



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**“DESEMPEÑO AGROFORESTAL Y ECONÓMICO DE LOS CLONES DE CACAO
(*Theobroma cacao L.*) DEL CATIE EN DIFERENTES CONDICIONES
AGROECOLÓGICAS EN COSTA RICA”**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de
Posgrado como requisito para optar por el grado de *MAGISTER SCIENTIAE*
en AGROFORESTERÍA y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

OMAR MIGUEL TARQUI FREIRE

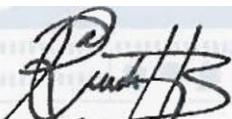
Turrialba, Costa Rica

2020

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

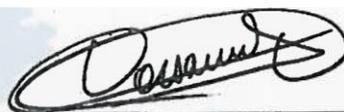
MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y
AGRICULTURA SOSTENIBLE

FIRMANTES:



Rolando Cerda, Ph.D.

Codirector de tesis



Dominique Dessauw, Ph.D.

Codirector de tesis



Soluciones para el ambiente y desarrollo

Laurène Feintrenie, Ph.D.

Miembro Comité Consejero



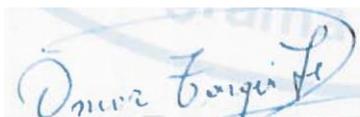
Mariela Leandro, Ph.D.

Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz, Ph.D.

Decano, Escuela de Posgrado



Omar Miguel Tarqui Freire

Candidato

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio los recursos económicos para poder ingresar al CATIE, además me otorgó sabiduría y humildad para poder llegar hasta aquí.

A mis padres, hermanos y sobrinos, por su colaboración en los momentos difíciles de esta travesía.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes, que guiaron mi camino en esta experiencia CATIE.

A los miembros del Comité de tesis, a Fernando Casanoves y en especial a Eduardo Corrales, por el tiempo y la colaboración brindados para realizar los análisis estadísticos, a la plataforma científica PCP SAF-CP (Plataforma Científica Mesoamericana para Sistemas Agroforestales con Cultivos Perennes), quien financió el trabajo de campo con apoyo del Cirad, el MAG que nos colaboró con la lista de las plantaciones.

A los productores cacaoteros de Costa Rica, por su colaboración.

A los diferentes actores que fueron pieza clave para la elaboración de esta tesis.

Tabla de Contenido	
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
Índice de Cuadros	VII
Índice de Figuras	VIII
Índice de Anexos	IX
LISTA DE ACRÓNIMOS	X
Resumen	XI
Abstract	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
Objetivo específico 1	4
Objetivo específico 2	4
Objetivo específico 3	4
Objetivo específico 4	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Agroforestería	5
4.1.1. Características de los SAF	5
4.1.2. Beneficios de los SAF	7
4.1.3. Diseño del cultivo cacao bajo SAF	7
4.1.4. Beneficio económico de los SAF	7
4.1.5. Árboles asociados al cacao	8
4.2. Origen del cacao	9
4.3. Recursos genéticos	9
4.4. Grupos genéticos de cacao	11
4.5. Importancia de la caracterización y evaluación del germoplasma de cacao	12
4. 6. Mejoramiento genético	12
4.7. Fuentes de resistencia del cacao ante sus principales enfermedades y plagas	14
4.8. Requerimientos ambientales del cacao	16
4.9. Manejo agronómico del cultivo del cacao	16
5. METODOLOGÍA	18

5.1. Zona de estudio	18
5.2. Características agroecológicas	19
5.3. Selección de fincas	19
5.4. Variables estudiadas	20
5.4.1. Descripción de las fincas y los hogares	20
5.4.2. Descripción de los SAF con cacao	21
5.4.3. Variables dasométricas	22
5.4.4. Variables agronómicas, productivas y sanitarias	23
5.4.4.1. Altura de planta (cm)	23
5.4.4.2. Diámetro del tallo (cm)	24
5.4.4.3. Mazorcas sanas estimadas	24
5.4.4.4. Mazorcas moniliasis estimadas	24
5.4.4.5. Mazorcas negras estimadas	24
5.4.4.6. Mazorcas atacadas por ardillas	24
5.5. Análisis estadísticos	25
6. RESULTADOS	26
6.1. Características de los hogares	26
6.2. Características de la finca	29
6.3. Producción de las fincas	30
6.4. Composición botánica	31
6.5. Características de los SAF-cacao	32
6.6. Comparación de la producción predicha por el modelo y los datos de las fincas	34
6.7. Prácticas que contribuyen al rendimiento de cacao	41
6.8. Rendimiento económico de los SAF-cacao	41
6.9. Eficiencia de los indicadores socioeconómicos	42
6.10. Evaluación agronómica y productiva	44
6.11. Evaluación de plagas y enfermedades	44
7. DISCUSIÓN	46
8. CONCLUSIONES	52
9. BIBLIOGRAFÍA	54
10. ANEXOS	64

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tipos de plantas presentes en sistemas agroforestales de cacao de Talamanca, Costa Rica.....	6
Cuadro 2. Principales características agroecológicas de las tres zonas productoras de SAF-cacao de Costa Rica, 2019.	19
Cuadro 3. Índices de diversidad de plantas para cubiertas de sombra en SAF-cacao en Costa Rica, 2019.....	32
Cuadro 4. Densidades y área basal de los principales productos agroforestales en los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	33
Cuadro 5. Características de la estructura y rendimientos de los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.....	34
Cuadro 6. Número de fincas por clases de las tres zonas productoras de cacao de Costa Rica, 2019.....	38
Cuadro 7. Análisis de varianza en función del rendimiento de cacao seco estimado.....	38
Cuadro 8. Contribución de variables asociadas al rendimiento de cacao de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	41
Cuadro 9. Contribución de los principales productos agroforestales al ingreso neto, el flujo de caja y el beneficio familiar de los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	42
Cuadro 10. Contribución de variables asociadas al ingreso neto de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	42
Cuadro 11. Contribución de variables asociadas al flujo de caja de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	43
Cuadro 12. Contribución de las variables asociadas al beneficio familiar de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	43
Cuadro 13. Evaluación agronómica y productiva de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.	44
Cuadro 14. Evaluación de la resistencia de las plagas y enfermedades de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.....	45
Cuadro 15. Evaluación de la resistencia a mazorca negra de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.....	45

Índice de Figuras

Figura 1. Zona norte de Costa Rica, donde fueron seleccionadas las diez fincas de cacao para la investigación.	18
Figura 2. Número de personas totales y personas que producen cacao en los hogares de las tres zonas de Costa Rica, 2019.	27
Figura 3. Genero de los productores que producen cacao en las tres zonas cacaoteras de Costa Rica, 2019.	27
Figura 4. Jefes de hogar productores de cacao que trabajaron fuera de la finca en el año 2019 de las tres zonas de Costa Rica.	28
Figura 5. Tipos de trabajo que realizaron los jefes de hogar que producían cacao en las tres zonas de Costa Rica, 2019.	28
Figura 6. Número de días semana y horas día, que las personas que viven en los hogares trabajan en los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	29
Figura 7. Superficies en hectáreas por lotes de las propiedades del productor de Costa Rica, 2019.	29
Figura 8. Superficie en hectáreas de los lotes de SAF de cacao en Costa Rica, 2019. ..	30
Figura 9. Eficiencia económica ha ⁻¹ año ⁻¹ de los hogares que producen SAF-cacao en Costa Rica, 2019.	31
Figura 10. Regresión entre producción estimada y producción declarada en 30 SAF-cacao	35
Figura 11. Regresión entre producción estimada y producción declarada en 29 SAF-cacao.	35
Figura 12. Estructuración del rendimiento de cacao seco estimado en cuatro tipos de clases.	36

Índice de Anexos

Anexo 1. Número de personas totales que viven en los hogares de las tres zonas de Costa Rica	64
Anexo 2. Número de personas que producen cacao en los hogares de las tres zonas de Costa Rica.....	64
Anexo 3. Número de días semana ⁻¹ (a) y horas día ⁻¹ (b) que las personas que viven en los hogares trabajan en los SAF-cacao.....	64
Anexo 4. Superficie en hectáreas por lotes de las propiedades del productor de los SAF-cacao	65
Anexo 5. Superficie en hectáreas de los lotes de SAF-cacao.....	65
Anexo 6. Eficiencia económica ha ⁻¹ año ⁻¹ de los hogares que producen SAF-cacao	65
Anexo 7. Análisis de regresión lineal del rendimiento de cacao e indicadores económicos de los SAF-cacao	66
Anexo 8. Análisis de varianza de las variables agronómicas, productivas y sanitarias de los SAF-cacao.....	69
Anexo 9. Porcentaje de especies de plantas según su uso principal en SAF-cacao en Costa Rica.	80
Anexo 10. Lista de especies de plantas y sus usos que se identificaron en los SAF-cacao en Costa Rica.	81

LISTA DE ACRÓNIMOS

BF	Beneficio familiar
BLUP	Predicción lineal insesgada óptima
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CI	Consumo intermediario
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CEf	Costos en efectivo
CEs	Costos en especie
D	Depreciaciones
DAP	Diámetro a la altura del pecho
FHIA	Federación Hondureña de Investigación Agrícola
FC	Flujo de caja
IB	Ingreso bruto
IN	Ingreso neto
INBio	Instituto Nacional de Biodiversidad
PB	Producto bruto
PCP SAF-CP	Plataforma Científica Mesoamericana para Sistemas Agroforestales con Cultivos Perennes
PMG	Programa de Mejoramiento Genético
SAF	Sistemas Agroforestales
SE	Servicios Ecosistémicos
VAB	Valor agregado bruto
VAN	Valor agregado neto

Resumen

La evaluación del desempeño agroforestal y económico de clones de cacao mejorados en fincas comerciales es de interés para los actores del sector cacaotero y para la comunidad técnica-científica en general, con el fin de identificar los factores que desfavorecen o favorecen su potencial de producción y beneficios familiares. El CATIE ha liberado hace más de 10 años un policlon compuesto por 6 clones (CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95, PMCT-58) caracterizados por alta producción, tolerancia a enfermedades y buena calidad, que fueron distribuidos en países de la región Mesoamericana.

Esta investigación es la primera en evaluar el desempeño de dichos clones en fincas de productores y se desarrolló en tres regiones cacaoteras con diferentes condiciones agroecológicas en Costa Rica: Norte, Caribe y Pacífico. Para tener representatividad, se seleccionaron 10 fincas con el policlon por zona, y en cada zona, 5 fincas que reportaban rendimientos aceptables para los productores y 5 fincas donde consideraban que los rendimientos eran bajos. Se describió el contexto de las fincas y de los hogares; se hizo la medición de variables agronómicas y agroforestales, incluyendo la estimación de rendimientos de cacao. Los análisis estadísticos se concentraron en analizar diferencias entre clases de rendimientos e identificar los factores que más contribuyen a los beneficios derivados de los cacaotales. Se agrupó a los cacaotales en cuatro clases de rendimientos: 37% de los cacaotales con rendimiento promedio de 268 kg ha⁻¹ año⁻¹ de cacao seco, el cual es similar al promedio nacional y se alcanza con prácticas mínimas de manejo; el 27% de los cacaotales con rendimientos buenos de 832 kg ha⁻¹ año⁻¹, alcanzado con tres podas al año principalmente; el 27% de los cacaotales con rendimientos muy bueno de 1428 kg ha⁻¹ año⁻¹, alcanzado con tres podas (una poda de mantenimiento y dos podas suaves) y fertilización moderada (200 g planta⁻¹ año⁻¹); finalmente, el 10% de las fincas alcanzaron rendimientos muy elevados de 1770 kg ha⁻¹ año⁻¹, gracias a que hacen cuatro podas y una mayor fertilización (400 g planta⁻¹ año⁻¹).

Los análisis estadísticos confirmaron que los dos factores principales de manejo a los cuales responden los clones son las podas y la fertilización. Estos rendimientos provienen de cacaotales de 4 a 10 años, se espera que cuando alcancen su plena producción incrementen más los rendimientos. La incidencia de las enfermedades en todas las fincas fue baja, menos de 5% en el momento de medición y se estima que en ningún caso pasaría el 20% de incidencia en frutos en el peor de los casos. Las variables de estructura agroforestal de los cacaotales (densidades, áreas basales, cobertura de sombra) a esas edades no mostraron influencia sobre el desempeño de los clones. La investigación demuestra que sólo el utilizar un material genético mejorado, en este caso los clones del CATIE, no garantiza una mejora en la productividad del cacao. El manejo agronómico adecuado más allá de un manejo tradicional es esencial. El 37% de cacaotales que registraron bajos rendimientos refleja que hay un porcentaje importante de productores que pueden tener limitaciones de mano de obra o de recursos financieros para atender podas y aplicar fertilizantes.

Es necesario que instancias de gobierno y proyectos de desarrollo puedan proveer de innovaciones tecnológicas con la finalidad de explotar el potencial productivo de materiales mejorados. Otro hallazgo importante es que no hubo interacción clon:ambiente en los resultados de rendimientos ni en incidencia de la moniliasis, y se encontró que los tres clones de cacao más promisorios del policlon son, en este orden: CATIE-R6, CATIE-R4 y CATIE-R1. Se recomienda continuar las evaluaciones de los clones y profundizar en factores que podrían ser desfavorables, especialmente en fincas con bajos rendimientos (tipos de suelo, técnicas de manejo, otros).

Palabras Claves: Agroforestería, *Theobroma cacao*, rendimiento, resistencia a enfermedades, clones, autoconsumos, indicadores económicos.

Abstract

The evaluation of the agroforestry and economic performance of improved cocoa clones in commercial farms is of interest to the actors of the cocoa sector and to the technical-scientific community in general, in order to identify the factors that disadvantage or favor the production potential and family benefits. CATIE has released more than 10 years ago a polyclone composed of 6 clones (CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95, PMCT-58) characterized by high production, tolerance to diseases and good quality, which were distributed in countries of the Mesoamerican region.

This research is the first to evaluate the performance of these clones on producer farms and was developed in three cocoa producing regions with different agroecological conditions in Costa Rica: North, Caribbean and Pacific. In order to be representative, 10 farms cultivating the polyclone were selected per zone: 5 farms that reported acceptable yields by the producers and 5 farms where they considered that the yields were low. The context of farms and households was described. Agronomic and agroforestry variables were measured, including the estimation of cocoa yields. Statistical analyzes focused on analyzing differences between yield classes and identifying the factors that most contribute to the benefits derived from cocoa plantations. Cocoa plantations were grouped into four yield classes: 37% of cocoa plantations with an average yield of 268 kg ha⁻¹ year⁻¹ of dry cocoa, which is similar to the national average and is achieved with minimum management practices; 27% of the cocoa plantations with good yields of 832 kg ha⁻¹ year⁻¹, reached with three pruning a year mainly; 27% of the cocoa plantations with very good yields of 1428 kg ha⁻¹ year⁻¹, reached with three pruning (one maintenance pruning and two light pruning) and moderate fertilization (200 g plant⁻¹ year⁻¹); finally, 10% of the farms achieved very high yields of 1770 kg ha⁻¹ year⁻¹, thanks to four pruning and more fertilization (400 g plant⁻¹ year⁻¹).

Statistical analyzes also confirmed that the two main management factors to which clones respond are pruning and fertilization. These yields come from cocoa plantations of 4 to 10 years, it is expected that when they reach full production, yields will increase further. The incidence of diseases in all the farms was low, less than 5% at the time of measurement and it is estimated that the incidence on fruits could not exceed 20% in the worst case. The agroforestry structure variables of the cacao plantations (densities, basal areas, shade cover) at these ages did not show influence on the performance of the clones. Research shows that just using improved genetic material, in this case CATIE's clones, does not in itself guarantee an improvement in cocoa productivity. Proper agronomic management beyond traditional management is essential. The 37% of cocoa plantations that registered low yields reflects that there are a significant percentage of producers who may have limited labor and / or financial resources to attend to pruning and / or apply fertilizers.

It is necessary that government agencies and development projects can provide technological innovations in order to exploit the productive potential of improved materials. Another important finding is that there was no clone:environment interaction in the yield results or in the incidence of moniliasis, and it was found that the three most promising cocoa clones of the polyclone are, in this order: CATIE-R6, CATIE-R4 and CATIE-R1. It is recommended to continue the evaluations of the clones and delve into factors that could be unfavorable, especially in farms with low yields (types of soil, management techniques, others).

Key Words: Agroforestry, Theobroma cacao, yield, resistance, disease, clones, self-consumption, economic indicators.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la cuarta Conferencia Mundial del Cacao, organizada por la ICCO, tuvo lugar en Berlín, en la capital alemana, en 2018. El objetivo de este diálogo fue mostrar un camino para el sector cacaotero en áreas temáticas como: la producción sostenible, industria sostenible, consumo y gestión sostenible. Lo anterior, con la finalidad de asegurar una economía mundial sostenible del cacao, promoviendo la reforestación (ICCO, 2018).

El año 2018 fue, para los cacaoteros y chocolateros costarricenses, un año especial. Muchos productores de este cultivo y artesanos del chocolate destacaron en concursos internacionales por la calidad del grano y del principal subproducto de esta fruta, que crece en distintas partes del país. La excelencia del cacao fino de aroma proviene de cacaotales, donde se aplican prácticas amigables con la biodiversidad, destacando el sabor, las técnicas de producción y el potencial en los mercados internacionales.

Es por ello, que algunos autores han reconocido la importancia de los Sistemas Agroforestales (SAF) como una alternativa para proveer Servicios Ecosistémicos (SE), como la producción de madera, frutas o forrajes, la regulación del microclima, aporte y reciclaje de nutrientes, secuestro y almacenamiento de carbono, provisión de hábitat y alimento para la fauna silvestre, conectividad del paisaje, aumentando los ingresos del productor por el aprovechamiento de productos maderables y no maderables, entre otros. (Súarez y Somarriba. 2002; Andrade y Ibrahim. 2003; De Sousa et al. 2015; Montagnini et al. 2015)

En las últimas décadas, los sistemas agroforestales han tomado gran auge dado su capacidad de incrementar múltiples servicios ecosistémicos (FAO 2015), respecto a los sistemas tradicionales con pocas especies. En estos sistemas se combina el cultivo de cacao con especies forestales como laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*), poró (*Erythrina* sp.), entre otros; dichos sistemas logran conservar la biodiversidad y favorecen la polinización del cacao comparados con los monocultivos. También, el reaprovechamiento de nutrientes se favorece en los sistemas diversificados, disminuyendo la necesidad de fertilizantes inorgánico (Beer y Ilan 1998).

Según el Censo Nacional Agropecuario de Costa Rica, en 2014, la baja productividad del cacao resultó principalmente de factores como la antigüedad de las plantaciones y la escasa o nula presencia de variedades resistentes a plagas y enfermedades como la moniliasis. Estos elementos impactaron directamente la productividad y la rentabilidad, y luego, en la reducción de áreas productivas. Esta situación demandó la obtención de nuevos materiales genéticos dotados de alta productividad y con resistencia a las enfermedades.

El uso de variedades mejoradas en combinación con prácticas agrícolas apropiadas, permitirán incrementar la producción y combatir las enfermedades en forma eficaz, duradera, económica y amigable con el ambiente. Esto adquiere particular interés en Latinoamérica en donde el cacao es frecuentemente sembrado por

pequeños agricultores y agricultoras de escasos recursos, a veces ubicados en áreas aisladas o muy sensibles a los cambios ambientales (Maximova et al. 2002).

El Programa de Mejoramiento Genético (PMG) de Cacao del CATIE ha generado variedades con mayor valor económico, usando como base la amplia diversidad genética contenida en su Colección Internacional de Cacao del CATIE (IC3, por sus siglas en inglés) (Cervantes-Martínez et ál. 2006). En los últimos 25 años de investigación, se ha identificado un grupo de 6 clones trinitarios de buena producción y tolerancia a la moniliasis (CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 y PMCT-58) para su distribución en Centroamérica. Una vez seleccionado este grupo de clones de interés, se planteó la necesidad de evaluarlos en otros ambientes, en los que el cultivo de cacao tiene importancia económica, para conocer el comportamiento de cada variedad y su adaptación.

Según el IV Censo Nacional Agropecuario del 2014 (MAG, 2014), estos clones de cacao fueron también distribuidos a los productores de Costa Rica a partir de 2008, tanto en la zona norte, incluyendo los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso; como en la zona del Caribe, incluyendo los cantones de Guácimo, Limón, Matina, Pococí, Siquirres y Talamanca, para su producción y comercialización de cacao. Existen aproximadamente 5.5 hectáreas de jardines clonales certificados que multiplican estas variedades, que habilitan la siembra de 750 hectáreas por año.

Evaluar el comportamiento de los clones en las distintas regiones productoras del país permitirá conocer su rango de adaptabilidad y la existencia de interacciones genotipo ambiente ($G \times A$), debido al amplio rango de condiciones climáticas y de suelos que hay en Costa Rica. El presente estudio se basa en la evaluación del desempeño agroforestal y económico de los clones de cacao liberados por el CATIE en condiciones agroambientales diversas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño agroforestal y económico de los nuevos clones de cacao difundidos por el CATIE en diferentes condiciones agroecológicas y de manejo en Costa Rica.

2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar los contextos de las fincas: importancia del cacao y descripción de las otras actividades, objetivos, calendario de trabajo, mano de obra y tesorería.
2. Estimar los rendimientos e indicadores económicos de producción de cacao y de otros productos obtenidos del SAF.
3. Identificar los factores (estructura y manejo) que conducen a los mayores beneficios de producción e ingresos.
4. Evaluar la incidencia de moniliasis y mazorca negra de los clones del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas y de manejo en Costa Rica.

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Objetivo específico 1

- ¿Cómo funciona el sistema de producción de la finca?
- ¿Cómo se reparte el trabajo en la finca? ¿Cuáles son el calendario de actividades, la mano de obra familiar y contratada, entre otros?
- ¿Cuál es el manejo de la tesorería?
- ¿Cuáles son las redes profesionales con las cuales participan los productores?

Objetivo específico 2

- ¿Cuál es la diversidad de estructuras y de manejo de los SAF de cacao?
- ¿Qué prácticas de manejo agroforestal es más eficiente para los productores de cacao?
- ¿Cómo los árboles de sombra afectan en la producción de cacao?
- ¿Cuál es la producción de los nuevos clones según el tipo de manejo y las condiciones ambientales?

Objetivo específico 3

- ¿Cuáles son los resultados de producción?
- ¿Qué son los resultados económicos de los varios SAF?
- ¿Cómo los SAF de cacao impactan los medios de vida de las familias?
- ¿Cuáles son los factores limitantes que afectan el comportamiento de los nuevos clones?

Objetivo específico 4

- ¿Cuál es el comportamiento de los clones del CATIE ante la moniliasis y la mazorca negra del cacao?
- ¿Cuáles son las pérdidas estimadas por estas enfermedades?
- ¿Cuáles son los factores limitantes que afectan el comportamiento de los nuevos clones?
- ¿Cuáles son los costos de producción, los ingresos y el beneficio para los productores según el tipo de manejo?

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Agroforestería

En la literatura se pueden encontrar numerosas definiciones sobre la agroforestería; una de ellas es la expresada por Somarriba (1990), citado por Jiménez, Muschler y Kopsell (2001), quien menciona que la agroforestería es un uso de la tierra donde se deben cumplir las siguientes tres condiciones básicas: se debe dar una interacción biológica de al menos dos especies de plantas, mínimo uno de los componentes es una leñosa perenne y al menos uno de los componentes es una planta que se maneja para fines agrícolas (incluyendo pastos).

Los sistemas agroforestales son un uso de la tierra en donde leñosas y perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos o animales. Su propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción, respetando el principio de la sostenibilidad (López, 2007).

La agroforestería se fundamenta en principios y formas de cultivar la tierra, basados en mecanismos variables y flexibles en concordancia con objetivos y planificaciones propuestas, permitiendo al agricultor diversificar la producción en sus fincas o terrenos (Ramírez, 2005). A los productores les permite obtener en forma asociativa madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes y otros productos agrícolas, al mismo tiempo, es un medio para conservar especies forestales y mantener o incrementar la biodiversidad en los cultivos, ya que la agroforestería es amigable con el ambiente.

4.1.1. Características de los SAF

Somarriba (2007), indica que hay cinco tipologías básicas de SAF con cacao: 1) cacao bajo sombra mono-específica, como *Inga* spp, o *Cordia alliodora*; 2) cacao bajo sombra de dos estratos, una mezcla de frutas (*Citrus* spp., *Bactris gasipaes*, *Nephelium lappaceum*), leguminosas y maderables; 3) cacao intercalado con banano y frutales bajo una sombra mono-específica de maderables o leguminosas; 4) huertos caseros diversificados con cacao, frutales, madera y leguminosas y 5) cacao rústico, conocido como cabruca, que consiste en cacao sembrado debajo de bosque natural raleado. A continuación, se mencionan algunos estudios realizados en la región centroamericana que describen la composición de los SAF en esta región.

Estudios realizados por Cerda et al. (2013), en sistemas agroforestales con cacao de comunidades indígenas bribri, en la zona de Talamanca, Costa Rica, cuantificaron el área basal de los diferentes componentes (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Tipos de plantas presentes en sistemas agroforestales de cacao de Talamanca, Costa Rica

Variable	Árboles maderables	Árboles frutales	Otros árboles	Palmas	Musáceas	Árboles de cacao	Total
D (ind. ha ⁻¹)	119±84	84±63	42±58	43±48	193±261	591±218	1071±242
AB (m ² ha ⁻¹)	8.20±5.60	1.90±1.70	0.90±2.20	0.90±1.20	3.40±4.60	10.20±4.30	25.50±7.40

D densidad (individuos ha⁻¹), AB área basal.

En la zona de Waslala, Nicaragua, se estudió una muestra de 40 fincas, cuyos resultados indicaron que en todas existen especies maderables y otros cultivos; *Cordia alliodora* (17.50 árboles ha⁻¹), *Darbergia tucurensis* (3.25 árboles ha⁻¹), *Cordia bicolor* (2.08 árboles ha⁻¹) y *Terminalia oblonga* (2.75 árboles ha⁻¹) son las más abundantes. Sin embargo, existe un 10% de cacaotales que no tienen árboles maderables asociados. El 75% de los árboles presentes provienen de la regeneración natural y el restante 25% fueron plantados. Además, se observa que existen en promedio 31.30 árboles maderables ha⁻¹, que suman un área basal 3 m² ha⁻¹, que son aprovechados principalmente por parte de los mismos propietarios. Los frutales presentes son *Bactris gasipaes* (3-6.7 árboles ha⁻¹), *Citrus sinensis* (4-28 árboles ha⁻¹), *Mangifera indica* (1-4 árboles ha⁻¹), *Persea americana* (1-6 árboles ha⁻¹), *Citrus reticulata* (224 individuos, 0.42 árboles ha⁻¹) y *Citrus lemon* (1-3.5 árboles ha⁻¹). La comercialización de las frutas es limitada (Almendárez et al. 2013).

En un estudio sobre la composición florística y diversidad realizada también en Waslala, se indica que la densidad de siembra del cacao fue de 660 árboles ha⁻¹. Entre las especies del dosel, se destacan por su abundancia las musáceas (182 tallos ha⁻¹), *Cordia alliodora* (22 árboles ha⁻¹), *B. gasipaes* (20 individuos ha⁻¹) y *Ryania speciosa* (17 plantas ha⁻¹). En el sitio se registraron 145 individuos ha⁻¹. En las 3,6 ha del estudio se observaron 35 familias, 57 géneros y 70 especies (Matey et al. 2010).

Cerda et al. (2014), mencionan que en sistemas agroforestales de Centroamérica (Panamá Costa Rica, Guatemala, Honduras y Nicaragua), los de Panamá son los que presentan la mayor riqueza de especies de dosel (110 especies), seguido por Honduras (105), mientras que la menor la presentan SAF de Guatemala (43), en observaciones de hasta 20 ha. Las especies de este dosel son utilizadas por los productores principalmente para frutas, madera, leña y sombra (árboles de servicio). En los SAF con cacao, las especies del dosel más abundantes son: *Cordia alliodora* (29.8% de abundancia relativa), *Gliricidia sepium* (15.2%), *B. gasipaes* (7.7%), *Inga* spp. (5.5%), *Cedrela odorata* (2.7%), *Citrus sinensis* (2.3%), *Persea americana* (1.9%), *M. indica* (1.3%), *Guazuma ulmifolia* (1.2%), *Swietenia macrophylla* (1.1%) y *Pterocarpus officinalis* (1.0%). Los principales productos comerciales de los SAF con cacao son frutas, como cacao, bananos, cítricos y pejibaye, además de la madera especialmente en Costa Rica y Panamá. Otros usos son menos relevantes para la comercialización.

Otra característica importante de los sistemas agroforestales, según Emilio (2009), es que se consideran como un manejo sostenible de la tierra, incrementando su rendimiento, diversificando la producción de cultivos y brindando recursos necesarios

para satisfacer las necesidades de los productores sin afectar el recurso base del que depende el sistema.

4.1.2. Beneficios de los SAF

Según la FHIA (2004), algunos de los beneficios de sembrar cacao bajo sombra es que se logra un menor agotamiento del cacao y menor demanda de insumos que cuando se encuentra a la plena exposición de la luz del sol. Además, se prolonga la vida productiva del cacao, se controlan o regulan las malezas, por lo que se reducen los costos de mantenimiento, ayuda a mantener la fertilidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica y se produce una mayor rentabilidad por otros valores agregados como, por ejemplo, madera.

Otro beneficio que se pueden obtener de los SAF es que se puede aprovechar mejor el área, al encontrarse varias especies productivas y se puede obtener un ingreso "extra" por incentivos y créditos del Estado (García, 2006).

4.1.3. Diseño del cultivo cacao bajo SAF

Para garantizar el éxito de un sistema agroforestal con cacao se deben tomar en cuenta aspectos como la identificación de los objetivos del cultivo, la selección de especies a plantar, el material genético a emplear, la distribución espacial, las distancias de siembra, las condiciones agroecológicas de la zona, el mercado, entre otros (Rojas y Sacristán, 2013).

Según Lutheran World Relief (2013), un buen diseño agroforestal debe generar una alta productividad en las parcelas de cacao, ya que debe ayudar a regular la temperatura de la plantación, moderar la entrada de luz, disminuir el efecto del viento, preservar y mejorar el suelo.

4.1.4. Beneficio económico de los SAF

En lo referente a la rentabilidad de los SAF en Centroamérica, Cerda et al. (2014), han mencionado que en Nicaragua existe un ingreso neto positivo en 60% de las fincas, seguido de Guatemala (56%), Honduras (26%), Panamá (18%) y Costa Rica (17%). Sin embargo, en todas las fincas el beneficio familiar (ingreso efectivo que obtiene la familia), es positivo en todos los SAF observados debido a la participación de la mano de obra familiar. Los autores clasifican a los SAF en función de la información disponible; mencionan tres tipologías provenientes de un análisis de clúster: (C1), gran tamaño (área), densidad moderada de maderables y bajos rendimientos; (C2), tamaño pequeño (área), alta densidad de especies maderables y bajos rendimientos y (C3), tamaño moderado (área), alta densidad de especies maderables y altos rendimientos.

Los agricultores escogen la mezcla de especies que desean asociar con cacao conforme a sus propias necesidades y demanda de mercado. Los SAF producen beneficios adicionales en forma de productos o de servicios, como más altas producciones de cacao y la provisión de servicios ecosistémicos para el productor y la sociedad. Sin embargo, el uso de sombra diversificada puede ser visto como un nuevo enfoque de intensificación de producción. La disminución de sombra afecta la capacidad del agricultor de adaptarse a cambios globales orientados a presión demográfica, inseguridad alimentaria, volatilidad de precios de cacao o cambio climático (Deheuvels et al. 2011; Vaast y Somarriba 2014).

Los SAF se pueden describir desde un punto de vista económico, mediante la teoría del uso conjunto de la tierra (Robinson 1985), según la cual, la producción conjunta ocurre en cualquier situación en donde el mismo activo de producción (conjunto de recursos biofísicos), es usado para producir dos o más productos agrícolas. En este modelo, dos productos pueden ser producidos en proporciones "técnicamente variables". Conforme se incrementa la intensidad del cultivo sobre los demás componentes de un sistema de producción conjunta, ocurren situaciones de competencia ante la limitación de recursos que sostienen la producción (luz, agua y nutrientes, por ejemplo). Las relaciones existentes entre cultivo o producto al interior de un mismo sistema productivo pueden ser de diversa índole, especialmente a partir de un determinado grado de intensificación: desde totalmente compatibles hasta incompatibles pasando por diversos grados intermedios. Ello depende del grado de afectación que genere la producción de un determinado bien sobre el aprovechamiento de otro. En una situación de bajos ingresos podría ser posible que ambos productos puedan seguir aumentando si se invierte más en producir. Con la teoría del uso conjunto de la tierra, se observa que existe una oportunidad de optimización de sistemas agrícolas cuando se manejan con dos o más cultivos.

4.1.5. Árboles asociados al cacao

La preferencia de los productores de cacao del Alto Beni (Bolivia) por especies de árboles que proveen madera y frutas con valor comercial y para el consumo del hogar y que mejoren las condiciones de fertilidad del suelo coincide con los objetivos de productores en Brasil, oeste de África, Venezuela y Costa Rica (Herzog 1994; Duguma et al. 1999; Jaimez y Franco 1999; Norman 1999; Suárez y Somarriba 2002; Somarriba et al. 2003; Bentley et al. 2004; Gamarra Rojas et al. 2004; Asare 2005).

Algunas especies utilizadas dentro de cacaotales son leguminosas de uso múltiple (*Inga sp.*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina sp.*), maderables como *Cedrela sp.*, *Cordia alliodora*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* (ONF, 2013). Sumado a las especies anteriores, Rojas y Sacristán (2013), mencionan especies como *Cedrela odorata*, *Cedrela montana*, *Cordia alliodora*, *Erythrina glauca*, *Erythrina poeppigiana*, *Hevea brasiliensis*, *Persea americana*, *Borojoa patinoi*, *Matisa cardata*, *Cocos nucifera* y *Annona muricata*.

De acuerdo con la experiencia en la FHIA (2004), las especies que mejor se asocian al cacao son *Cordia megalantha*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela sp.*, *Dalbergia glomerata*, *Guarea grandifolia*, *Cojoba arborea*, *Hyeronima alchornooides*, *Terminalia amazonia*, *Ilex tectónica*, *Terminalia superba* y *Khaya senegalensis*. En función del manejo de cacao (control de malezas, podas, regulación de sombra, fertilización y registros de cosecha, incluyendo pérdidas de frutos por las enfermedades moniliasis y mazorca negra) y de las especies forestales (podas silvícolas y raleos según desarrollo de cada especie).

4.2. Origen del cacao

La especie *Theobroma cacao* L. es originaria de la cuenca alta de los ríos Amazonas y Orinoco en América del Sur, al este de la cordillera andina (Wood et al., 1959), donde se concentra la mayor variabilidad de esta especie. Los resultados de colectas silvestres realizadas antes de 1950 sugieren que el fenómeno de la diferenciación genética se dio con mayor intensidad en los valles formados por los ríos Napo, Putumayo y Caquetá (Pound, 1938; Cheesman, 1944), todos afluentes del Amazonas, así como también en algunos afluentes del río Orinoco.

Según Soria (1970), la distribución natural de la especie avanza hasta 15° L.S a lo largo los ríos Beni y Mamare en territorio boliviano y por el norte hasta 10° en los límites de los Llanos venezolanos y las vertientes bajas de las sierras de Parima, que separan Venezuela de Brasil. Cuatrecasas (1964), abona a la teoría de que el centro de origen del cacao se sitúa en la cuenca del Amazonas y propone la existencia de dos subespecies correspondientes a los grupos Criollos y Forasteros, sugiriendo que los primeros se originaron en América Central y los Forasteros en el bajo Amazonas.

4.3. Recursos genéticos

Los Bancos de Germoplasma representan un recurso estratégico dentro del proceso investigativo dirigido a la solución de problemas actuales y futuros, con respecto a la obtención de nuevas variedades vegetales, mediante la utilización de métodos tradicionales o biotecnológicos (IPGRI, 1995; Karp et al. 1997).

Los grandes avances producidos en el último medio siglo respecto al conocimiento de la diversidad y conservación de los recursos genéticos de la especie *Theobroma cacao*, no han venido acompañados en la misma medida por sus utilidades en los programas de mejoramiento genético del cacao, desaprovechándose su contribución al desarrollo de nuevas variedades de cacao. Aunque algunos de los motivos se relacionan con la naturaleza de la especie, los principales tienen que ver con la organización y ejecución de planes de mejoramiento adaptados a las necesidades de los productores (Bartley, 1995). Estos aspectos restringen la utilización adecuada de los recursos genéticos disponibles.

El cacao posee amplia diversidad genética (Bartley, 2005). En los bancos de germoplasma de esta especie en el mundo, existen hoy día más de 28.230 accesiones, de las cuales apenas 1.800 son de origen silvestre (Loor, 2002). Varias colectas realizadas después de 1940 han permitido la combinación de representantes de poblaciones originales de cacao forastero en Perú, Ecuador, Brasil, Colombia y más recientemente, en 1987 y 1995, en la Guayana Francesa (Paulin y Eskes, 1995). Los últimos autores señalan que en la actualidad las colecciones más importantes se encuentran en Trinidad, Brasil, Ecuador, Costa Rica, Ghana, Costa de Marfil y Malasia.

Existen 36 colecciones en 28 países productores de cacao; Trinidad Tobago (2.400 accesiones), Costa Rica (1.146) incluyendo 10% de clones criollos; Ecuador (2.332); Costa de Marfil (1.605); Guyana Francesa (508); Malasia (2.263); Ghana (1.366) y Venezuela con 872 accesiones (CacaoNet, 2012). Hasta 1991, el "Internacional Cocoa Germplasm Database" (ICGD) había registrado en su base de datos, información de alrededor de 8.000 clones, incluyendo materiales silvestres y seleccionados por programas de mejoramiento genético. Existen dos bancos genéticos internacionales calificados como "colecciones internacionales" por el IPGRI (actualmente, The Alliance CIAT-Bioversity International); uno en Trinidad (The International Cocoa Genebank at Trinidad (ICG, T) y el otro en CATIE (The International Cocoa Collection at CATIE (IC3)). Los países con mayor número de accesiones conservadas en colecciones son: Brasil, con clones colectados en el bajo amazonas brasileño y las series locales CEPEC, SIC y SIAL; Costa Rica con accesiones de las series locales CC, UF, PMCT y ARF; y Trinidad y Tobago que contiene la colección más grande del mundo (End et al. 1992).

Por otra parte, el CATIE ha desarrollado métodos eficientes de inoculación artificial para evaluar la reacción de los materiales a la moniliasis (Sánchez et al. 1987; Phillips y Galindo 1988), y a la mazorca negra (Phillips-Mora y Galindo 1989). No se han realizado investigaciones similares para escoba de bruja, debido a que la enfermedad está ausente en Costa Rica, siendo su rango actual de diseminación algunas islas del Caribe, Suramérica y la parte oriental de Panamá hasta su Canal. Como medida compensatoria, dentro del PMG se incluyeron fuentes internacionales de resistencia disponibles en la Colección de Germoplasma, como son los clones SCA-6, SCA-12 y CCN-51.

El PMG del CATIE ha generado variedades mejoradas usando como base la amplia diversidad genética contenida en su Colección Internacional de Germoplasma. En los últimos 25 años de investigación, ha identificado accesiones tolerantes a moniliasis con diferentes orígenes genéticos y geográficos. Estas accesiones están siendo cruzadas progresivamente para obtener variedades con niveles crecientes de resistencia a enfermedades, aprovechando de esta forma el carácter predominante aditivo que tiene esta característica en cacao (Cervantes-Martínez et al. 2006).

CATIE posee una de las dos únicas colecciones de germoplasma con rango internacional y de dominio público, la cual conserva 1.235 accesiones (Mata y Dessauw, comunicación personal). Durante los últimos años, la colección ha sido enriquecida mediante la introducción de clones silvestres provenientes del Centro

internacional de Cuarentena de Cacao de la Universidad de Reading en Inglaterra y del CIRAD en Francia, entre otros. Esto ha incrementado las posibilidades de identificar materiales resistentes con distinto origen geográfico. Se han establecido ensayos de progenies, obtenidas mediante el cruzamiento dirigido (polinizaciones artificiales) entre clones que poseen características complementarias, siendo las más importantes la buena producción, la resistencia a enfermedades (moniliasis y mazorca negra) y la alta calidad del cacao. En los ensayos de progenies, se seleccionan los árboles superiores que reúnen varias características deseables o que acumulan genes favorables para alguna característica importante. De ahí se establecen ensayos clonales, que incluyen los árboles superiores clonados, unos clones sobresalientes preseleccionados y testigos nacionales e internacionales. Después de al menos cinco años de evaluación mensual para producción, índice de mazorca, peso seco de semilla e incidencia de enfermedades, se seleccionan los materiales más destacados para establecer ensayos multilocales, y parcelas demostrativas y jardines clonales para la multiplicación vegetativa de los clones para su eventual distribución a las familias productoras.

4.4. Grupos genéticos de cacao

T. cacao pertenece al orden Malvales y a la familia Malvaceae (Cuatrecasas 1964; Hardy 1961). Tradicionalmente, se han distinguido tres grupos genéticos de cacao: Forasteros, Criollos y Trinitarios. Los cacaos Forasteros se caracterizan por sus frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente tersa y granos aplanados. Dentro de este grupo se destacan variedades como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo y Angoleta (Motamayor, 2001; Enríquez, 1992).

Los cacaos Criollo-originados en América del Sur, pero domesticados en Centroamérica y México, son conocidos como híbridos de cacao dulce. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas, de medianas a grandes, de color blanco o violeta pálido, también se cultivan en Colombia y parte de Venezuela. Los árboles son de porte bajo y menos robustos con relación a otras variedades. Son notoriamente más susceptibles a las enfermedades (Soria, 1966; Enríquez, 2004).

Los cacaos Trinitarios provienen de cruzamientos entre cacaos Criollo y Forastero, este último constituido principalmente por genotipos de la variedad Amelonada. Al parecer, ambos se cruzaron naturalmente en el Caribe. Los genotipos provenientes de Granada, Jamaica y Trinidad (Motamayor, 2001) son típicos de este grupo. Esta es la explicación para que los cacaos Trinitarios muestren características morfológicas y genéticas de ambos grupos. Además, presentan granos de tamaño mediano a grande y su producción es responsable del 10 al 15% de la producción mundial (Soria, 1966).

Según varios autores (Enríquez, 1992; Motamayor, 2001) la variedad Nacional originaria del Ecuador es considerada un cacao fino aromático que también pertenece al grupo de cacaos Forasteros, lo que ha sido confirmado por estudios recientes sobre genética molecular del cacao (Loor, 2002). El fruto atribuido a esta variedad presenta

un color verde cuando no está maduro y es de tamaño relativamente grande con cáscara gruesa y algo rugosa. Además, posee semillas grandes con pigmentación intermedia (Bartley, 2005). La ocurrencia de otras variedades híbridas del grupo Nacional, ha sido observada desde antes de 1950 (Pound, 1938), como resultado de la introducción de cacaos foráneos, particularmente Trinitarios, hacia fines del siglo XIX. Bartley (2005), planteó la teoría de que la variedad Nacional se originó en el piedemonte oriental de la cordillera de los Andes, el que está drenado por los tributarios del curso superior del río Amazonas.

Motamayor et al. (2008), utilizando marcadores moleculares (106 microsatelites) sobre 1.241 accesiones para determinar la diversidad genética del cacao, proponen una nueva clasificación del germoplasma de cacao en diez grupos así: Marañón, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional y Guiana, en reemplazo de los tres grupos que se conocían.

4.5. Importancia de la caracterización y evaluación del germoplasma de cacao

El conocimiento de la diversidad de la especie *T. cacao* es de considerable interés y valor científico. Sin embargo, la principal justificación de los esfuerzos de caracterización, conservación y evaluación de los recursos genéticos del cacao reside en la aplicación de la variabilidad en la expresión de los diversos caracteres, como fruto de la diversidad de la especie, para el mejoramiento genético de las variedades cultivadas para que rindan más, aumentando así el ingreso de los productores (Bartley, 2005).

La caracterización del germoplasma es un factor estratégico en el proceso de obtención de nuevas variedades (IPGRI, 1995; Karp et al, 1997) de cacao. El concepto incluye la descripción sistemática de las accesiones de una especie a partir de sus características morfológicas cualitativas y cuantitativas, así como el hábito de crecimiento, color de las flores, altura de la planta, número de óvulos por ovario, entre otras cualidades. Las características nombradas son de alta heredabilidad y no varían con el ambiente (IPGRI, 2000).

4. 6. Mejoramiento genético

Para facilitar la obtención de ganancias genéticas en los atributos de orden económico (rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad, entre otros) a través de programas de mejoramiento, se hace necesaria la caracterización de las accesiones presentes en las diversas colecciones de cacao y la evaluación de su desempeño agronómico. Desde que se siembran las accesiones, toma de 3 a 6 años hasta que un árbol produzca frutos maduros y se requieren otros tantos más para completar la caracterización y evaluación con propósitos de mejoramiento genético (Young, 1994).

De manera general, el mejoramiento genético del cacao a nivel global está dirigido a alcanzar grandes objetivos. Uno que busca la obtención de variedades con mayor rendimiento para superar el problema de la baja productividad mundial por unidad de superficie, unos 300 kg ha⁻¹ año⁻¹, y ante una demanda en constante crecimiento. Otro objetivo es obtener ganancias con el aumento de resistencia a las enfermedades y plagas, las cuales destruyen más de un tercio de la producción potencial de cacao (FAO, 1988). El tercer objetivo es la cadena de valor del cacao; existe una metodología actual de la ICCO para clasificar el cacao fino y de aroma. Este tipo de cacao se caracteriza por su calidad superior, de aromas y sabores especiales y distintivos, cuyas propiedades organolépticas, químicas y físicas se pueden percibir e identificar claramente la industria a nivel mundial en América Latina (Castro y Vignati, 2018).

La selección de árboles con mayor rendimiento y su posterior utilización como parentales dieron lugar al inicio de la ciencia del mejoramiento genético de esta especie en Trinidad (Pike, 1932). En el mejoramiento genético por selección genealógica, los descendientes tienden a ser muy heterogéneos, posiblemente debido al alto nivel de heterocigocidad de los padres. Tal es así que algunos trabajos realizados con híbridos provenientes del cruce de clones seleccionados han dado como resultado que el 80% de la producción se forma con la cosecha del 30% de los árboles seleccionados (Lanaud, 1987).

Aunque es comúnmente aceptado que el éxito futuro y la sostenibilidad de la actividad cacaotera dependerá en gran medida de la capacidad de generar nuevas variedades, muy pocos avances se han logrado globalmente en esa dirección (Efron et al. 2003). Así, por ejemplo, hasta hace poco, sólo el 30% del cacao producido en el mundo provenía de variedades mejoradas (Paulin y Eskes, 1995) y menos del 1% de los mejores clones, se había originado en los 20 años precedentes (Lockwood, 2003). Esto es sorprendente considerando la amplia diversidad genética del cacao en Latinoamérica, la cual fue colectada en forma intensa en los años 30 y conservada en colecciones que no han sido sistemáticamente aprovechadas.

Al igual que en otros cultivos perennes, el mejoramiento genético en cacao es muy lento, con frecuencia, un solo ciclo de selección dura más de una década y muchas veces es necesario completar dos o más ciclos antes de poder liberar una nueva variedad. Aún para cultivos anuales se ha estimado que el desarrollo de una nueva variedad requiere de 10 a 20 años de trabajo (Briggs y Knowles 1967).

El CATIE, con el apoyo del American Cocoa Research Institute (ACRI) y más adelante la World Cocoa Foundation (WCF), en 1996, inició un programa de mejoramiento genético con el objetivo de identificar genotipos de cacao con altos niveles de producción y con fuentes de resistencia a moniliasis y mazorca negra (*Phytophthora palmivora*). A escala mundial y debido a su gran relevancia, la producción y la resistencia a enfermedades son los caracteres que han recibido la mayor atención de los fitomejoradores, seguidos por la compatibilidad sexual y la calidad (Lopes et al. 2011). El programa ha desarrollado e identificado en los últimos

25 años de investigación, clones tolerantes a moniliasis con distinto origen genético y/o geográfico (Cervantes-Martínez et al. 2006) y ha sido fortalecido en años recientes con proyectos paralelos en asocio con USDA/MARS (2002-2018).

4.7. Fuentes de resistencia del cacao ante sus principales enfermedades y plagas

Las enfermedades inciden directamente en la producción y la calidad de las almendras del cacao mediante la infección parcial o total de las mismas. El costo para el control de las enfermedades es en general muy alto, sobre todo durante los largos períodos en que los precios del cacao son bajos. Las enfermedades se presentan frecuentemente en la mayoría de los países productores de cacao. Son notorias a escala global, causando pérdidas significativas a través de las infecciones de frutos. Un ejemplo típico son las enfermedades causadas por el género *Phytophthora*: *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. magakarya* y *P. palmivora*. Las dos enfermedades más importantes del cacao en Centroamérica son la mazorca negra y la moniliasis (Buddenhagen, 1977).

Hardy (1961), menciona que la moniliasis ataca solamente a los frutos del cacao. Sin embargo, su ataque a menudo es tan severo que se considera que la enfermedad constituye uno de los factores limitantes de mayor importancia en la producción de cacao de Ecuador y Colombia se ha informado de pérdidas que van desde 16 hasta el 75% y más. La enfermedad también es uno de los principales factores limitantes en varios países de América Tropical, región en donde el patógeno está restringido, aunque muestra un comportamiento muy invasivo que ha hecho que más y más países en el área sean infectados. Recientemente, se detectó en Jamaica en 2017 (Johnson et al. 2017). El hongo ocasiona pérdidas que oscilan entre un 16 hasta un 80% (Delgado y Suárez 1993) y en ocasiones, alcanza hasta un 100% (Evans et al. 1998).

La moniliasis es causada por el hongo *Moniliophthora roreri* Cif & Par. (Evans et al. 2002). Es conocida también como Pudrición acuosa, Helada, Mancha, Ceniza o Enfermedad de Quevedo. Según Phillips-Mora et al. (2003), se encuentra distribuida en América Tropical y existen reportes que evidencian la enfermedad en Guatemala (2002), Nicaragua (López y Enríquez 1980), Costa Rica (Enríquez y Suárez 1978), Ecuador (Jorgensen 1970), Panamá, Perú y Venezuela (Orellana 1956) y Colombia (Anon 1832).

La mazorca negra del cacao es causada por el hongo *Phytophthora* spp. Esta enfermedad es endémica de las áreas cacaoteras y a nivel mundial, limita seriamente la producción, ocasionando pérdidas hasta de un 50-60% (Blaha et al. 1976; ICCO 1991). En Centroamérica las pérdidas pueden alcanzar hasta un 80% (Enríquez 2004). En esta región se ha informado de dos especies asociadas con esta enfermedad: *P. palmivora* que es la más generalizada y *P. capsici* distribuida en países como El Salvador y Guatemala (Gregory et al. 1981).

Debido a la gran importancia de las enfermedades, la identificación de clones con resistencia genética a este problema es parte integral de los programas de mejoramiento genético (Gregory, 1981) y fundamental para el manejo de las enfermedades, por su efectividad y el bajo costo económico y ambiental, como parte de un combate integrado (Luz y Mitchell, 1989).

Estudios realizados por Phillips-Mora et al. (2003), reportan resistencia a moniliasis en los clones de cacao ICS-95 y SCC-61 en Colombia y del clon UF-273 en Costa Rica. Otras investigaciones revelan que los clones EET-233, EET-387 y EET-386 presentan algún grado de resistencia a la enfermedad cuando han sido comparado con otros clones, sin embargo, no hay reportes que demuestren si su descendencia es o no es resistente (Enríquez, 2004).

Se han identificado como clones resistentes al SCA-6, SCA-12, Catongo, Pound-7, CC-42, EET-59 y UF-613 entre otros, sin embargo, la existencia de la mutación en el patógeno, la zona donde estén los cultivares establecidos y el método con el cual se evaluaron los materiales han hecho que se encuentren diferencias entre autores en relación con el nivel de resistencia de los materiales (Firman y Vernon 1970; Enríquez 2004). Por ejemplo, estudios realizados en campo bajo condiciones naturales hechos por Enríquez y Salazar (1987) demuestran que el Catongo es resistente. En tanto que Rodríguez et al. (1983) encontró que era susceptible al evaluar su reacción artificialmente.

Aunque el hongo puede atacar plántulas y diferentes partes del árbol de cacao, como cojines florales, chupones, brotes, hojas, ramas, tronco y raíces, el principal daño lo sufren las mazorcas. En el fruto la infección aparece bajo la forma de manchas pardas, oscuras aproximadamente circulares, que rápidamente se agrandan y extienden por toda la superficie a través de la mazorca. Las almendras que se infectan resultan inservibles y en un plazo de 10 a 15 días la mazorca está totalmente podrida. Otros datos reportados son el cáncer de tronco, la necrosis de la hoja y el pecíolo y la podredumbre de los botones florales (Chee 1974; Waterhouse 1977).

La lesión al nivel de los frutos empieza con una mancha circular de color café en la superficie del fruto, la cual crece rápidamente y puede cubrir la mazorca totalmente en 7 y 10 días. Es posible apreciar los signos del hongo los cuales son evidentes porque se ve un micelio blanco poco compacto y superficial, que aparece a las 2 o 3 semanas después de la primera mancha (Gregory 1972).

Estudios realizados por Phillips-Mora y Galindo (1988), comparando cuatro métodos de inoculación a *P. palmivora* determinaron que de acuerdo con la severidad, 19 cultivares fueron resistentes, 61 moderadamente susceptibles y 31 susceptibles. Los cultivares resistentes fueron: Pound-7, CATIE-1000, CC-256, EET-59, EET-64, TSHN-812, SPA-5, SPA-11, SPA-17, UF-703, CC-124, EET-48, ICS-44, EET-250, CC-42, CC-38, CC-71, CC-232 y UF-602. Sin embargo, algunos autores reportan que el hongo posee

mucha variabilidad genética y nuevas razas de *Phytophthora* que pueden estar relacionadas con el desarrollo de resistencia a fungicidas y por ende, ocasionan el rompimiento de la resistencia de varios cultivares mejorados (Gregory et al. 1981).

4.8. Requerimientos ambientales del cacao

El cacao no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual de temperatura los 21°C, ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura. La temperatura determina la formación de flores a 25°C, la floración es normal y abundante. El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento, por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1.500 y 2.500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1.200 y 1.500 mm en las zonas más frescas o los valles altos (ANACAFÉ, 2004).

Cuando se seleccionan las especies maderables a establecer se debe tomar en cuenta los requerimientos climáticos, fisiográficos y edáficos que estas requieren. De igual forma, es importante identificar el desarrollo que ha tenido esa especie en la localidad, su valor comercial, además de características propias de la especie como densidad de copa, presencia de auto-poda, características del sistema radicular, manejo, entre otros (ONF, 2013).

4.9. Manejo agronómico del cultivo del cacao

Los clones de cacao liberados por el CATIE se sembraron en la finca La Lola, a una distancia de siembra de 3×3 m, esto con el fin de evaluar y establecer un modelo de manejo de estos clones. La sombra temporal estaba constituida por banano (*Musa* sp.) a una distancia de 6×6 m, que fue raleado en forma paulatina con el fin de dejar únicamente las plantas de sombra permanente como son árboles de guaba (*Inga edulis*) y de poro (*Erythrina poeppigiana*) distribuidos irregularmente en el área (Phillips-Mora et al. 2013). En el caso de las distancias con cacao clonal hay que tener mucho cuidado al momento de tomar la decisión de la siembra, por cuanto hay que tomar en cuenta las condiciones de crecimiento del clon seleccionado, la fertilidad del suelo, las necesidades de agua para el cultivo, etc. Enríquez (2009) recomienda sembrar a 2×3 y 3×3 m de esta manera, se siembran de 1.666 a 1.111 plantas por hectárea.

Las deshieras se inician a partir de la siembra, se debe mantener libre de malezas la zona de la planta (el plato) y evitar el desarrollo de arvenses que compitan con el cultivo. En caso de malezas gramíneas agresivas se debe usar herbicidas específicos

por una sola aplicación. Los controles de malezas se realizan manualmente o con guadaña (Compañía Nacional de Chocolates S.A.S, 2012).

Con respecto a las podas de formación, se debe eliminar chupones, ramas entrecruzadas y agobiadas o con crecimiento hacia el suelo, procurando una adecuada arquitectura y balance del árbol que le permita maximizar su área productiva. Este tipo de poda se realiza durante los dos primeros años del cultivo (Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. 2012).

La poda de mantenimiento consiste en realizar cortes laterales, con la finalidad de evitar que las ramas se entrecrucen y mantener una altura adecuada de 3.50 m. Se debe eliminar también aquellas ramas que se encuentran hacia el suelo, quebradas y enfermas. Estas podas se deben hacer al final de las épocas secas, cuando el árbol no tenga producción de frutos pequeños o pepinos que generalmente coinciden con los meses de febrero y marzo y julio y agosto, en zonas con régimen de lluvia bimodal. Podar facilita el control de plagas y enfermedades y permite transitar con facilidad por el cultivo para los procesos de manejo y cosecha. Una poda a destiempo reduce la producción y desgasta los árboles, pues obliga al árbol a rebrotar y cambiar follaje (Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. 2012).

5. METODOLOGÍA

5.1. Zona de estudio

La presente investigación fue financiada por el PCP SAF-CP, plataforma científica mesoamericana para sistemas agroforestales con cultivos perennes. El trabajo de campo fue desarrollado durante el período de octubre del 2019 y febrero del 2020 en las tres principales zonas productoras de cacao de Costa Rica, a saber:

- 1) Zona norte: Cantón de Upala y Guatuso;
- 2) Zona caribe: Cantón de Guácimo, Limón, Siquirres y Talamanca.
- 3) Zona pacífico: Cantón de Osa, Golfito y Pérez Zeledón.

Se registraron las coordenadas (GPS) de cada finca para facilitar la ubicación posterior. Con las coordenadas se elaboraron el mapa de ubicación de las 30 fincas de estudio (**Figura 1**).



Figura 1. Mapa de las tres zonas cacaoteras de Costa Rica, donde fueron seleccionadas las treinta fincas para la investigación.

5.2. Características agroecológicas

Las coordenadas geográficas de la zona norte, zona caribe y zona pacífico de Costa Rica son: 85° 04' longitud Oeste y 10° 52' latitud Norte; 83° 46' longitud Oeste y 10° 13' latitud Norte; y 83° 25' longitud Oeste y 08° 36' latitud Norte, respectivamente. En el Cuadro 2 , se presentan las principales características agroecológicas de las zonas cacaoteras del país.

Cuadro 2. Principales características agroecológicas de las tres zonas productoras de SAF-cacao de Costa Rica, 2019.

Características agroecológicas	Zonas productoras de SAF-cacao		
	Norte	Caribe	Pacífico
Altitud (msnm)	60	249	8
Temperatura promedio (°C)	22.1 - 31.2	20.2 - 28.7	22.8 – 31.8
Humedad relativa promedio mensual (%)	85.2	87.4	86.5
Precipitación promedio anual (mm)	2368	4567	3690
Heliofanía promedio anual (horas luminosidad efectiva)	13.5	13.4	14.9

5.3. Selección de fincas

Las características generales de los SAF-cacao estudiadas en 30 fincas (107.5 ha en total) fueron seleccionadas a partir de listas de productores proporcionadas por el personal científico del PMG del CATIE y del Ministerio de Agricultura de Costa Rica, los cuales ya tienen un registro de los genotipos de cacao del CATIE distribuidos en las diferentes zonas productoras de Costa Rica. En dichas listas había 267 productores en total.

En cada zona productora de cacao se seleccionaron a diez productores, obteniendo un total de 30 fincas para desarrollar el estudio. Uno de los criterios de selección de las 30 fincas de cacao fue que tuvieron producciones contrastantes. Es decir, se escogieron fincas con rendimiento por debajo de los 760 Kg ha⁻¹ año⁻¹, y fincas con rendimientos por encima de estos valores, de tal forma que estuvieran representadas la gran variabilidad de la producción de cacao en todas las zonas y no solo lo más comunes. Sin embargo, para limitar las variaciones y evitar los efectos de confusión de diferentes factores, se aplicaron cuatro criterios básicos:

- a) la plantación de cacao debe tener mínimo cuatro años;
- b) las fincas deben tener los seis clones del CATIE;
- c) el productor está dispuesto a colaborar con el estudio y
- d) las fincas son fácilmente accesibles.

5.4. Variables estudiadas

5.4.1. Descripción de las fincas y los hogares

Se encuestaron un total de 30 familias de productores de cacao de Costa Rica. Los datos fueron recolectados a nivel general de la finca y miembros del hogar. La recolección de los datos de campo se efectuó mediante una encuesta cara a cara a los productores. Las entrevistas fueron hechas al principal responsable de las fincas. Las evaluaciones en el campo se ejecutaron en dos días por finca. Se usó una guía de entrevista (entrevista semi-guiadas), la duración máxima de una entrevista fue una hora, con repetición el segundo día.

Para la descomposición de los cálculos económicos fueron utilizadas las siguientes variables: 1) el producto bruto (PB), 2) consumo intermediario (CI), y 3) depreciaciones (D). Estas tres variables fueron usadas para calcular el valor agregado neto (VAN) de las fincas. El VAN representa la riqueza producida por una finca. Es un indicador de la eficiencia económica de la finca.

Para obtener el PB de la finca se utilizaron los precios y las cantidades producidas anualmente declarados por el encuestado de las producciones vegetales, ganadería, animales menores que destinó a la venta y autoconsumos. El consumo intermedio corresponde a la compra de insumos como fertilizantes, semillas, pesticidas, entre otros. Estos insumos son incorporados en la producción final, o sea consumidos en el proceso de producción. Por ello, se dice que los insumos constituyen un consumo intermedio de la producción. Para las depreciaciones (costo de las herramientas), se estimó el valor actual de las herramientas sobre la vida útil. El agricultor utilizó herramientas (machete, pala, tijeras, serruchos), equipos (moto-guadaña, bomba de fumigar, bomba de motor, moto sierras). Estos materiales no se gastan en una sola producción anual, no obstante, cada año se consume una pequeña parte en la producción, hasta que no valga nada y haya que reemplazarlos. Estos indicadores fueron calculados de la siguiente manera:

- $PB = \text{Producción total} \times \text{precio}$
- $CI = \text{Insumos utilizados} \times \text{precios}$
- $\text{Depreciaciones} = \text{Valor de las herramientas} / \text{vida útil}$
- $VAB = PB - CI$
- $VAN = VAB - \text{mano de obra contratada} - \text{costos de alquiler, impuestos, etc.}$

5.4.2. Descripción de los SAF con cacao

En este estudio se tomaron datos de campo mediante una encuesta realizada a los productores y se registraron los siguientes tipos de variables para cada SAF-cacao y familias: 1) altitud, área, edad de la plantación; 2) riquezas de especies (total y por uso) e índices de diversidad Shannon; 3) densidad total del dosel de sombra, área basal de cacao y otros productos. Estas tres variables permitieron la ampliación de la base de datos disponibles que fueron útiles para explorar el comportamiento de los SAF-cacao en las condiciones agroecológicas y de manejo en las diferentes zonas del país, usando parámetros estadísticos de variación.

Dos tipos de variables adicionales fueron utilizadas: 1) el rendimiento de cacao seco estimado y 2) los indicadores socioeconómicos: ingreso neto (IN), flujo de caja (FC) y beneficio familiar (BF). Estas variables fueron útiles para mostrar los atributos económicos de los nuevos cacaotales en función de variables regresoras (altitud, área, densidad del dosel de sombra, área basal del dosel de sombra, cobertura de sombra, riqueza total de especies y manejos de los cacaotales).

El (IN) es un indicador tradicional utilizado en la mayoría de los estudios sobre el desempeño de SAF-cacao; el (FC) es importante para mostrar el balance entre el dinero en efectivo ganado y gastado, y el (BF) permite demostrar beneficios ocultos esenciales al considerar el valor del consumo interno.

Una vez construida la hoja de cálculo con los datos de rendimiento de cacao seco estimado y declarado por los productores se corrió un modelo de regresión lineal. La producción estimada se usó como variable dependiente con respecto a los datos de producción declarada. Estas regresiones se hicieron con el fin de verificar la relación entre las dos variables de evaluación. Se usaron parámetros como el p-valor y el R^2 para valorar la calidad del modelo. Luego, el rendimiento de cacao seco estimado se representó en una gráfica, mediante un histograma, para estudiar la distribución de la producción. Al final se generaron cuatro tipos de clases. Con los promedios de todas las variables para cada clase, se realizó un análisis de varianza.

Se realizaron observaciones directas en el campo, mediante un recorrido de reconocimiento de la zona de estudio, para evaluar el estado de los cacaotales y validar las informaciones y los criterios que permitieron determinar los muestreos de las fincas.

Posteriormente, se utilizaron los precios declarados por el encuestado para los productos que destinó a la venta y autoconsumos. Los costos en efectivos (CEf) comprendieron la compra de insumos, y la mano de obra contratada; mientras que los costos en especie (CEs) consideraron solamente la mano de obra familiar. Los días de trabajo, invertidos por la familia, fueron multiplicados por el costo de una jornada diaria en campo, basado en el concepto de costo de oportunidad y en la metodología de análisis financiero en fincas Imbach (1987), utilizadas por estudios similares como los de Cerda (2008) y Ambrose-Oji (2003).

El ingreso bruto (IB) indica los ingresos totales por venta de productos. Con los datos de consumo y venta de frutas (unidad y kg) reportados por el productor, se estimó multiplicando por el precio de los productos vendidos (Ambrose-Oji 2003; Cerda et al. 2014). El (FC) se calculó con el (IB) menos el costo efectivo de la mano de obra y los insumos. Finalmente, el beneficio familiar (BF) representa los beneficios totales considerando ventas y autoconsumo (Imbach 1987; Sánchez y Moreno 1996; Cerda et al. 2014). Estos indicadores fueron calculados de la siguiente manera:

- IB = Cantidad de productos para la venta por el precio declarado por el productor
- IN = ingreso bruto - costos en efectivo + costos en especie
- CEf = comprendieron la compra de insumos y la mano de obra contratada
- CEs = costos de mano de obra familiar
- FC = Ingreso bruto - costos en efectivos
- VA = Productos agroforestales destinados para consumo interno por el precio de mercado
- BF = Flujo de caja + valor de autoconsumo

El (IB) indica los ingresos totales por venta de productos, el FC se refiere a la ganancia total del productor después de deducir todos los costos en efectivo y en especie, el FC es el balance entre el dinero gastado y el dinero ganado dentro de un periodo determinado.

El valor de cada uno de estos indicadores fue extrapolado a hectárea por el modelo estadístico (ha^{-1}) y expresado en dólares norteamericanos (US\$). Para la madera, se calculó el valor en pie (US\$ ha^{-1}) para reflejar la potencial reserva de ahorro con la que cuentan las familias.

5.4.3. Variables dasométricas

La recolección de los datos dasométricos de las fincas visitadas se efectuó de la siguiente manera: en primer lugar, se marcó una parcela temporal de estudio de 20x50 m (1.000 m²) usando cinta métrica y estacas. Cada parcela de estudio se ubicó en un lugar representativo de la propiedad y se levantó un inventario de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 10 cm y se clasificaron según el tipo de planta de: cacao, musáceas, maderables, frutales y de servicios.

Inmediatamente, se registró el DAP y se midió en árboles en pie, la altura de medición del diámetro es 1.3 m desde el nivel del suelo, medido con una cinta diamétrica. El área basal de árboles individuales (AB, m²), resulta de la ecuación ($0.7854 \times DAP^2$) en el que, 0.7854 es una constante.

Seguidamente, se registró con un clinómetro y cinta métrica la altura total (HT, m) y altura comercial (HC, m). La altura del árbol se estimó ubicándose a una distancia donde se pueda ver completamente el árbol. Con la cinta métrica se midió la distancia horizontal entre el árbol y el punto de medición, igualmente, con el clinómetro se midió el ángulo (o pendiente) entre la horizontal imaginaria y la base del árbol y la parte más alta del árbol (altura total).

Posteriormente, se calcularon el volumen total (VT, m³) y el volumen comercial (VC, m³). Se estimó VT con la ecuación (VT=AB x AT x ff), donde: ff=factor de forma (0.45). El volumen comercial se estimó con la ecuación (VC=AB x AC x ff), donde AC representa y ff=factor de forma (0.70). La Biomasa se estimó con la ecuación (B=VC x ff), donde ff=factor de forma (1.50) y Carbono se estimó con la ecuación (C=B x ff), donde ff=factor de forma (0.50) (Dauber, 1997; FAO, 2004).

Finalmente, para estimar el porcentaje de sombra de los cacaotales, se utilizó el densitómetro esférico. Con este dispositivo se registró cinco lecturas en puntos previamente asignados dentro de la parcela de observación y luego, se obtuvo el promedio de los puntos tomados y de esa manera, se calculó el porcentaje de cobertura.

5.4.4. Variables agronómicas, productivas y sanitarias

De acuerdo con las características particulares de las propiedades, como en esta investigación, los genotipos y las zonas estudiadas, no fueron asignados al azar de manera predefinida; sino que dichos clones y regiones ya estaban prefijados antes de la investigación de forma independiente. Los datos se organizaron de acuerdo con la lógica de un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con seis tratamientos (clones) y con 30 repeticiones (productores). El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + Z_j + C \times Z_{ij} + B_k + E_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = variable de respuesta; μ = media general; C_i = efecto de los clones; Z_j = efecto de la zona; $C \times Z_{ij}$ = Interacción clon x zona; B_k = efecto de la finca; y E_{ijk} = Error aleatorio.

Para cada variable, se observaron 10 plantas por clon y por finca. A continuación, se detalla las variables a estudiar:

5.4.4.1. Altura de planta (cm)

Se determinó una vez durante la evaluación. La altura de planta se registró desde el nivel del suelo hasta el extremo más alto de la planta, con la ayuda de una cinta métrica.

5.4.4.2. Diámetro del tallo (cm)

Se registró una vez durante la evaluación. Para el efecto, se midió el diámetro del tallo principal a 30 cm del nivel del suelo. En el caso que hubo dos tallos principales se midieron ambos y se registró solo el promedio de ambas mediciones.

5.4.4.3. Mazorcas sanas estimadas

Este dato se registró una vez durante la evaluación. Se consideraron aquellos frutos fisiológicamente sanos de dos meses de edad en adelante.

5.4.4.4. Mazorcas moniliasis estimadas

Para la incidencia de moniliasis se registró el número de frutos infectados por moniliasis.

5.4.4.5. Mazorcas negras estimadas

La incidencia de mazorcas negras se obtuvo mediante el conteo de todos los frutos que presenten síntomas de necrosis, pero que no desarrollan signos de la enfermedad, es decir, no hay presencia de micelio y esporas en la parte afectada.

5.4.4.6. Mazorcas atacadas por ardillas

Con respecto al ataque de mazorcas por ardillas, se obtuvo mediante el conteo de todos los frutos que fueron comidas por este tipo de animal.

Con el propósito de obtener información adicional para apoyar la interpretación de la respuesta de los clones de cacao del CATIE en los diferentes sitios de muestreo, se realizó ejercicios de predicción de cosechas en las parcelas. La predicción de cosecha es una práctica que tiene por objeto estimar la producción potencial de una huerta con base en el conteo de mazorcas de diferentes edades presentes en los árboles en un momento determinado.

Para calcular esta variable, se contó todas las mazorcas fisiológicamente sanas de dos meses en adelante que estaban presentes en el árbol y este valor se dividió para el índice de mazorca conocido de cada genotipo estudiado (catálogo CATIE) y se multiplicó por la densidad de las plantas, obteniendo de esa manera, el rendimiento estimado para los seis meses de evaluación (octubre del 2019 hasta febrero del 2020).

Sin embargo, para valorar la producción de los seis meses restantes, se utilizaron datos de porcentaje de producción históricos que fueron proporcionadas por el Programa Nacional de cacao (PNC) del CATIE de los clones en cuestión. Para el efecto,

se consideró el porcentaje de producción de los períodos de septiembre a febrero de los clones CATIE-R1, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 y PMCT-58 con porcentajes de 68.9%; 52.1%; 77.5%; 69.0%; y 60.6% respectivamente. Mientras el clon CATIE-R4 se utilizó el porcentaje de producción del período de noviembre a abril y alcanzó el 67.5% de la producción.

5.5. Análisis estadísticos

La medición y el registro continuo de las variables de evaluación permitieron la ampliación de dos bases de datos. La primera base de datos recogió información sobre contexto, hogares y análisis económico de las propiedades. También se incluyen las variables de rendimientos e indicadores económicos de cacao y otros productos agroforestales.

Para la información recogida del eslabón relacionado con los hogares, contexto y análisis económico de las fincas, se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al. 2015), con el que se obtuvo estadísticas descriptivas como promedios, desviación estándar, valores mínimos y valores máximos.

Seguidamente, se representó el rendimiento de cacao estimado en una gráfica, mediante un histograma, con la finalidad de estudiar la distribución de la producción. Al final se generaron cuatro tipos de clases. Con el fin de verificar la relación existente entre el rendimiento de cacao estimado y el declarado, para el efecto, se corrió un modelo de regresión lineal. Posteriormente, se hizo una predicción lineal insesgado-óptima (BLUP) de cada finca para correlacionar con las variables asociadas al rendimiento de cacao y los indicadores socioeconómicos, con el propósito de determinar qué factores de manejo imposibilitan potenciar el desempeño de los nuevos cacaotales en el país. Esta metodología permite corregir adecuadamente los efectos económicos, de forma que pueden compararse entre fincas de distintos manejos. Luego, se establecieron regresiones lineales que determinaron el grado de asociación de las variables mencionadas.

La segunda base de datos está compuesta con variables agronómicas, productivas y sanitarias. Para encontrar la función estadística que mejor se ajusten los datos a estas variables se realizaron dos modelos estadísticos: 1) modelos lineales generales y mixtos específicamente para valorar el desempeño agronómico y productivo de los clones en los diferentes SAF-cacao. Para este efecto, se usaron los promedios provenientes de la evaluación de diez plantas. Como efectos fijos se usaron los clones y las zonas y la interacción entre estos; mientras las fincas (código) como efectos aleatorios. Se utilizó una distribución normal. 2) Modelos lineales generalizados mixtos. Se construyó una nueva matriz con las variables sanitarias y además, se incluyó la variable número de mazorcas totales. Este modelo permitió definir el nivel de incidencia de moniliasis y mazorca negra de los mismos genotipos en las diferentes condiciones agroecológicas y de manejo en el país. Para este efecto, se usaron los promedios provenientes de la evaluación de diez plantas. Como efectos fijos se usaron

los clones, y como efectos aleatorios las fincas (códigos). Se agregó el total de mazorcas evaluadas como covariable, para mejorar la exactitud del modelo. Se utilizó una distribución binomial con enlace Logit.

Estos análisis permitieron detectar posibles diferencias estadísticas entre los genotipos. Cuando el valor de F era significativo ($P < 0.05$) se procedía a la separación de medias de los clones para cada variable; con este propósito se utilizó la prueba de LSD Fisher; a través del uso del software estadístico Infostat (Di Rienzo et al. 2015).

6. RESULTADOS

La presentación de los resultados tiene la siguiente secuencia. Primeramente, se exploró la variabilidad de las 30 fincas, utilizando parámetros de variación como la media, desviación estándar (D.E.), valores mínimos, valores máximos. Seguidamente, se estructuró el rendimiento de cacao estimado, mediante un histograma. Al final se generaron cuatro tipos de clases. Con el fin de verificar la relación que existiera entre el rendimiento de cacao seco estimado y el declarado, para el efecto, se corrió un modelo de regresión lineal. Luego se establecieron regresiones lineales que determinaron el nivel de correlaciones de las variables en cuestión. A continuación, se encontró la función estadística que mejor se ajustaron los datos mediante modelos lineales generales y mixtos, y modelos lineales generalizados mixtos. Más tarde, se detectaron posibles diferencias estadísticas entre los genotipos.

6.1. Características de los hogares

En la **Figura 2** se evidencia el número promedio total de personas que vivían en los hogares, que fue de 3.8, siendo un mínimo de dos personas y 6.70 personas el máximo. El número de personas que habitan en los hogares incluye los adultos, jóvenes y niños. El promedio de personas que habitaban en los hogares que se dedicaban a producir cacao fue de 1.5, los miembros que participan en estas actividades son: jefes de hogar, esposa, e hijos adultos. El jefe de hogar es quien, mayormente, toma las decisiones de todas las actividades, tales como, compra de insumos, manejo del cacao y comercialización.

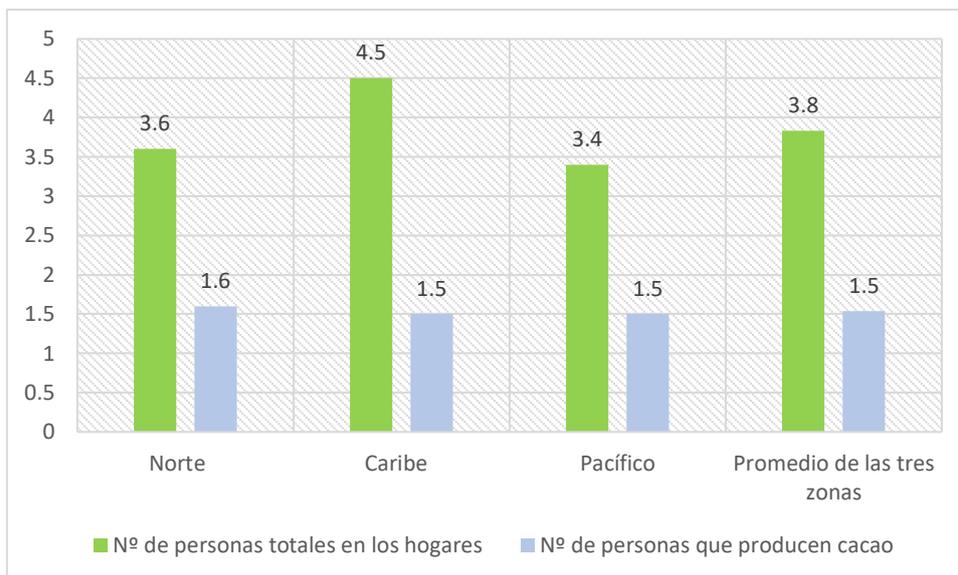


Figura 2. Número de personas totales y personas que producen cacao en los hogares de las tres zonas de Costa Rica, 2019.

El porcentaje de productores que producen cacao en las tres zonas de Costa Rica fue el 86.7% de las personas de los hogares eran hombres y el 13.3% mujeres (**Figura 3**). Es importante, señalar que la zona norte existe el mayor porcentaje de personas en el hogar y correspondían a los hombres, en relación con las otras zonas.

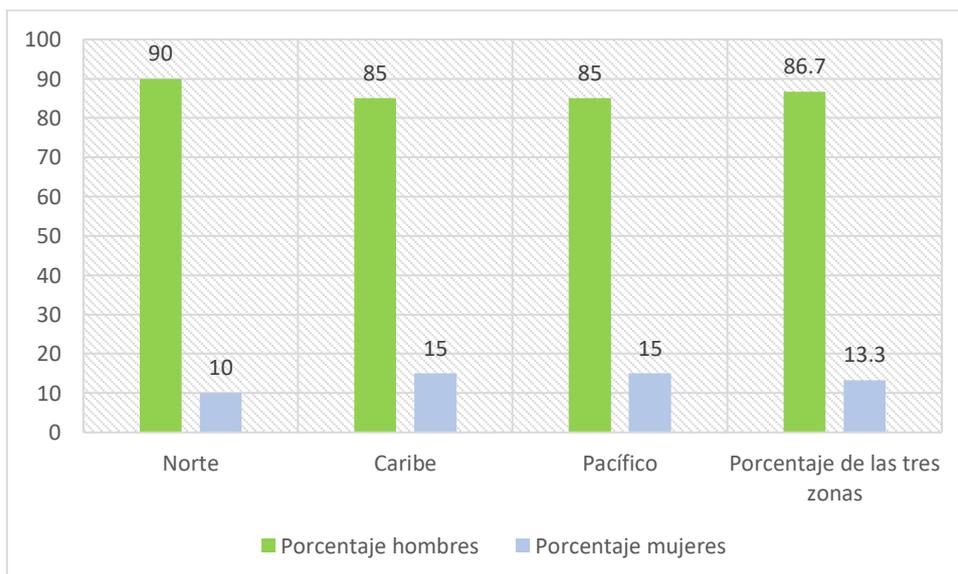


Figura 3. Género de los productores que producen cacao en las tres zonas cacaoteras de Costa Rica, 2019.

En el año 2019, el 35.6% de los jefes de hogar que produjeron cacao trabajaron fuera de la finca (**Figura 4**). Particularmente, el 58% de los productores de hogar de la zona caribe y 23.3% de la zona norte reportaron que trabajaron fuera de la finca, mientras que el 25% de la zona pacífico, lo hicieron.

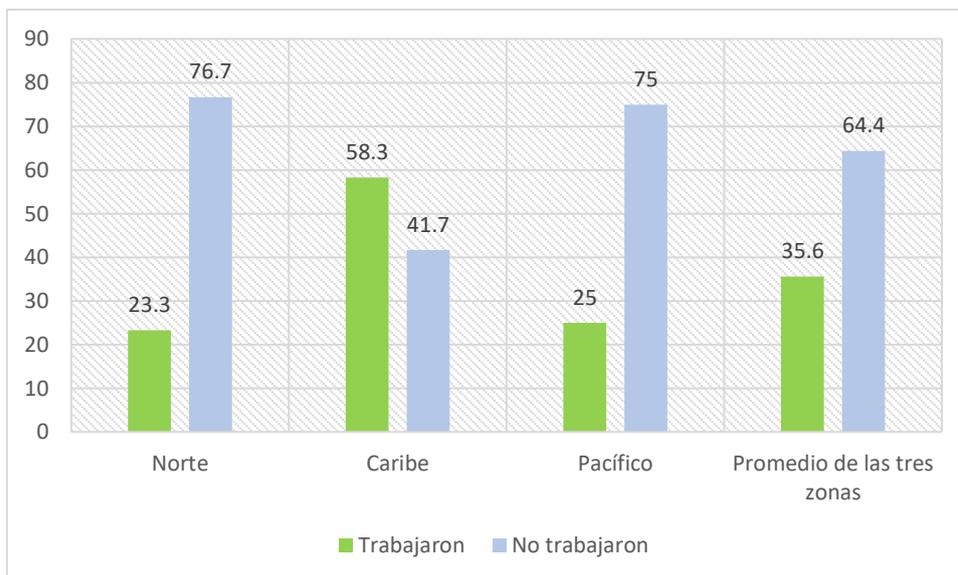


Figura 4. Jefes de hogar productores de cacao que trabajaron fuera de la finca en el año 2019 de las tres zonas de Costa Rica.

De los jefes de hogar que trabajaron fuera de la finca (35.6), el principal tipo de trabajo fue otro trabajo 42.84%, es decir, ellos se dedicaban a otro emprendimiento, diferente de la producción agrícola dentro de la finca (**Figura 5**). En menor porcentaje, los trabajos reportados fueron empleado público y jornalero o peón, con el 28.56%, respectivamente.

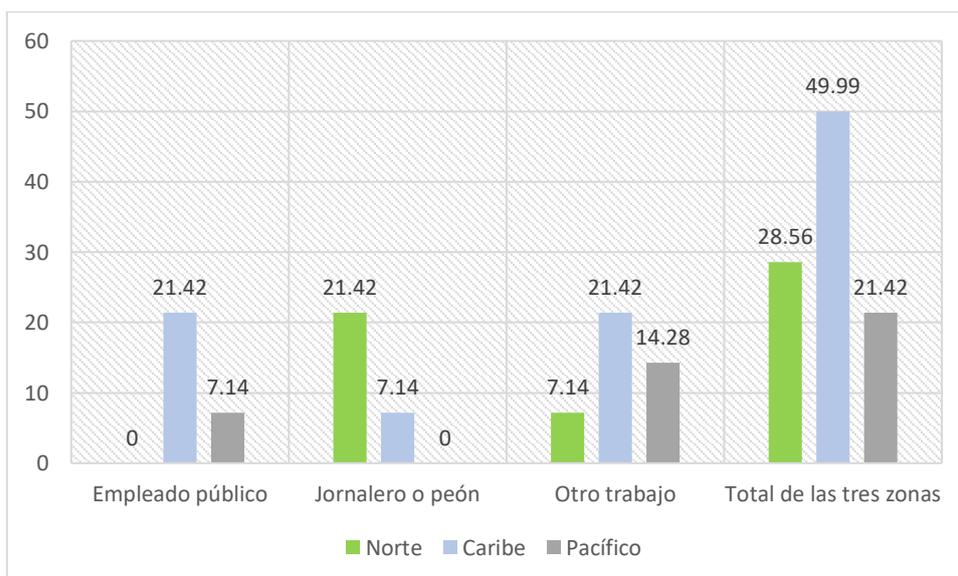


Figura 5. Tipos de trabajo que realizaron los jefes de hogar que producían cacao en las tres zonas de Costa Rica, 2019.

Las personas que viven en los hogares dedicaron 4.7 día⁻¹ de la semana a la producción de cacao y trabajaron 6.6 horas por día⁻¹, como se puede apreciar en la

Figura 6, es decir, básicamente, fue un trabajo a tiempo completo. Habitualmente, dos personas adultas trabajan en la finca.

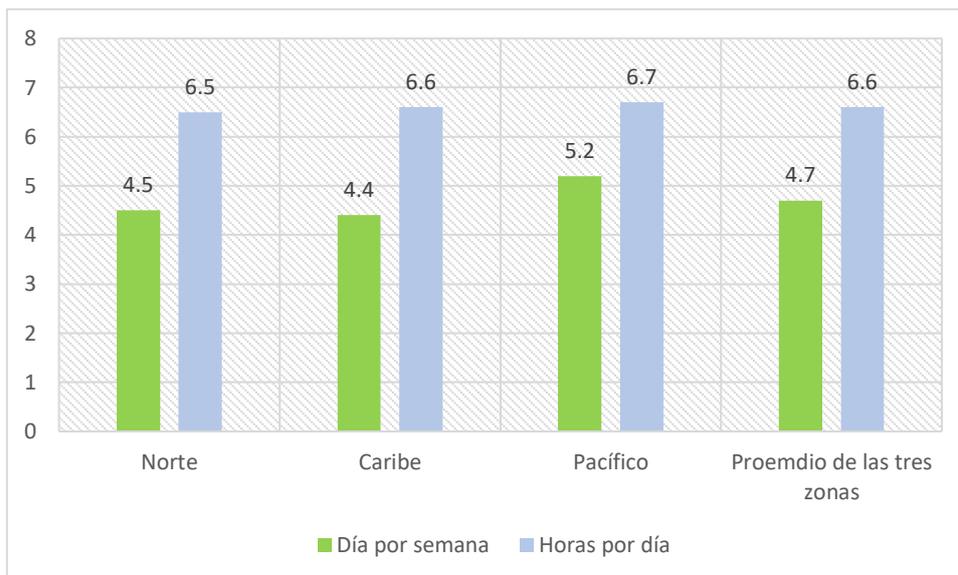


Figura 6. Número de días semana y horas día, que las personas que viven en los hogares trabajan en los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

6.2. Características de la finca

En la **Figura 7**, se puede apreciar la superficie en hectáreas del contexto de la finca, en promedio, fue de 11.8 ha, siendo el área máxima de hasta 90 ha, y el área mínima de una hectárea. El lote de cacao tiene en promedio de 3.58 ha, el de bosques naturales 3.24 ha, la de huertos caseros posee 0.39 ha, agricultura tiene 3.40 ha, y el de los pastizales tiene 1.13 ha. Es importante mencionar que el 100% de la tenencia o propiedad de los productores fueron propios y explotados por el mismo hogar.

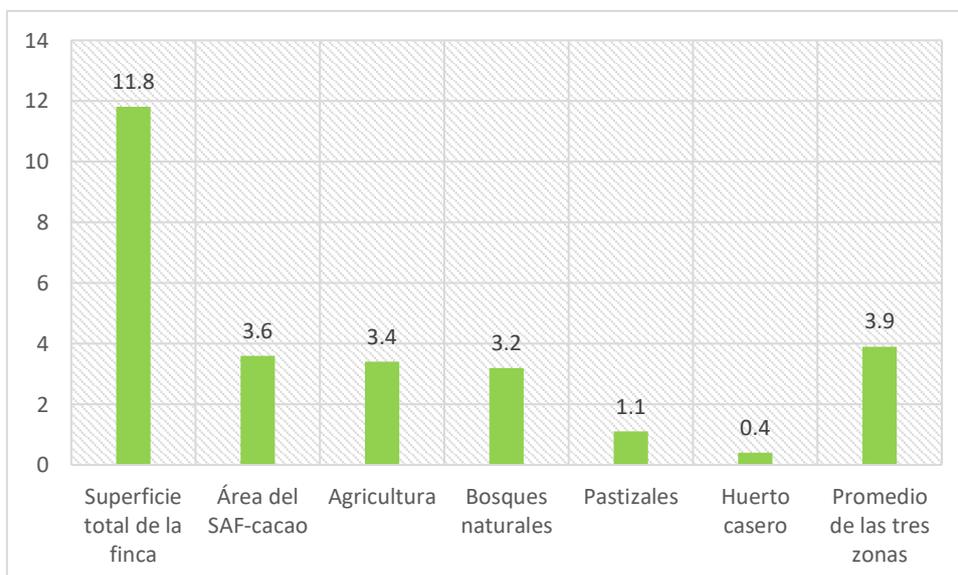


Figura 7. Superficies en hectáreas por lotes de las propiedades del productor de Costa Rica, 2019.

En la **Figura 8**, se puede apreciar que la superficie dedicada al cultivo de cacao, en promedio, fue de 3.6 ha, siendo el área máxima de hasta 42 ha y el área mínima de una ha. (**Anexo 5**) Los productores de la zona norte y pacífico reportaron producir cacao en extensiones pequeñas de 2.4 ha, mientras los de la zona caribe produjeron en extensiones mayores de terreno 5,95 ha.

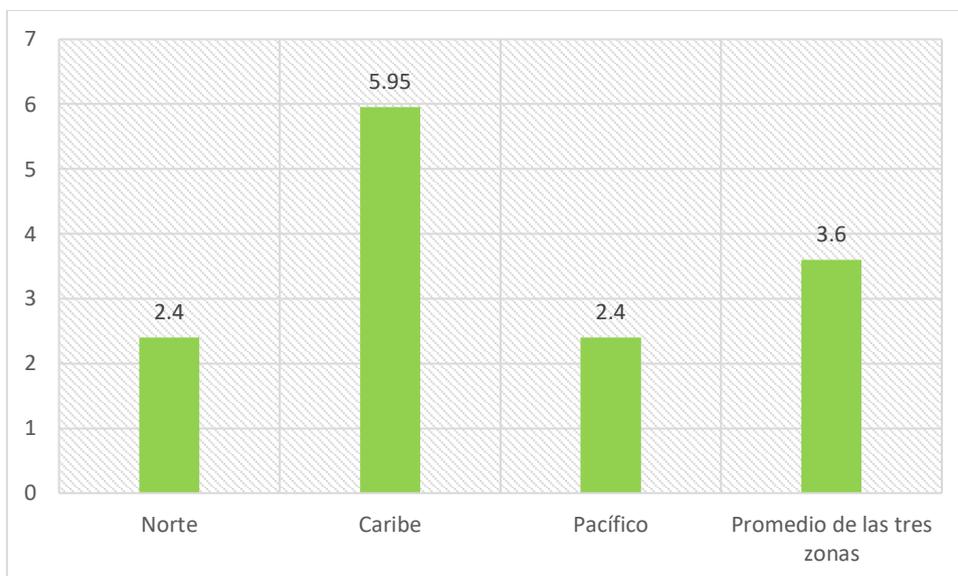


Figura 8. Superficie en hectáreas de los lotes de SAF de cacao en Costa Rica, 2019.

6.3. Producción de las fincas

En la **Figura 9**, se muestra la riqueza producida, que proviene del conjunto de actividades realizadas de la producción agropecuaria de las propiedades, en promedio, se estableció un valor agregado neto (VAN) a nivel de zona en el orden de US\$ 3782.78, por hectárea y por año. Es importante, mencionar que los productores de las tres zonas produjeron un VAN total de US\$ 30.088,40 en una superficie de 11.75 hectáreas y el 93% del VAN total alcanzado, provienen de los SAF-cacao, y tienen una superficie promedio de 3.58 hectáreas. Se debe enfatizar que los productores de estas zonas están recibiendo beneficios económicos netos que van desde USD 320.52 a 13.086,65 por hectárea al año, esta gran diversidad se explica, debido que los rendimientos de cacao en los SAF han sido muy satisfactorios. Estas diferencias se deben que los productores han alcanzado mayores VAN en los SAF que otros rubros como pastizales, agricultura, huertos caseros, bosques naturales.

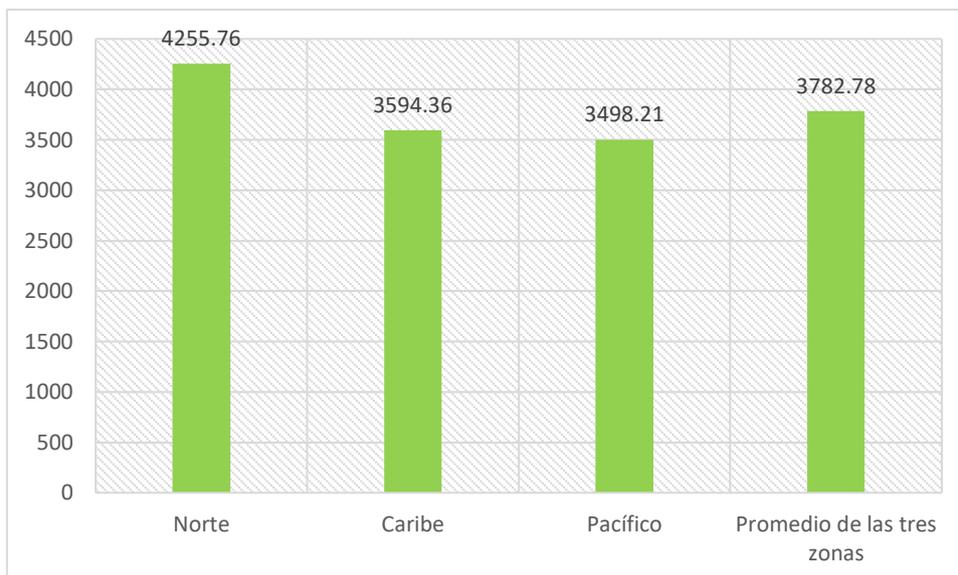


Figura 9. Valor agregado neto (VAN) ha⁻¹ año⁻¹ de los hogares que producen SAF-cacao en las tres zonas de Costa Rica, 2019.

6.4. Composición botánica

Se identificaron un total de 64 especies de plantas del dosel de sombra de los SAF-cacao de Costa Rica, como se puede observar en **Cuadro 3**. Existen notorias diferencias entre las zonas en cuanto a la riqueza de especies. Los doseles de sombra de cacao más simples se encontraron tanto en la zona pacífico (15 especies) como en la norte (16 especies), y el más rico en la zona caribe (33 especies). El promedio de índices de diversidad de especies de Costa Rica fue 1.61, siendo un mínimo de cero y 3.55 el máximo.

El porcentaje de especies según el uso principal de los SAF-cacao fue variable entre las áreas de cultivo, el porcentaje de especies de plantas musáceas fue de (18.60%), árboles frutales (31%), árboles maderables (28.30%), árboles de servicio (14.20%), y otros productos agroforestales (7.96%), fueron los usos más comunes (Fig. 4).

Las especies de plantas más abundantes encontradas en los SAF-cacao de Costa Rica fueron: el porcentaje de árboles maderables para cedro (*Cedrela odorata* L.), y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) fue de (28.13%), roble (*Licania arborea* Seem.) (9.38%), y teca (*Tectona grandis* L.f.) (6.25%); mientras los árboles frutales como el aguacate (*Persea americana* Mill) (20%), rambután (*Vismia baccifera* (L.) Trana & Planch) (17.14%), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), y pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) con porcentajes de (8.57%).

Cuadro 3. Índices de diversidad de plantas para cubiertas de sombra en SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Zona	Índice de diversidad de shannon					
	Riqueza de especies	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Norte	16	1.09	1.49	0	3.5	0
Caribe	33	2.77	1.61	0	3.97	3.26
Pacífico	15	0.97	1.37	0	3.18	0
Promedio de las tres zonas	64	1.61	-	-	3.97	-

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar.

6.5. Características de los SAF-cacao

En el **Cuadro 4**, se observan las densidades y los rendimientos de los productos agroforestales. Dentro del contexto del SAF-cacao se manejan árboles con densidades de 1138.7 ha, siendo la densidad máxima de hasta 1471 ha, y la densidad mínima de 645 ha. La densidad de árboles maderables es de 64.67 ha, el de plantas musáceas es 47 ha, los árboles frutales de 20.33 ha, y los árboles de servicio posee 48 ha. La densidad de árboles de cacao por hectárea se distribuye especialmente en promedio de 958.67 ha, siendo el valor máximo de hasta 1111 ha y el mínimo 500 ha.

Los cacaotales de la zona norte se caracterizan por una asociación con árboles maderables en particular *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, (50% de los cacaotales de la zona Norte). En ese tipo de sistema existe diez hileras de cacao a 3 x 3 m, alternando con surcos doble de árboles de sombra, sembrados a 3 x 1.5 m, en triángulo. Alcanzando un dosel de sombra de 1.288 plantas por hectárea, distribuidas de la siguiente manera 1.020 de cacao y 268 de maderables. Los cacaotales de la zona Caribe tienen sembrado el cacao a 4 x 3 m, (833), y 110 árboles de madera, consiguiendo un dosel de sombra de 943 plantas por hectárea. Finalmente, los cacaotales de la zona Pacífica siembran el cacao a 3 x 3 m (1111) y solo cuatro árboles maderables, obteniendo un total de 1116 plantas por hectárea. Es importante señalar que hay dos hogares de esa zona que siembran cacao a 4 x 2.5 m (1000), con la finalidad de explotar café en las hileras.

El área basal reportado de las plantas agroforestales estudiadas, para el caso de cacao es de 6.65 m² ha⁻¹, el de árboles maderables fue de 2.95 m² ha⁻¹, el de plantas musáceas está en 1.91 m² ha⁻¹, el de árboles frutales tiene 0.91 m² ha⁻¹, y la de árboles de servicio es de 0.77 m² ha⁻¹; mientras el área basal del dosel de sombra de los SAF está mayormente en 13.18 m² ha⁻¹, siendo el valor máximo de hasta 29.70 m² ha⁻¹, y el mínimo 2.10 m² ha⁻¹.

Cuadro 4. Densidades y área basal de los principales productos agroforestales en los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Variable	Densidades y área basal de productos agroforestales					
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
DPC (ha)	30	958.67	211.5	500	1111	1111
DAM (ha)	30	64.67	87.37	0	280	20
DPM (ha)	30	47	73.59	0	270	0
DAF (ha)	30	20.33	40.72	0	160	0
DAS (ha)	30	48	82.65	0	370	10
DTDS (ha)	30	1138.7	229.4	645	1471	1226
ABPC (m ² ha)	30	6.65	2.59	1.74	10.95	7.45
ABAM (m ² ha)	30	2.95	4.63	0	20.65	0.95
ABPM (m ² ha)	30	1.91	3.04	0	9.96	0
ABAF (m ² ha)	30	0.91	2.14	0	9.51	0
ABAS (m ² ha)	30	0.77	1.37	0	4.70	0.09
ABTDS (m ² ha)	30	13.18	5.94	2.05	29.67	11.93

Nº número de propiedades, D.E. desviación estándar.

DPC densidad de plantas de cacao, DAM densidad de árboles maderables, DPM densidad de plantas musáceas, DAF densidad de árboles frutales, DAS densidad de árboles de servicio, DTDS densidad total del dosel de sombra, ABPC área basal de plantas de cacao, ABAM área basal de árboles maderables, ABPM área basal de plantas musáceas, ABAF área basal de árboles frutales, ABAS área basal de árboles de servicio, y ABTDS área basal del dosel de sombra.

En el **Cuadro 4**, se muestra las áreas sembradas de los cacaotales de Costa Rica. El promedio de superficie sembrada fue de 3.58 ha, la edad de la plantación fue de 5.40 años, la densidad de árboles de cacao por hectárea fue de 958.67, el rendimiento de cacao seco declarado 1043.33 kg ha⁻¹ año⁻¹, el rendimiento de cacao seco estimado 878.05 kg ha⁻¹ año⁻¹, siendo el valor máximo de hasta 2070.94 kg ha⁻¹ año⁻¹, y el valor mínimo 120.93 kg ha⁻¹ año⁻¹; mientras que los indicadores socioeconómicos, como el caso del ingreso bruto fue de US\$ 2417.15 ha⁻¹ año⁻¹, el ingreso neto de US\$ 513.72 ha⁻¹ año⁻¹, y el flujo de caja de US\$ 1101.07 ha⁻¹ año⁻¹. Es importante observar que los productores de cacao de Costa Rica recibieron ingresos brutos que fueron desde US\$ 248.06 ha⁻¹ año⁻¹ a US\$ 6973.57 ha⁻¹ año⁻¹ (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Características de la estructura y rendimientos de los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Variable	Características de la estructura y rendimientos de los SAF-cacao					
	Frecuencia	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Altitud (msnm)	30	204.4	216.9	41	758	87
AS AFC (ha)	30	3.58	7.47	1	42	2
EDPC (año)	30	5.4	1.5	4	10	5
RCSD (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1043.33	779.78	200	4000	1000
RCSE (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	878.05	572.4	120.93	2070.94	817
RPM (racimo)	17	59.67	84.18	0	300	0
RAF (unidad)	15	552.57	1404.76	0	7500	0
RAS (unidad)	14	52.33	101.39	0	500	10
ROPA (kg)	4	36.2	121.3	0	550	0

Nº número de propiedades, D.E. desviación estándar.

AS AFC área del SAF-cacao, EDPC edad de la plantación de cacao, RCSD rendimiento de cacao seco declarado, RCSE rendimiento de cacao seco estimado, RPM rendimiento de plantas musáceas, RAF rendimiento de árboles frutales, RAS rendimiento de árboles de servicio, ROPA rendimiento de otros productos agroforestales.

6.6. Comparación de la producción predicha por el modelo y los datos de las fincas

Según los resultados del modelo de regresión lineal, se puede verificar que sí existe relación entre la variable de rendimiento de cacao seco estimado y el declarado, con una confianza del 78% (**Figura 10**).

La regresión planteada con los datos de las 30 fincas logró un p-valor igual a <0,0001, en el caso del análisis de varianza, eso significa entonces que el modelo es válido globalmente para hacer una predicción, logrando representar lo suficientemente bien el funcionamiento de la competencia al interior de los cacaotales.

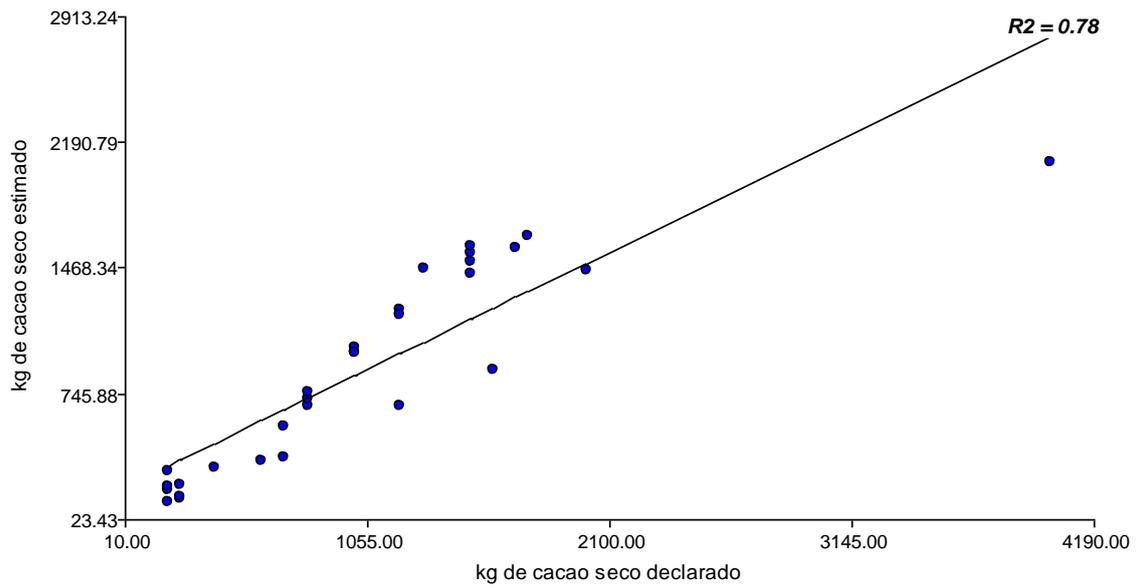


Figura 10. Regresión entre producción estimada y producción declarada en 30 SAF-cacao

Como se puede observar en la **Figura 11**, hay un aumento en el R^2 , mostrando una relación lineal entre las variables en cuestión, con una confianza del 87%. Esto se debe que se excluyó el rendimiento de cacao de un productor, quien declaró que la producción de su cacaotal era de 4.000 kg de cacao por hectárea al año.

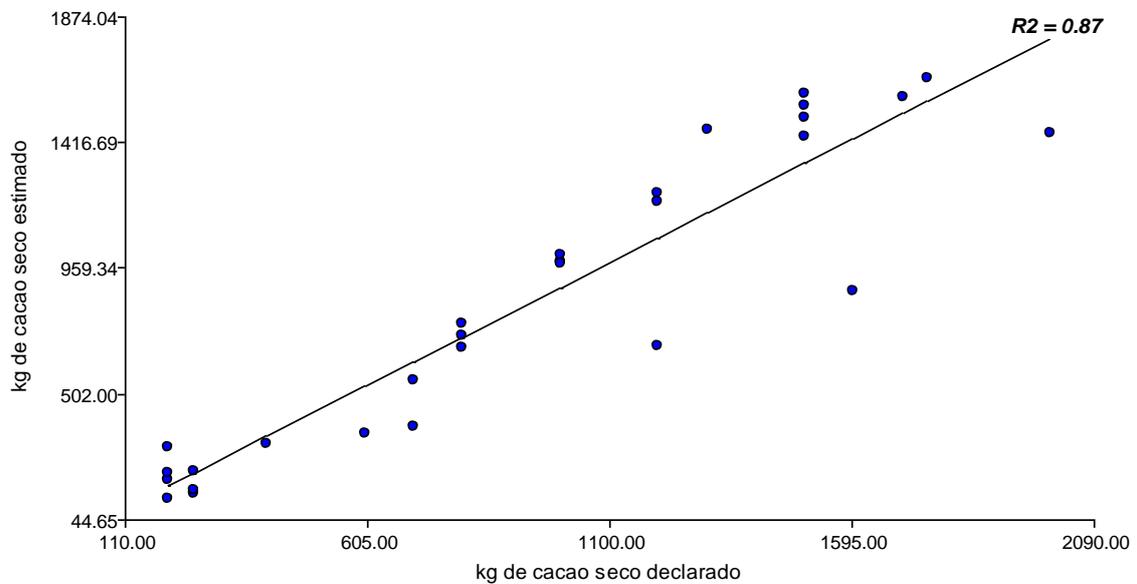


Figura 11. Regresión entre producción estimada y producción declarada en 29 SAF-cacao.

El rendimiento de cacao seco estimado se estructuró en cuatro tipos de clases, tal como aparece en la **Figura 12**, que describe los resultados del histograma. Los miembros de cada clase comparten características comunes que los diferencian de las fincas en otras clases. Hay que destacar el hecho de que la clase cuatro contiene solo tres fincas muy distintas del resto de fincas.

Un examen cercano de los miembros que abarcan la clase uno, muestra que se agrupan básicamente por presentar los valores más bajos de producción, logrando alcanzar $364.68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, hay que destacar que está clase contiene 11 fincas y es la clase que mayor número de fincas tiene. La clase dos está conformadas por ocho fincas que comparten valores de producción de $852.18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La clase tres contiene también ocho fincas que comparten en gran medida fincas con producciones de $1339.69 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Finalmente, la clase cuatro abarca solo tres fincas que presentaron rendimientos de $1827.19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Hay que destacar el hecho de que la clase cuatro contiene solo tres fincas y comparten los valores más altos de producción de cacao distanciados del resto de fincas. En el cuadro 6 se puede observar el número de fincas por clases de las tres zonas de Costa Rica, en función del peso seco estimado.

Cuadro 6. Número de fincas por clases de las tres zonas productoras de cacao de Costa Rica, 2019.

Zona	Nº de fincas por clase:			
	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4
Norte	5	1	3	1
Caribe	4	3	3	-
Pacífico	2	4	2	2
Suma de las tres zonas	11	8	8	3

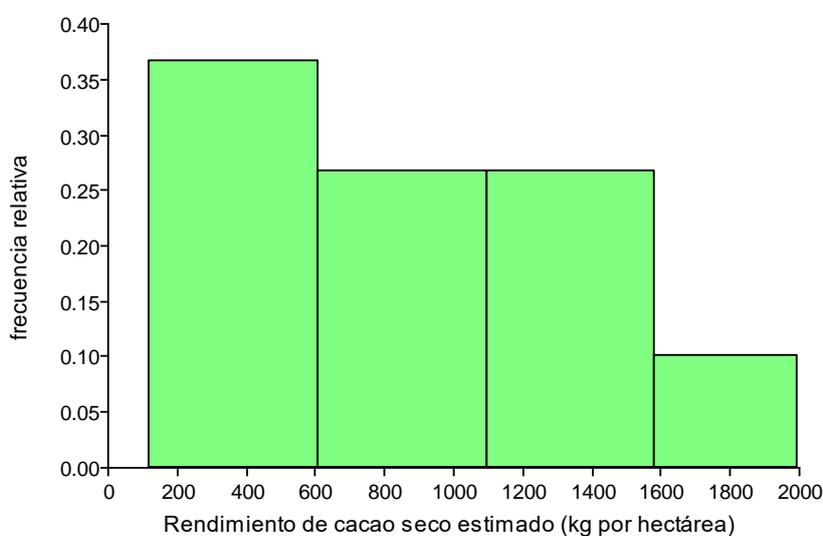


Figura 12. Estructuración del rendimiento de cacao seco estimado en cuatro clases.

Para confirmar la separación estadística de los cuatro tipos de clases definidos en el histograma (**Figura 12**), se condujo un análisis de varianza. Los resultados permitieron constatar las diferencias altamente significativas ($P = <0.0001$) entre las clases analizadas, confirmando que las fincas en cada grupo comparten características comunes que justifican su inclusión en estos y exclusión, a su vez, de las otras clases. Cuando el valor de F era significativo ($P < 0.05$), se procedió a separar las medias de las variables en las clases, se utilizó la prueba de LSD Fisher.

La clase 1 está marcada con los promedios más bajos para rendimiento de cacao seco estimado (RCSE), poda de mantenimiento de cacao (PMC), dosis de fertilizante químico (DFQ), dosis de fertilizante orgánico (DFO), frecuencia de fertilizante químico (FFQ), frecuencia de fertilizante orgánico (FFO), flujo de caja de cacao (FCC), flujo de caja (FC), y beneficio familiar. El resultado es la inclusión en la primera clase de fincas con bajo rendimiento y ningún tipo de manejo en el cultivo. El rango para la variable rendimiento de cacao seco es de $268.36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En la clase 2 no se detectaron diferencias significativas para las variables analizadas.

La clase 3 está marcada con los promedios más altos para ingreso neto de cacao (INC) e ingreso neto de la finca (IN). Los rangos para la variable ingreso neto de cacao (INC) e ingreso neto de la finca (IN) son respectivamente: US\$ 2093.63 y US\$ 2698.35.

La clase 4 también está marcada con los promedios más altos para rendimiento de cacao seco estimado (RCSE), dosis de fertilizante químico (DFQ), dosis de fertilizante orgánico (DAO), frecuencia de fertilizantes orgánicos (FFO), costos de efectivos (CEf), y costos totales de los SAF-cacao (CTSAF). El resultado es la inclusión en la cuarta clase de fincas más rendidoras. El rango para la variable peso seco es $1770.33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las variables dosis de fertilizante químico y orgánico son respectivamente: 400 y $2333.33 \text{ g por planta al año}$; mientras que la frecuencia de fertilizante orgánico es de una vez al año. En relación con las variables costos efectivos (CEf) y costos totales de los SAF-cacao (CTSAF) el rango es de US\$ 3202.54 y US\$ 4065.70 al año, respectivamente (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Análisis de varianza en función del rendimiento de cacao seco estimado

Variables	Clases del histograma en función del rendimiento de cacao seco estimado				F-value	p-value
	1	2	3	4		
	n = 11	n = 8	n = 8	n = 3		
	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E		
AS AFC (ha)	2.23 ± 2.28a	2.13 ± 2.68a	6.88 ± 2.68a	4.37 ± 4.38a	0.72	0.5494
RCSE (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	268.36 ± 45.35d	831.88 ± 53.18c	1428 ± 53.18b	1770.33 ± 86.84a	131.32	<0,0001
PMC (podas/año)	1.18 ± 0.31b	2.88 ± 0.36a	2.88 ± 0.36a	4 ± 0.59a	8.73	0.0004
DFQ (g/árbol)	0 ± 37.5c	50 ± 43.97c	206.25 ± 43.97b	400 ± 71.81a	10.52	<0.0001
DAO (g/árbol)	0 ± 213.54b	125 ± 250.4b	250 ± 250.4b	2333.33 ± 408.9a	9.05	0.0003
FFQ	0 ± 0.15b	0.13 ± 0.18b	0.67 ± 0.29a	1.13 ± 0.18a	9.16	0.0003
FFO	0 ± 0.09b	0.13 ± 0.11b	0.25 ± 0.11b	1 ± 0.17a	8.85	0.0003
FCM	6.36 ± 1.29a	6.38 ± 1.52a	6.75 ± 1.52a	12 ± 2.48b	1.51	0.2363
RCC	13.36 ± 1.33a	12.88 ± 1.56a	13.38 ± 1.56a	12 ± 2.56a	0.09	0.9638
IM	0.2 ± 0.18a	0.16 ± 0.21a	0.39 ± 0.21a	- ± 0.35a	0.37	0.7726
IMN	0.15 ± 0.13a	0.36 ± 0.15a	0.35 ± 0.15a	0.6 ± 0.24a	1.12	0.36
DPC (ha)	951.91 ± 64.87a	904.38 ± 76.06a	965.13 ± 76.06a	1111 ± 124.21a	0.68	0.5739
DAM (ha)	55.45 ± 27a	71.25 ± 31.66a	88.75 ± 31.66a	16.67 ± 51.7a	0.53	0.6635
DPM (ha)	59.09 ± 23.18a	32.5 ± 27.18a	45 ± 27.18a	46.67 ± 44.39a	0.19	0.9041
DAF (ha)	27.27 ± 12.54a	27.5 ± 14.7a	3.75 ± 14.7a	20 ± 24.01a	0.61	0.6173
DAS (ha)	38.18 ± 25.56a	77.5 ± 29.97a	28.75 ± 29.97a	56.67 ± 48.95a	0.52	0.6723

DDS (ha)	180 ± 33.8a	208.75 ± 39.63a	166.25 ± 39.63a	140 ± 64.72a	0.34	0.7945
DTDS (ha)	1131.38 ± 71.98a	1113.13 ± 84.41a	1131.38 ± 84.41a	1251 ± 137.84a	0.26	0.8554
ABC (m ² ha)	7.08 ± 0.79a	5.4 ± 0.93a	7.2 ± 0.93a	6.88 ± 1.51a	0.83	0.4891
ABAM (m ² ha)	2.25 ± 1.37a	1.9 ± 1.61a	5.66 ± 1.61a	1.11 ± 2.62a	1.34	0.283
ABPM (m ² ha)	2.2 ± 0.95a	1.38 ± 1.11a	1.52 ± 1.11a	3.32 ± 1.82a	0.35	0.7895
ABAF (m ² ha)	0.72 ± 0.65a	1.95 ± 0.76a	0.25 ± 0.76a	0.57 ± 1.24a	0.93	0.441
ABAS (m ² ha)	0.78 ± 0.44a	0.68 ± 0.51a	0.82 ± 0.51a	0.84 ± 0.84a	0.02	0.9974
ABDS (m ² ha)	5.95 ± 1.69a	5.9 ± 1.98a	8.24 ± 1.98a	5.84 ± 3.23a	0.34	0.7975
ABDS (m ² ha)	13.03 ± 1.83a	11.31 ± 2.14a	15.44 ± 2.14a	12.73 ± 3.5a	0.64	0.5987
CS (%)	37.6 ± 5.24a	31.26 ± 6.15a	36.03 ± 6.15a	41.55 ± 10.04a	0.33	0.8029
VA (US\$)	394.58 ± 104.69a	154.75 ± 122.76a	13.22 ± 122.76a	352.51 ± 200.47a	2.11	0.1232
CEf (US\$)	758 ± 286.64b	904.51 ± 336y.12b	1787.58 ± 336.12b	3202.54 ± 548.87a	6.36	0.0022
CEs (US\$)	345.72 ± 162.44a	913.76 ± 190.48a	489.74 ± 190.48a	863.16 ± 311.05a	2.07	0.1292
IB (US\$)	1063.4 ± 379.35c	3018.98 ± 444.83b	4975.67 ± 444.83a	4440.54 ± 726.41a	16.57	<0.0001
CTSAF (US\$)	1103.73 ± 225.34c	1818.27.27 ± 264.24b	2277.32 ± 264.24b	4065.70 ± 431.50a	13.27	<0.0001
INC (US\$)	-516.36 ± 399.87b	487.81 ± 468.89b	2093.63 ± 468.89a	146.71 ± 765.70b	6.07	0.0028
FCC (US\$)	-170.64 ± 184.41b	1401.58 ± 225.61a	2583.37 ± 821.63a	1009.86 ± 899.84a	11.96	<0.0001
IN (US\$)	-40.33 ± 440.56b	1200.84 ± 516.6b	2698.35 ± 516.6a	374.84 ± 843.61b	5.68	0.004
FC (US\$)	305.39 ± 420.37b	2114.47 ± 492.93a	3188.09 ± 492.93a	1238 ± 804.95a	7.04	0.0013
BF (US\$)	699.97 ± 441.64b	2269.22 ± 517.87a	3201.31 ± 517.87a	1590.51 ± 845.68a	4.78	0.0088

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

AS AFC área del SAF-cacao, RCSE rendimiento de cacao seco estimado, PM poda de mantenimiento de cacao, DFQ dosis de fertilizante químico, DAO dosis de abono orgánico, FFQ frecuencia de fertilizantes químicos, FFO frecuencia de fertilizante orgánico, FCM frecuencia de control de malezas, RCC rondas de cosecha de cacao, IM incidencia de moniliasis, IMN incidencia de mazorcas negras, DPC densidad de plantas de cacao, DAM densidad de árboles maderables, DPM densidad de plantas musáceas, DAF densidad de árboles frutales, DAS densidad de árboles de servicio, DDS densidad del dosel de sombra, DTDS densidad total del dosel de sombra, ABC área basal de cacao, ABAM área basal de árboles maderables, ABPM área basal de plantas musáceas, ABAF área basal de árboles frutales, ABAS área basal de árboles de servicio, ABDS área basal del dosel de sombra, ABDS área basal del dosel de sombra, CS cobertura de sombra, VA valor de autoconsumo, CEF costos efectivos, CES costos en especie, IB ingreso bruto, CTSAF costo total del SAF-cacao, INC ingreso neto de cacao, FCC flujo de caja de cacao, IN ingreso neto, FC flujo de caja; BF beneficio familiar.

6.7. Prácticas que contribuyen al rendimiento de cacao

En el **Cuadr8**, se observan diferencias altamente significativas ($P = <0.0009$), ($P = <0.0031$) y ($P = <0.0115$), para las variables de fertilización química, podas frecuentes, y fertilización orgánica con índices de 3.88, 3.33 y 2.77, respectivamente. Es importante mencionar que la fertilización química, podas frecuentes, y fertilizaciones con abonos orgánicos afectaron positivamente al rendimiento de cacao.

Con altas densidades de árboles de cacao conjuntamente acompañadas de una buena fertilización y con podas frecuentes los rendimientos se alcanzan fácilmente los 878.05 kg de cacao seco ha⁻¹ año⁻¹, y pudiendo superar los 2000 kg de cacao seco ha⁻¹ año⁻¹. El rendimiento de cacao de los nuevos clones del CATIE se ve afectado principalmente por no manejar adecuadamente sus cacaotales, en función del paquete tecnológico.

Cuadro 8. Contribución de variables asociadas al rendimiento de cacao de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-140	156	-465	184	-0.9	0.379		
FPC	171	51	64.4	278	3.33	0.0031	18.12	1.79
FFO	348	126	86.6	610	2.77	0.0115	14.66	1.62
FFQ	437	113	203	672	3.88	0.0009	22.09	1.23
ASAFc	20	8.01	3.27	36.6	2.49	0.0214	13.19	1.28
FCM	25	13.2	-2.56	52.2	1.89	0.0733	10.55	1.20
DPM	1.44	0.78	-0.18	3.05	1.85	0.0786	10.42	1.17
ABAS	67.3	41.4	-18.8	153	1.63	0.1190	9.64	1.16

Error cuadrático medio: 81247.653164

FPC frecuencia de poda de cacao, FFO frecuencia de fertilizante orgánico, FFQ frecuencia de fertilizante químico, ASAFc área del sistema agroforestal de cacao, FCM frecuencia de control de malezas, IBO ingreso bruto de otros productos, DPM densidad de plantas musáceas, ABAS área basal de árboles de servicio.

6.8. Rendimiento económico de los SAF-cacao

En el **Cuadro 9**, se pueden observar los resultados de los ingresos brutos de los SAF-cacao. Para el caso de cacao, se registró un promedio de US\$ 2417.20, para las musáceas fue de US\$ 287.59, el de frutales está US\$ 321.10, el de árboles de servicio US\$ 64.76, y el de otros productos agroforestales fue de US\$ 99.99; mientras que la variable de volumen de madera en pie, reportó el siguiente promedio de 16.52 m³ ha⁻¹, el de volumen total 27.87 m³ ha⁻¹, el de biomasa está en 11.15 t m³, y el de carbono fue de 5.58 t C.

Cuadro 9. Contribución de los principales productos agroforestales al ingreso neto, el flujo de caja y el beneficio familiar de los SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Variable	Contribución de los productos agroforestales					
	Nº	Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
IB (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	2965.87	2032.77	248.06	6973.57	2698.79
VA (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	224.72	366.62	0	1665	26.5
CEf (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1316.08	1185.17	0	6141.08	1127.49
CEs (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	587.35	567.68	0	2022.15	583.65
IN (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1062.45	1779.86	-2121.65	5168.01	624.77
FC (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1649.8	1777.14	-1489.73	6408.7	1193.09
BF (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1874.52	1727.37	-1281.47	6408.7	1482.56
IBC (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	2417.15	1896.25	248.06	6973.57	2119.26
INC (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	513.72	1637.72	-2121.65	5168.01	23.31
FCC (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	30	1101.07	1715.74	-1489.73	6408.7	683.09

Nº número de propiedades, D.E. desviación estándar.

IB ingreso bruto, VA valor de autoconsumo, CEf costos en efectivo, CEs costos en especie, IN ingreso neto, FC flujo de caja, BF beneficio familiar, IBC ingreso bruto cacao, INC ingreso neto cacao, FCC flujo de caja cacao.

6.9. Eficiencia de los indicadores socioeconómicos

En el **cuadro 10**, se observan diferencias altamente significativas ($P = <0.0001$) y ($P = <0.0007$) con índices de 5.14 y 2.45 para la variable de rendimiento de cacao y la riqueza total de especies que afectaron positivamente al ingreso neto. El resultado es la inclusión de genotipos más rendidores en el país, al parecer también dotados de un buen potencial de rendimiento. También se debe a la importancia de la riqueza de especies que sobresalen en los cacaotales de Costa Rica. Mientras que el control de malezas y la fertilización química afectaron negativamente al ingreso neto, con índices de -3.86 y -2.60, estas cifras señaladas, demuestran que al menos para las variables en cuestión si existen amplias diferencias estadísticas entre las fincas. La particularidad de estas variables es notoria, parece ser propiedades comunes en lo que respecta a mayor gasto de dinero.

Cuadro 10. Contribución de variables asociadas al ingreso neto de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-212	635	-1520	1095	-0,33	0,7407		
RCSE	2,80	0,54	1,68	3,92	5,14	<0,0001	29,43	1,85
FCM	-208	53,9	-318,7	-96,78	-3,86	0,0007	17,87	1,07
RTE	189	77,5	30,04	349,19	2,45	0,0218	8,99	1,07
FFQ	-1446	554	-2589	-303,62	-2,61	0,0152	9,79	1,68

Error cuadrático medio: 1520036,549155

RCSE rendimiento de cacao seco estimado, FCM frecuencia de control de malezas, RTE riquezas total de especies, FFQ frecuencias de fertilizantes químicos.

Por tanto, en el flujo de caja, la variable que más afecta positivamente es el rendimiento de cacao, mostrando diferencias altamente significativas ($P = <0.0001$) con un índice de 5.73, como se puede apreciar en el **Cuadro 11**. Cabe mencionar que la densidad de árboles maderables afecta positivamente con un índice de 2.75. Los flujos de caja se asociaron principalmente con los altos rendimientos de cacao y altas densidades de árboles maderables. Mientras que las variables que afectaron negativamente al flujo de caja fueron causadas por el alto costo del control de las malezas y aplicaciones abundantes de fertilizantes químicos con índices de -3.42, y -3.09, respectivamente.

Cuadro 11. Contribución de variables asociadas al flujo de caja de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	2358	1046	195,3	4521	2,26	0,0339	
RCSE	2,92	0,51	1,86	3,97	5,73	<0,0001	37,87
DAM	8,01	2,91	1,99	14,03	2,75	0,0114	12,57
FCM	-176,0	51,53	-282,6	-69,40	-3,42	0,0024	16,66
CS (%)	-27,81	13,51	-55,76	0,14	-2,06	0,0511	9,24
FFQ	-1666,2	539,24	-2781,73	-550,7	-3,09	0,0052	14,55
VT ($m^3 ha^{-1}$)	-7,81	4,91	-17,97	2,36	-1,59	0,1258	7,52

Error cuadrático medio: 1266126,973443

RCSE rendimiento de cacao seco estimado, DAM densidad de árboles maderables, FCM frecuencia de control de malezas, CS cobertura de sombra, FFQ frecuencia de fertilizantes químicos, VT volumen total.

En el **Cuadro 2**, se puede observar que las variables que afectaron positivamente al beneficio familiar, fueron el rendimiento de cacao, densidad de árboles maderables y área basal de plantas musáceas, mostrando diferencias altamente significativas, con índices de 4.47, 3.60 y 2.15, respectivamente; mientras que la aplicación de abonos foliares y el alto costo de control de malezas afectaron negativamente al beneficio familiar, con índices de -2.34 y -2.27, respectivamente.

Cuadro 12. Contribución de las variables asociadas al beneficio familiar de los hogares que producían SAF-cacao en Costa Rica, 2019.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	260,62	618,29	-1018,40	1539,65	0,42	0,6773		
RCSE	2,33	0,52	1,25	3,41	4,47	0,0002	24,98	1,76
DAM	11,17	3,11	4,74	17,60	3,60	0,0015	17,93	1,45
FCM	-123,85	54,61	-236,82	-10,88	-2,27	0,0330	10,14	1,14
ABPM	163,42	75,91	6,39	320,44	2,15	0,0421	9,63	1,05
FAF	-192,72	82,47	-363,32	-22,13	-2,34	0,0285	10,46	1,77
VT ($m^3 ha^{-1}$)	-9,82	4,99	-20,14	0,50	-1,97	0,0613	8,87	1,39

Error cuadrático medio: 1468457,155394

RCSE rendimiento de cacao seco estimado, DAM densidad de árboles maderables, FCM frecuencia de control de malezas, ABPM área basal de plantas musáceas, FAF frecuencia de abonos foliares, VT volumen total.

6.10. Evaluación agronómica y productiva

El **Cuadro 3** contiene los resultados del análisis de varianza de los genotipos estudiados que cuentan con los clones más rendidores y que combinan en un buen nivel la mayoría de las variables asociadas directamente al rendimiento. Como era de esperar, en el rendimiento de cacao seco se observan diferencias altamente significativas ($P = <0.0001$). El rendimiento de cacao seco del CATIE-R6 y CATIE-R4 igual a 1308.00, 1295.10 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se separa claramente del resto de genotipos, seguido por el CATIE-R1 con 830.80 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

El amplio rango de variación entre los clones para el número de mazorcas sanas se tradujo igualmente en diferencias altamente significativas ($P = <0.0001$). Aunque de manera general, aquellos clones con la mayor producción también muestran el mayor número de mazorcas sanas. El número de mazorcas sanas del CATIE-R6 igual a 32.54 se separa claramente del resto, seguido por el CATIE-R1 y CATIE-R4 con 26.02 y 24.56.

Con respecto a la robustez de los genotipos (altura de planta, diámetro de tallo) mostraron igualmente diferencias altamente significativas conjuntamente ($P = <0.0001$). Para la variable altura de planta, el CATIE-R4 y CATIE-R6 igual a 392.29 y 391.60 cm, se separa claramente del resto de clones; mientras que la variable diámetro de tallo del clon CC-137, CATIE-R6 y CATIE-R4 igual a 29.52, 29.30, 28.97 cm, respectivamente, se separa claramente del resto de genotipos. Un hecho notable del CATIE-R1 es que tiene los índices más bajos reflejándose en promedio, de 324.13 y 25.04 cm, respectivamente.

Cuadro 13. Evaluación agronómica y productiva de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.

Variables	Clones de cacao del CATIE						F-value	p-value
	CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	ICS-95	PMCT-58		
	Media \pm E.E	Media \pm E.E	Media \pm E.E	Media \pm E.E	Media \pm E.E	Media		
RCSE	831 \pm 85.1b	1295 \pm 135a	1308 \pm 134.9a	700 \pm 84.2c	626 \pm 84.2c	505 \pm 84.2d	19.21	<0.0001
MSE	26.02 \pm 2.98b	24.56 \pm 2.61b	32.54 \pm 3.36a	17.75 \pm 2.52c	014.6 \pm 2.78c	14.29 \pm 2.92c	20.11	<0.0001
AP	324.13 \pm 7.3c	392.28 \pm 7.14a	391.6 \pm 7.14a	370.9 \pm 7.14b	367.3 \pm 7.14b	356.9 \pm 7.14b	12.86	<0.0001
DT	25.04 \pm 0.68c	28.97 \pm 0.73a	29.3 \pm 0.74a	29.52 \pm 0.75a	27.67 \pm 0.71b	27.15 \pm 0.70b	27.88	<0.0001

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

RCSE rendimiento de cacao seco estimado $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, MSE mazorcas sanas estimadas, AP altura de planta, DT diámetro de tallo.

6.11. Evaluación de plagas y enfermedades

Para separar las posibles diferencias estadísticas entre los clones de cacao analizados, en el análisis se incluyó el número de mazorcas totales como variable calculada, la que no había participado en los análisis previos. Su inclusión obedeció a la necesidad de una mejor apreciación de la sanidad de las mazorcas en relación con el número total de frutos que llegaron al momento de la cosecha. Así se facilitó comparar el nivel de incidencia de las plagas y enfermedades.

En el **Cuadro 14**, se muestran las diferencias altamente significativas entre los clones, para moniliasis ($P = <0.0006$). Los clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6 presentaron valores de 1,26, 1.28, 1.38, respectivamente, que separaron claramente del resto de individuos, mostrando índices muy bajos, en cuanto a incidencia de moniliasis; por lo que se pudo encontrar genotipos de cacao que presentaron poca o casi nula infección de la enfermedad. Como era de esperarse que los clones CATIE-R4, CATIE-R6 de la zona norte y el CATIE-R4 de la zona pacífico no presentaron incidencia de la enfermedad.

Las diferencias también son amplias y altamente significativas ($P = <0.0245$) para la variable de mazorcas atacadas por ardillas. Del total de frutos cosechados las pérdidas producidas por esta plaga fueron poca o casi nula, el CATIE-R1 mostró un índice de 0.36 que se separa claramente del resto de los clones (**Cuadro 4**). El uso de arreglos agroforestales en los cacaotales estudiados, en particular, aquellas fincas que tienen *Leucaena leucocephala* (Lam.) de wit, *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell, árboles de servicio y *Cocos nucifera* L, árboles frutales ayudaron a reducir los problemas de ataques de ardillas en la plantación de cacao. Esto lo manifestaron los productores indicando que este roedor que llega a la plantación por alimentación prefiere alimentarse de semillas de estos árboles de asocio. Del total de frutos cosechados en las plantas de cacao las pérdidas producidas por esta plaga fueron muy pocas o casi nulas, debido que los cacaotales estudiados fueron diseñados con estos arreglos agroforestales.

Cuadro 14. Evaluación de la resistencia de las plagas y enfermedades de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.

Variables	Clones de cacao						F-value	p-value
	CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	ICS-95	PMCT-58		
	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E		
MM	1.26 ± 0.0004b	1.28 ± 0.0004b	1.38 ± 0.0002b	1.21 ± 0.0013a	1.21 ± 0.0017a	1.20 ± 0.0022a	5.21	0.0006
MAPA	0.36 ± 0.0040b	0.35 ± 0.0055ab	0.35 ± 0.0050ab	0.36 ± 0.0050ab	0.35 ± 0.0082a	0.36 ± 0.0083a	2.66	0.0245

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

MM mazorcas moniliasis, MAPA mazorcas atacadas por ardillas.

Mientras que en la variable mazorca negra no se detectó diferencias estadísticas entre clones. Sin embargo, hubo diferencias altamente significativas a nivel de interacción entre Zona×Clon ($P = <0.0013$), como se puede observar en el **Cuadro 5**. El CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6 zona caribe; el PMCT-58, CATIE-R6 zona pacífico; y, CATIE-R1 zona norte presentaron poca incidencia de esta enfermedad (

Anexo 8). Estos resultados permitieron demostrar el potencial que tiene la resistencia genética para reducir el impacto de las enfermedades en el país.

Cuadro 15. Evaluación de la resistencia a mazorca negra de los clones de cacao del CATIE en diferentes condiciones agroecológicas de Costa Rica, 2019.

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Zona×Clon	14	133	2.748306	0.0013

Pruebas de hipótesis marginales (Wald) para los efectos fijos

7. DISCUSIÓN

Características de los hogares

Para otro estudio en el futuro, será importante evaluar en las encuestas la participación de la mano de obra familiar a las diferentes actividades de manejo del cacaotal como: poda, deschuponado, control de malezas, resiembras de especies y control de plagas. Además, se debe preguntar a los responsables de los hogares si están involucrados en organizaciones locales, que promuevan diferentes apoyos para mejorar su calidad de vida, y finalmente, verificar si las familias pudiesen verse beneficiados por tecnologías que la organización ha desarrollado en forma participativa con los productores y sus familias, si las aceptan.

Características de los SAF-cacao

En el presente estudio, se identificaron seis tipos de productos asociados a los SAF cacao (**Anexo 10**), donde los más comunes fueron: banano, plátanos, maderable, frutales, servicio. Las especies de plantas más comunes de los SAF-cacao registradas en esta investigación son: *Cedrela odorata* L, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Licania arborea* Seem, *Tectona grandis* L.f., de los componentes maderables, y frutales son *Persea americana* Mill, *Vismia baccifera* (L.) Triana & Planch, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, *Bactris gasipaes* Kunth. Cerda *et ál.* (2014), encontró estas especies entre las más abundantes en los SAF bajo estudio, lo que atribuye al interés del agricultor en satisfacer sus necesidades alimenticias y de bienes.

Dentro del contexto de los SAF-cacao en el estudio se manejaron densidades de 1139 árboles por hectárea, que fueron distribuidos de la siguiente manera: 958 de árboles de cacao, 64 árboles maderables, 48 árboles de servicio, 47 plantas musáceas, y 20 árboles frutales, lo cual sugiere que estos son los componentes de dosel más atractivos para los agricultores como generadores potenciales de beneficios económicos para la familia.

Los cacaotales estudiados de las tres zonas de Costa Rica en promedio fueron 958.67 árboles.ha⁻¹, siendo el valor máximo de hasta 1.111 árboles.ha⁻¹, y el mínimo 500 árboles.ha⁻¹. Estas densidades reportadas en esta investigación son sumamente altas si se compara con otras plantaciones de Centroamérica (200 árboles.ha⁻¹) o de

África Central (Camerún, 120 árboles.ha⁻¹) (Jagoret et al. 2011; Cerda et al. 2014) y son bajas si se compara con las plantaciones de cacao de África Central, en el rango de 800 - 1300 árboles de cacao.ha⁻¹ (Jagoret et al. 2011, 2012) o con plantaciones comerciales con sombra o sin sombra, que incluso superan los 2000 árboles de cacao ha.

El 53% de los SAF de cacao de las tres zonas estudiadas en Costa Rica, recibieron pagos por servicios ambientales, en particular, de las especies *Erythrina* spp e *Inga* spp. El Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) firmó con los participantes un contrato con un pago de US\$ 1 por árbol de las diferentes especies descritas. Los productores que participaron durante este convenio reciben US\$ 121 por hectárea al año. En Costa Rica se han establecido contratos entre esta institución, con la finalidad de ampliar las áreas de cultivo de cacao con sombra y promover la "biodiversidad amigable" con cultivo de cacao bajo sombra, proporcionando de esta manera una gran variedad de oportunidades para las familias y el país.

En cuanto a la variable área basal de cacao del dosel de sombra, se reportó en promedio de 13.18 m².ha, entre las fincas (dentro del contexto estudiado). La distribución promedio por componente del área basal indicada es 6.65 m² para cacao, 2.95 m² para maderables, 1.91 m² para musáceas, 0.91 m² para frutales y 0.77 m² para plantas de servicios, le basta para alcanzar niveles de producción de 878 kg ha⁻¹ año⁻¹, según los resultados de predicción de cosecha.

El valor agregado neto (VAN) reportado de la producción agropecuaria de las fincas estudiadas fue de US\$ 3782.78 ha⁻¹ año⁻¹ y representa una importante contribución al beneficio familiar a nivel de finca que puede alcanzar los US\$ 315.23 mensuales, debido que los rendimientos de cacao en los SAF han sido muy alentadores con las nuevas variedades de cacao de alto rendimiento, afirmando lo que señala el VI Censo Nacional Agropecuario 2014, que para aumentar el rendimiento de cacao es necesario sembrar materiales genéticamente mejorados en las explotaciones. Estos escenarios son muy contrastantes si se compara con estudios realizados en sistemas tradicionales de las familias cacaoteras socias de Costa Rica, donde las familias son sumamente pobres, pues no alcanzan los US\$ 108 mensuales (Orozco et al. 2015).

Rendimiento de clones de cacao del CATIE

La presente investigación culminó con la selección de materiales con gran potencial de rendimiento: CATIE-R6 y CATIE-R4, fueron los genotipos más destacados, alcanzando al quinto año rendimientos de 1308 y 1295 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Es importante mencionar que el potencial de rendimiento de los clones estudiados puede expresar grandes producciones en los próximos años, que permitirán mirar con optimismo la producción del país en un futuro más cercano. Coincidiendo con CATIE (2012), en su catálogo señala que los mismos clones registraron producciones que en varias ocasiones superaron los 2.000 kg ha⁻¹ año⁻¹. El rendimiento del CATIE-R6 se ha ido incrementando a través de los años, partiendo de

valores inferiores a 400 kg ha⁻¹ año⁻¹, al tercer año después de la siembra (primer año de producción) y llegando hasta niveles cercanos a los 3.000 kg ha⁻¹ año⁻¹, en el onceavo año después de la siembra.

De acuerdo con el histograma se observó que la producción de cacao seco se constituyó en cuatro clases. Un examen cercano de la primera clase demuestra que el 37% de las fincas lograron rendimientos de 268 kg ha⁻¹ año⁻¹, básicamente con un manejo mínimo de la plantación. Estos bajos rendimientos se pueden incrementar, con mayor apoyo del gobierno, por medio de capacitaciones en el cultivo de cacao, específicamente en podas de mantenimiento y fertilización, con el objetivo de explotar el potencial productivo de estos genotipos de cacao. Esta producción casi equiparó la producción nacional de Costa Rica 273 kg ha⁻¹ año⁻¹, pero si fue superior a la producción del cantón de Talamanca, que presenta la productividad más baja 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, debido a la incidencia de moniliasis, manejo inadecuadas de plantaciones y densidades de siembra muy bajas, entre otras (ICCO, 2016). La baja productividad encontrada (menos de 300 kg ha⁻¹ año⁻¹) en un 37% de los productores, refleja que, sólo el utilizar un material genético mejorado, en este caso los clones del CATIE, no garantiza alcanzar altos rendimientos. La mayor limitación para estos productores, podría estar en no poder contar con la estructura y el recurso financiero para disponer de mano de obra y comprar los insumos requeridos para el manejo de suelos.

Según el VI Censo Nacional Agropecuario 2014, en lo que respecta al uso de fertilizantes de los cacaotales del país, la mayoría de las fincas no utiliza ningún tipo de fertilizantes, lo cual demuestra que la producción alcanzada a nivel nacional es muy baja. Si aquellas fincas utilizasen algún tipo de fertilizantes, podrían aumentar sus rendimientos, sobre todo si se tiene materiales genéticamente mejorados en sus explotaciones. Por esta razón, es importante mencionar que la clase dos y tres representan conjuntamente el 53% de las fincas y producen entre 832 y 1428 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estos SAF-cacao se caracterizan, por realizar dos podas de mantenimiento durante el año, aplican 128 g de 10-30-10 por árbol en dos proporciones y otros agricultores aplican 200 g de compost por árbol. Mientras que la cuarta clase agrupó el 10% de fincas y produjeron 1770 kg ha⁻¹ año⁻¹, para alcanzar tales niveles de producción; intervinieron en la calidad de manejo que se le hace a estas plantaciones, tales como: cuatro podas de mantenimiento durante el año y se complementaron con 400 g de 10-30-10 y hubo otros productores que aplicaron 2333 g de compost por árbol, respectivamente en dos ocasiones; además, se efectuaron rondas de cosecha más periódicas, con la finalidad de eliminar mazorcas enfermas. Estas cifras son coherentes con el CATIE (2012), ya que en su catálogo muestra que los árboles de cacao se aplicó 600 g de fertilizante granulado fórmula 18-5-15-6-0,3-7 divididos en cuatro aplicaciones de 150 g cada tres meses. Además, se les empleó podas periódicas de mantenimiento, con estas prácticas de manejo han registrado producciones de 2.000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Al respecto, según Echeverri (2013), en la fertilización del cacao intervienen varios factores, todos integrados al medio ambiente, la planta y las condiciones del suelo; algunos de ellos son la cantidad, intensidad y calidad de la sombra, que condiciona la entrada de luz al cacaotal, así como la fertilidad y características físicas del suelo, y las prácticas de manejo del cultivo. A través de la

fertilización, cada año, la planta requiere que se le repongan los nutrientes que ella extrae del suelo para poder formar ramas, hojas y frutos. Por tanto, a través de la fertilización se asegura que la planta alcance la productividad esperada.

Así, un productor de cacao de la zona Pacífico de Costa Rica que está ubicada a 141 msnm, edad de plantación de 6 años, 1111 plantas por ha, logró un rendimiento estimado de 2.000 kg de cacao seco por hectárea por año. El productor envía a una empresa que transforma el cacao en barras de chocolate, su producción y el cacao comprado a otros productores para luego vender las barras de chocolate bajo su propia marca. Así, su objetivo es producir mucho cacao. A los árboles de cacao se les aplicó cuatro podas periódicas de mantenimiento. En forma regular aplicó 5000 g de fertilizante orgánico (compost) producido en su propia finca. Se realizó el control de malezas y las rondas de cosecha mensualmente.

La poda de ramas de los árboles de cacao es uno de los factores que presentan efecto significativo sobre la producción de cacao en este estudio. Sería importante en futuros estudios profundizar sobre cómo un buen manejo de la poda favorece la producción de mazorcas (producción en el tronco principal, en las ramas secundarias, etc.). Mediante la implementación de buenas prácticas agrícolas, como las podas de formación, sería muy significativo conocer el promedio de número de ramas principales que tiene un árbol de cacao, con la finalidad de saber si al momento de realizar la poda de formación conservó de tres, cuatro o más número de ramas principales por planta, contribuirá al total de número de frutos que se cosechen.

El rendimiento promedio de las plantaciones de cacao en América Latina es de 300 kg ha⁻¹ año⁻¹, en tanto que en África es de 400 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estos bajos niveles de producción en gran parte se deben al impacto que tiene el ataque de enfermedades y plagas, que reducen los rendimientos en un 50% y un 21%, respectivamente (ICCO 2001). Por esta razón, es importante mencionar que los clones más destacados en el estudio superaron notoriamente estas cifras, pues muestran rendimientos, extrapolados a una hectárea, que van desde los 1295 y 1308 kg ha⁻¹ año⁻¹ para el caso del CATIE-R4 y CATIE-R6, lo que permite mirar con optimismo el futuro productivo de estos clones.

Enfermedades de cacao

El comportamiento de los clones estudiados ante las enfermedades y el daño por ardillas es explicado a continuación. La reacción de los genotipos observados ante la moniliasis confirma la alta resistencia de los clones de la familia CATIE R, al presentar poca o casi nula incidencia de la enfermedad y el comportamiento intermedio o mediana resistencia de los otros genotipos estudiados (CC-137, ICS-95 y PMCT-58). Estas diferencias se deben al nivel de resistencia genética de los genotipos heredada de sus progenitores. El clon CATIE-R1 proviene del cruce entre UF-273 x CATIE-1000, y los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 proviene del cruce entre UF-273 x PA-169. Como se puede observar, en estos cruces está presente el clon UF-273 y el PA-169 como

progenitores, los cuales son reportados en la literatura como clones resistentes y con alta heredabilidad de esta característica (Arciniegas, 2005). La alta resistencia a la moniliasis es muy estable, sin embargo, la resistencia intermedia puede variar por factores como el clima y la presión de inóculo (Porras Umaña, 1985 y Phillips, 1986).

Los clones CATIE-R4, CATIE-R6 de la zona norte y CATIE-R4 de la zona pacífico no presentaron infección de moniliasis, estos niveles de resistencia encontrados en estos genotipos son de vital importancia en la siembra masiva de estas variedades en nuevas áreas del país, para impedir la utilización de productos químicos, como los fungicidas. Estos tipos de control pueden generar altos costos y en algunos casos, pueden ser ineficaces; debido a la resistencia que pueden desarrollar los microorganismos a este tipo de compuestos, además del impacto negativo en la salud ambiental y humana según (López et al., 2009; Krauss et al., 2010; Medeiros et al., 2010). Johnson et al. (2008), menciona que el control de enfermedades con variedades resistentes reduce drásticamente el uso de fungicidas, haciendo el cultivo más amigable con el medio ambiente y más atractivo para los pequeños agricultores. Siendo la mejor alternativa, desde el punto de vista económico, ambiental y de manejo para el productor (Solís et al., 2009).

Durante los picos de producción de los cacaotales estudiados, se contó el número de mazorcas atacadas por las enfermedades. Es importante mencionar que durante los períodos de evaluación había poca presencia de mazorcas enfermas, debido que los productores realizaban eliminación de mazorcas enfermas frecuentemente. Los resultados obtenidos muestran que hubo alrededor de un 5% de mazorcas enfermas. Si estimáramos aquellas mazorcas enfermas que fueron eliminadas durante las continuas remociones de los frutos enfermos de las plantas, se alcanzaría un 20% de incidencia. Este comportamiento estaba siendo corroborado por el CATIE (2012) en los jardines clonales, en los cuales la incidencia de moniliasis y mazorca negra fue muy baja a pesar de que la producción iba en aumento. Se debe tener presente que la resistencia genética debe ser parte de un paquete de combate integrado de enfermedades, así como la eliminación periódica y adecuada disposición de los frutos enfermos.

Con respecto al daño de los frutos por las ardillas, las diferencias son altamente significativas ($P = <0.0245$). Del total de frutos cosechados en las plantas de cacao, las pérdidas producidas por esta plaga fueron muy pocas o casi nulas, debido que los cacaotales estudiados fueron diseñados con arreglos agroforestales; en particular, aquellas fincas que tienen *Leucaena leucocephala* (Lam.) de wit, *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell, árboles de servicio y *Cocos nucifera* L., árboles frutales ayudaron a reducir los problemas con este roedor en la plantación de cacao. Esto lo manifestaron los productores indicaron que las ardillas que llegan a la plantación por alimentación prefieren alimentarse de semillas de estos árboles de asocio.

Dado que en la incidencia en campo de mazorca negra no se detectaron diferencias estadísticas entre clones, sí hubo diferencias altamente significativas a nivel de interacción entre Zona×Clon ($P = <0.0013$). El CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6 zona

caribe; el PMCT-58, CATIE-R6 zona pacífico; y, CATIE-R1 zona norte presentaron menor incidencia de esta enfermedad con respecto a los otros clones del estudio (

Anexo 8).

En plantaciones de cacao híbrido o de genotipos mayormente susceptibles a la moniliasis, la incidencia de mazorca negra es comúnmente muy baja, sin embargo, en plantación con genotipos mejorados resistentes a la moniliasis, la afección por mazorca negra puede incrementarse, ya que hay un incremento en la producción y por ende, mayor disponibilidad de frutos que pueden infectarse cuando las condiciones ambientales sean las ideales, principalmente el incremento de las lluvias (Maddison y Griffin 1981; Gregory 1974). Este fenómeno pudo observarse en las fincas observadas. También cabe indicar que en el momento de la observación, las fincas estaban en su pico de producción o en un momento cercano a este, por lo que los frutos tenían, en su mayoría una edad entre los 4 y los 6 meses y esta edad corresponde justamente a la edad de susceptibilidad para la mazorca negra. Finalmente, es importante señalar que *P. palmivora* es un patógeno que posee mucha variabilidad genética y que su constante mutación puede ocasionar el desarrollo de resistencia a fungicidas o la ruptura de la resistencia de varios genotipos mejorados (Gregory y Madisson. 1981).

Con respecto a las diferencias en la incidencia de esta enfermedad del mismo clon, pero en distintas zonas puede estar dada por las condiciones de clima de los días anteriores a la toma de datos. Esto se debe a que el ciclo de vida de este patógeno es muy corto y dependiente de la lluvia, por lo que un evento de lluvia en días previos a la vista pudo causar un incremento en la incidencia de la enfermedad en determinado clon, a pesar de que en otro sitio la incidencia sea menor.

Para finalizar, se debe resaltar que el manejo constante de las plantaciones debe ir siempre de la mano con la utilización de genotipos mejorados, en todas palabras, la resistencia genética no sustituye al manejo riguroso de las plantaciones. Esto quedó evidenciado en las fincas en donde se hizo la sustitución del material genético o renovación del cacaotal mediante injertación de los árboles en campo sin eliminación de la copa y sin manejo alguno. En dichas fincas, la presión de inóculo de las enfermedades fúngicas era muy elevada en estos sistemas y por ende sus incidencias. El conteo de mazorcas enfermas se realizó una vez durante la evaluación, que coincidieran con los picos de producción (70% de producción) y se registró el número de mazorcas atacadas por las enfermedades. Durante este período de evaluación había poca presencia de mazorcas enfermas, debido que los productores realizaban eliminación de mazorcas enfermas frecuentemente. Además, esta resistencia expresada por los clones de manera general pudo estar dada por las condiciones ambientales que no fueron ideales para el desarrollo de las enfermedades durante el estudio. Principalmente un evento de lluvia puede causar incremento en la incidencia de las enfermedades en determinado clon o zona. Los resultados obtenidos muestran que hubo alrededor de un 5% de mazorcas afectadas por las enfermas. Sin embargo, es necesario realizar evaluaciones periódicas durante todo el año en las fincas de los productores, con la finalidad de corroborar la resistencia expresada por los clones del estudio.

8. CONCLUSIONES

La caracterización de los hogares que dedican a producir cacao en las tres zonas de Costa Rica permitió observar familias conformadas por 1.5 miembros, en donde los miembros que participaron eran jefes de hogar, esposa e hijos adultos. El 87% de las personas de los hogares eran hombres y el 13% mujeres. El 36% de los jefes de hogar que produjeron cacao trabajaron fuera de la finca. Por el bajo porcentaje de jefes de hogar que trabajaron fuera de la finca en el 2019, se puede entender que el ingreso de estos hogares estaba basado principalmente en la producción de cacao y otros productos agroforestales. Las áreas donde se producen cacao se caracterizaron por ser de propiedad familiar. Estas áreas poseían extensiones con un promedio de 3.6 ha de cacao, siendo la zona Caribe la de mayor extensión y las zonas Norte y Pacífico de menor extensión.

Se agrupó a los cacaotales en cuatro clases de rendimientos: 37% de los cacaotales con rendimiento promedio de 268 kg ha⁻¹ año⁻¹ de cacao seco, el cual es similar al promedio nacional y se alcanza con prácticas mínimas de manejo; el 27% de los cacaotales con rendimientos buenos de 832 kg ha⁻¹ año⁻¹, alcanzado con tres podas al año principalmente; el 27% de los cacaotales con rendimientos muy bueno de 1428 kg ha⁻¹ año⁻¹, alcanzado con tres podas (una poda de mantenimiento y dos podas suaves) y fertilización moderada (200 g planta⁻¹ año⁻¹); finalmente, el 10% de las fincas alcanzaron rendimientos muy elevados de 1770 kg ha⁻¹ año⁻¹, gracias a que hacen cuatro podas y una mayor fertilización (400 g planta⁻¹ año⁻¹).

Los cacaotales con clones de CATIE en las tres zonas de Costa Rica, en promedio tienen una densidad total de 1139 individuos (plantas y árboles) por hectárea, distribuidos en 959 árboles de cacao, 47 plantas de musáceas, 65 árboles maderables, 48 árboles de servicio y 20 árboles frutales. Esta estructura agroforestal, a esas edades de las plantaciones (4 a 10 años) no afectó ni rendimientos ni incidencia de enfermedades.

Las prácticas de manejo que más benefician el potencial de los clones del CATIE son las podas y la fertilización. Una poda de mantenimiento y dos podas suaves durante el año, y una fertilización modesta 200 g planta⁻¹ año⁻¹ son las prácticas que mejor contribuyen al desempeño y logro de altos rendimientos. Si los productores que tienen bajos rendimientos aplican esas prácticas, podrían al menos duplicar rendimientos solo con buenas podas y podrían elevar incluso más los rendimientos si acompaña con fertilización.

Un rendimiento muy alto no siempre significa un flujo de caja alto también, hay que tratar de ser eficientes con controles de malezas y no elevar excesivamente costos de fertilización.

No hubo efecto interactivo de Clon:Ambiente sobre los rendimientos de los clones en las condiciones evaluadas, lo cual es un hallazgo importante y deseable desde el

punto de vista de mejoramiento genético. Los mejores clones en rendimiento fueron, en este orden: CATIE-R6 y CATIE-R4, CATIE-R1, luego CC-137, ICS- 95 y PMCT-58.

Las incidencias de monilia y mazorca negra fueron muy bajas en general (<5%). Fueron tomadas en un periodo importante de producción, pero se podría reforzar esta información con mediciones más constantes. Los resultados son aplicables a zonas similares donde se evaluaron los clones.

Se recomienda las evaluaciones realizadas en este estudio, en otras condiciones agroecológicas más contrastantes (otros países), donde podría haber interacción Clon: Ambiente.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE. 2004. Cultivo de cacao, 24. Retrieved from: http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_cacao.
- Ambrose-Oji, B. 2003. The contribution of NTFPs to the livelihoods of the 'forest poor': evidence from the tropical forest zone of south-west Cameroon. *International Forestry Review* (2): 106-117.
- Andrade, Hernán; Ibrahim, Muhammad. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 2003, vol. 10, no 39-40, p. 109-116.
- Anon. 1832. El cacao. *El Cultivador Cundinamarqués o Periódico de la Industria Agrícola y de la Economía Doméstica*, no. 7, 1 de mayo de 1832.
- Asare, R. 2005. Cocoa agroforests in West Africa: a look at activities on preferred trees in the farming systems. (Forest & Landscape Working Papers no. 6).
- Ayestas, E. et al. 2013. Caracterización de árboles promisorios de cacao en fincas orgánicas de Waslala, Nicaragua. *Agroforestería En Las Américas* (49):18–25.
- Azpeitia, M. A., Mirafuentes, H. F., López, A. P. A., & Castillo, G. R. 2009. Evaluación de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a "moniliasis" en el estado de Tabasco, México. *Memoria del PCCMCA. Campeche, México*.
- Bartley, B. G. D. 1995. [Perspectives for the breeding of the cacao tree in Sao Tome and Principe]. [Portuguese]. *Comunicacoes (Portugal). Series: Ciências agrarias. no. 19*.
- Bartley, B. G. D. 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 354 p.
- Blaha, G., & Lotodé, R. 1976. Un critère primordial de sélection du cacaoyer au Cameroun: la résistance à la pourriture brune des cabosses (*Phytophthora palmivora*). Variations des réactions à la maladie en liaison avec les données écologiques et l'état physiologique des fruits. *Café, Cacao, Thé (France)* v. 20 (2) p. 97-116.
- Beer, S.; Ilan, M. 1998. In situ measurements of photosynthetic irradiance responses of two Red Sea sponges growing under dim light conditions. *Marine Biology*, 1998, vol. 131, no 4, p. 613-617.
- Bentley, JW; Boa, E, Stonehouse, J. 2004. Neighbour trees: Shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology* 32(2):241- 269l.
- Briggs, FN; Knowles, PF. 1967. Introduction to plant breeding. Reinhold, USA. 426 p.

- Buddenhagen, IW. 1977. Resistance and vulnerability of tropical crops in relation to their evolution and breeding. *Annals of New York Academy of Science* 287:309-326.
- CacaoNet. 2012. A Global Strategy for the Conservation and Use of Cacao Genetic Resources, as the Foundation for a Sustainable Cocoa Economy (B. Laliberté, compiler). Bioversity International, Montpellier, France. 176 p.
- Castro, L., & Vignati, F. 2018. Iniciativa Latinoamericana del Cacao: Boletín No. 3. Caracas: CAF. Retrieved <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1258>.
- Cerda, R. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao, banano y plátano en el valle de Talamanca, Costa Rica. *Magister Scientiae*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 56 p. Consultado 04/03/2014.
- Cerda, R; Espín, T; Cifuentes, M. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 49: 33-41.
- 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*: 1-25.
- Cervantes-Martínez, C; Brown, JS; Schnell, RJ; Phillips-Mora, W; Takrama, JF; Motamayor, JC. 2006. Combining ability for disease resistance, yield, and horticultural traits of cacao (*Theobroma cacao*) clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131(2):231-241.
- Chee, KH.1974. Hosts of *Phytophthora palmivora*. In Gregory, PH. *Phytophthora disease of cocoa*. London, UK, Logman. p. 81-87.
- Cheesman, E.E. 1944. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. *Tropical Agriculture*. 21 (8): 144-159.
- Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. 2012. Fomento Empresarial Agrícola. Paquete tecnológico, "El cultivo de Cacao". Pg 12.
- Cuatrecasas, 1964. Cacao and its allies, a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Bulletin of the United State National Museum, Smithsonian Institution's*, 35 (6): 379-614.
- Dauber, E. 1997. Propuesta para la elaboración de tablas volumétricas y/o factores de forma. [Consultado el 5 de octubre de 2009]. <http://rmportal.net/library/I/A/2/a/documentos-bolfor/documentostecnicos/dt54.pdf>.
- Deheuvels, S., Michel, E., Nov. 2011. Constraints on the structure of the core 622 of subgenus *Theobroma* via mixed modes: the case of HD 49385. *A&A* 535, A91.

- Delgado, JC; Suárez, C. 1993. Moniliasis del Cacao. FUNDAGRO-INIAP. (Documento técnico 10). 18 p.
- De Souza, Alessandro Oliveira; Da Silva, Marcos José. 2015. A new species of *Chamaecrista* (Leguminosae) from the Brazilian Central Plateau. *Phytotaxa*, 2015, vol. 204, no 2, p. 165-171.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzales L, Tabalda, Robledo CW. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duguma, B; Gockowski, J; Bakala, J. 1999. Desafíos biofísicos y oportunidades para el cultivo sostenible del cacao (*Theobroma cacao* Linn.) en sistemas agroforestales de África occidental y central. *Agroforestería en las Américas* 6(22):12-15.
- Efron, Bradley, et al. 2003. Second thoughts on the bootstrap. *Statistical Science*, 2003, vol. 18, no 2, p. 135-140.
- Emilio, Palomeque Figueroa. 2009. Sistemas Agroforestales. *Chiapas, SOCLA*, 2009.
- End, M., R. Wasdworth., P. Hadley, 1992. International cocoa germplasm databases. Departments of botany and horticulture, University of Reading, United Kingdom. 355 pp.
- Enríquez GA, Salazar LG. 1987. Cocoa varietal resistance to *Phytophthora palmivora* and its inheritance at Turrialba, Costa Rica. In: Proceedings of the meetings of the American regional group on *Phytophthora palmivora* on cacao. Enriquez G.A. and Zentmyer G.A. eds, Technical series. Technical report CATIE 126.
- Enríquez, G. A. and Suárez, C. C. 1978. Monilia disease of cacao in Costa Rica. Turrialba. 28: 339-340.
- Enríquez, GA. 1992. Characteristics of cacao "Nacional" of Ecuador. International workshop on conservation, characterization and utilization of cocoa genetic resources in the 21st century Port- of- Spain, Trinidad. 13-17th September the Cocoa Research Unit, the University of the West Indies. p 269 - 278.
- Enríquez, G. 2004. Cacao Orgánico (Guía para productores ecuatorianos). Quito, Ecuador. 360 p.
- Enríquez, A. 2009. Estudio farmacológico y fotoquímico del rizoma de *Zingiber officinale* Roscoe "jengibre" de la ciudad de Chamayo. Obtenido de ISSN 1817-2075.

- Evans, H. C., Krauss, U., Rios, R., Zeceovich, A., & Arevalo-Gardini, E. 1998. Cocoa in Peru. *Cocoa Growers' Bulletin*, (51), 7-22.
- Evans, H.C.; Holmes, K.A.; Phillips, W. y Wilkinson, M.J. 2002. What's in a name: *Crinipellis*, the final resting place for the frosty pod rot pathogen of cacao? *Mycologist*. USA. Vol. 16 (4): Pp. 148-152. doi:10.1017/S0269915X02004093.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1988. Annuaire de la production. Collection FAO statistiques # 88. XVII. Rome. Italie. 150 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2004. *Las buenas prácticas agrícolas*. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Consultado 10 nov. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf> [Links]
- Firman, I. D., & Vernon, A. J. 1970. Cocoa canker caused by *Phytophthora palmivora*. *Annals of Applied Biology*, 65(1), 65-73.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas). 2004. Guía técnica: Cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales. Consultado el 04 de octubre de 2015, de http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/cultivo_de_cacao_bajo_sombra_de_maderables_o_frutales.pdf
- García Rubio, F. 2006. Sistemas agroforestales de Yopal: diagnóstico y diseño. Bucaramanga, Colombia: La Bastilla Ltda.
- Gamarra Rojas, G; Galvão Freire, A; Macedo Moreira, J; Almeida, P. 2004. Las frutas nativas, testimonio del hambre a exquisiteces en la mesa. *Revista de Agroecología LEISA* 20(1):5-8.
- Gregory, PH. 1972. Cocoa: The importance of black pod disease. *Journal of the Agricultural Society of Trinidad y Tobago* (Trinidad) 72(2):155-160.
- Gregory, PH. 1974. *Phytophthora Disease of Cocoa*. London, UK, Longman. 348 p.
- Gregory PH, Maddison, AC.1981. Epidemiology of *Phytophthora palmivora* on cocoa in Nigeria; final report of the International Cocoa Black pod Research Project. Kew, England, Commonwealth Mycological Institute. *Phytopathological Society*. p.9-40

- Hardy, F. 1961. Manual del cacao. Turrialba, CR, IICA p. 387-388.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27:259- 267.
- ICCO (International Cocoa Organization). 1991. Quarterly bulletin of cocoa statistics.
- ICCO, 2001. (Organización Internacional del cacao). Producción mundial de cacao. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (En línea). Consultado 24 jul. 2010. Disponible en <http://www.sica.gov.ec>
- ICCO. 2016. Panel recognizes 23 countries as fine and flavour cocoa exporters. <https://www.icco.org/about-us/icco-news/319-icco-panel-recognizes-23-countries-as-fine-and-flavour-cocoa-exporters.html>. Consultado septiembre, 2018
- ICCO (International Cocoa Organization). (28 de febrero de 2018). www.icco.org. Obtenido de www.icco.org: <https://www.icco.org/statistics/monthly-review-of-the-market.html>.
- Imbach Hermida, A. C. (1987). Análisis económico y financiero de fincas pequeñas con sistemas mixtos de Producción: metodología y estudio de caso en fincas de Jocoro, El Salvador.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1995. Molecular genetics techniques for plant resources. Report of IPGRI Workshop, Roma IT, Eds. W. Ayad; T. Hodgkin; A. Janadat; V. Rao. 137 p.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 2000. Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection. In Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA. eds. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI project Workshop 1998. Montpellier, Francia. 176 p.
- IV Censo Nacional Agropecuario 2014, Cuadros estadísticos
- Jaimez, R. E., & Franco, W. 1999. Producción de hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición en sistemas agroforestales de cacao y frutales. *Agrotropica*, 11(1), 1-8.
- Jiménez, Francisco; Muschler, Reinhold; Kópsell, Edgar. 2001. Módulo de enseñanza agroforestal: Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. *Turrialba, CR: CATIE*, 2001.
- Johnson, J., Bonilla, J., & Agüero, L. (2008). Manual de manejo y producción del cacaotero. *Leon, Nicaragua*.

- Johnson ES, Rutherford MA, Edgington S, Flood J, Crozier J, Cafá G, Buddie AG, Offord L, Elliott SM, Christie KV, 2017. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot on *Theobroma cacao* in Jamaica. *New Disease Reports* **36**, 2. [<http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2017.036.002>]
- Jorgensen, H. 1970. Monilia pod rot of cacao in Ecuador. *Cacao (Costa Rica)* 15(4): 4-13.
- Karp, A.; Skresovich; K.; Ayad, W.; Hodkin, T. 1997. Molecular tools. In: plan genetic resources conservation: a guide to the technologies. IPGRI 47 p. p. (Technical Bulletin, N° 2).
- Krauss U, Hidalgo E, Bateman R, Adonijah V, Arroyo C, García J, Crozier J, Brown N, Ten Hoopen GM, Holmes KA. 2010. Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). *Biological Control*. 54(3): 230-240.
- Lanaud C, Sounigo O, Amefia YK, Paulin D, Lachenaud P, Clement D. 1987. Nouvelles données sur la fonctionnement du système d'incompatibilité du cacaoyer et ses conséquences pour la sélection. *Café Cacao Thé*, 31(4), 267–277.
- Loor, G. 2002. Caracterización morfológica y molecular de 37 clones de cacao Nacional de Ecuador, Tesis Ms. Sc. Montecillo, Texcoco. MX, Colegio de Postgrado. 85 p.
- Lockwood, R. 2003. Who Needs Clothing? *INGENIC Newsletter* 8:2-4.
- Lopes, UV; Monteiro, WR; Pires, JL; Clement, D; Yamada, MM; Gramacho, KP. 2011. Cacao breeding in Bahia, Brazil - strategies and results. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* S1:73-81.
- López, G. M. A., and Enríquez, V. O. 1980. Presencia de *Monilia roreri* Cif. et Par., en el cacao, *Theobroma cacao* L. en la frontera de Costa Rica, Nicaragua. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Managua, Nicaragua.
- López T. G. 2007. Sistemas agroforestales. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados. Puebla, Pue. México. 8 p.
- Lutheran World Relief. 2013. Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales. Printex. Managua, NI.41 p.
- Luz, E. Mitchell, D. 1989. The role of *Phytophthora spp.* on general infection of the cocoa tree. *Agrotropica* 1 (3):161-169.

- Maddison, A. C., Griffin, M. J., & Gregory, P. H. 1981. *Detection and movement of inoculum Epidemiology of Phytophthora on cocoa in Nigeria; final report of the International Cocoa Black Pod Research Project*. Commonwealth Mycological Institute, Surrey (RU).
- Matey Centeno, A. M., & Zeledon Pineda, L. H. 2010. *Caracterización de la vegetación arbórea asociada al cacao (Theobroma cacao L) y en fragmentos boscosos del municipio de Waslala, RAAN, Nicaragua, 2009-2010* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- Maximova, S. N., Alemanno, L., Young, A., Ferriere, N., Traore, A., & Gultinan, M. J. 2002. Efficiency, genotypic variability, and cellular origin of primary and secondary somatic embryogenesis of *Theobroma cacao* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 38 (3), 252-259.
- Medeiros FHV, Pomella AWV, De Souza JT, Niella GR, Valler RP, Bateman R, Fravel D, Vinyard B, Hebbar PK. 2010. A novel, integrated method for management of witches' broom disease in Cacao in Bahia, Brazil. *Crop Prot.* 29(7): 704-711.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. 2015. *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Cali, Colombia: Fundación CIPAV.
- Motamayor, J.C. 2001. *Etude de la diversité génétique et de la domestication des cacaoyers du groupe Criollo (Theobroma cacao L.) à l'aide de marqueurs moléculaires*. 2001. Tesis Doctoral. Université de Paris-Sud.
- Motamayor, J., Lachneaud, P., Da Silva e Mota, J., Looor, R., Kuhn, D., Brown, J. Schnell, R. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). In: *PLoS ONE* 3: e3311.
- Norman, D. A. 1999. Affordance, conventions, and design. *interactions*, 6(3), 38-43.
- Oficina Nacional Forestal. 2013. *Guía técnica SAF para la implementación de sistemas agroforestal (SAF) con árboles forestales maderables*. Costa Rica.
- Orellana RG. 1956. Estado de las investigaciones sobre la enfermedad del cacao. Ponencia presentada en: VI Conferencia Interamericana de Cacao; Salvador de Bahía, Brasil.
- Orozco Aguilar, L., Deheuvels, O., Villalobos Rodriguez, M., & Somarriba Chavez, E. 2015. El sector cacao en Centroamérica. Estado de desarrollo en el año 2007.
- Paulin, O; Eskes, AB. 1995. Le cacaoyer: stratégies de sélection. *Plantations Recherche Développement* 2:5-I S.
- Phillips Mora, W. 1986. Evaluación de la resistencia de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) a *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans et al.

- Phillips-Mora, W, Galindo, JJ. 1988. Evaluación de la resistencia de cultivares de cacao (*Theobroma cacao*) a *Moniliophthora roreri* Cif. Par. In Proc.10th. Cocoa Res. Conf. 1987. San Domingo, República Dominicana. p. 685-689.
- Phillips-Mora, W; Galindo, JJ. 1989. Método de inoculación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao (*Theobroma cacao*). Turrialba 39(4):488-496.
- Phillips-Mora, W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus *Moniliophthora roreri* as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence. Thesis (Ph.D.). The University of Reading. Reino Unido. 349 p.
- Phillips-Mora, W; Mora, A; Johnson, E; Astorga, C. 2007. Recent efforts to improve the genetic and physical conditions of the International Cacao Collection at CATIE. In Proc.15th. Cocoa Res. Conf. 2006. San José, Costa Rica. p. 611- 623.
- Phillips-Mora, W., et al. 2013. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. *Serie técnica. Manual técnico (CATIE). Número 105.*
- Pike, E. 1932. Propagación vegetativa en cacao. Reporte anual de investigación en cacao, I-V Colegio Imperial de Agricultura Tropical (Trinidad) 1:4-9. 2:3-9.
- Porrás-Umaña, V. H., & Galindo, J. 1985. Effect of inoculum levels and " humid chamber" on screening cacao for resistance to *Monilia roreri* Cif & Par. *Phytopathology*, 75(10), 1178.
- Pound, F. J. 1938. Cacao and witch broom disease (*Marasmius perniciosus*) of South America with notes on other species of *Theobroma*. Report on visit to EC, the Amazon valley and Colombia, April 1937 – April 1938. Port- of - Spain, Yuille`s Printerie, Trinidad. 58 p.
- Ramírez, W. 2005. Manejo de sistemas agroforestales.
- Robinson, P.J., 1985. Trees as fodder crops In: Cannell, M.G.R. and J.E. Jackson (eds) Attributes of trees as crop plants. Institute of Terrestrial Ecology, UK. pp. 281-300.
- Rodríguez, Q.J.E., Jiménez, M.R. and Canet G.B.. 1983. Actividades agrosilvopastoriles en Guatemala, Honduras y Panamá. San José, C.R., DGF/FAO.
- Rojas, F., y Sacristán, E. 2013. Guía ambiental para el cultivo del cacao. (2a ed.). Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). Bucaramanga, Colombia. Consultado en:

http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

- Sánchez, F.J.Q.; Moreno, L.A.R. 1996. Contabilidad general. Francisco Javier Quesada Sánchez.
- Sánchez, J; Brenes, O; Phillips, W; Enriquez, G. 1987. Methodology for inoculating pods with the fungus *Moniliophthora (Monilia) roreri*. In Proc.10th. Cocoa Res. Conf. 1987. San Domingo, República Dominicana. p. 467-471.
- Solís, B. J. L.; Ruíz, C. P. A. y Zamarripa, C. A. 2009. Mejoramiento genético para resistencia, rendimiento y calidad agroindustrial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. In: Memoria XLV Reunión Nacional de Investigación Agrícola y Forestal. Saltillo, Coahuila, México. 142 p.
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. *Agroforestry systems*, 10(3), 253-263.
- Somarriba, E.; Trivelato, M.; Villalobos, M., Suárez, A.; Benavides, P. y Moran, K. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*; 10:37-38.
- Somarriba, E. 2007. Cocoa and shade trees: production, diversification and environmental services. *Gro-cocoa (RU) no. 11 p. 1-4*, 2007.
- Soria, J. 1966. Obtención de clones de cacao por el método de índices de selección. Turrialba (IICA). 16(2):119-124.
- Soria, VJ. 1970. The latest cocoa expeditions to the Amazon basin. *Cacao*. 15: (1) 5-15
- Suárez, A., Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 2002, vol. 9, no 35-36, p. 50-54.
- Suarez, Carmen; Delgado, Julio C. 1993. *Moniliasis del cacao*. INIAP Archivo Histórico, 18 p.
- Vaast, P.; Somarriba, E. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agrofor. Syst.* 88: 947–956.
- Waterhouse, GM.1977. Whence *Phytophthora palmivora*? *Phytophthora Newsletter* 5:3-5.

Wood, G; AR, BA; DTA. 1959. El cacao en Ecuador. In Notes on Three cocoa Diseases, Cocoa-Growing in Venezuela, Colombia and Ecuador. Cadbury Brothers LTD. Bournville. P. 35 – 52. Lass, 1987. Cocoa. 4 ed. Singapore, Longman. 620 p.

Young, A.M. 1994. The Chocolate Tree, A Natural History of Cacao. Washington US. Smithsonian Institution Press, p 65-79.

10. ANEXOS

Anexo 1. Número total de personas que viven en los hogares de las tres zonas de Costa Rica

Zona	Personas totales que viven en los hogares					
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Norte	10	3.6	1.35	1	6	3.5
Caribe	10	4.5	2.07	3	10	4
Pacífico	10	3.4	0.84	2	4	4
Promedio de las tres zonas	30	3.8	-	1	10	-

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 2. Número de personas que producen cacao en los hogares de las tres zonas de Costa Rica

Zona	Personas que producen cacao en los hogares					
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Norte	10	1.6	0.7	1	3	1.5
Caribe	10	1.5	0.71	1	3	1
Pacífico	10	1.5	0.53	1	2	1.5
Promedio de las tres zonas	30	1.5	-	1	3	-

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 3. Número de días semana⁻¹ (a) y horas día⁻¹ (b) que las personas que viven en los hogares trabajan en los SAF-cacao

Zona	Días semana ⁻¹ y horas día ⁻¹ de jornales que trabajan en los SAF-cacao				
	Nº	Promedio	D.E.	Mínima	Máxima
Norte	10	4.50a	1.84	1	6
		6.50b	1.18	5	8
Caribe	10	4.40a	1.35	2	6
		6.60b	1.78	3	8
Pacífico	10	5.20a	0.79	4	6
		6.70b	1.25	5	8
Promedio de las tres zonas	30	4.70a	1.33	2.30	6
		6.60b	1.40	4.30	8

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 4. Superficie en hectáreas por lotes de las propiedades del productor de los SAF-cacao

Variable	Características de las propiedades por lotes					
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Área del SAF-cacao	30	3.6	7.5	1	42	2
Bosques naturales	30	3.2	5.2	0	18	1
Huerto casero	30	0.4	0.3	0	1	0.5
Agricultura	30	3.4	4.1	0	18.6	2
Pastizales	30	1.1	3.8	0	20	0
Superficie total de la finca	30	11.8	16.3	1	90	6
Promedio de las tres zonas	30	3.9	-	1	90	-

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 5. Superficie en hectáreas de los lotes de SAF-cacao

Zona	Superficie en hectáreas de los SAF-cacao					
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo	Mediana
Norte	30	2.4	2.37	1	9	2
Caribe	30	5.95	12.73	1	42	1.75
Pacífico	30	2.4	1.65	1	6	2
Promedio de las tres zonas	30	3.6	-	1	42	-

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 6. Eficiencia económica ha⁻¹ año⁻¹ de los hogares que producen SAF-cacao

Zona	Valor agregado neto de las propiedades				
	Nº	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
Norte	10	4255.76	3719.24	320.52	11596.45
Caribe	10	3594.36	3633.27	438.80	13086.65
Pacífico	10	3498.21	2864.86	431.43	8549.90
Promedio de las tres zonas	30	3782.78	-	320.52	13086.65

Nº número de hogares, D.E. desviación estándar

Anexo 7. Análisis de regresión lineal del rendimiento de cacao e indicadores económicos de los SAF-cacao

- **Variable rendimiento de cacao seco estimado**

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
RCSE	30	0.82	0.75	213366.82	433.6	447.61

Selección Stepwise. Máximo p-valor para entrar: 0.15 Máximo p-valor para retener: 0.15
Número original de regresoras: 35, regresoras retenidas en el modelo 8

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	-140.06	156.03	-464.55	184.43	-0.9	0.3796			
FPC	171.34	51.39	64.46	278.22	3.33	0.0031	18.12	1.79	
FFO	348.42	125.9	86.59	610.25	2.77	0.0115	14.66	1.62	
FFQ	437.38	112.58	203.25	671.51	3.88	0.0009	22.09	1.23	
ASAFc	19.92	8.01	3.27	36.58	2.49	0.0214	13.19	1.28	
FCM	24.83	13.17	-2.56	52.21	1.89	0.0733	10.55	1.2	
DPM	1.44	0.78	-0.18	3.05	1.85	0.0786	10.42	1.17	
ABAS	67.33	41.43	-18.82	153.48	1.63	0.119	9.64	1.16	

Error cuadrático medio:

81247.653164

- **Variable de ingreso neto**

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Ingreso neto	30	0,59	0,52	2356569,34518,69527,10		

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0,15

Máximo p-valor para retener: 0,15

Número original de regresoras: 33, regresoras retenidas en el modelo 4

Coeficientes de regresión y estadísticos

asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	-212,53	635,17	-1520,70	1095,63	-0,33	0,7407			
RCSE	2,80	0,54	1,68	3,92	5,14	<0,0001	29,43	1,85	
FCM	-207,73	53,87	-318,67	-96,78	-3,86	0,0007	17,87	1,07	
RTE	189,62	77,48	30,04	349,19	2,45	0,0218	8,99	1,07	
FFQ	-1446,47	554,91	-2589,33	-303,62	-2,61	0,0152	9,79	1,68	

Error cuadrático medio:
1520036,549155

- **Variable flujo de caja**

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Flujo de caja	30	0,68	0,60	2258787,045	14,71525,92	

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0,15

Máximo p-valor para retener: 0,15

Número original de regresoras: 33, regresoras retenidas en el modelo 6

Coefficientes de regresión y estadísticos

asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	2358,13	1045,51	1195,33	4520,93	2,26	0,0339			
RCSE	2,92	0,51	1,86	3,97	5,73	<0,0001	137,87	1,94	
DAM	8,01	2,91	1,99	14,03	2,75	0,0114	12,57	1,48	
FCM	-176,00	51,53	-282,60	-69,40	-3,42	0,0024	16,66	1,18	
CS (%)	-27,81	13,51	-55,76	0,14	-2,06	0,0511	9,24	1,18	
FFQ	-1666,23	539,24	-2781,73	-550,73	-3,09	0,0052	14,55	1,91	
VT (m ³ ha ⁻¹)	-7,81	4,91	-17,97	2,36	-1,59	0,1258	7,52	1,56	

Error cuadrático medio:
1266126,973443

- **Variable beneficio familiar**

Análisis de regresión

lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Beneficio familiar	30	0,61	0,51	2943957,535	19,16530,37	

Selección Stepwise.

Máximo p-valor para entrar: 0,15

Máximo p-valor para retener: 0,15

Número original de regresoras: 33, regresoras retenidas en el modelo 6

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	260,62	618,29	-1018,40	1539,65	0,42	0,6773			
RCSE	2,33	0,52	1,25	3,41	4,47	0,0002	24,98		1,76
DAM	11,17	3,11	4,74	17,60	3,60	0,0015	17,93		1,45
FCM	-123,85	54,61	-236,82	-10,88	-2,27	0,0330	10,14		1,14
ABPM	163,42	75,91	6,39	320,44	2,15	0,0421	9,63		1,05
FAF	-192,72	82,47	-363,32	-22,13	-2,34	0,0285	10,46		1,77
VT (m ³ ha ⁻¹)	-9,82	4,99	-20,14	0,50	-1,97	0,0613	8,87		1,39
<i>Error</i>	<i>cuadrático</i>	<i>medio:</i>							
	1468457,155394								

Anexo 8. Análisis de varianza de las variables agronómicas, productivas y sanitarias de los SAF-cacao.

- **Variable rendimiento de cacao seco estimado**

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.009_Rendimiento.cacao.seco.estimado_REML <-
lme(Rendimiento.cacao.seco.estimado~1+Zona+Clon+Zona:Clon
,random=list(Codigo=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Conglomerado))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data09
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo:

mlm.modelo.009_Rendimiento.cacao.seco.estimado_REML

Variable dependiente: Rendimiento de cacao seco estimado

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
178	2443,62	2508,20	-1200,81	213,97	0,25	0,77

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	133	119,68	<0,0001
Zona	2	27	1,70	0,2025
Clon	5	133	19,21	<0,0001
Zona:Clon	10	133	0,89	0,5424

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Codigo

Desvíos estándares y correlaciones

(const)	
(const)	408,21

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | Conglomerado

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
1	1,00
2	2,88

Rendimiento de cacao seco estimado - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	Medias	E.E.	
CATIE-R6	1308,17	134,91	A
CATIE-R4	1295,07	134,91	A
CATIE-R1	830,80	85,11	B
CC-137	700,00	84,15	C
ICS-95	625,47	84,15	C
PMCT-58	504,50	84,15	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

- **Variable mazorcas sanas estimadas**

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.003_Mazorcas_sanas_estimadas_REML <-  
lme(Mazorcas_sanas_estimadas ~ 1 + Zona + Clon + Zona:Clon  
, random = list(Codigo = pdIdent(~1))  
, weights = varComb(varIdent(form = ~1 | Clon))  
, method = "REML"  
, control = lmeControl(niterEM = 150  
, msMaxIter = 200)  
, na.action = na.omit  
, data = mlm.modeloR.data03  
, keep.data = FALSE)
```

Resultados para el modelo:

mlm.modelo.003_Mazorcas_sanas_estimadas_REML

Variable dependiente: Mazorcas sanas estimadas

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
177	1805.661882.38	877.83		32.32	0.19	0.84

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	132	59	<0.0001
Zona	2	27	1.37	0.27
Clon	5	132	17.17	<0.0001
Zona:Clon	10	132	1.1	0.368

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Codigo

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

	(const)
(const)	3.04

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | Clon

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
CATIE-R4	1
PMCT-58	2.1
CATIE-R6	1.34
ICS-95	1.87
CATIE-R1	0.58
CC-137	0.74

Mazorcas sanas estimadas - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	Medias	E.E.	
CATIE-R6	171.2	19.61	A
CATIE-R1	169.72	18.33	A

CATIE-R4	167.4	18.88	A
CC-137	139.83	18.46	B
ICS-95	103.77	21.06	C
PMCT-58	89.2	21.81	C

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

- **Variable altura de planta**

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.007_AP_REML <- lme(AP ~ 1 + Clon + Zona + Clon:Zona
, random = list(Codigo = pdIdent(~1))
, weights = varComb(varIdent(form = ~1 | Zona))
, method = "REML"
, control = lmeControl(niterEM = 150
, msMaxIter = 200)
, na.action = na.omit
, data = mlm.modeloR.data07
, keep.data = FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.007_AP_REML

Variable dependiente: AP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
178	1600.07	1667.72	-778.03	33.71	0.41	0.79

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	133	4099.48	<0.0001
Clon	5	133	27.88	<0.0001
Zona	2	27	5.97	0.007
Clon:Zona	10	133	0.22	0.994

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Codigo

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

	(const)
(const)	0.88

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 \mid \text{Zona}$

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
Caribe	1
Norte	0.76
Pacífico	0.39

AP - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	Medias	E.E.	
CATIE-R4392.28	7.14		A
CATIE-R6391.6	7.14		A
PMCT-58	370.98	7.14	B
CC-137	367.25	7.14	B
ICS-95	356.83	7.14	B
CATIE-R1324.13	7.29		C

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

AP - Medias ajustadas y errores estándares para Zona

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Zona	Medias	E.E.	
Pacífico	385.51	9.51	A
Norte	376.81	9.95	A
Caribe	339.22	10.32	B

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

- **Variable diámetro de tallo**

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.008_DT_REML <- lme(DT ~ 1 + Clon + Zona + Clon:Zona  
, random = list(Codigo = pdIdent(~1))  
, weights = varComb(varPower(form = ~fitted(.)))  
, method = "REML"  
, control = lmeControl(niterEM = 150  
, msMaxIter = 200)  
, na.action = na.omit  
, data = mlm.modeloR.data08  
, keep.data = FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.008_DT_REML

Variable dependiente: DT

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
178	909.36	973.94	-433.68	0.02	0.38	0.73

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	133	2496.51	<0.0001
Clon	5	133	12.86	<0.0001
Zona	2	27	8.57	0.0013
Clon:Zona	10	133	1.6	0.1145

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Codigo

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

(const)
(const) 143.71

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varPower

Formula: ~ fitted(.)

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
power	1.48

DT - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	Medias	E.E.	
CC-137	29.52	0.75	A
CATIE-R6	29.3	0.74	A
CATIE-R4	28.97	0.73	A
PMCT-58	27.67	0.71	B
ICS-95	27.15	0.7	B
CATIE-R1	25.04	0.68	C

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

DT - Medias ajustadas y errores estándares para Zona

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Zona	Medias	E.E.	
Norte	30.65	0.99	A
Pacífico	28.17	0.97	A
Caribe	25	0.95	B

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

- **Variable mazorcas totales**

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Mazorcas_totales_REML <-  
lme(Mazorcas_totales~1+Zona+Clon+Zona:Clon  
,random=list(Codigo=pdIdent(~1))  
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Clon))  
,method="REML"  
,control=lmeControl(niterEM=150  
,msMaxIter=200)  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data01  
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Mazorcas_totales_REML

Variable dependiente: Mazorcas totales

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
177	1805.66	1882.38	- 877.83	32.32	0.19	0.84

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F- value	p-value
(Intercept)	1	132	59	<0.0001
Zona	2	27	1.37	0.2702
Clon	5	132	17.17	<0.0001
Zona:Clon	10	132	1.1	0.3684

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Codigo

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

(const)	
(const)	3.04

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Fórmula: ~ 1 | Clon

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
CATIE-R4	1
PMCT-58	2.1
CATIE-R6	1.34
ICS-95	1.87
CATIE-R1	0.58
CC-137	0.74

Mazorcas totales - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	Medias	E.E.	
CATIE-R6	171.2	19.61	A
CATIE-R1	169.72	18.33	A
CATIE-R4	167.4	18.88	A
CC-137	139.83	18.46	B
ICS-95	103.77	21.06	C
PMCT-58	89.2	21.81	C

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

- **Variable mazorcas moniliasis**

Modelos lineales generalizados mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlgm.modelo.002_Mazorcas_moniliasis_ML <- glmer(cbind(Moniliasis
,as.numeric(as.character(Mazorcas_total)))_mazorcas_moniliasis)~1+Clon+(1|Codigo)
,family=myFamily
,na.action=na.omit
,nAGQ=1
,data=R.data02)
```

Resultados para el modelo: mlgm.modelo.002_Mazorcas_Moniliasis_ML

Variable dependiente: Mazorcas moniliasis

General

Familia	Enlace	nAGQ
binomial	logit	1

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Deviance
60	154.7443	169.4047	-70.3722	68.9419

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (Wald) para los efectos fijos

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Clon	5	54	5.211	0.0006

Parámetros de los efectos aleatorios

RndEff	Param	Var	SD
Codigo	(Intercept)	6.8418	2.6157

Mazorcas moniliasis - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

Inversa de la función de enlace con efecto aleatorio=0

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	PredLin	E.E.	Media	E.E.	
PMCT-58	-6.1166	1.2088	0.0022	0.0027	A
ICS-95	-6.3689	1.213	0.0017	0.0021	A
CC-137	-6.662	1.2172	0.0013	0.0016	A
CATIE-R1	-7.847	1.267	0.0004	0.0005	B
CATIE-R4	-7.8824	1.2836	0.0004	0.0005	B
CATIE-R6	-8.6335	1.3804	0.0002	0.0002	B

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

- Variable mazorcas atacadas por ardillas

Modelos lineales generalizados mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlgm.modelo.003_Mazorcas_atacadas_por_ardillas_ML <- glmer(cbind(Ardillas  
, as.numeric(as.character(Mazorcas_total)))-  
Mazorcas_Atacadas_por_Ardillas) ~ 1 + Zona + Clon + Zona:Clon + (1|Codigo)  
, family=myFamily
```

,na.action=na.omit
 ,nAGQ=1
 ,data=R.data03)

Resultados para el modelo:
mlgm.modelo.003_Mazorcas_atacadas_por_ardillas_ML

Variable dependiente: Mazorcas atacadas por ardillas

General

Familia	Enlace	nAGQ
binomial	logit	1

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Deviance
178	502.535	562.989	-232.267	94.344

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (Wald) para los efectos fijos

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Zona	2	160	1.572	0.2109
Clon	5	160	2.658	0.0245
Zona:Clon	10	160	0.893	0.5415

Parámetros de los efectos aleatorios

RndEff	Param	Var	SD
Codigo	(Intercept)	2.202	1.484

Mazorcas atacadas por ardillas - Medias ajustadas y errores estándares para Clon

Inversa de la función de enlace con efecto aleatorio=0

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Clon	PredLin	E.E.	Media	E.E.		
PMCT-58	-4.784	0.363	0.008	0.003	A	
ICS-95	-4.789	0.352	0.008	0.003	A	
CATIE-R4	-5.209	0.351	0.005	0.002	A	B
CATIE-R6	-5.278	0.355	0.005	0.002	A	B
CC-137	-5.288	0.365	0.005	0.002	A	B
CATIE-R1	-5.501	0.367	0.004	0.001		B

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

- **Mazorcas negras**

Modelos lineales generalizados mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlgm.modelo.001_Mazorcas_negras_ML <- glmer(cbind(Negras
,as.numeric(as.character(Mazorcas_totales))-
Mazorcas_negras)~1+Zona_Clon+(1|Codigo)
,family=myFamily
,na.action=na.omit
,nAGQ=1
,data=R.data01)
```

Resultados para el modelo: mlgm.modelo.001_Mazorcas_negras_ML

Variable dependiente: Mazorcas negras

General

Familia	Enlace	nAGQ
binomial	logit	1

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Deviance
148	288.025888	335.981284	-128.012944	98.02872

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (Wald) para los efectos fijos

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Zona_Clon	14	133	2.748306	0.0013

Parámetros de los efectos aleatorios

RndEff	Param	Var	SD
Codigo	(Intercept)	2.577663	1.60551

Mazorcas negras - Medias ajustadas y errores estándares para Zona x Clon

Inversa de la función de enlace con efecto aleatorio=0

LSD Fisher (Alfa=0.05)

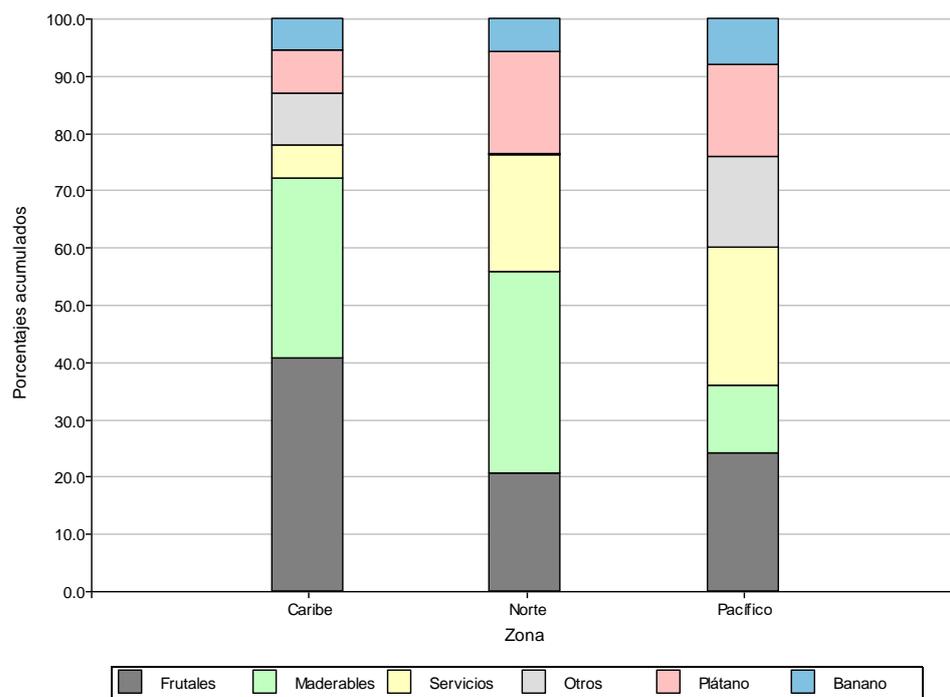
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Zona_Clon	PredLin	E.E.	Media	E.E.				
Norte_ICS-95	-4.693453	0.677806	0.009072	0.006093	A			
Norte_PMCT-58	-4.872304	0.713935	0.007598	0.005383	A	B		
Caribe_ICS-95	-5.814942	0.758767	0.002974	0.00225	A	B	C	
Pacífico_CC-137	-6.00753	0.705593	0.002454	0.001727	A	B	C	D
Pacífico_ICS-95	-6.196037	0.731943	0.002033	0.001485	A	B	C	D
Pacífico_CATIE-R1	-6.399434	0.714619	0.00166	0.001184	A	B	C	D

Caribe_PMCT-58	-6.429164	0.823125	0.001611	0.001324	A	B	C	D
Norte_CC-137	-6.480499	0.807844	0.001531	0.001235	A	B	C	D
Caribe_CC-137	-6.598683	0.819298	0.00136	0.001113	A	B	C	D
Pacífico_PMCT-58	-6.859441	0.824788	0.001048	0.000864		B	C	D
Norte_CATIE-R1	-6.983641	0.951769	0.000926	0.000881			C	D
Caribe_CATIE-R1	-7.708018	0.982347	0.000449	0.000441			C	D
Pacífico_CATIE-R6	-7.919752	0.958674	0.000363	0.000348			C	D
Caribe_CATIE-R6	-8.148669	1.205958	0.000289	0.000348				D
Caribe_CATIE-R4	-8.168678	1.205337	0.000283	0.000341				D

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

Anexo 9. Porcentaje de especies de plantas según su uso principal en SAF-cacao en Costa Rica.



Anexo 10. Lista de especies de plantas y sus usos que se identificaron en los SAF-cacao en Costa Rica.

Especies	Nombre científico	Usos	Zonas		
			Caribe	Norte	Pacífico
Abacá	<i>Musa textilis</i> Née	S			x
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill	F	x	x	x
Almendo	<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell	S	x	x	
Almendro amarillo	<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell	M		x	
Banano	<i>Musa</i> sp	B	x	x	x
Café	<i>Coffea arabica</i> L.	O			x
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	M	x	x	x
Chino pelado	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	M	x		
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	F	x		
Guaba	<i>Inga</i> spp	S			x
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	M	x		
Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de wit	S		x	
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	F	x		
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	F	x		
Juanilama	<i>Goethalsia meiantha</i> (Donn. Sm.) Burret	O	x		
Lagartillo	<i>Sciadodendron excelsum</i> Griseb	M		x	
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	M	x	x	
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	F	x		
Limón ácido	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	F	x		x
Limón dulce	<i>Citrus limettioides</i> L.	F	x		
Limón mesino	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	F	x		
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. e	M		x	
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> L.	F	x		
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	F	x		
Manzana de agua	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	F	x		
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	F	x	x	x
Ñame	<i>Discorea alata</i> L.	O	x		
Ñampi	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> L.	O	x		
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	O			x
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	F	x	x	x
Pilón	<i>Hyeronima alchomeoides</i> Allemao	M	x		
Piña	<i>Ananas comosus</i> L.	O			x
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	P	x	x	x
Poró	<i>Erythrina</i> spp	S	x	x	x
Rambután	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	F	x	x	x
Roble	<i>Licania arborea</i> Seem.	M	x	x	
Samán	<i>Albizia saman</i> L.	M	x		
Soncoya	<i>Annona cherimola</i> , Mill	F	x		
Surá	<i>Calycophyllum candidissimum</i> (vahl) DC.	M	x		
Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	M	x		
Ylang	<i>Cananga odorata</i> L.	F		x	
Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	O	x		x
Zorrillo	<i>Cestrum lanatum</i> M.	M	x		

B bananos, P plátanos, M maderables, F frutales, S servicios, O otros cultivos