ya presentaba un diámetro de 44 cm. Como resultado, los ingresos obtenidos de los sistemas con sombra no tradicional sobrepasan significativamente los ingresos del sistema tradicional con leguminosas no maderables dado el ingreso extra que representa la venta de madera al completar el aprovechamiento.

3.4 Suelos Tropicales

3.4.1 Suelos de la Zona Sur, Osa – Golfito, Costa Rica.

En la región de Osa y Golfito hay principalmente dos tipos de suelo, los inceptisoles en planicies y llanuras y los ultisoles en montaña (Mata, 2013), siendo el primero mucho más rico que el segundo. Los ultisoles son suelos desarrollados, con baja fertilidad que presentan acumulación de arcilla en el horizonte B. En estos se debe efectuar la siembra de especies tolerantes a la acidez o fertilizar y encalar. Los suelos inceptisoles son un grupo de suelos muy heterogéneo. Muchas especies crecen adecuadamente en este suelo (Alvarado y Raigosa, 2012).

3.4.2 Muestreo de suelos

Realizar un muestreo de suelos apropiado es muy importante dado que este puede inducir a un error de 75-100% en los datos obtenidos si este se establece erróneamente (Henríquez y Cabalceta, 2012). Este mismo autor establece una serie de factores importantes para realizar el muestreo de fertilidad, entre los que están la localización del muestreo y las unidades de muestreo, la profundidad del muestreo, el número de muestras por finca el cual depende del número de unidades de muestreo, el número de submuestras por muestra (al menos 20), el tamaño de las unidades de muestreo (20 ha máximo), la época de muestreo y la periodicidad del muestreo.

Existen dos tipos de muestreo: al azar y sistemático. El muestreo sistemático consiste en puntos previamente establecidos y es utilizado para monitorear prácticas de fertilización y encalado. Las submuestras se acumulan en un balde para formar la muestra compuesta, se homogenizan y se dividen en 4. Dos de estas se desechan y las dos restantes se homogenizan. Si son más de 500g se repite la división (Henríquez y Cabalceta, 2012).

Según Henríquez y Cabalceta, 2012, se debe evitar mezclar muestras de diferentes profundidades o unidades de muestreo, muestrear en suelos con menos de un mes de fertilizados, muestrear pequeñas áreas no representativas y muestrear cerca de borde o río.

3.4.3 Propiedades del suelo

3.4.3.1 *Materia orgánica*

La materia orgánica está formada por restos de plantas, macroorganismos y microorganismos que están sobre o en el suelo en estado de descomposición. Cuando este material se descompone completamente se llama humus y es color café, casi negro, muy absorbente el cual mejora la fertilidad ya que tiene fósforo, nitrógeno y azufre. La materia orgánica es fuente de nutrientes e influye sobre una serie de propiedades como la estructura, la porosidad, la retención del agua, la retención de cationes intercambiables, la población de microorganismos y la fijación de fósforo. La materia orgánica necesaria para conservar la fertilidad de suelo y mejorar las características físicas y químicas; además, los microorganismos convierten el material en compuestos asimilables por las plantas.

Entre las características del humus se pueden mencionar que este 1) mejora la fertilidad del suelo ya que aumenta la capacidad para retener e intercambiar los nutrientes, 2) disminuye la lixiviación, 3) es una reserva de nutrientes para las plantas, 4) hace al suelo menos propenso a cambiar características químicas como el pH, 5) es reservorio de agua, 6) aumenta la capacidad de retención de humedad, 7) optimiza las condiciones físicas, 8) mejora la porosidad y la aireación, 9) favorece la actividad microbiológica al ser un medio para ellos, y 10) evita que se pierdan elementos como el hierro, el magnesio y el manganeso.

3.4.3.2 *Infiltración*

El movimiento de agua en el suelo se da cuando el equilibrio se rompe y se generan diferencias de potencial total en diferentes puntos. El movimiento se da desde donde el potencial es menor (suelo más húmedo) hacia donde hay un potencial mayor (suelo más seco). Cuando el potencial es el mismo en todo el suelo, este se encuentra en equilibrio y no hay movimiento. El movimiento de agua puede ser de forma líquida o de vapor, dependiendo del contenido de humedad que presente el suelo. La infiltración es una propiedad que mide la velocidad en la que el agua entra al suelo, o pasa del exterior al interior del suelo. Es un componente clave para cuando hay que realizar un sistema de riego. Algunos de los factores que afectan la infiltración son el contenido de humedad al momento de realizar la medición (a mayor contenido de humedad, menor velocidad de infiltración), la permeabilidad del suelo que facilita (aumenta) o dificulta (disminuye) el movimiento del agua y la cantidad y tipo de coloides: a mayores coloides expandibles, al aumentar la humedad en el suelo, el tamaño de los poros se reduce, disminuyendo la velocidad de infiltración (Jaramillo, 2014). Peña (2017) indica que, a una menor densidad del suelo, la infiltración en el sitio va a ser mayor.

3.4.3.3 Densidad aparente

La densidad del suelo es una variable que está estrechamente relacionada con la textura y la estructura del mismo (Peña, 2017). Esto significa que, si un suelo es arenoso, este tendría una menor densidad que un suelo arcilloso. La densidad aparente es la relación entre la masa de suelo y su volumen total. Esta se calcula teniendo en cuenta el espacio utilizado por los poros al momento de cuantificar el volumen de la muestra y depende de la organización de las partículas sólidas del suelo. La densidad aparente se ve afectada principalmente por la materia orgánica, la humedad y el grado de compactación. (Jaramillo, 2014).

$$\text{Densidad aparente } \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{\text{masa del suelo (g)}}{\text{volumen conocido (cm}^3\text{)}}$$

Los suelos ultisoles presentan una densidad aparente mayor a 1.200 kg/m³ en el horizonte superficial. Una densidad aparente mayor a 1.800kg/m³ indica compactación lo cual representa un problema mecánico de penetración de raíces y una interrupción del movimiento del agua y gases. Prácticas como arar, rastrear y subsolar reducen la densidad aparente (Henríquez y Cabalceta, 2012).

Jaramillo (2014) establece que la importancia de la densidad aparente es que esta ayuda a detectar capas u horizontes compactados o con alguna limitante física que pueda afectar el desarrollo de las raíces. A partir de ella, se puede calcular la porosidad total del suelo y estimar el grado de deterioro que presenta dicho suelo. Un alto porcentaje de materia orgánica reduce el valor de densidad aparente ya que los componentes orgánicos son menos densos que los minerales (Henríquez y Cabalceta, 2012).

3.4.3.4 *Textura*

La textura se determina definiendo los porcentajes de arcilla, limo y arena presentes en el suelo. La arcilla corresponde a partículas con un diámetro menor al 0,002 mm, los limos tienen diámetros entre 0,05 y 0,002 mm, las arenas tienen diámetros entre 0,05 y 2,00 mm y las gravas presentan diámetros mayores a 2,00 mm (Jaramillo 2014). Utilizando un triángulo de clases texturales se determina la clase textural del suelo basándose en los porcentajes de las diferentes partículas antes mencionadas. La partícula que domina en porcentaje va de primero en el nombre de la clase textural. En un suelo franco ninguna de las partículas domina en porcentaje sobre las otras (Jaramillo, 2014). Esta propiedad no cambia mucho a lo largo del tiempo excepto cuando se encuentra bajo elementos climáticos drásticos o un mal manejo (Peña, 2017). Un porcentaje de arcilla alto, bajo un uso de suelo de laboreo intenso puede representar una degradación física del suelo, aumentando así su susceptibilidad a la erosión (Jaramillo, 2014).

La metodología establecida por Bouyoucos (1962) permite obtener el porcentaje de arena, limo y arcilla al eliminar fragmentos mayores a 2 mm y materia orgánica. Posteriormente, se puede utilizar un hidrómetro como método para medir la cantidad de partículas suspendidas en el agua a lo largo de tiempos determinados.

3.4.3.5 *Nutrición*

Los elementos esenciales que los árboles requieren en grandes cantidades son N-P-K; como elementos secundarios: Ca, Mg y S; y como micronutrientes más importantes: Fe, Cu, Cl, Mn, B, Zn y Mo (Alvarado y Raigosa, 2012).

La acidez del suelo se determina utilizando cuatro parámetros: pH, la acidez intercambiable, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) y el porcentaje de saturación de acidez (%SA). Determinar esto es importante para saber si algún sitio requiere de alguna enmienda para neutralizar el suelo ya que la acidez repercute en el funcionamiento integral de los suelos y, por ende, en el desarrollo de las plantas (Méndez y Bertsch, 2012).

La acidificación ocasionada por el aumento de H^+ reduce la disponibilidad de nutrimentos del suelo (P, K, Ca, y Mg) y provoca el movimiento de elementos tóxicos como el aluminio y metales pesados. Además, afecta las propiedades biológicas, reduciendo la diversidad, afectando la fijación de nitrógeno, y el desarrollo vegetal general. Altos contenidos de Al inhiben la absorción de Ca y Mg y altas concentraciones de Al y Fe reducen la disponibilidad de P para las plantas, ya que está en el suelo pero con fuerzas entre moléculas que las plantas no pueden romper para absorberlo (Alvarado y Raigosa, 2012).

El fósforo es un nutriente muy importante por ser un componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP, NAD, y NADP. Por lo tanto, es un nutriente muy importante en los procesos de fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos. El fósforo favorece el crecimiento de raíces, la floración y la formación de semillas. El Ca y Mg son de requerimiento intermedio para la planta; sin embargo, el Ca es importante en el crecimiento de raíces, el desarrollo de la membrana celular, favorece el crecimiento y germinación del polen y activa enzimas importantes para la división celular. Su deficiencia afecta al crecimiento del árbol y del sistema radicular. El Mg es componente de la clorofila, estructura encargada de capturar la energía del sol, crucial para el proceso de fotosíntesis (Alvarado y Raigosa, 2012).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio de Estudio

La investigación se desarrolló en los cantones de Osa (8.5609°N, 83.4644°W) y Golfito (8.6033°N 83.1134°O), Puntarenas, Costa Rica. El área de estudio presenta una precipitación media anual entre 3000 y 3700 mm/año, una temperatura media anual entre 23 y 27°C, con un promedio de 2 a 3 meses secos por año (Solano y Villalobos, s.f.).

Se evaluaron las parcelas agroforestales establecidas por el Laboratorio Experimental de Palma Africana (LAPA) que forma parte de la Iniciativa Osa Golfito (INOGO). LAPA tiene como objetivo investigar la diversificación agroforestal del cultivo de palma africana y la producción de epífitas en los troncos de las palmeras (INOGO, s.f.). En total se evaluaron 5 de los 8 sitios experimentales ubicados en las localidades de La Palma, Rancho Quemado, Chacarita, Piedras Blancas y La Guaria (figura 1).

Según el mapa de distribución geográfica de las zonas de vida de Holdridge en Costa Rica del 2005, las parcelas evaluadas se encuentran dentro de la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Tropical y Bosque Muy Húmedo Premontano (Quesada, 2007).

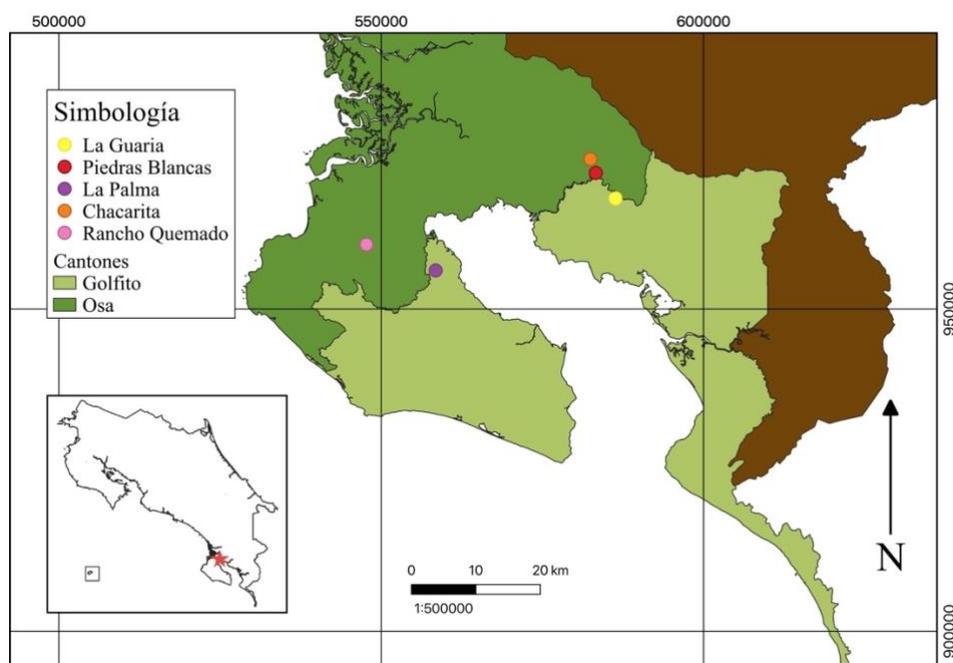


Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales del proyecto LAPA en Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

4.2 Parcelas experimentales

En cada localidad, LAPA estableció una parcela experimental de una hectárea que a su vez se dividió en dos subparcelas aledañas de media hectárea. La primera sub parcela se mantuvo como testigo con monocultivo de *E. guineensis* plantada en tresbolillo, con un distanciamiento entre plantas de 9 x 9 m (142 ind/ha). En la otra subparcela se estableció el tratamiento que consta de una combinación de palma africana a 9 x 12 m (92ind/ha), *Musa* sp. (banano, plátano o cuadrado) con 976 ind/ha, *T. cacao* (cacao) con 632 ind/ha y *C. megalantha* (laurel) a una densidad de 42 ind/ha (figura 2).

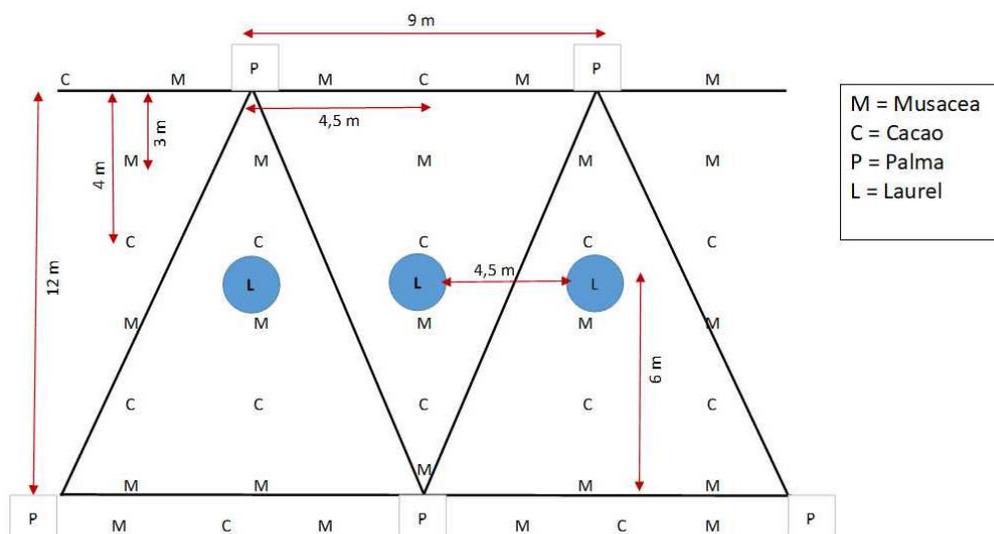


Figura 2. Distanciamiento citado y establecido por el proyecto LAPA entre individuos en las parcelas experimentales, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica.

En el cuadro 1 se puede observar el año, época y mes de establecimiento, además del uso de suelo anterior de cada parcela. La parcela de mayor edad es la de Piedras Blancas y la más joven la establecida en Chacarita. Es importante mencionar que estos establecimientos fueron solo de los individuos de palma, cacao y banano/plátano/cuadrado. Los individuos de laurel fueron establecidos todos en la época lluviosa del 2017.

Cuadro 1. Año, época y mes de establecimiento y uso de suelo anterior de cada parcela, Puntarenas, Costa Rica.

Sitio	Año	Época	Meses	Uso de Suelo Anterior
Rancho Quemado	2016	Lluviosa	agosto-octubre	Tacotal / agricultura familiar.
La Palma	2016	Lluviosa	agosto-octubre	Tacotal / cultivos varios
Chacarita	2017	Seca	-	Plantación de palma africana
Piedras Blancas	2016	Seca	abril-mayo	Pasto para ganado
La Guaria	2016	Lluviosa	agosto-octubre	Arroz y ganado

4.3 Diseño Agroforestal (SAF)

El presente estudio se enfocó solamente en los cultivos de palma, laurel y cacao, ya que el banano/plátano/cuadrado estaba en época de transición al momento de realizar las mediciones

El diseño agroforestal se evaluó utilizando las siguientes variables:

1. Orientación del establecimiento de la plantación en relación con los puntos cardinales.
2. Distanciamiento promedio entre los distintos cultivos: se verificó si los distanciamientos citados en el diseño corresponden con los encontrados en el campo.

Palma: se midió el distanciamiento entre cada individuo de palma a lo largo de cada fila y tres veces la distancia entre cada dos filas como se observa en la figura 3.

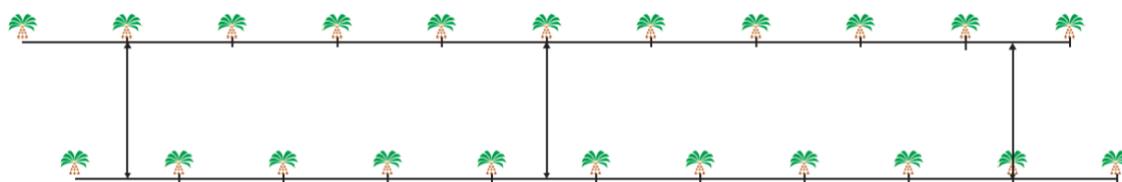


Figura 3. Metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de Palma en cada subparcela del SAF.

Cacao: se realizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio con una intensidad del 5% del total de cacaos lo que equivale alrededor de 15 individuos de cacao. Para cada uno de los 15 individuos de cacao, se midió la distancia entre 5 individuos de cacao a lo largo de la fila y entre hileras, como se observa en la figura 4.

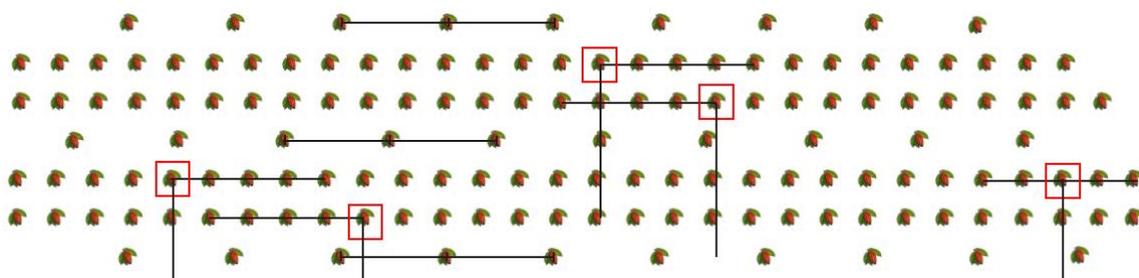


Figura 4. Metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de cacao de cada subparcela del SAF.

Laurel: Se midió la distancia entre cada individuo de laurel a lo largo de cada fila y tres veces entre cada fila de palma y laurel, como se observa en la figura 5.



Figura 5. Ejemplo de la metodología empleada para la medición de distanciamiento entre individuos de Laurel de cada subparcela del SAF.

3. Cantidad de especies que componen el sistema agroforestal (SAF).
4. Abundancia de las especies encontradas: Se realizó un recuento del total de los individuos, vivos o muertos, de cada especie presentes en las parcelas.
5. Porcentaje de cobertura existente: se evaluó la sombra generada por el SAF, utilizando el método del lente de pez para capturar la fotografía a un metro del suelo y utilizando el programa digital Gap Light Analyzer (figura 6) para el análisis de cobertura. En cada subparcela se tomaron 10 fotografías siguiendo un patrón de zigzag que cubrió toda el área, excluyendo los bordes. Posteriormente se calculó el porcentaje de cobertura mediante la fórmula:

$$\% \text{ cobertura} = 100 - \% \text{ luz}$$

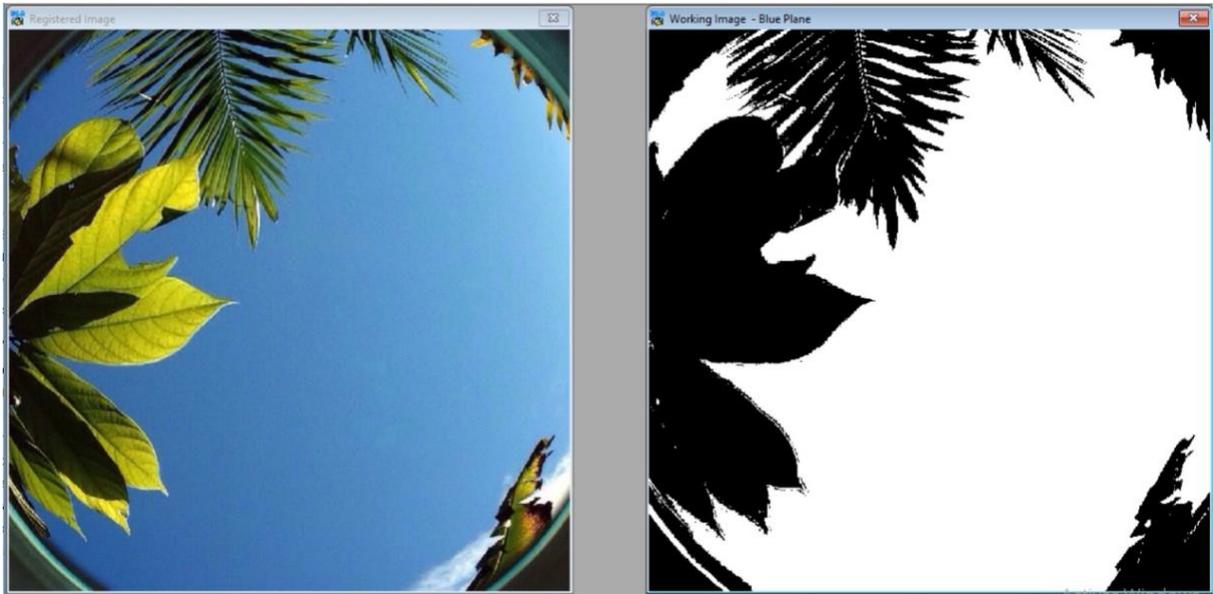


Figura 6. Proceso para obtener el porcentaje de cobertura utilizando el programa Gap Light Analyzer. Fotografía tomada en la parcela diversificada de Piedras Blancas, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

6. Altura total de los individuos: Se realizó un censo de la altura total de todos los individuos de palma, laurel y el mismo muestreo mencionado en el punto anterior para cacao, utilizando un hipsómetro o una cinta métrica. Con esta información se generó la estructura vertical de las distintas subparcelas.
7. Productividad del laurel: Se realizó un censo de los individuos de laurel que se encontraron en cada subparcela y se midió el diámetro a 1,3 metros del suelo (d), su altura total y su estado de calidad según lo establecido por Murillo y Camacho (1997) (1 - excelente o muy buena, 2 - buena o aceptable y 3 – mala). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente una prueba de comparación de medias Tukey-Kramer (Tukey, 1953) (Kramer, 1956) para determinar si existen diferencias significativas entre las parcelas para las variables evaluadas. Los demás cultivos no estaban en edad productiva o no se han recopilado datos de la producción agrícola.

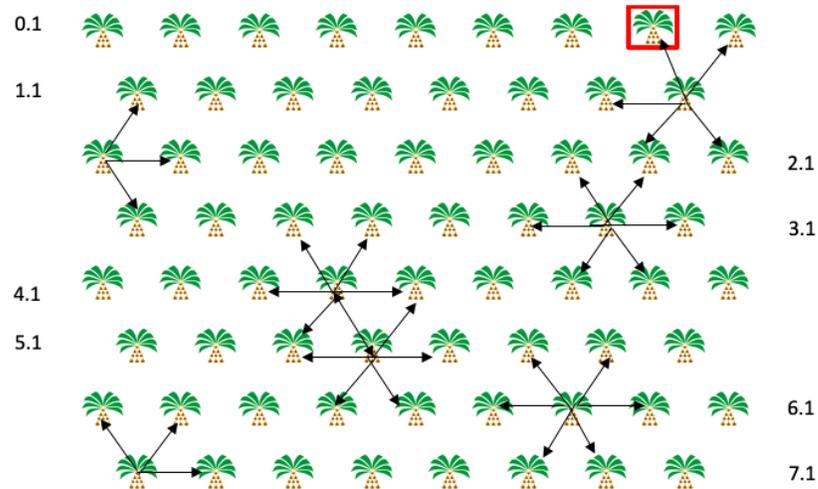
Análisis FODA: Se realizó un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el diseño agroforestal establecido por el proyecto LAPA a partir de la información recopilada en la visita a campo y conversando con los locales con el fin de identificar posibles mejoras que se pueden implementar para incentivar las fortalezas y oportunidades.

4.4 Monocultivo (M)

Cada individuo de palma se ubicó espacialmente mediante un punto GPS.

En la plantación de monocultivo se evaluaron las mismas variables siguiendo la misma metodología que en el SAF excepto para el distanciamiento y la altura promedio las cuales se determinaron de la siguiente manera:

1. Distanciamiento promedio entre individuos: se verificó si los distanciamientos citados en el diseño corresponden con los encontrados en el campo. Para esto, se realizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio de una intensidad de muestreo del 10%, lo cual equivale a 7 palmas de un promedio total entre 68 y 70 palmas contadas en sitio. Estas 7 palmas se utilizaron como la palma central, y se midieron las distancias con sus vecinos, como se observa en la figura 7.



El cuadrado rojo indica el arranque para el muestreo.

Figura 7. Muestreo sistemático con arranque aleatorio realizado en las subparcelas de monocultivo de *E. guineensis*; ejemplo de la subparcela en Piedras Blancas, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

2. Altura promedio de los individuos: utilizando un hipsómetro, se midió la altura de los individuos de palma. Para seleccionar los individuos a los cuales se le mediría la altura, se realizó el mismo muestreo sistemático con arranque aleatorio de una intensidad de muestreo del 10%, lo cual equivale a 7 Palmas de un promedio total entre 68 y 70 palmas contadas en cada sitio. Estas 7 Palmas se utilizaron como las palmas centrales, y se midió la altura total de la palma central y sus vecinos, como se observa en la figura 7. El porcentaje total de palmas medidas fue alrededor del 50%, pero este porcentaje puede presentar variaciones en cada sitio ya que depende del número de vecinos que presente cada palma central.

4.5 Caracterización de las propiedades del suelo

4.5.1 Propiedades químicas

Toma de muestras: se generó una muestra compuesta a dos profundidades de muestreo en cada subparcela de media hectárea. Esta se generó a partir de 10 submuestras que se recolectaron de forma sistemática siguiendo un patrón de zigzag. Se tomaron puntos de GPS en los sitios donde las muestras fueron tomadas, con el fin de que se puedan tomar muestras del mismo sitio en análisis futuros. La recolección sistemática de las muestras garantiza cubrir de manera más homogénea todo el área.

En total se recolectaron 20 submuestras dentro de la subparcela con el fin de reducir la variabilidad de la muestra compuesta. De estas, 10 fueron recolectadas a una profundidad de 0 – 20 cm y 10 a 20 – 40 cm de profundidad, utilizando un barreno. Las 10 muestras de cada profundidad se mezclaron en un balde para luego extraer una cuarta parte que sería la utilizada para realizar el análisis en laboratorio.

Análisis: las muestras fueron llevadas al laboratorio del Centro de Investigación Agronómica (CIA) para realizar el análisis químico completo KCl-OLSEN+CN, además de materia orgánica que se determinó a partir de la muestra compuesta generada para el análisis químico.

4.5.2 Propiedades físicas

Toma de muestras: las muestras de suelo se tomaron en 3 puntos diferentes de la media hectárea siguiendo el mismo muestreo sistemático en zigzag. En cada punto se realizaron 3 repeticiones para cada profundidad (0 – 20 cm y 20 – 40 cm). Para la toma de dichas muestras se utilizaron cilindros de volumen conocido y se empacaron y etiquetaron de manera clara para evitar confusión a la hora de ser enviadas al laboratorio para su respectivo análisis.

Análisis: las muestras de suelo recolectadas fueron utilizadas para determinar densidad aparente y porosidad. Para determinar la densidad aparente se utilizó el método del cilindro de volumen conocido. Al tener cilindros de volumen conocido y la muestra secada en horno por 24 horas a 110°C, se calcula la densidad aparente utilizando la relación matemática: $Da = Pss/Vc$, donde Da es el valor de densidad aparente (Mg/m³), Pss es el peso seco y Vt es el volumen del cilindro utilizado (Jaramillo, 2014). La porosidad se determinó utilizando un valor de literatura definido para la densidad real de 2.65 y la relación matemática: $porosidad = (DR-DA)/DR*100$ (Thompson y Troeh, 2002). A partir de las muestras generadas para el análisis químico se realizó el análisis para determinar textura utilizando la metodología Bouyoucos.

Infiltración: utilizando un infiltrómetro de doble anillo se determinó la tasa de infiltración en 3 puntos diferentes dentro de cada media hectárea siguiendo el mismo muestreo sistemático en zigzag. Se realizó la prueba durante una hora siguiendo la toma de datos que se presenta en el cuadro 2. En algunos casos se tuvo que tomar registros por menos tiempo por falta de agua disponible para realizar la prueba y completar la hora.

Cuadro 2. Tiempos y repeticiones aplicados para realizar la prueba de infiltración.

Tiempo (min)	Repeticiones	Tiempo acumulado (min)
1	4	4
2	3	10
5	3	25
10	4	65

4.5.3 Guía de mejoras y recomendaciones

A partir de los resultados del análisis de cobertura y suelo y lo observado en campo, se generó una guía de mejoras y recomendaciones para aumentar la productividad y crecimiento de las especies dentro del sistema agroforestal.

5 RESULTADOS

5.1 Cobertura

5.1.1 Diseño Agroforestal

Una característica encontrada es que no todas las parcelas fueron establecidas con la misma orientación cardinal, afectando la cantidad de energía solar aprovechada por los individuos. Esta absorción va a ser mayor en las parcelas donde las filas fueron establecidas de norte a sur como es el caso de los sitios La Guaria y Piedras Blancas y las subparcelas con el sistema agroforestal en Rancho Quemado y La Palma (figura 8).

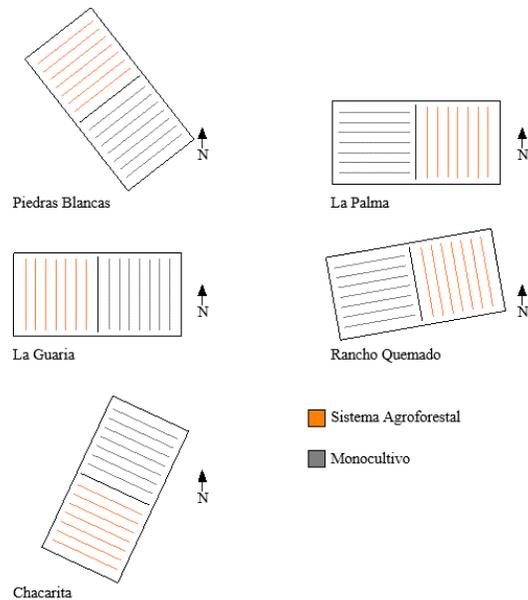


Figura 8. Orientación de establecimiento de las cinco parcelas establecidas por el proyecto LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

En las figuras 9 y 10 se observa el croquis final de ambos sistemas de producción, aplicando los distanciamientos encontrados (cuadro 3). Luego de realizadas las mediciones para determinar el distanciamiento real versus el distanciamiento teórico en las parcelas del proyecto LAPA, se encontraron diferencias para algunos de los cultivos al igual que entre parcelas.



Figura 9. Distanciamiento real promedio determinado para la subparcela con el monocultivo de las parcelas establecidas por LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Como se observa en el cuadro 4, en el sistema agroforestal se encontró que, para el cultivo de palma y los individuos de cacao presentes en las filas de palma, el distanciamiento real si concuerda con el valor teórico. Para el cultivo de cacao, se encontró una diferencia de metro y medio a nivel de filas entre lo real y lo teórico, aumentando la densidad del cacao y acercando el distanciamiento de 3 x 4 m a uno más tradicional utilizado en sistemas agroforestales similares, que sería de 3 x 3 m (Somarriba, 1994). El cultivo que presentó mayor diferencia entre lo real y lo teórico fue el del Laurel, donde se redujo significativamente la densidad de siembra utilizando un distanciamiento de 18 x 12 m en vez de 4,5 x 12 m.

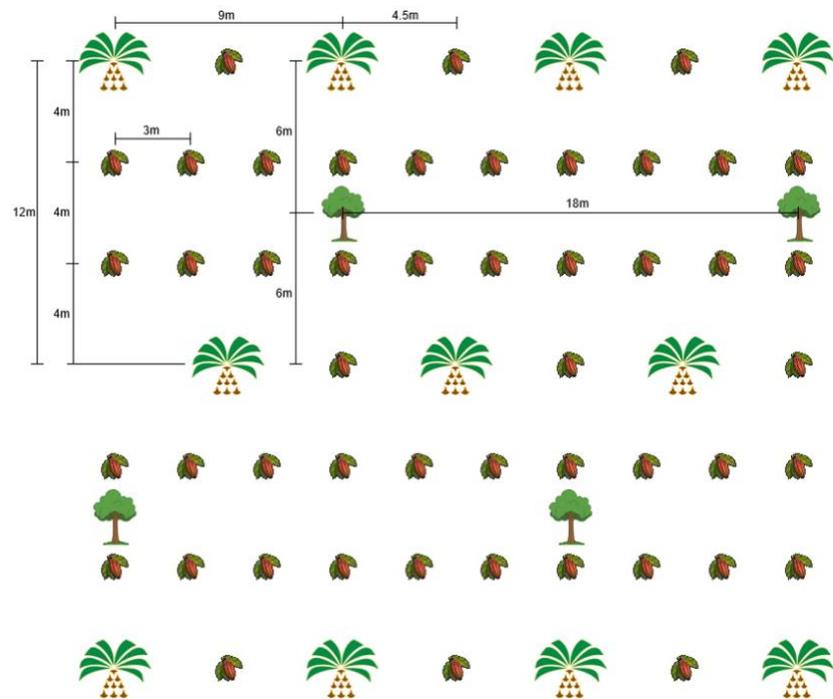


Figura 10. Distanciamiento real promedio determinado para la subparcela con el SAF de las parcelas establecidas por LAPA en la región de Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

En el monocultivo se encontró un aumento en el distanciamiento promedio entre los valores reales versus los teóricos. Esto se debe a que en la parcela de Piedras Blancas se estableció el monocultivo a un distanciamiento de 9 x 12 m mientras que en las otras cuatro parcelas si se utilizaron valores cercanos a los teóricos de 9 x 9 m. En este mismo sitio el distanciamiento del cacao en el SAF también presentó un mayor distanciamiento que el valor teórico reportado, habiendo sido este establecido a 4 x 4 m aproximadamente versus 3 x 4 m como fue en los demás sitios.

Cuadro 3. Distanciamientos teóricos y reales encontrados en las parcelas del proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

5.1.2 Caracterización de la cobertura por sitio.

En la parcela establecida en Piedras Blancas, la subparcela del SAF presenta una característica particular que por la metodología de recolección de los datos no se refleja fácilmente en los resultados; la mitad de esta subparcela presenta un muy buen crecimiento de todos los cultivos, mientras que la otra mitad está con un crecimiento rezagado, donde además se observó una mayor pedregosidad.

Un 33.34% de la totalidad de individuos de laurel presentó una calidad general de 2 o 3 (cuadro 4) y los principales defectos encontrados fueron torceduras y un individuo bifurcado. En la subparcela del monocultivo hay individuos de *Samanea saman* y *Ochroma pyramidale* adultos que le generan mucha sombra a una parte de esta subparcela.

Cuadro 4. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Piedras Blancas del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF			Monocultivo
	Laurel	Palma	Cacao	Palma
Número total de individuos (ind/ha)	48	112	660	130
Mortalidad (ind/ha)	0 (0%)	0 (0%)	42 (6,36%)	6 (4,41%)
Diámetro (cm)	3,98 ±2,52	ND	ND	ND
Altura (m)	3,14 ±2,50	3,95 ±0,67	2,48 ±0,64	3,59 ±0,71
Estado (ind/ha)				
1	32 (66,67%)	ND	ND	ND
2	8 (16,67%)	ND	ND	ND
3	8 (16,67%)	ND	ND	ND
Porcentaje de Cobertura (%)	3,84 ±6,55			2,77 ±8,57

ND. No determinado

El sitio de La Guaria presenta una situación muy particular. Las características de crecimiento del laurel no son buenas ya que presenta un porcentaje de mortalidad del 33,33%, un diámetro (d) promedio de 0.61 cm y una altura promedio de 1,39 m. Los bajos valores de crecimiento se ven reflejados en la calidad de los mismo, donde solo un 37,50% de los árboles presentaron calidad 1, mientras que el restante 62,50% se distribuyó en las categorías 2 y 3. Algunos de los problemas encontrados fueron bifurcaciones desde muy baja altura (10 cm), pérdida de eje central por muerte o mal manejo, torceduras desde los 20 cm de altura y mala ejecución de podas.

Cuadro 5. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de La Guaria del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF			Monocultivo
	Laurel	Palma	Cacao	Palma
Número total de individuos (ind/ha)	48	102	574	140
Mortalidad (ind/ha)	16 (33,33%)	0 (0%)	28 (4,88%)	2 (1,41%)
Diámetro (cm)	0,61 ±0,89	ND	ND	ND
Altura (m)	1,39 ±0,72	3,29 ±0,67	1,42 ±0,67	3,26 ±0,76
Calidad (ind/ha)				
1	12 (37,50%)	ND	ND	ND
2	4 (12,50%)	ND	ND	ND
3	16 (50,00%)	ND	ND	ND
Porcentaje de Cobertura (%)	2,10 ± 3,43			0,00 ±0,00

ND. No determinado

La parcela establecida en Rancho Quemado pertenece a una familia que tiene un proyecto de ecoturismo rural, y funciona como una de las atracciones que los propietarios enseñan a los turistas. Por el alto valor que representa esta parcela para el propietario, él le da un mantenimiento constante, principalmente a nivel de control de malezas. En esta parcela se encuentran individuos dispersos de otros árboles maderables y frutales, como *Cordia alliodora* (laurel), *Citrus* spp. (cítricos) y *Persea americana* (aguacate). En esta parcela, la mortalidad de los individuos es prácticamente nula (cuadro 6).

Cuadro 6. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Rancho Quemado del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF			Monocultivo
	Laurel	Palma	Cacao	Palma
Número total de individuos (ind/ha)	44	104	624	136
Mortalidad (ind/ha)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	10 (1,60%)	0 (0,00%)
Diámetro (cm)	3,87 ±1,29	ND	ND	ND
Altura (m)	3,30 ±0,95	5,05 ±0,57	1,40 ±0,64	4,91 ±1,04
Estado (ind/ha)				
1	22 (50%)	ND	ND	ND
2	14 (31,82%)	ND	ND	ND
3	8 (18,18%)	ND	ND	ND
Porcentaje de Cobertura (%)		1,22 ±3,29		6,20 ±14,32

ND. No determinado

En la parcela de La Palma se encontró un individuo de laurel afectado por alguna enfermedad o insecto que podría ser *Antodice cretata* que afecta a *C. alliodora* (Arguedas & Rodríguez, 2016). El 80,00% de los individuos de laurel presentan una calidad 1 o 2 (cuadro 7), lo cual sugiere que el manejo de la especie o el mantenimiento general de la parcela ha sido bueno para su desarrollo.

Cuadro 7. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de La Palma del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF			Monocultivo
	Laurel	Palma	Cacao	Palma
Número total de individuos (ind/ha)	50	104	620	136
Mortalidad (ind/ha)	10 (20,00%)	0 (0,00%)	10 (1,61%)	2 (1,45%)
Diámetro (cm)	3,15 ±1,55	ND	ND	ND
Altura (m)	2,67 ±0,84	5,25 ±0,59	1,34 ±0,47	5,13 ±0,66
Estado (ind/ha)				
1	26 (65,00%)	ND	ND	ND
2	6 (15,00%)	ND	ND	ND
3	8 (20,00%)	ND	ND	ND
Porcentaje de Cobertura (%)		12,81 ±27,07		14,71 ±15,61

ND. No determinado

La parcela de Chacarita se encuentra aledaña a un río importante, y a través de toda la parcela se encuentran muchas piedras de diversos tamaños. Los cultivos que presentan mortalidad son el laurel con un 9,52% y el cacao con un 18,61% (figura 8). El segundo es el más alto en comparación con las demás parcelas. En este sitio se encontró una característica particular en la subparcela del SAF, donde se ubicaron la mayoría de individuos muertos, rezagados o parcialmente secos de laurel y cacao dentro de un área en el centro de esta subparcela. Se determinó que el problema en esa sección es posiblemente que el suelo es mucho más arenoso que en el resto del área, por lo que, en la época seca, los cultivos sufren por poca humedad en el suelo disponible para su absorción. Esto se confirmó posteriormente con el análisis de textura del suelo en este sitio (cuadro 14).

Se presentó un 42,11% de individuos de laurel con calidad mala, mientras que apenas un 26,31% presentaron una calidad excelente o muy buena. Los individuos con calidad 3 presentaron en su mayoría muerte o sequedad parcial que se extendía más allá del follaje, y por esta misma razón o por manejo inapropiado, se encontró pérdida del eje central en un 31,58% de los individuos de esta especie.

El porcentaje de cobertura registrado para la subparcela del monocultivo corresponde completamente a cobertura generada por palmas muertas remanentes de plantaciones pasadas o árboles frutales que se encontraron dispersos por la media hectárea. Con una altura promedio de la palma de 2,72 m bajo el distanciamiento de establecimiento, la cámara no captó ninguna cobertura de las palmas actuales.

Cuadro 8. Caracterización de la cobertura presente en la parcela de Chacarita del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF			Monocultivo
	Laurel	Palma	Cacao	Palma
Número total de individuos (ind/ha)	42	100	548	104
Mortalidad (ind/ha)	4 (9,52%)	0 (0,00%)	102 (18,61%)	0 (0,00%)
Diámetro (cm)	2,79 ±2,30	ND	ND	ND
Altura (m)	2,71 ±0,93	3,15 ±0,67	2,08 ±0,57	2,72 ±0,63
Calidad (ind/ha)				
1	10 (26,31%)	ND	ND	ND
2	12 (31,58%)	ND	ND	ND
3	16 (42,11%)	ND	ND	ND
Porcentaje de Cobertura (%)		0,17 ±0,29		2,20 ±4,55

ND. No determinado

5.1.3 Estructura vertical y porcentaje de cobertura.

En todos los sitios de estudio la altura promedio de la palma fue mayor en la subparcela del SAF que en el monocultivo. No se observó una relación entre altura promedio de las especies y el porcentaje de cobertura encontrado (figura 11); sin embargo, los porcentajes de cobertura fueron bajos para la edad de estas plantaciones ya que con 3 años de haber sido establecidas aun no generan un porcentaje de cobertura ideal para el desarrollo temprano del cacao.

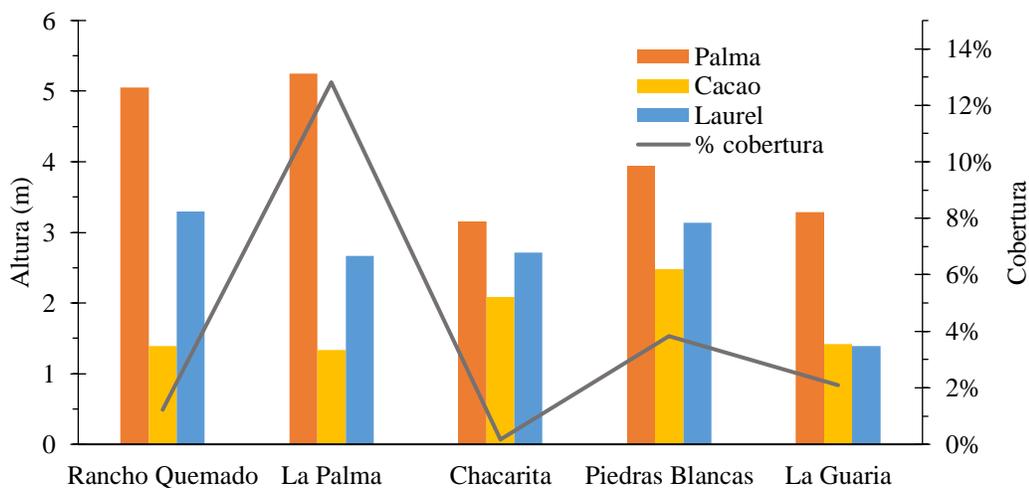


Figura 11. Gráfico de alturas de la palma, cacao y laurel y el porcentaje de cobertura generado por estos mismos cultivos en el sistema agroforestal de cada parcela del proyecto LAPA ubicado en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Al momento de tomar los datos de cobertura, la *Musa spp* se encontraba en etapa de ser replantada, por lo que no en todas las parcelas se registró el efecto de su sombra. En La Palma, el porcentaje de cobertura es alto en comparación con las restantes parcelas; sin embargo, su variabilidad (desviación estándar = 27,07%) y heterogeneidad son altas. En el SAF, este porcentaje de cobertura alto se debe a la presencia de árboles dispersos de medianas y grandes dimensiones. En La Guaria, el porcentaje de cobertura en la subparcela con el SAF presenta una desviación estándar de 3.43. En esta parcela, al momento de tomar los datos, los individuos de *Musa spp.* aun no habían sido eliminados para replantar, por lo que estos individuos pudieron haber generado mayor cobertura; sin embargo, su efecto en el porcentaje de cobertura no es notorio ya que sigue siendo bajo (cuadro 5). En la parcela de Piedras Blancas, por la condición antes mencionada, la subparcela del SAF presenta un bajo porcentaje de cobertura con una desviación estándar grande (cuadro 4). Esto se debe a que en la mitad de la subparcela que presenta mejor crecimiento, algunas de las copas del cacao han cerrado y los laureles han alcanzado hasta 5,50 metros de altura, creando un mayor porcentaje de cobertura.

5.1.4 Crecimiento de *Cordia megalantha*

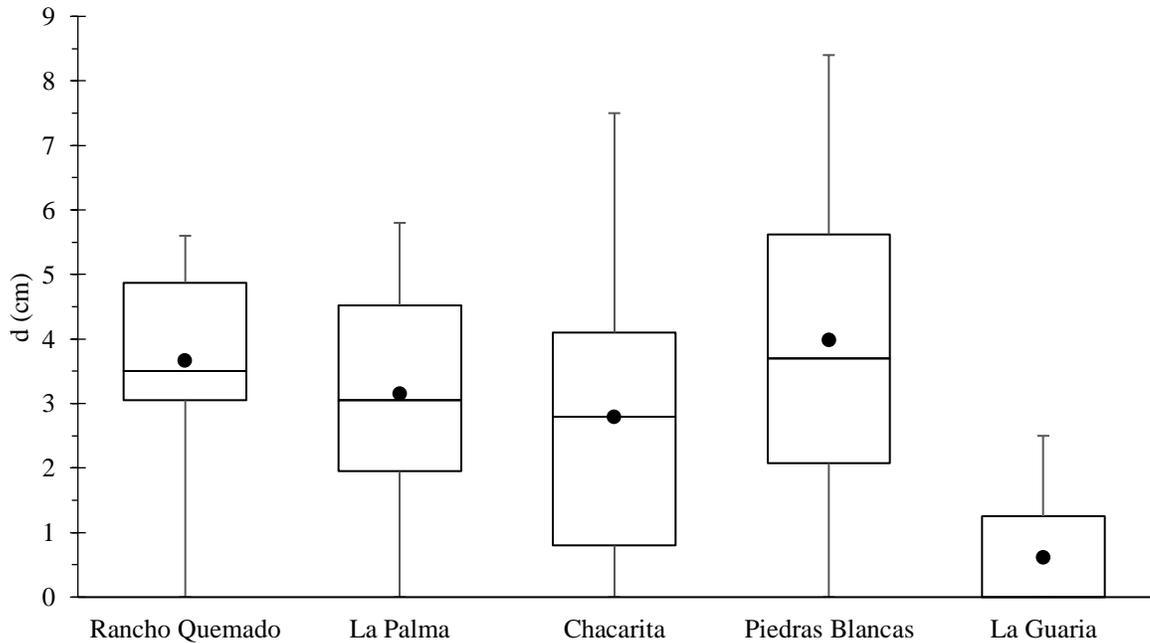


Figura 12. Gráfico de cajas del diámetro (d) de *C. megalantha* en cada parcela establecida por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Según se observa en la figura 12 en todas las parcelas hay por lo menos un individuo con diámetro (d) cero porque su altura aún no permite su medición. El individuo con menor valor de diámetro (0,30 cm) se encuentra en la parcela de La Guaria, y el de mayor valor (8,40 cm.) en Piedras Blancas. Tanto el rango total como el rango intercuartil más amplio lo presenta la parcela de Piedras Blancas, mientras que el más pequeño se encuentra en La Guaria. En las parcelas de Rancho Quemado y La Palma se presenta una asimetría estadística en los datos que indica que la mayoría (75%) se encuentran por encima de 3,05 cm y 1,95 cm, respectivamente. En Chacarita y La Guaria se observa una asimetría, con el 75% de los datos encontrándose por debajo de 4,10 cm y 1,25 cm respectivamente. En las parcelas de Rancho Quemado, La Palma, Chacarita y Piedras Blancas las medias y mediana son similares; sin embargo, el grado de dispersión de los datos es mayor en Chacarita y Piedras Blancas, mientras que la menor dispersión se encuentra en Rancho Quemado.

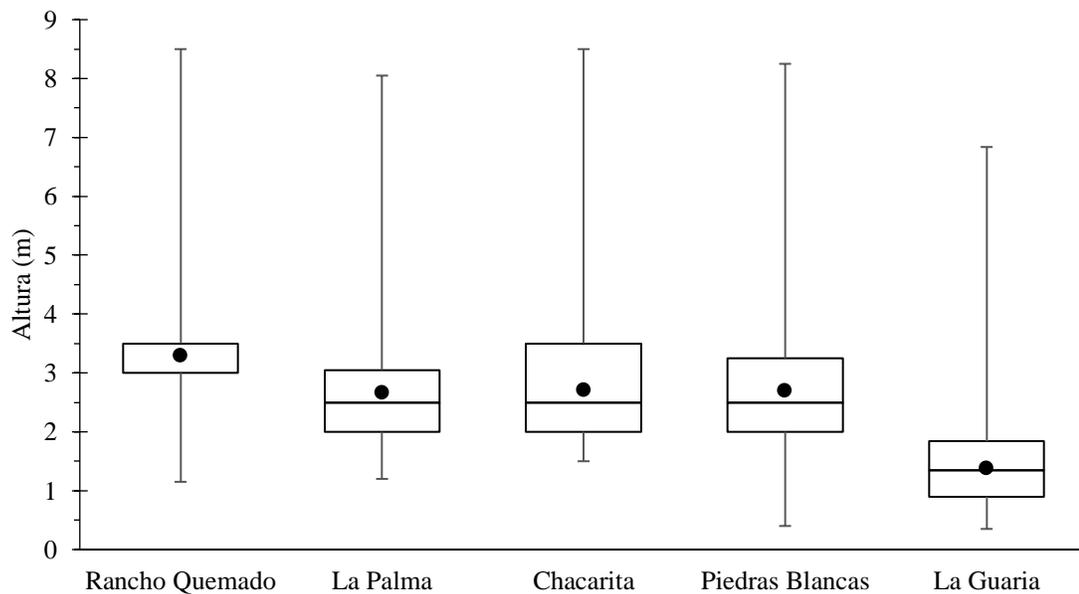


Figura 13. Gráfico de cajas de la altura del *C. megalantha* en cada parcela establecida por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

En la figura 13 se observa que las parcelas de Rancho Quemado y Piedras Blancas son las que presentan la mayor altura promedio (5,00 m), con desviaciones estándar pequeñas (cuadro 6 y 4). Sin embargo, la desviación estándar es mayor en la parcela de Piedras Blancas al igual que el coeficiente de variación que es de 40,27 en Piedras Blancas y 28,73 en Rancho Quemado. La parcela con el mayor rango es Piedras Blancas, mientras que el mayor rango intercuartil lo presenta Chacarita. Esto significa que estas dos parcelas son las que presentan mayor heterogeneidad de altura en los individuos de laurel. En las parcelas donde se encuentra un alto grado de asimetría es en La Palma, Chacarita y La Guaria, donde el 75% de los datos en los tres casos tienden hacia las menores alturas y solo 25% de los datos tienden a las alturas mayores registradas en estas parcelas.

Cuadro 9. Resultados de la Prueba Tukey-Kramer para diámetro (d) y altura (h) de *C. megalantha* en las parcelas establecidas por el proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Parcela	d	h
Rancho Quemado	3,66 ^a	3,30 ^a
La Palma	3,15 ^a	2,67 ^a
La Guaria	0,61 ^b	1,39 ^b
Piedras Blancas	3,98 ^a	2,70 ^a
Chacarita	3,08 ^a	2,71 ^a

Como se observa en el cuadro 9, luego de aplicado el análisis de varianzas donde se obtuvo que hay diferencias significativas tanto para diámetro (d) como para altura, se determinó que la parcela de La Guaria es la que presenta valores promedio estadísticamente diferentes a las demás cuatro parcelas.

5.1.5 Análisis FODA

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Diversificación de la cobertura vegetal productiva. b) Especies agrícolas utilizadas están bien posicionadas en el mercado (Sector Agroalimentario, 2015). c) Ingreso económico a corto (banano/plátano/cuadrado) mediano (palma y cacao) y largo plazo (laurel) para el productor. d) Una mayor diversificación promueve la biodiversidad de fauna. e) Se reduce la cantidad necesaria de agroquímicos y fertilizantes. f) El cacao, la palma y el laurel tienen una edad y ciclo productiva similar (20 años aproximadamente), facilitando la cosecha del maderable principalmente. g) Los productos adquieren un valor agregado por ser producidos en sistemas diversificados. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Investigación realizada por universidades nacionales e internacionales genera mayor confianza para la aceptación local b) Ministerio de Agricultura y Ganadería está promoviendo la producción de cacao en la zona. c) El cultivo del cacao se ha vuelto de interés nacional en el Decreto Ejecutivo 39230- C-MAG dese el 2015.
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Especie forestal sin amplio mercado nacional. b) Alta densidad de siembra de todos los individuos juntos. c) La utilización de dos especies altamente sensibles y dependientes de la luz – Laurel (Heliófita Durable) y Palma. d) Requiere un manejo complejo porque los diferentes cultivos tienen distintas necesidades de manejo. e) El cacao y la <i>Musa</i> spp. tienen requerimientos de manejo particularmente delicados y exigentes. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Mercado de la Palma Africana está sufriendo mucha inestabilidad económica a nivel global por el impacto ambiental que representa. b) Condiciones ambientales y climatológicas de la zona. c) Mercado de cacao muy limitado en la zona. d) Solo tres principales compradores de cacao: <ul style="list-style-type: none"> o Puerto Jiménez: a precios muy bajos. o Chacarita: solo de muy alta calidad. o Compradores desde Panamá: no exigen calidad.

Figura 14. Análisis FODA del diseño agroforestal del proyecto LAPA en la región Osa-Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

5.2 Propiedades del suelo

5.2.1 Propiedades químicas y físicas por sitio

Cinco de los seis sitios evaluados presentaron un porcentaje de saturación de acidez (SA %) óptimo con valores menores a 1,70% siendo este el valor encontrado en la parcela de La Palma en los primeros 20 cm de la subparcela del monocultivo. Entre más alto sea el SA %, mayor es el valor de iones ácidos con relación a los cationes intercambiables y esto no es deseable (Méndez y Bertsch, 2012).

Las parcelas de La Guaria, Rancho Quemado y La Palma tienen valores de potasio por debajo del valor crítico establecido por Méndez y Bertsch (2012) afectando así las relaciones Ca/K y Mg/K y llevándolas a niveles no óptimas. A parte de esto, el calcio y el magnesio están en niveles óptimos, altos o medios para las cinco parcelas. La Palma mostró los mejores valores de relación en ambas subparcelas y ambas profundidades.

Según Méndez y Bertsch (2012), el fósforo adquiere máxima solubilidad cuando el pH es neutro y en las cinco parcelas hay deficiencia de fósforo. Si a esto se le agrega la solubilidad limitada por el pH, las parcelas de Piedras Blancas y Rancho Quemado estarían con una mayor dificultad de absorción del fósforo.

El hierro está en niveles óptimos en las parcelas de Piedras Blancas y La Guaria, mientras que en Rancho Quemado, La Palma y Chacarita tiende a estar alto. Esto puede ser un problema ya que el hierro puede ser toxico en altas concentraciones. El manganeso presenta niveles distintos en las parcelas, siendo óptimo solo en la parcela de Rancho Quemado y La Palma, deficiente en Piedras Blancas y tendiendo de medio a bajo en La Guaria y Chacarita.

Cuadro 10. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de Piedras Blancas, Gofito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF		Monocultivo	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	7,60 (A)	7,60 (A)	6,60 (O)	7,60 (A)
AI(cmol+)/L)	0,09 (O)	0,09 (O)	0,09 (O)	0,09 (O)
CICE (cmol+)/L)	44,88 (NL)	45,51 (NL)	42,92 (NL)	46,71 (NL)
SA (%)	0,20 (O)	0,20 (O)	0,20 (O)	0,20 (O)
Ca (cmol+)/L)	42,79 (A)	43,36 (A)	39,80 (A)	44,18 (A)
Mg (cmol+)/L)	1,59 (M)	1,77 (M)	2,72 (M)	2,20 (M)
K (cmol+)/L)	0,41 (M)	0,29 (M)	0,31 (M)	0,24 (M)
Ca/Mg	26,91 (NO)	24,50 (NO)	14,63 (NO)	20,08 (NO)
Ca/K	104,37 (NO)	149,52 (NO)	128,39 (NO)	184,08 (NO)
Mg/K	3,88 (O)	6,10 (O)	8,77 (O)	9,17 (O)
(Ca+Mg)/K	108,24 (NO)	155,62 (NO)	137,16 (NO)	193,25 (NO)
Fósforo (mg/L)	10,00 (B)	12,00 (M)	6,00 (B)	11,00 (B)
Zinc (mg/L)	1,50 (B)	1,80 (B)	1,50 (B)	1,60 (B)
Cobre (mg/L)	6,00 (O)	7,00 (O)	7,00 (O)	6,00 (O)
Hierro (mg/L)	34,00 (O)	33,00 (O)	60,00 (A)	30,00 (O)
Manganeso (mg/L)	1,00 (B)	2,00 (B)	4,00 (B)	1,00 (B)
Materia Orgánica (%)	2,99 (M)	2,06 (M)	2,76 (M)	2,2 (M)
Densidad Aparente (g/cm ³)				
Corregida	0,93 ±0,09	0,83 ±0,13	0,93 ±0,09	0,98 ±0,07
Corrección	0,00	0,07	0,00	0,02
% grava inicial	0,00 ±0	11,03 ±13,99	0,41 ±0,90	3,13 ±5,82
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa
% grava	1,48	9,73	3,02	1,19
% arena	64,19	61,98	57,35	71,74
% arcilla	7,46	4,94	7,35	2,48
% limo	28,35	33,08	35,29	25,78
Porosidad (%)	64,91	68,68	64,91	63,02

1 A, Alto; B, Bajo; L, Limitante; M, Medio; NL, No Limitante; NO, No óptimo; O, Óptimo.

2 AI, Acidez Intercambiable.

3 CICE, Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

4 SA, Saturación de Acidez.

En la parcela de La Guaria, el único elemento base intercambiable que se encuentra debajo del nivel crítico (según el criterio de Méndez & Bertsch 2012) es el potasio (K), el cual presenta valores de 0,18 y 0,14 cmol(+)/L en la profundidad de 20 – 40 cm en SAF y monocultivo, respectivamente. En esta localidad, el nivel de potasio se encuentra justo por arriba del nivel crítico con 0,24 y 0,20 cmol(+)/L en los primeros 20 cm en SAF como en monocultivo, respectivamente.

El uso anterior en la parcela de La Guaria era arrozal y ganadería, por lo que se esperaba encontrar una textura más arcillosa que estuviera limitando significativamente el crecimiento del laurel. Sin embargo, la textura en general presenta un suelo franco, con porcentajes de grava mayores a 20% en los primeros 20 cm del suelo, un porcentaje de porosidad entre 63% y 66%, una densidad aparente cercana a 1,00 g/cm³; sin embargo, esta última es mayor en la profundidad de 20 – 40 cm con una densidad aparente de 0,97 en SAF y 0,98 en el monocultivo.

Cuadro 11. Propiedades químicas y físicas del suelo de la parcela de La Guaria, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF		Monocultivo	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	6,10 (O)	6,20 (O)	6,30 (O)	6,70 (O)
AI(cmol(+)/L)	0,09 (O)	0,09 (O)	0,10 (O)	0,10 (O)
CICE (cmol(+)/L)	39,65 (NL)	42,24 (NL)	40,47 (NL)	42,64 (NL)
SA (%)	0,20 (O)	0,20 (O)	0,20 (O)	0,20 (O)
Ca (cmol(+)/L)	36,27 (A)	39,25 (A)	37,46 (A)	40,15 (A)
Mg (cmol(+)/L)	3,05 (O)	2,72 (M)	2,71 (M)	2,25 (M)
K (cmol(+)/L)	0,24 (M)	0,18 (B)	0,20 (M)	0,14 (B)
Ca/Mg	11,89 (NO)	14,43 (NO)	13,82 (NO)	17,84 (NO)
Ca/K	151,13 (NO)	218,06 (NO)	187,30 (NO)	286,79 (NO)
Mg/K	12,71 (O)	15,11 (NO)	13,55 (O)	16,07 (NO)
(Ca+Mg)/K	163,83 (NO)	233,17 (NO)	200,85 (NO)	302,86 (NO)
Fósforo (mg/L)	3,00 (B)	5,00 (B)	4,00 (B)	4,00 (B)
Zinc (mg/L)	1,80 (B)	1,50 (B)	1,60 (B)	1,30 (B)
Cobre (mg/L)	10,00 (O)	8,00 (O)	9,00 (O)	9,00 (O)
Hierro (mg/L)	87,00 (A)	55,00 (A)	76,00 (A)	49,00 (O)
Manganeso (mg/L)	7,00 (M)	3,00 (B)	5,00 (M)	2,00 (B)
Materia Orgánica (%)	2,88 (M)	1,92 (B)	3,00 (M)	2,06 (M)
Densidad Aparente (g/cm ³)				
Corregida	0,89 ±0,05	0,97 ±0,04	0,91 ±0,05	0,98 ±0,07
Corrección	0,00	0,00	0,01	0,01
% grava inicial	0,28 ±0,48	0,21 ±0,45	0,98 ±1,40	1,12 ±1,99
Textura	Franca gravosa	Franca	Franco arenoso gravoso	Franca
% grava	39,08	1,71	21,01	19,70
% arena	37,04	52,29	54,39	44,4
% arcilla	24,79	14,76	14,87	17,37
% limo	38,18	32,96	30,74	38,22
Porosidad (%)	66,42	63,40	65,66	63,02

1 A, Alto; B, Bajo; L, Limitante; M, Medio; NL, No Limitante; NO, No óptimo; O, Óptimo.

2 AI, Acidez Intercambiable.

3 CICE, Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

4 SA, Saturación de Acidez.

El pH presente en la parcela de Rancho Quemado está por debajo del nivel crítico de 5,5, tendiendo a ácido. Esto aumenta la solubilidad de los elementos tóxicos como el aluminio (Méndez y Bertsch, 2012) que se registró con altos valores tanto en SAF como en el monocultivo y a ambas profundidades (cuadro 12). Los altos valores de aluminio además son responsables del porcentaje de saturación de acidez (SA%) medio que presenta esta parcela. Según Méndez y Bertsch (2012), en la región de Osa-Golfito menos de un 25% de las muestras de suelo analizadas presentaron un SA% mayor a 10. Un factor limitante en ésta parcela podría ser los bajos niveles de potasio que se encontraron.

En la parcela de Rancho Quemado la densidad aparente es menor en ambas profundidades en la subparcela SAF en comparación con el monocultivo (cuadro 12). Sin embargo, es importante prestar atención al alto porcentaje de grava y la densidad aparente corregida que se determinó en las muestras (principalmente en la subparcela del SAF) ya que al generar esta corrección se pudo haber generado un error. En la subparcela del SAF el porcentaje de grava es bastante alto y ,al momento de tomar dichas muestras, se dificultó por la cantidad de piedras. La textura en este sitio en general es franco-arcillo-arenosa-gravosa, junto con niveles óptimos de materia orgánica y con una buena tasa de infiltración, por lo que los cultivos cuentan con un ambiente adecuado para su desarrollo.

El porcentaje de materia orgánica en esta parcela es óptimo en los primeros 20 cm de suelo y medio en profundidad de 20 – 40 cm. Al presentarse la misma condición en ambas subparcelas, se asume que se debe a el uso de suelo anterior y no tanto al sistema productivo establecido. El porcentaje de materia orgánica mejora la densidad aparente del suelo, por lo que concuerda que la densidad aparente sea menor en la capa superficial que en la más profunda.

Cuadro 12. Propiedades químicas y físicas del suelo de la parcela de Rancho Quemado, Osa, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF		Monocultivo	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	5,00 (M)	5,20 (M)	5,10 (M)	5,20 (M)
AI(cmol+)/L)	2,14 (A)	1,20 (A)	1,77 (A)	1,88 (A)
CICE (cmol+)/L)	8,01 (NL)	8,01 (NL)	8,86 (NL)	8,81 (NL)
SA (%)	27,00 (M)	15,00 (M)	20,00 (M)	21,00 (M)
Ca (cmol+)/L)	4,49 (M)	5,30 (M)	5,15 (M)	5,69 (M)
Mg (cmol+)/L)	1,27 (M)	1,44 (M)	1,75 (M)	1,18 (M)
K (cmol+)/L)	0,11 (B)	0,07 (B)	0,19 (B)	0,06 (B)
Ca/Mg	3,54 (O)	3,68 (O)	2,94 (O)	4,82 (O)
Ca/K	40,82 (NO)	75,71 (NO)	27,11 (NO)	94,83 (NO)
Mg/K	11,55 (O)	20,57 (NO)	9,21 (O)	19,67 (NO)
(Ca+Mg)/K	52,36 (NO)	96,29 (NO)	36,32 (O)	114,50 (NO)
Fósforo (mg/L)	7,00 (B)	4,00 (B)	3,00 (B)	7,00 (B)
Zinc (mg/L)	0,70 (B)	0,80 (B)	1,10 (B)	0,80 (B)
Cobre (mg/L)	6,00 (O)	4,00 (O)	6,00 (O)	4,00 (O)
Hierro (mg/L)	206,00 (A)	183,00 (A)	184,00 (A)	196,00 (A)
Manganeso (mg/L)	24 (O)	22,00 (O)	33,00 (O)	18,00 (O)
Materia Orgánica (%)	5,36 (O)	3,03 (M)	5,11 (O)	3,46 (M)
Densidad Aparente (g/cm ³)				
Corregida	0,62 ±0,15	0,72 ±0,13	0,73 ±0,22	0,77 ±0,06
Corrección	0,32	0,33	0,16	0,21
% grava inicial	41,55 ±22,42	39,89 ±21,75	25,17 ±17,52	26,99 ±17,92
Textura	Franco arcillo arenosa gravoso	Franco arenoso gravoso	Franco arcillo arenosa gravoso	Franco arcillo arenosa gravoso
% grava	25,08	31,49	42,64	36,70
% arena	54,85	61,55	52,13	56,59
% arcilla	24,54	17,48	24,67	22,46
% limo	20,61	20,97	23,19	20,96
Porosidad (%)	76,60	72,83	72,45	70,94

1 A, Alto; B, Bajo; L, Limitante; M, Medio; NL, No Limitante; NO, No óptimo; O, Óptimo.

2 AI, Acidez Intercambiable.

3 CICE, Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

4 SA, Saturación de Acidez.

El principal problema nutricional que presenta la parcela de La Palma, son los altos niveles de hierro y los bajos niveles de potasio, que podría perjudicar los niveles de este elemento en los cultivos. Las propiedades físicas encontradas no son ideales ya que podrían dificultar el crecimiento de las raíces. La densidad aparente determinada (cuadro 13) es muy cercana a 1,00 g/cm³ en ambas subparcelas y ambas profundidades, lo que sugiere cierto grado de compactación, y además, los porcentajes de materia orgánica encontrados de 20 - 40 cm de profundidad son bajos y medios en los primeros 20 cm. Además, hay mayor porcentaje de arcilla y grava en la profundidad de 20 – 40 cm, y esto podría dificultar el desarrollo radical para los cultivos.

Cuadro 13. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de La Palma, Osa, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variables	SAF		Monocultivo	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	5,50 (M)	5,70 (M)	5,50 (M)	5,70 (M)
AI(cmol(+)/L)	0,27 (O)	0,16 (O)	0,39 (M)	0,18 (O)
CICE (cmol(+)/L)	18,44 (NL)	20,41 (NL)	22,94 (NL)	23,28 (NL)
SA (%)	1,50 (O)	0,80 (O)	1,70 (O)	0,80 (O)
Ca (cmol(+)/L)	12,89 (O)	13,58 (O)	14,38 (O)	14,16 (O)
Mg (cmol(+)/L)	5,15 (O)	6,56 (A)	8,01 (A)	8,81 (A)
K (cmol(+)/L)	0,13 (B)	0,11 (B)	0,16 (B)	0,13 (B)
Ca/Mg	2,50 (O)	2,07 (O)	1,80 (NO)	1,61 (NO)
Ca/K	99,15 (NO)	123,45 (NO)	89,88 (NO)	108,92 (NO)
Mg/K	39,62 (NO)	59,64 (NO)	50,06 (NO)	67,77 (NO)
(Ca+Mg)/K	138,77 (NO)	183,09 (NO)	139,94 (NO)	176,69 (NO)
Fósforo (mg/L)	ND	ND	ND	1,00 (B)
Zinc (mg/L)	2,00 (M)	1,20 (B)	2,40 (M)	1,40 (B)
Cobre (mg/L)	12,00 (O)	11,00 (O)	12,00 (O)	11,00 (O)
Hierro (mg/L)	142,00 (A)	95,00 (A)	74,00 (A)	74,00 (A)
Manganeso (mg/L)	51,00 (A)	33,00 (O)	39,00 (O)	26,00 (O)
Materia Orgánica (%)	3,10 (M)	1,76 (B)	2,85 (M)	1,94 (B)
Densidad Aparente (g/cm ³)				
Corregida	1,01 ±0,06	1,05 ±0,06	0,97 ±0,03	1,01 ±0,06
Corrección	0,04	0,03	0,05	0,03
% grava inicial	5,46 ±5,04	4,56 ±4,46	7,59 ±9,39	3,90 ±5,74
Textura	Franco arcillo arenosa gravoso	Franco arcillo arenosa gravoso	Franco arcillo arenosa	Franco arcillosa gravoso
% grava	22,63	41,90	19,11	45,86
% arena	49,32	49,82	49,42	44,25
% arcilla	29,81	34,44	27,27	32,35
% limo	20,87	15,74	23,31	23,39
Porosidad (%)	61,89	60,38	63,40	61,89

1 A, Alto; B, Bajo; L, Limitante; M, Medio; NL, No Limitante; NO, No óptimo; O, Óptimo.

2 AI, Acidez Intercambiable.

3 CICE, Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

4 SA, Saturación de Acidez.

En la parcela de Chacarita se observan niveles bajos de fósforo, zinc y manganeso en las dos profundidades en ambas subparcelas, y exceso de calcio respecto al potasio, principalmente. Sin embargo, mas allá de estas consideraciones, el suelo no presenta mayor limitante a nivel químico. A nivel de propiedades físicas, la textura general en este sitio es franco arenoso, por lo que los niveles de arcilla son muy bajos o nulos (cuadro 14). La densidad aparente es muy variable, tanto entre profundidades como entre subparcelas. En ambas subparcelas la densidad aparente en los primeros 20 cm es similar; sin embargo, la densidad aparente en la profundidad de 20 – 40 cm es de 0,93 en el SAF y de 0,41 en el monocultivo. Esto podría deberse a que en esta profundidad se encuentran niveles de materia orgánica muy bajos

Cuadro 14. Propiedades químicas y físicas del suelo presentes en la parcela de Chacarita, Golfito, Puntarenas, Costa Rica, 2019.

Variable	SAF		Monocultivo	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	5,80 (M)	6,20 (O)	6,10 (O)	6,00 (O)
AI(cmol+)/L	0,25 (O)	0,12 (O)	0,17 (O)	0,16 (O)
CICE (cmol+)/L	37,69 (NL)	40,72 (NL)	37,59 (NL)	38,15 (NL)
SA (%)	0,70 (O)	0,30 (O)	0,50 (O)	0,40 (O)
Ca (cmol+)/L	34,05 (A)	37,69 (A)	33,81 (A)	35,42 (A)
Mg (cmol+)/L	3,00 (M)	2,57 (M)	3,07 (O)	2,26 (M)
K (cmol+)/L	0,39 (M)	0,34 (M)	0,54 (O)	0,31 (M)
Ca/Mg	11,35 (NO)	14,67 (NO)	11,01 (NO)	15,67 (NO)
Ca/K	87,31 (NO)	110,85 (NO)	62,61 (NO)	114,26 (NO)
Mg/K	7,69 (O)	7,56 (O)	5,69 (O)	7,29 (O)
(Ca+Mg)/K	95,00 (NO)	118,41 (NO)	68,30 (NO)	121,55 (NO)
Fósforo (mg/L)	4,00 (B)	9,00 (B)	3,00 (B)	4,00 (B)
Zinc (mg/L)	1,30 (B)	1,20 (B)	1,00 (B)	0,90 (B)
Cobre (mg/L)	5,00 (O)	4,00 (O)	5,00 (O)	4,00 (O)
Hierro (mg/L)	55,00 (A)	33,00 (O)	51,00 (A)	39,00 (O)
Manganeso (mg/L)	5,00 (M)	2,00 (B)	5,00 (M)	4,00 (B)
Materia Orgánica (%)	2,32 (M)	1,29 (B)	2,76 (M)	1,84 (B)
Densidad Aparente (g/cm ³)				
Corregida	0,76 ±0,09	0,93 ±0,08	0,79 ±0,07	0,41 ±0,15
Corrección	0,26	0,04	0,15	0,15
% grava inicial	34,79 ±10,37	6,74 ±5,93	20,87 ±23,73	23,77 ±16,36
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Areno franca
% grava	10,99	16,69	13,00	14,23
% arena	64,44	74,54	64,42	66,82
% arcilla	7,41	0,00	9,88	7,43
% limo	28,16	25,46	25,7	25,76
Porosidad (%)	71,32	64,91	70,19	84,53

1 A, Alto; B, Bajo; L, Limitante; M, Medio; NL, No Limitante; NO, No óptimo; O, Óptimo.

2 AI, Acidez Intercambiable.

3 CICE, Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva.

4 SA, Saturación de Acidez.

5.2.2 Infiltración por sitio

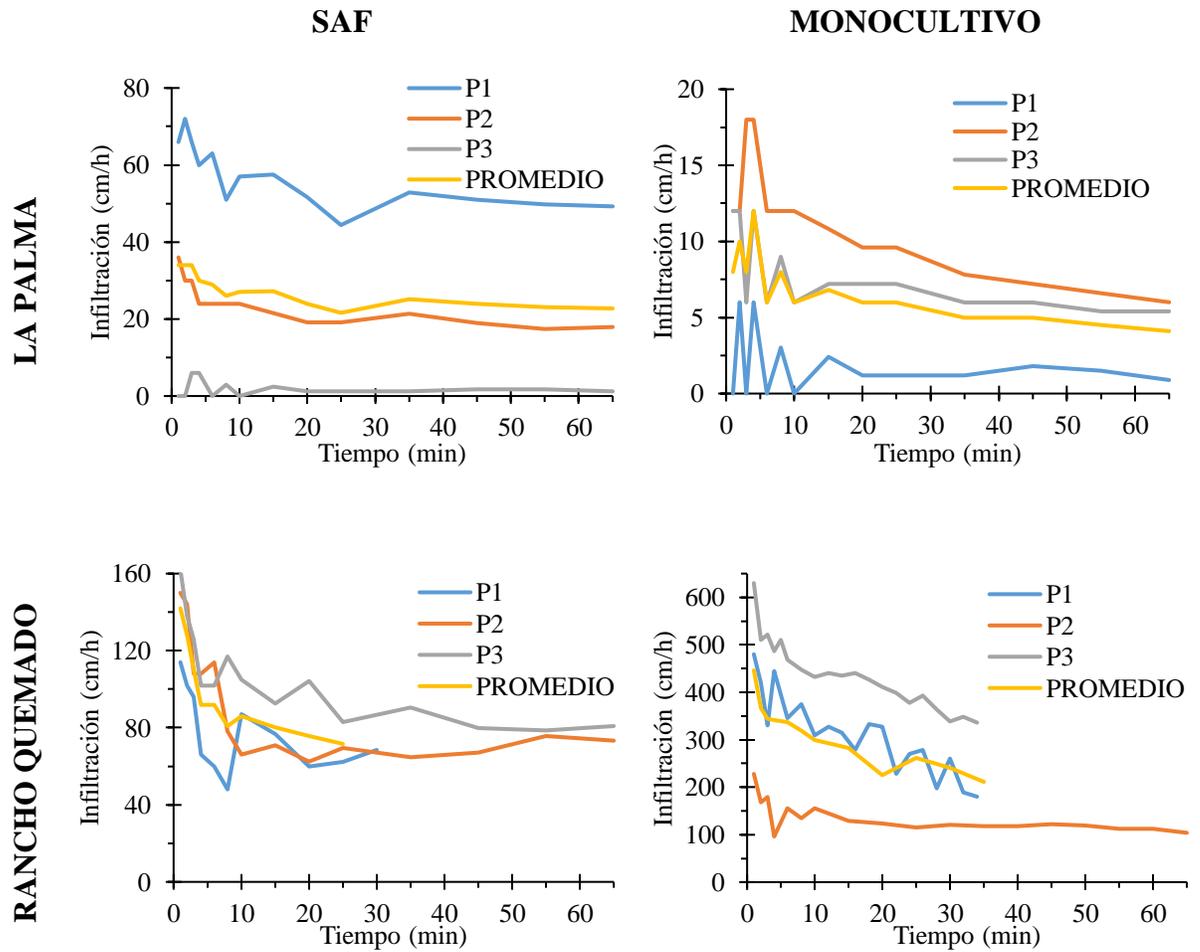


Figura 15. Curvas de velocidad de infiltración instantánea en las parcelas de Rancho Quemado y La Palma establecidas por el Proyecto LAPA en la zona de Osa, Puntarenas Costa Rica , 2019.

En Rancho Quemado, a pesar de que este suelo infiltra el agua a altas velocidades y el cacao es susceptible al déficit de agua como lo dicen varios autores citados por Arévalo-Hernández et al en el 2017, es posible que gracias a las condiciones climáticas del sitio que presenta altos niveles de precipitación durante la época lluviosa, y niveles de materia orgánica de medio a óptimos (cuadro 12) el cacao no se ve gravemente afectado. En la parcela de La Palma el laurel tuvo un 20% de mortalidad. Esto podría estar ligado a las características del suelo antes mencionadas (cuadro 13) así como a la baja infiltración que se observa (figura 15), ya que más bien, el laurel presenta un mejor crecimiento en suelos con buena aireación y drenaje (Cordero y Boshier, 2003).

En la parcela de Chacarita, el valor de densidad aparente es mayor en la profundidad de 20-40 cm en el SAF (cuadro 14), y este podría ser uno de los motivos del porque la tasa de velocidad de infiltración instantánea encontrados es menor en el SAF que en el monocultivo. En la parcela de La Guaria, la infiltración es buena en la época seca, pero en la época lluviosa podría presentar otro comportamiento debido a las características del suelo mencionadas en el cuadro 11. Además, en esta parcela existe un sistema de drenaje, lo que sugiere que en época lluviosa podría presentarse un exceso de agua que debe ser evacuado.

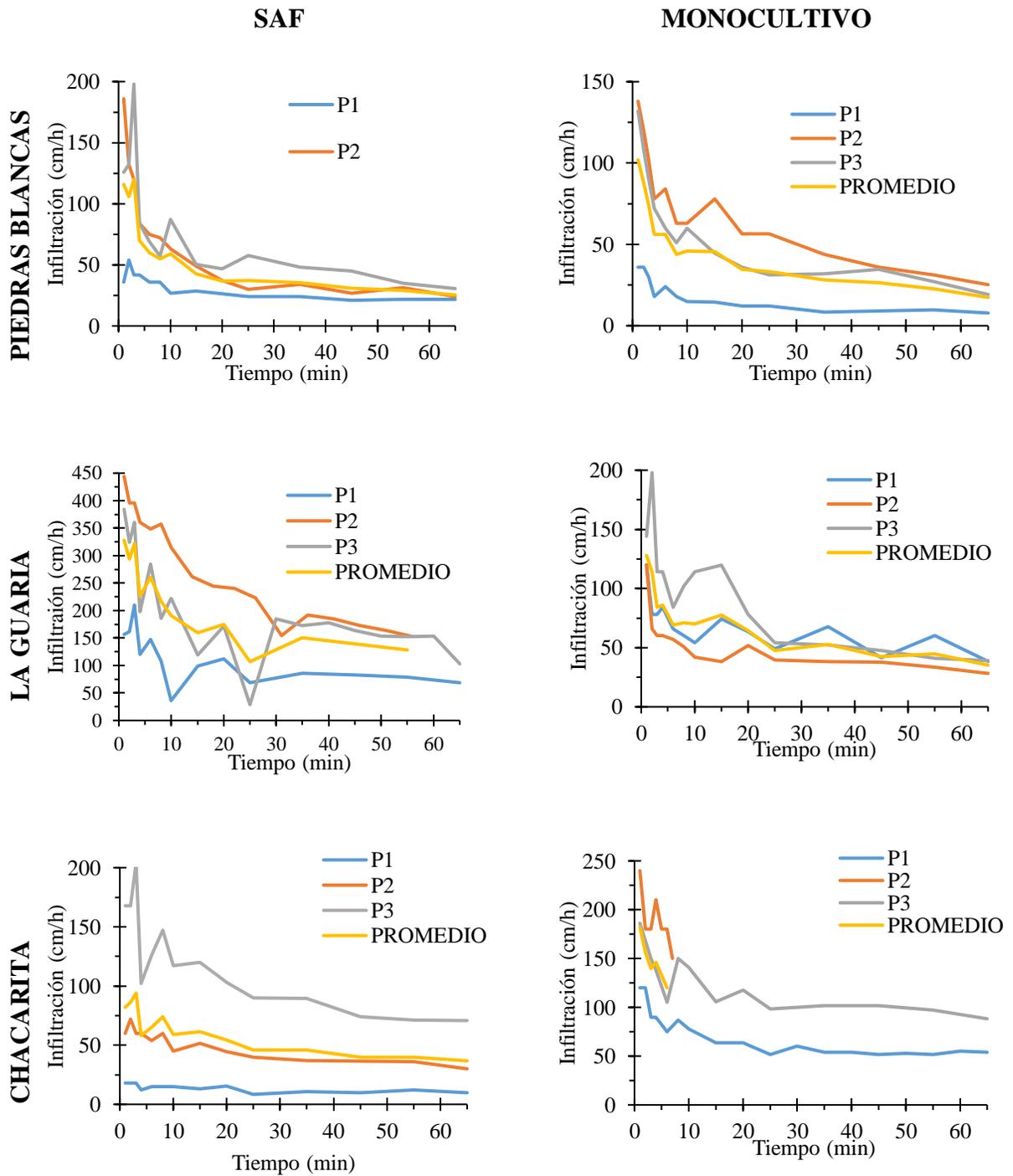


Figura 16. Curvas de velocidad de infiltración instantánea en las parcelas de Piedras Blancas, La Guaria y Chacarita establecidas por el Proyecto LAPA en la zona de Golfito, Puntarenas Costa Rica, 2019.

6 DISCUSIÓN

La orientación de un cultivo en el campo afecta la cantidad y uniformidad de la iluminación recibida por cada planta (Cambra & Cambra, 2004). Por el diseño específico del sistema agroforestal y las especies utilizadas, el manejo y uso de la sombra toma particular importancia para obtener una producción óptima de cada cultivo. El cacao es un cultivo umbrófilo (López et al, 2015) que requiere de un porcentaje de sombra del 70% en temprana edad y 30% en edad productiva (MAG, 2013). La palma africana exige altos porcentajes de luz (MAG, 2007). Estos requerimientos lumínicos influyen en la tasa fotosintética de cada especie y, por ende, en su producción y calidad. Una orientación de establecimiento de norte a sur en tresbolillo es lo recomendado por el MAG (2007) para las plantaciones de palma africana ya que así se garantiza un mayor porcentaje de luz disponible para cada planta. Además, esta orientación permite que la palma genere sombra al cacao y, por lo tanto, una vez que se elimine el cultivo de *Musa* spp., la palma será el principal generador de sombra para el cacao en el sistema.

Es importante determinar el distanciamiento real versus el teórico del laurel y el cacao ya que los niveles de competencia por nutrientes y agua van a ser diferentes dependiendo de la densidad de siembra, así como de la cantidad de sombra generada por el sistema y por ende el microclima creado. Al reducir la densidad de siembra, también se reduce la exigencia del sistema hacia el suelo, reduciendo así la erosión causada por malas prácticas (Núñez, 2010). Además, la densidad de siembra va a influir en la producción por hectárea.

Con el análisis FODA realizado se observa como el diseño agroforestal establecido es complejo. Al presentar especies agrícolas comercialmente importantes y bien posicionadas, si se logra la apropiación adecuada por parte del productor para que invierta la energía y dinero necesaria para lograr el manejo ideal para cada especie se logrará una buena productividad para cada especie. Un manejo apropiado de los diferentes cultivos se verá reflejado en los ingresos obtenidos por el productor.

A diferencia de la especie forestal (laurel), existe muy poca información acerca de las dimensiones recomendadas para los cultivos agrícolas en este estudio, particularmente la palma. Para estos, lo más importante es la producción de frutos, por lo que muchas veces las plantas son manejadas de tal manera que se facilite su cosecha. En el caso del cacao, este se poda para manejar su altura y así obtener mayor producción y permitir un mejor manejo reduciendo así la incidencia de plagas (Miguel et al, 2011). En el caso de la palma, su fisiología y método de producción y protección de los racimos no permiten que su altura se pueda manejar sin afectar su producción. Debido a que la base de las hojas conforman el estípeto (tronco), la producción de hojas está relacionada con la altura de la planta (Hormaza et al, 2010). Se han encontrado variedades de palma que presentan una mayor correlación entre la altura del estípeto y la producción según Ayala y León en el 2000.

Somarriba (1994) menciona que, para sistemas agroforestales de cacao, plátano y laurel, una vez que el cacao cierra sus copas, la sombra va a ser demasiada para la sobrevivencia y producción de los hijos de plátano. Por lo tanto, en parcelas donde esto ya está ocurriendo (e.g. una sección de la parcela de Piedras Blancas), no se debería replantar la *Musa* spp. para evitar pérdidas económicas y no crear competencia innecesaria para el cacao y el laurel. Adicionalmente, la sombra no solo regula la luminosidad, sino que también crea un micro clima al regular la radiación solar, el viento y la humedad relativa, principalmente (Paredes, 2003). Si la sombra es excesiva, con la humedad relativa alta presente en la región, se podrían crear ambientes óptimos para el desarrollo de enfermedades como la Monilia (*Moniliophthora roreri*) y la Mazorca Negra (*Phytophthora* sp.), que produce grandes porcentajes de pérdida de producción en el cacao (Suárez & Hernández, 2010).

En las parcelas de Piedras Blancas (cuadro 4) y Chacarita (cuadro 8) se encontró el mayor porcentaje de mortalidad de cacao. Esto podría estar relacionado con el porcentaje de sombra generado por el sistema dada la sombra necesaria para que el cacao pueda desarrollar sus procesos fisiológicos a tasas favorables (Paredes, 2003). Además, la parcela de Chacarita presenta una textura franco-arenosa, por lo que la alta mortalidad del cacao podría deberse a una baja retención de humedad en el suelo durante la época seca. Otro motivo podría ser el alto porcentaje de pedregosidad que se observó tanto en Chacarita como en Piedras Blancas.

A partir de las características de cobertura, las propiedades de suelo obtenidas y lo observado en campo, la diferencia tan marcada dentro de la subparcela SAF en Piedras Blancas se podría deber al efecto de la sombra de los árboles maderables en la cerca, pero principalmente, en la mitad donde el crecimiento general era deficiente, la toma de las muestras de suelo se dificultó por una alta incidencia de piedras que no se observó en la mitad donde se observó un mejor crecimiento.

Aunque solo en la parcela de La Guaria se observó un desarrollo del laurel significativamente diferente al de las otras cuatro parcelas, en todas se encontraron problemas de calidad, principalmente por manejo y mantenimiento general insuficiente o inadecuado. Los primeros años son muy importantes para obtener individuos de laurel con baja heterogeneidad, que garanticen una buena tasa de retorno y sean rentables para el productor (CATIE, 1994). Si hay un manejo deficiente de las gramíneas, la competencia por agua, luz y nutrientes (principalmente) es muy alta, ya que estas son especies agresivas que generan mucha competencia (Alvarado y Raigosa, 2012), lo que conlleva a torceduras o bifurcaciones significativas en el fuste del laurel (Cordero y Boshier, 2003). Es importante darle el manejo adecuado al laurel para así obtener un buen producto con dimensiones y calidad homogénea, lo cual no solo facilitará su manejo futuro, sino que también garantiza ingresos óptimos y homogéneos para el productor a la hora de su aprovechamiento. En las parcelas de Chacarita y Piedras Blancas se observó una gran variabilidad en las dimensiones del laurel que no se observó en Rancho Quemado. Esto se podría deber al manejo y mantenimiento que el propietario de esta última parcela le ha dado, así como a las condiciones de sitio, como es el caso de Piedras Blancas y Chacarita antes mencionado. En términos del servicio que brinda el laurel al sistema agroforestal, si este se encuentra rezagado o muy heterogéneo en su desarrollo, su función como sombra para el cacao no se está cumpliendo en su totalidad. Además, con una tasa de crecimiento lenta requeriría más tiempo para poder llegar a sus dimensiones de aprovechamiento ideales y podría tardar más de los 20-25 años establecidos como la edad productiva del sistema.

En las plantaciones mixtas, los árboles mejoran la fertilidad al incrementar la comunidad de flora y fauna en el suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes por raíces más profundas y reciclando nutrientes por medio de la caída de hojas que generaran gran cantidad de materia orgánica. Esto, además, ayuda a retener humedad en la época seca (Quirós, 2010) y reduce la erosión hídrica en la época lluviosa, lo que es factor importante en sitios con drenaje excesivo como la parcela de Chacarita.

Entre 1930 y 1950 el cultivo principal de la región de Osa y Golfito era el banano. En ese entonces, las compañías bananeras hacían aplicaciones altas de cobre que elevaron los niveles de este elemento en el suelo hasta llegar a niveles tóxicos (Cordero y Ramírez, 1979). Por esta razón, en la región se esperaría encontrar niveles altos de cobre en el suelo; sin embargo, todas las parcelas presentaron niveles de cobre óptimos sin que este fuera tóxico para los cultivos.

En la parcela de Rancho Quemado, la alta concentración de aluminio, junto con el pH ácido, podría generar daños directos a las raíces por toxicidad. Este pH podría además facilitar la pérdida de bases intercambiables por lixiviación y la microbiología se vería afectada (Méndez y Bertsch, 2012). Estos efectos negativos se podrían ver reducidos parcialmente gracias a los niveles óptimos de materia orgánica que se reportaron en los primeros 20 cm de ambas subparcelas en este sitio.

Según lo encontrado por González et al (2014), los requerimientos nutricionales del laurel a nivel de macronutrientes son: Ca>K>N>P>Mg, lo que significa que las parcelas de Piedras Blancas y La Guaria presentan las propiedades químicas ideales para su desarrollo; sin embargo, el genero *Cordia* se ve más influenciado por las propiedades físicas del suelo que por las químicas (CATIE, 1994), razón por la cual se encuentra rezagado y con un desarrollo heterogéneo.

La densidad aparente encontrada en La Guaria sugiere que el uso anterior del suelo causó algún grado de compactación, y que una posibilidad para una superficie con valores de densidad aparente un poco menores (cuadro 11) es que ya la cobertura, las raíces de los cultivos y el aumento en materia orgánica han incrementado el espacio entre partículas.

Jaramillo (2014) menciona que los niveles de materia orgánica son importantes ya que estos ayudan a mejorar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ayudando en la retención de la humedad en la época seca, protegiendo el suelo de la erosión y lixiviación de nutrientes, ayudando a reducir hasta cierto punto los gastos por fertilización gracias al ciclaje de nutrientes. Dado que los sistemas agroforestales por su gran variedad de cultivos aumentan el humus y, por ende, el porcentaje de materia orgánica (Atangana et al, 2014), se podría esperar que los valores de materia orgánica aumenten con el tiempo y sea cada vez mayor la diferencia entre la subparcela del monocultivo y la del SAF, siendo esta última la que presente mayores valores.

En las figuras 15 y 16 se observa la variabilidad de los datos de infiltración encontrados en las diferentes subparcelas en los diferentes sitios. Es importante evidenciar esta variabilidad porque es una característica inevitable del suelo ya que hay muchos factores que influyen en esta variabilidad. Entre los principales está la historia del uso de suelo, la cual juega un rol importante en la caracterización de la infiltración ya al influir en la cantidad de materia orgánica, textura, grado de compactación, entre otros. (Jaramillo, 2014).

Los sitios que presentaron una mayor infiltración en la subparcela del SAF son La Palma y La Guaria. En ambos sitios la densidad aparente fue alta, lo que indica que el suelo estaba más compactado. Atangana et al (2014) indican que el componente forestal en sistemas agroforestales presenta dos roles claves. Primero, mejora las propiedades del suelo, como la fertilidad y ayuda en la conservación de los mismos mediante el ciclaje de nutrientes y la producción de humus. Segundo, propicia la conservación del suelo por medio de una mejora en las propiedades físicas causada por el crecimiento y la penetración radicular. Los resultados de este estudio pueden sugerir que el sistema agroforestal está generando un cambio en la porosidad del suelo, tanto por un mayor porcentaje de materia orgánica en las capas superficiales (cuadro 10 – 14) como por efecto de las raíces a diferentes profundidades. Conforme pasen los años, se espera que el sistema agroforestal mejore las propiedades físicas del suelo permitiendo una mejor aireación y, por lo tanto, una mejor infiltración, reduciendo así la erosión hídrica superficial del suelo y, por ende, su degradación (Atangana et al, 2014). En el sitio de La Palma (el cual es atravesado por un canal de drenaje) se observó una infiltración lenta, casi constante.

Esto sugiere que el contenido de humedad en el suelo en este sitio era alto y estaba cerca de encontrar un punto de equilibrio total. Por el contrario, en las demás parcelas se logra observar como este equilibrio se va encontrando conforme avanza la hora y el contenido de humedad incrementa en el suelo.

6.1 Guía de recomendaciones

1. Generar un plan de trabajo para ejecutar las diferentes recomendaciones según su prioridad, determinando plazo y responsables para cada acción a llevar a cabo.
2. Establecer árboles en las cercas, costado norte y sur, para aprovechar al máximo la energía solar y el espacio productivo. Algunas especies que se podrían utilizar son: *C. megalantha*, fabaceas fijadoras de nitrógeno como Cristóbal (*Platymiscium pinnatum*), Guapinol (*Hymenaea courbaril*), u otras especies nativas de crecimiento intermedio y alto valor como Cedro (*Cedrela odorata*), Pilon (*Hyeronima alchorneoides*) y Carey (*Elaeoluma glabrescens*).
3. Implementar cultivos de cobertura leguminosos que permitan fijar nitrógeno (e.g. Maní Forrajero *Arachis pintoii*) y, a su vez, controlar plantas arvenses que puedan competir con los cultivos (Peters et al, 2010).

Mantenimiento:

1. Generar protocolos de mantenimiento específicos ya que cada sitio y especies tienen requerimientos especiales.

Suelo:

1. Monitorear constantemente las propiedades del suelo, principalmente sus propiedades químicas. Aunque aquí se presenten recomendaciones que impliquen la fertilización química para aumentar los niveles de ciertos nutrientes, también se insta a reducir (en la medida de lo posible) el uso de fertilizantes y abonos químicos dado el impacto ambiental de los mismos.

2. En La Guaria, Rancho Quemado y La Palma, se debe acentuar la fertilización potásica ya que tienen niveles críticos y los desbalances entre las bases intercambiables pueden afectar la absorción de las mismas.
3. En Piedras Blancas (cuadro 10) el suelo presenta un pH de 6,6 y 7,6 (neutro – básico) por lo que se recomienda aplicar fertilizantes amoniacales para acidificar/neutralizar suelo ($\text{NH}_4 = \text{NH}_3 + \text{H}$).
4. En Rancho Quemado los suelos son ácidos con un $\text{pH} < 5.5$ y una SA % alto, por lo que se recomienda aplicar enmiendas.
5. En Chacarita se recomienda aplicar abono verde, mulch o alguna cobertura viva que ayude a mejorar la capacidad de retención de humedad.

Social:

1. Crear o fortalecer alianzas con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), cooperativas y asociaciones de productores de palma en la región, para socializar el diseño agroforestal y generar mercado.
2. Incentivar la apropiación de proyecto por parte del productor y dueño de la parcela para así aumentar la aceptación del sistema durante y después del proyecto.

Establecimiento de repeticiones:

1. Establecer secuencialmente los cultivos, empezando con el maderable la palma y la musáceae, y luego, al segundo o tercer año de establecidos, plantar el cacao que recibiría sombra de los otros cultivos que han crecido. Esto generaría menos competencia, permitiendo mayor y mejor crecimiento del árbol y además se puede enfocar tiempo y recursos en el manejo inicial de la especie maderable.
2. Realizar el establecimiento de la plantación a finales de época seca o comienzo de la época lluviosa.
3. Posicionar las filas de establecimiento de norte a sur para que sea mayor el porcentaje de luz recibido por las plantas. Si las parcelas presentan diferente orientación, *Musa* spp. debería de ser sembrada en función a la orientación para que genere la sombra adecuada al cacao y pueda ser aprovechada óptimamente.

4. De ser necesario, realizar una preparación del terreno (e.g. labranza o mecanización) antes del establecimiento para mejorar la estructura. La preparación del sitio es recomendable realizarla un año antes de establecer el cacao (Arévalo et al, 2017).
5. Mantener la musáceae hasta que se cierren las copas del cacao si la palma y el laurel aun no aportan sombra.

Futuros estudios:

1. Realizar un estudio del perfil de las raíces del sistema agroforestal (i.e. competencia, profundidad, etc.).
2. Realizar análisis químico foliar.
3. Determinar la concentración nutricional de las diferentes partes del laurel.
4. Identificarla plaga o enfermedad encontrada en los individuos de laurel en la parcela de La Palma.
5. Realizar nuevamente los análisis de suelo para observar cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo. El tiempo de los análisis va a depender del objetivo de la investigación: al final del proyecto para observar los cambios totales, cada 3 - 5 años para observar cambios generales y cada año si se desea conocer el proceso de cambio. El productor debería hacer análisis químico del suelo cada año para evitar deficiencias o gastos innecesarios.

7 CONCLUSIONES

A nivel de cobertura, se encontró que el distanciamiento encontrado difiere del distanciamiento teórico para *C. megalantha* y *T. cacao* en las subparcelas del sistema agroforestal. La única parcela que tiene la orientación cardinal de establecimiento ideal de norte a sur es la parcela de La Guaria. La altura observada para *E. guineensis* es mayor en el sistema agroforestal que en el monocultivo. El porcentaje de cobertura es bajo y no genera la sombra necesaria para el desarrollo ideal del *T. cacao* en sus etapas iniciales. *C. megalantha* presenta crecimiento estadísticamente diferente en la parcela de La Guaria en relación a las otras cuatro parcelas de estudio.

Los posibles factores limitantes para el desarrollo del sistema a nivel del suelo se identificaron para cada parcela. Ninguna de las cinco parcelas presenta las propiedades químicas y físicas ideales para el desarrollo óptimo del sistema agroforestal según los requerimientos de los diferentes cultivos utilizados. La materia orgánica, textura y densidad aparente son factores encontrados que podrían haber influido en las curvas de infiltración. Las parcelas de Piedras Blancas y Rancho Quemado requieren neutralización del suelo.

Si se realizan repeticiones del sistema para implementar mejoras, se recomienda principalmente una orientación cardinal del establecimiento adecuada, un establecimiento secuencial de los cultivos y no mantener la sucesión más tiempo del necesario ya que podría generar un microclima ideal para el desarrollo de plagas y enfermedades. El buen manejo y mantenimiento del sistema agroforestal es crucial para garantizar un buen desarrollo de las especies. Al haber una apropiación adecuada del sistema diversificado por parte del productor. Esto potencializa la probabilidad de generar productos de calidad, viéndose reflejado en mejores ingresos económicos.

8 REFERENCIAS

- Alvarado, A., Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Arévalo, M., Gonzales, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas latinoamericanas*. San José, Costa Rica: IICA Representación Costa Rica.
- Arévalo-Hernández, C., da Conceição, F., de Souza, J., de Queiroz, A., & Baligar, V. (2017). Variability and correlation of physical attributes of soils cultivated with cacao trees in two climate zones in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, (93), 793-802. doi:10.1007/s10457-017-0176-4
- Arguedas, M., & Rodríguez, M. (2016). Insectos barrenadores del xilema en especies forestales comerciales en Costa Rica. *7(35)*, 79-89.
- Arias, A. (2007). *Suelos Tropicales*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., & Degrande, A. (2014). *Tropical agroforestry*. Quebec, Canada.: Springer.
- Ayala, I., & León, P. (2000). Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* jacq.). *Palmas*, 21.
- Barquero, M. (2018). Baja productividad y caída en precios tienen en zozobra a productores de palma. La Nación Recuperado de: <https://www.nacion.com/economia/agro/baja-productividad-y-caida-en-precios-tienen-en/ENSSRF7FU5F7VE3GYLF2VCPZ2I/story/>
- Bartsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Cambra, M., & Cambra, R. (2004). *Diseños de plantación y formación de árboles frutales*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CATIE (Ed.). (1994). *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) oken, especie de árbol de uso múltiple en América central. Turrialba, Costa Rica.: CATIE.
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martínez, C., Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agroforestry Systems*, 88, 957-981. doi:10.1007/s10457-014-9691-8
- Comité Sectorial Regional Agropecuario. (2015). Plan regional de desarrollo agropecuario y rural 2015 - 2018: Región Brunca. San José, Costa Rica.
- Cordero, A., & Ramírez, G. (1979). Acumulamiento de cobre en los suelos del Pacífico Sur de Costa Rica y sus efectos detrimentales en la agricultura. *Agronomía Costarricense* 3(1): 63 – 78.
- Cordero, J., & Boshier, D. (Eds.). (2003). *Árboles de Centroamérica* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y Oxford Forestry Institute (OFI).
- Corella, M. (2016). Agroforestería y biodiversidad: La importancia de los sistemas agroforestales en la conservación de especies. *Biocenosis*, 30(1-2).
- Dammert, J., Cárdenas, C., Canziani, E. (2012). Potenciales Impactos Ambientales y Sociales del Establecimiento de cultivos de palma aceitera en el departamento de Loreto. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.

- Detlefsen, G., & Somarriba, E. (2012). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. Turrialba, Costa Rica.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.
- Dirzo, R., Broadbent, E. & Almeyda, A. (2014) Biodiversidad en las plantaciones de palma aceitera de la región Osa-Golfito, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.inogo.info/ecoterr/productos/plantaciones-biodiversidad>
- Dirzo, R., Broadbent, E., Almeyda, A., Morales, L., Almeyda, S. & Alberto, C. (s.f.) Palma aceitera. Recuperado de: <http://www.inogo.info/ecoterr/amenazas/palma-aceiter>
- FAO. (2015). *Food outlook: Biannual report on global foodmarkets*. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-I4581E.pdf>
- Furumo, P. & Aide, T. (2017). Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environmental Research Letters* (12).
- González, M., Murillo, R., Ávila, C., Hernández, W., & Alvarado, A. (2014). *Cordia megalantha: Una opción para la producción de madera en asociación con cultivos de café en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.: Universidad Nacional.
- Hartley, C. (1983). *La palma de aceite*. México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- Henríquez, C., & Cabalceta, G. (2012). *Guía práctica para el estudio introductor de los suelos con enfoque agrícola*. San José, Costa Rica.: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, H. (2010). Fenología de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* jacq.) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* [kunt] cortes x *Elaeis guineensis* jacq.). Bogotá, Colombia.: Centro de Investigación en Palma de Aceite.

- ILACO BV (1985). *Agricultural Compendium for rural development in the tropics and subtropics*. Elsevier, Amsterdam.
- INEC. (2015). VI censo nacional agropecuario: Cultivos agrícolas, forestales y ornamentales. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEC. (2018). Encuesta nacional agropecuaria. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INOGO. (s.f.) *Laboratorio experimental de palma africana (LAPA)*.
- IUF. (2015). Un panorama sobre el sector palma africana: Por países y por compañías. International Union of Food. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, D. (2014). *El suelo: Origen, propiedades, espacialidad* (Secunda Edición ed.). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín - Facultad de Ciencias Escuela de Geociencias.
- Kramer, C. (1956). Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of replications. *Biometrics*, 12, 307-310.
- Landon, J. (1991). *Booker Tropical Soil Manual*. Longman, London.
- López, O., Ramírez, S., Espinosa, S., Moreno, J., Ruiz, C., Villareal, J., Rojas, J. (2015). *Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao*. Chiapas, México.: Universidad Autónoma de Chiapas.
- MAG. (2007). Plan estratégico de la cadena productiva de palma aceitera. Costa Rica: MAG. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4277.pdf>
- MAG. (2013). Sistema de registro del ministerio de agricultura y ganadería, para certificar la condición de pequeño y mediano productor agropecuario (PYMPA) no. 37911-MAG. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/legislacion/2013/de-37911.pdf>

- MAG. (2013). *Tecnología moderna en la producción de cacao: Manual para productores orgánicos*. San José, Costa Rica:
- Méndez, J., Bertsch, F. (2012). *Guía Para La Interpretación De La Fertilidad De Los Suelos De Costa Rica*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Managua, Nicaragua.: Universidad Nacional Agraria.
- Miguel, W., Romero, X., & Moreno, J. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. San Salvador, El Salvador: CATIE & CONFRAS.
- Morera, C., Zúñiga, A., & Avendaño, D. (2005). *Fragmentación del paisaje y corredores biológicos en el Parque Nacional Piedras Blancas, Costa Rica*. Sao Paulo, Brazil: Recuperado de: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Geografiasocioeconomica/Geografiaespacial/23.pdf>
- Murillo, O., & Camacho, P. (1997). Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas; *Agronomía Costarricense*, 21(2), 189-206.
- Núñez, J. (2010). *Manejo y conservación de suelos*. San José, Costa Rica: UNED.
- ONF. (2013). *Guía técnica para la implementación de SAF con árboles forestales maderables*. Costa Rica
- Ortiz, R., Fernández, O. (2000). *El cultivo de la palma aceitera*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Paredes, A. (1993). Asociación de cacao con palmáceas. In W. Phillips-Mora (Ed.), *Seminario regional: Sombras y cultivos asociados con cacao*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Paredes, M. (2003). *Manual de cultivo del cacao*. Perú: Ministerio de Agricultura.
- Peña, W. (2017). *Edafología del trópico*. San José, Costa Rica.: EUNED.

- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2010). *Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del trópico americano*. Cali, Colombia.: CIAT.
- Quesada, O., & Sánchez, A. (2018). Plan estratégico para fortalecer el sector palmero en Costa Rica: Período 2019-2023. Meic, Sector Agro, Inder, Ministerio de Comercio Exterior, MINAE, INFOCOOP, RECOPE. San José, Costa Rica.
- Quesada, R. (2007). Los bosques de costa Rica. Cartago, Costa Rica: Recuperado de: <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- Quesada, R., & Fernández, J. (2005). Actualización de listado de especies arbóreas de uso forestal y otros usos en costa rica: Listado de nombres comunes. *Kurú: Revista Forestal*, 2(5)
- Quirós, J. (2010). *Sistemas de sombra de cacao con maderables*. Guayaquil, Ecuador: Estación Experimental Litoral Sur.
- Rodríguez, G. (2010). *Análisis del desempeño de la cadena productiva de palma aceitera, 2004 - 2008*. Recuperado de: http://www.infoagro.go.cr/Agronegocios/Documents/Cadena_Palma_publicable%2031-03-10.pdf
- Sánchez, J., Dubón, A., & Krigsvold, D. (2002). Uso de rambután (*Nephelium lappaceum*) con cedro (*Cedrela odorata*) y laurel negro (*Cordia megalantha*) como sombra permanente en el cultivo de cacao. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort*, 46:57-60, 57-60.
- Sector Agro Alimentario. (2015). Plan regional de desarrollo agropecuario y rural: 2015 - 2018 Región Brunca.
- Solano, J., & Villalobos, R. (s.f.) Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalización+climática+de+Costa+Rica>

- Somarriba, E. (1994). *Sistemas cacao-plátano-laurel: El concepto*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Sterling, F. (1996). La competencia entre plantas y el raleo de la plantación de palma aceitera. *Agronomía Costarricense*, 20(1), 25-37.
- Suárez, Y., & Hernández, F. (2010). *Manejo de las enfermedades del cacao (Theobroma cacao L) en Colombia, con énfasis en Monilia (Moniliophthora roreri)*. Colombia: CORPOICA.
- Thompson, L., Troeh F. (2002). *Los suelos y su fertilidad* Editorial Reverté S.A.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Ischer, D. H., Juhbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E. and Wanger, T. C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619-629.
- Tukey, J. (1953). *The Problem of Multiple Comparisons*. Unpublished manuscript. Princeton University.
- Williams et al (1985). Tree and fieldcrops of the wetter regions of the Tropics. Longman, London. Pages 197-202: Oil palm (*Elaeis guineensis*).
- Zamora, N., Jiménez, Q., & Poveda, L. (2000). *Árboles de costa rica vol. II*. Heredia, Costa Rica: INBio