



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V



Sostenibilidad de los sistemas productivos agroforestal tradicional y
tecnificado intensivo de cacao en Comalcalco, Tabasco

TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

ING. CLAUDIA HERNÁNDEZ ESCOBAR PS1883

Director de tesis

DR. ORLANDO LÓPEZ BAEZ

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Marzo, 2022



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.
DIRECCIÓN**



Villaflores, Chiapas
24 de marzo de 2022
Oficio N° D/0229/22

ING. CLAUDIA HERNÁNDEZ ESCOBAR
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **"Sostenibilidad de los sistemas productivos agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de cacao en Comalcalco, Tabasco"**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONOMICAS



M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA
DIRECTOR

C. c. p. Archivo

CAVS*marh.



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Claudia Hernández Escobar, Autor (a) de la tesis bajo el título de "Sostenibilidad de los sistemas productivos agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de cacao en Comalcalco, Tabasco," presentada y aprobada en el año 2022 como requisito para obtener el título o grado de Maestra en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI- UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 29 días del mes de marzo del año 2022.

Claudia Hernández Escobar
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haberme dado la vida, por estar siempre y en todo momento conmigo, por guiarme y ayudarme en cada etapa de mi vida y permitirme alcanzar esta meta.

A mis padres

Gracias por hacer de mí una mejor persona, los quiero mucho y valió la pena todo el esfuerzo que hemos realizado para llegar a este logro, gracias por motivarme y enseñarme que se pueden alcanzar las metas, su esfuerzo se convirtió en su triunfo y el mío.

A mi familia

A mis hermanos y sobrinos por el apoyo y cariño para vencer los obstáculos y salir adelante, por estar conmigo en todo momento y motivarme a lograr mis metas.

A mis amigos

A mis queridos amigos de la maestría por su valiosa amistad, gracias por compartir momentos muy importantes en mi vida que han hecho de mí un mejor ser humano.

Institución y programa educativo

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero brindado a lo largo de mis estudios, para el desarrollo y conclusión de la presente investigación y poder contribuir en el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país.

A la Universidad Autónoma de Chiapas, y el programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT), por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Comité tutorial

A mi Director de tesis, el Dr. Orlando López Báez, por creer en mí, darme la oportunidad de ser su tesista, por su dedicación, paciencia y brindarme su orientación y experiencia que han generado nuevos conocimientos y han permitido poder culminar el proyecto de investigación.

A la Dra. Sandra Isabel Ramírez González, por confiar en mí, motivarme y apoyarme en la continuación de mis estudios de posgrado, por su esfuerzo y dedicación que han sido imprescindibles para el trabajo de investigación.

Al Dr. Raúl Andrés Perezgrovas Garza, por ser mi asesor de tesis y compartir sus conocimientos y experiencias que me ayudan a mejorar cada día y poder realizar aportes al presente trabajo.

Al Dr. Saúl Espinosa Zaragoza por ser mi asesor y brindarme su apoyo para la culminación de la tesis.

A mis profesores de la maestría, quienes han realizado aportaciones a mi desempeño profesional y al proyecto de investigación.

Colaboradores

A Cocoa Farms México SAPI de C.V por apoyarme con el financiamiento del estudio, permitirme trabajar con las plantaciones de cacao y el apoyo en los trabajos de campo.

A los productores y técnicos de cacao en Comalcalco, Tabasco quienes hicieron posible poder finalizar esta investigación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

Esta tesis titulada SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROFORESTAL TRADICIONAL Y TECNIFICADO INTENSIVO DE CACAO EN COMALCALCO, TABASCO, forma parte del proyecto de investigación “Desarrollo Sostenible de la producción y comercialización de Cacao de calidad en comunidades de Chiapas y Tabasco”. Registrado en la Coordinación de Investigación y Posgrado de la UNACH, financiado por la Empresa COCOA FARMS MÉXICO SAPI DE CV (06/CUE/CCF/176/19), bajo la dirección del Dr. Orlando López Báez.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Manejo Agroecológico de cultivos del Cuerpo Académico Agricultura Tropical Ecológica (Consolidado).

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Manejo agroecológico de cultivos, del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

Esta tesis titulada SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROFORESTAL TRADICIONAL Y TECNIFICADO INTENSIVO DE CACAO EN COMALCALCO, TABASCO, fue realizada por la Ing. CLAUDIA HERNÁNDEZ ESCOBAR, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTOR



DR. ORLANDO LÓPEZ BAEZ

ASESORES

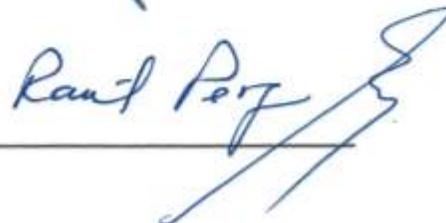
DRA. SANDRA ISABEL RAMÍREZ GONZÁLEZ



DR. SAÚL ESPINOSA ZARAGOZA



DR. RAÚL ANDRÉS PEREZGROVAS GARZA





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

Esta tesis titulada SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROFORESTAL TRADICIONAL Y TECNIFICADO INTENSIVO DE CACAO EN COMALCALCO, TABASCO, realizada por la Ing. CLAUDIA HERNÁNDEZ ESCOBAR, ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMISIÓN REVISORA

DR. ORLANDO LÓPEZ BAEZ

DRA. SANDRA ISABEL RAMÍREZ GONZÁLEZ

DR. SAÚL ESPINOSA ZARAGOZA

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivo General.....	2
	Objetivos Específicos	2
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	Aspectos generales del cacao	3
2.2	Producción de cacao en México	3
2.3	Principales enfermedades del cacao	5
2.3.1	Monilia	5
2.3.2	Escoba de bruja	6
2.3.4	Mal de machete	6
2.4	Poda en el cacao.....	6
2.5	Sostenibilidad	8
2.6	Agricultura sostenible	9
2.6.1	Sostenibilidad económica	10
2.6.2	Sostenibilidad Social	10
2.6.3	Sostenibilidad ambiental	10
2.7	Sistemas agroforestales	11
2.8	Indicadores para evaluar sostenibilidad.....	12
2.8.1	Carbono en biomasa aérea.....	12
2.8.2	Reciclaje de materia orgánica	12
2.8.3	Riqueza florística	13
2.8.4	Costos	14
2.8.5	Rentabilidad financiera.....	14
2.8.6	Mano de obra.....	15
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1	Ubicación del área de estudio	16
3.2	Diseño de la investigación	17
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	24

4.1 Caracterización de los sistemas agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de producción de cacao	24
4.1.1 Precipitación media mensual	24
4.1.2 Temperatura media mensual	25
4.1.3 Temperatura mínima mensual	26
4.1.4 Temperatura máxima mensual.....	27
4.1.5 Caracterización tecnológica de los sistemas productivos de cacao	28
4.2 Indicadores agronómicos.....	31
4.2.1 Floración	31
4.2.2 Frutos sanos	32
4.2.3 Incidencia de enfermedades	33
4.2.4 Cosecha.....	38
4.3 Indicadores ambientales.....	40
4.3.1 Carbono en biomasa aérea.....	40
4.3.2 Reciclaje de materia orgánica	43
4.3.3 Riqueza florística	44
4.4 Indicadores económicos	53
4.4.1 Análisis de costos	53
4.4.2 Rentabilidad financiera.....	55
4.5 Indicadores sociales	55
4.5.1 Mano de obra.....	55
4.5.2 Ética social.....	56
4.5.3 Enseñanza-aprendizaje	57
4.6 Evaluación de la sostenibilidad.....	58
5. CONCLUSIONES	69
6. LITERATURA CITADA	71
7. ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de cacao en México.	4
Cuadro 2. Ecuaciones para estimar la biomasa (kg/árbol).	20
Cuadro 3. Programa de manejo en dos sistemas productivos de cacao	21
Cuadro 4. Carbono en biomasa aérea en dos sistemas productivos de cacao.	41
Cuadro 5. Comparación de la diversidad, densidad y composición florística del sistema tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado de cacao en Comalcalco, Tabasco, México.	47
Cuadro 6. Costos de mano de obra en el sistema tradicional en proceso de tecnificación.	53
Cuadro 7. Costos de mano de obra en el sistema moderno tecnificado intensivo.....	54
Cuadro 8. Materiales e insumos en el sistema tradicional en proceso de tecnificación.	54
Cuadro 9. Materiales e insumos en el sistema moderno tecnificado intensivo.	55
Cuadro 10. Recomendaciones desde el punto de vista principios fundamentales de la sustentabilidad.....	64
Cuadro 11. Recomendaciones desde el punto de vista objetivos enfoque de la sustentabilidad.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.	16
Figura 2. Diseño de la investigación para el estudio de la sostenibilidad de dos sistemas productivos de cacao.	17
Figura 3. Esquema de la estructura funcional del aplicativo FINCAS.	23
Figura 4. Escala de valoración del aplicativo FINCAS.	23
Figura 5. Precipitación media mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.	24
Figura 6. Precipitación anual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.	25
Figura 7. Temperatura media mensual en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.	26
Figura 8. Temperatura mínima mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.	27
Figura 9. Temperatura máxima mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.	27
Figura 10. Caracterización tecnológica del sistema tradicional.	28
Figura 11. Plantación tradicional (testigo).	29
Figura 12. Plantación tradicional en proceso de tecnificación.	29
Figura 13. Caracterización tecnológica del sistema tecnificado.	30
Figura 14. Plantación moderna tecnificada.	30
Figura 15. Promedio de cojinetes en floración por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.	31
Figura 16. Promedio de frutos sanos por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.	32
Figura 17. Floración y frutos sanos en plantación tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.	33
Figura 18. Promedio de frutos enfermos por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.	34
Figura 19. Porcentaje de incidencia de frutos enfermos de forma mensual en tres sistemas productivos de cacao	35
Figura 20. Chilillos y mazorcas enfermas.	35
Figura 21. Frutos sanos y enfermos en tres plantaciones de cacao.	36
Figura 22. Incidencia de frutos enfermos (%) en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.	36
Figura 23. Porcentaje de incidencia de enfermedades en tres sistemas productivos de cacao y su relación con precipitación mensual.	37
Figura 24. Producción acumulada de kilogramos de cacao seco y pérdidas en plantación tradicional (testigo), tradicional en proceso de tecnificación y tecnificado.	38
Figura 25. Ingresos de cacao seco y pérdidas en lotes en plantación tradicional (testigo), tradicional en proceso de tecnificación y tecnificado.	39

Figura 26. Carbono en biomasa aérea en dos sistemas productivos de cacao.	40
Figura 27. Aplicación de la técnica de campo de estimación de carbono en biomasa aérea.	42
Figura 28. Comparación de aporte de hojarasca en dos sistemas productivos de cacao.	43
Figura 29. Hojarasca obtenida en los dos sistemas productivos de cacao.	44
Figura 30. Especies con mayor número de individuos registradas en el sistema tradicional en proceso de tecnificación de cacao.	45
Figura 31. Especies con mayor número de individuos registradas en el sistema moderno intensivo de cacao.	45
Figura 32. Especies frutales encontradas en los sistemas productivos de cacao.	51
Figura 33. Especies utilizadas para sombra, madera, medicinales y melíferas.	51
Figura 34. Especies utilizadas para postes para cerca, construcción de techos.	52
Figura 35. Especies comestibles encontradas en los sistemas productivos de cacao.	52
Figura 36. Ética social en dos sistemas productivos de cacao.	56
Figura 37. Enseñanza-aprendizaje en los dos sistemas productivos de cacao.	57
Figura 38. Principios fundamentales y objetivos enfoque de la sostenibilidad en dos sistemas productivos de cacao.	58
Figura 39. Principios del sistema tradicional en proceso de tecnificación.	59
Figura 40. Principios del sistema moderno tecnificado.	60
Figura 41. Objetivos de enfoque del sistema tradicional.	62
Figura 42. Objetivos de enfoque del sistema moderno tecnificado.	63
Figura 43. Sostenibilidad en los dos sistemas productivos de cacao.	68

ÍNDICE DE ANEXOS

CUADRO A 1. Encuesta: Estado de adopción de tecnologías por los productores de cacao	82
CUADRO A 2. Familias, nombre común, científico y frecuencia de especies presentes en el sistema tradicional en proceso de tecnificación de cacao	83
CUADRO A 3. Familias, nombre común y científico y frecuencia de especies presentes en el sistema moderno tecnificado de cacao	84
CUADRO A 4. Principios fundamentales del sistema tradicional en proceso de tecnificación	85
CUADRO A 5. Principios fundamentales del sistema moderno tecnificado	85
CUADRO A 6. Objetivos del enfoque del sistema tradicional en proceso de tecnificación	86
CUADRO A 7. Objetivos del enfoque del sistema moderno tecnificado	86

RESUMEN

México es uno de los países de origen del cacao y la producción se concentra en dos estados principales; Tabasco y Chiapas; sin embargo, los sistemas productivos de cacao, enfrentan problemáticas que disminuyen su rentabilidad, lo cual está asociado a plantaciones viejas, al tamaño reducido de la plantación, enfermedades como la moniliasis y la poca tecnología implementada, por lo que este estudio se orientó a realizar mejoras en este cultivo, mediante la evaluación de la sostenibilidad a partir de indicadores agronómicos, ambientales, sociales y económicos.

La investigación se realizó en dos plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.): un sistema agroforestal en proceso de renovación ubicado en el ejido Emiliano Zapata, y uno moderno tecnificado en la localidad de Aldama, Comalcalco, Tabasco, México. Se evaluaron indicadores agronómicos: mediante la cuantificación de frutos sanos, enfermos, floración y cosecha en los dos sistemas productivos de cacao; se determinó la composición florística, analizando el índice de biodiversidad mediante la metodología de Shannon y la diversidad de usos de las especies arbóreas forestales; el carbono en biomasa arbórea se obtuvo a partir de ecuaciones alométricas establecidas para árboles forestales y cacao; el reciclaje de materia orgánica se realizó en los meses de marzo y septiembre, mediante la cuantificación de la hojarasca acumulada semestralmente. Los indicadores sociales fueron los siguientes: la mano de obra, determinada mediante bitácoras donde se valoró el número de jornales utilizados para cada actividad realizada en el manejo de cacao, la ética social y enseñanza-aprendizaje, evaluados mediante la formulación de preguntas diseñadas en la herramienta para evaluar sustentabilidad; para el factor económico se determinó: el análisis de costos, considerando mano de obra e insumos utilizados en los dos sistemas productivos de cacao. La evaluación de la sustentabilidad fue mediante la herramienta “Diagnóstico para evaluar la sustentabilidad en fincas”, diseñada por Monje (2013), la cual fue modificada por Perezgrovas (2020), para evaluar específicamente fincas cacaoteras.

Los resultados muestran que, en indicadores agronómicos, la poda de descopado aplicada a árboles viejos e improductivos de cacao generó una reactivación del tejido productivo en las plantas, efecto que se manifestó en una mayor capacidad de floración y producción de frutos sanos; en relación al sistema tradicional sin poda, se cuantificó un 175% más de frutos sanos de cacao y la incidencia de frutos infectados por la moniliasis resultó considerablemente inferior en la plantación tecnificada. En el sistema tradicional en proceso de tecnificación, la incidencia de moniliasis se redujo 35.8% en relación con el testigo tradicional. En cuanto a indicadores ambientales, se obtuvo una composición florística de 345 individuos, 23 familias y 34 especies para el sistema agroforestal de 25 años y 604 individuos, 21 familias y 37 especies para el sistema moderno tecnificado. El índice de Shannon fue mayor en el sistema

agroforestal con 2.59 y el moderno tecnificado obtuvo valores de 1.80. La diversidad arbórea en los sistemas productivos de cacao, tiene usos importantes que genera servicios adicionales al cacao y contribuye a la economía de los productores tales como la producción de madera, fruta, proveen de sombra a los cacaotales, proporcionan alimentos e insumos para sus viviendas. Los dos sistemas productivos de cacao asociados con especies forestales maderables, frutales e industriales presentan fijación de captura de carbono en biomasa arbórea con 41.5 Mg/ha^{-1} para el sistema agroforestal y 37.7 Mg/ha^{-1} para el sistema moderno tecnificado. La aportación de hojarasca fue similar en ambos sistemas productivos de cacao, por lo que contribuye al reciclaje de nutrientes, provee energía y alimentos para microorganismos y juega un papel importante en la fertilidad y materia orgánica del suelo.

Dentro de los impactos sociales, los sistemas productivos de cacao, generan empleos locales en actividades de resiembra de plantas de cacao, deshierbe de malezas, aplicación de fungicidas y bioabono, aplicación de caldo sulfocálcico, poda de mantenimiento, resiembra de sombra a base de plátano y cocohite, saneamiento, eliminación de frutos enfermos, cosecha del cacao, quebrado y extracción de granos. En ética social, los dos sistemas productivos respetan, aprovechan y mejoran la base de los recursos naturales, disfrutan de buenas relaciones con los vecinos y comunidad en general, buscan la armonía con su entorno ecológico y motivan el interés del aprendizaje ambiental. Desde el punto de vista enseñanza-aprendizaje, ambos sistemas comparten experiencias de campo con sus vecinos; el sistema tradicional integra mano de obra familiar y el moderno tecnificado emplea mano de obra local; además, se necesita incorporar personal administrativo en la finca tradicional.

El análisis económico, permitió conocer los costos en el manejo de los dos sistemas productivos de cacao (renovación y tecnificación), considerando mano de obra e insumos; la información obtenida genera antecedentes para poder realizar la evaluación de la rentabilidad financiera, analizando por lo menos dos años más la producción. Desde el punto de vista de objetivos de sustentabilidad, ambos sistemas productivos de cacao, son sustentables en evolución. En cuanto a principios de sustentabilidad, el sistema agroforestal tradicional es sustentable en evolución y el moderno tecnificado obtuvo valores de no sustentable.

Los resultados obtenidos indican que el sistema agroforestal tradicional de cacao puede ser modernizado mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas como la poda, fertilización, manejo de enfermedades y resiembras, lo cual permite recuperar la productividad y rentabilidad de cacao sin poner en riesgo la sostenibilidad del sistema productivo.

Palabras clave: agroecosistema, biodiversidad, poda, innovación tecnológica.

ABSTRACT

Mexico is one of the countries of origin of cocoa and production is concentrated mainly in two states: Tabasco and Chiapas; however, the cocoa production systems face problems that reduce their profitability, which is associated with old plantations, the reduced size of the plantation, diseases such as moniliasis and the little technology implemented, so this study was aimed at making improvements in this crop, through the evaluation of sustainability based on agronomic, environmental, social and economic indicators.

The research was carried out in two cocoa plantations (*Theobroma cacao* L.): an agroforestry system in the process of renovation located in the Emiliano Zapata ejido, and a modern technified one in the town of Aldama, Comalcalco, Tabasco, Mexico.

Agronomic indicators were evaluated: through the quantification of healthy and diseased fruits, flowering and harvest in the two cocoa production systems; the floristic composition was determined, analyzing the biodiversity index using the Shannon methodology and the diversity of uses of forest tree species; carbon in tree biomass was obtained from allometric equations established for forest trees and cocoa; the recycling of organic matter was carried out in the months of March and September, through the quantification of the accumulated litter every six months.

The social indicators were the following: the workforce, determined through logs where the number of wages used for each activity carried out in cocoa management was assessed, social ethics and teaching-learning, evaluated through the formulation of questions designed in the tool to evaluate sustainability; For the economic factor, the following was determined: cost analysis, considering labor and inputs used in the two cocoa production systems. The evaluation of sustainability was through the tool "Diagnosis to evaluate sustainability in farms", designed by Monje (2013), which was modified by Perezgrovas (2020), to specifically evaluate cocoa farms.

The results show that, in agronomic indicators, the pruning applied to old and unproductive cocoa trees generated a reactivation of the productive tissue in the plants, an effect that manifested itself in a greater capacity for flowering and production of healthy fruits; In relation to the traditional system without pruning, 175% more healthy cocoa fruits were quantified and the incidence of fruits infected by moniliasis was considerably lower in the technified plantation. In the traditional system in the process of modernization, the incidence of moniliasis was reduced by 35.8% in relation to the traditional control.

As for environmental indicators, a floristic composition of 345 individuals, 23 families and 34 species was obtained for the 25-year agroforestry system, and 604

individuals, 21 families and 37 species for the modern technified system. The Shannon index was higher in the agroforestry system with 2.59 and the modern technified one obtained values of 1.80. Tree diversity in cocoa production systems has important uses that generate additional services to cocoa plantations and contribute to the economy of producers such as the production of wood, fruit, provide shade for cocoa plantations, provide food and supplies for their homes. The two cocoa production systems associated with timber, fruit and industrial forest species show carbon capture fixation in tree biomass with 41.5 Mg/ha⁻¹ for the agroforestry system and 37.7 Mg/ha⁻¹ for the modern technified system. The contribution of litter was similar in both cocoa production systems, so it contributes to the recycling of nutrients, provides energy and food for microorganisms and plays an important role in the fertility and organic matter of the soil.

Within the social impacts, the cocoa production systems generate local jobs in activities of replanting cocoa plants, weeding, application of fungicides and biofertilizer, application of sulfocalcic broth, maintenance pruning, replanting of shade based on banana and cocohite, sanitation, removal of diseased fruits, cocoa harvest, broken and grain extraction.

In social ethics, both production systems respect, take advantage of and improve the base of natural resources, enjoy good relations with neighbors and the community in general, seek harmony with their ecological environment and motivate interest in environmental learning. From the teaching-learning point of view, both systems share field experiences with their neighbors; the traditional system integrates family labor whereas the modern technified hire local labor; besides, it is necessary to incorporate administrative personnel in the traditional farm.

The economic analysis allowed to acknowledge the costs in the management of the two cocoa production systems (renovation and technification), considering labor and supplies; the information obtained generates background information to be able to carry out the evaluation of the financial profitability, analyzing at least another two years of production. From the point of view of sustainability objectives, both cocoa production systems are sustainable in evolution. In terms of sustainability principles, the traditional agroforestry system is sustainable in evolution and the modern technified one obtained non-sustainable values.

The results obtained indicate that the traditional cocoa agroforestry system can be modernized by incorporating technological innovations such as pruning, fertilization, disease management and replanting, which allows the recovery of cocoa productivity and profitability without putting the productive sustainability of the system at risk.

Keywords: agroecosystem, biodiversity, pruning, technological innovation

1. INTRODUCCIÓN

La producción de cacao en México se concentra en los estados de Tabasco y Chiapas con una superficie nacional de 59,655.16 ha y una producción anual de 29,428.77 t de cacao seco (SIAP, SADER, 2021); Comalcalco, ubicado en Tabasco, es el municipio de mayor producción de este cultivo, con una producción de 8000 t (Diario de Tabasco, 2019).

Desde el punto de vista de sostenibilidad, el cacao tiene una imagen histórica y cultural fuerte en México, genera mano de obra familiar e ingresos económicos, promueve la conservación de la biodiversidad, aporta servicios ambientales, mitiga efectos del cambio climático, desafortunadamente no se valora la importancia que tiene este cultivo desde el punto de vista ambiental, social y económico; es por ello que la investigación evalúa la sostenibilidad de dos plantaciones de cacao.

De acuerdo con el Comité Estatal del Sistema Producto cacao de Chiapas (2012), en los últimos años la producción de cacao ha disminuido, y ya no se abastece la demanda nacional, principalmente por la edad avanzada de las plantaciones, las enfermedades y la poca tecnología aplicada en las plantaciones por lo que este cultivo es considerado de baja rentabilidad. Destacan además, la baja densidad de siembra, el reducido tamaño de la unidad de producción por productor, la falta de recursos por los parte de los productores y el poco desarrollo tecnológico e investigación.

En México, existen pocos trabajos enfocados a la renovación de los sistemas productivos de cacao, hasta ahora la Agencia Universitaria de Desarrollo (AUDES) Cacao-chocolate de la UNACH, ha venido trabajando sobre tecnologías de renovación de plantaciones, mediante el manejo de enfermedades, poda, manejo de la fertilidad de suelo y la nutrición del cacao, poda del cacao y regulación de la sombra, cosecha y manejo poscosecha.

Considerando la problemática que se encuentra en los sistemas productivos de cacao, este estudio se enfocó a atender problemas de plantaciones viejas, enfermedades y la falta de tecnología en el agroecosistema cacao, para ello se evaluaron dos sistemas productivos: a) un sistema agroforestal “tradicional típico”, biodiverso, característico de la agricultura familiar en proceso de renovación y b) sistema “tecnificado” intensivo, simplificado, con enfoque empresarial, ambos ubicados en Comalcalco, Tabasco.

En los dos sistemas se evaluaron indicadores agronómicos mediante la cuantificación mensual de frutos sanos, enfermos, floración y cosecha, en la parte

ambiental; el reciclaje de materia orgánica en el periodo de lluvia y seca, el carbono en biomasa arbórea y la diversidad florística de las especies acompañantes al cacao, desde la perspectiva social, se evaluaron la mano de obra y aspectos de ética social y enseñanza-aprendizaje y en la parte económica los gastos de mano de obra e insumos en el manejo de las dos plantaciones.

El 80% de los 90 mil ha de plantaciones de cacao existentes en México tienen más de 40 años por lo que su potencial productivo es reducido; por lo tanto, la renovación de las plantaciones es urgente para recuperar la rentabilidad de este cultivo y garantizar el abasto de la industria nacional (Gómez, 2019), por lo que en este estudio se trabajaron con dos modelos productivos, el primero fue un sistema tradicional en donde se renovó mediante la aplicación de poda de descopado, aplicación de fungicidas y retiro de frutos enfermos y el segundo modelo donde previamente se derribó la plantación y se estableció una nueva, aplicando el modelo tecnológico desarrollado por la AUDES-UNACH.

La investigación permite dar respuesta a la interrogante ¿Es posible que los dos sistemas productivos evaluados sean sustentables?

Los resultados obtenidos permitieron generar indicadores de la recuperación de la producción a través de la renovación de las plantaciones y permiten orientar a los productores en la toma de decisiones para la tecnificación de sus sistemas productivos sin poner en riesgo la sostenibilidad ambiental, social y económica.

1.1 Objetivo General

Determinar la sostenibilidad de dos sistemas productivos agroforestal tradicional en proceso de renovación y moderno tecnificado de cacao en Comalcalco, Tabasco.

Objetivos Específicos

- a) Caracterizar los sistemas agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de producción de cacao.
- b) Determinar factores agronómicos productivos, ambientales, sociales y económicos en la producción sostenible de cacao.

1.2 Hipótesis

No existen diferencias en la sostenibilidad de los dos sistemas: agroforestal tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado de cacao.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales del cacao

El género *Theobroma* es originario de la cuenca alta del río Amazonas que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, siendo en esta región donde la especie *Theobroma cacao* presenta la mayor variación. No obstante, su cultivo se dio en tiempos precolombinos desde México hasta Costa Rica, aunque no está claro si su expansión se dio de manera natural o con la ayuda del hombre. Gracias a un importante movimiento transoceánico de germoplasma, en la actualidad es cultivado en las regiones húmedas de ambos hemisferios. En estado natural, se encuentra en los pisos inferiores de las selvas húmedas de los trópicos, desde los 20° latitud norte hasta los 20° latitud sur y a una altitud por debajo de los 1,250 m (Enríquez, 2004).

El género *Theobroma* pertenece al orden Malvales y a la familia *Malvaceae*, posee algunas especies de gran importancia económica como *T. cacao*, así como *T. grandiflorum* y *T. bicolor* en un menor grado. El cacao era considerado por las culturas nativas de la región azteca como el “alimento de los dioses” y además de utilizar sus granos como moneda lo consumían como bebida. A pesar de ser un cultivo estrictamente tropical, se elabora y se consume más en regiones templadas como bebida estimulante y alimento energético; además, su grasa es un subproducto importante en la preparación de cosméticos y productos farmacéuticos (León, 2000).

2.2 Producción de cacao en México

México es uno de los países de origen del cacao tipo criollo; hace 3,000 años los olmecas-zoque “domesticaron” el cacao en las selvas de Mesoamérica, más tarde los mayas perfeccionaron su cultivo y uso. México es el duodécimo país productor de cacao, aportando menos de 2% de la producción mundial, el 70% es importado, su disminución progresiva ha generado una crisis de desabasto de la industria chocolatera mexicana lo que obliga a importar semilla de cacao de otros países. Según el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA (SIAP, 2021) las importaciones de cacao de otros países para satisfacer la necesidad de este insumo se han visto incrementadas año tras año.

La producción de cacao en México se concentra en los estados de Tabasco y Chiapas con una superficie nacional de 59,655.16 ha y una producción anual de 29,428.77 t de cacao seco (SIAP, SADER, 2021). Estas cifras se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción de cacao en México.

Estado	Superficie (ha)		Producción (t)
	Sembrada	Cosechada	
Tabasco	40,923.26	40,865.26	18,857.63
Chiapas	18,475.90	17,482.40	10,282.37
Guerrero	256	250.50	288.77
Total	59,655.16	58,598.16	29,428.77

De acuerdo con el Comité Estatal del Sistema Producto cacao de Chiapas (2012) entre los principales factores que están afectando la producción de cacao en México se señalan:

1. Las enfermedades que atacan al cultivo de cacao, especialmente la moniliasis.
2. La edad avanzada de las plantaciones.
3. Baja tecnificación (baja densidad de siembra y escaso manejo) de las plantaciones.
4. El uso de materiales genéticos de baja calidad agronómica y alta heterogeneidad.
5. La escasa asistencia técnica en cobertura y calidad.
6. La baja disponibilidad de germoplasma mejorado adaptado a las condiciones ambientales de las regiones productoras.
7. La falta de tecnologías y programas de multiplicación en masa a gran escala de plantas de clones mejorados.
8. El reducido tamaño de la unidad de producción por productor.
9. El poco desarrollo tecnológico e investigación.

En muchos de los países productores de cacao, el rendimiento por unidad productiva se considera bajo y es decadente, entre las causas del bajo rendimiento se señalan el limitado manejo tecnológico, el daño causado por las enfermedades y las plagas, y al envejecimiento de las plantaciones (Quiroz y Amores 2002; Adebisi y Okunlola 2013; Taiwo *et al.*, 2015; Assiri *et al.*, 2009; Assiri *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2016; Niether *et al.*, 2018).

Un aspecto relevante para la renovación es el tamaño de la explotación, en países en donde los productores poseen plantaciones de grandes extensiones la renovación no presenta mayor problema, sin embargo, en muchos países como es el caso de México los productores poseen pequeñas unidades productivas con cacao ya que la mayoría tan solo cultivan de una a 2 ha por familia. En México, el cacao se cultiva tradicionalmente en acompañamiento permanente de árboles en un sistema agroforestal diverso, de manera que la población de árboles de cacao oscila entre 500 y 600 por ha, los cuales son plantados a distancias de entre 4 y 5 m entre planta, y cuyas copas alcanzan alturas que en promedio oscilan entre 6 y 8 metros. El 80%

de las plantaciones de cacao existentes presentan más de 40 años de edad por lo que su potencial productivo es limitado, a esto se adicionan las pérdidas ocasionadas por las enfermedades en especial la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la mancha negra (*Phytophthora spp.*) que causan graves pérdidas de la cosecha, y el poco manejo tecnificado de la plantación. Una ha de cacao produce entre 100 y 300 kg/año de cacao seco; por lo que, para recuperar la producción y la rentabilidad de este cultivo, la renovación de las actuales plantaciones es inminente (Ramírez, 2008; Díaz-José *et al.*, 2013; Espinosa-García *et al.*, 2015).

En una vieja plantación de cacao, la renovación implica la eliminación o cambio gradual de los viejos árboles de cacao y su remplazo con material mejorado con mayor potencial productivo, al mismo tiempo que se incorporan prácticas como la resiembra de plantas de cacao, la poda, el manejo sanitario, la nutrición de las plantas y se regula o mejora la sombra (Ramírez *et al.*, 2009).

Para la renovación y recuperación de la producción de plantaciones decadentes o improductivas de cacao se han venido desarrollando diversas estrategias tecnológicas entre las que destacan la poda de la copa y reducción de altura, la renovación total de la copa, el recepado del tronco, la regeneración del árbol por medio de un chupón basal con o sin injerto, prácticas que se deben hacer parcialmente con la finalidad de conservar las mejores ramas, estimular brotes basales para ser injertados con materiales sobresalientes (Enríquez 1985; Bourgoing *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2009; Arvelo *et al.*, 2017; Govindaraj y Jancirani, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2019).

Una alternativa tecnológica para la recuperación de la capacidad productiva de las plantaciones viejas e improductivas ha sido desarrollada por la AUDES Cacao-chocolate de la UNACH; la base de esta estrategia de renovación es la poda de descopado de los árboles viejos lo que permite reducir la altura de estos y se prepara la plantación para la integración de prácticas de manejo de enfermedades en especial de la moniliasis, la fertilización, la regulación de sombra, la resiembra y el injertado en chupones basales (Ramírez *et al.*, 2009).

2.3 Principales enfermedades del cacao

2.3.1 Monilia

Es una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri* el cual es nativo del trópico de América, donde ha invadido once países, constituyendo uno de los principales obstáculos para la producción de cacao, en condiciones naturales, el hongo ataca solamente los frutos de cacao y otras especies de los géneros *Theobroma* y *Herrania* de cualquier edad y cuya severidad varía de acuerdo a la zona y época del año según las condiciones climáticas (Phillips, 2003).

2.3.2 Escoba de bruja

La escoba de bruja, cuyo agente causal es el hongo *Moniliophthora perniciosa*, es originaria del norte de Sudamérica, donde ha provocado la muerte de muchos cultivos principalmente en Surinam y Guyana. Esta enfermedad puede ser transmitida tanto por semillas como por las partes vegetativas de las plantas e incluso por la mazorca, ya que el patógeno se establece en tejidos maduros por largos períodos hasta su desarrollo (Aime y Phillips, 2005).

2.3.4 Mal de machete

Es causada por el hongo *Ceratocystis fimbriata* destruye árboles enteros y por lo tanto las pérdidas pueden ser muy altas. Se considera que los insectos del género *Xyleborus* están asociados a la dispersión de la enfermedad. Los primeros síntomas visibles son marchitez y amarillamiento de las hojas, en un plazo de 2 – 4 semanas, la copa entera se seca, permaneciendo las hojas muertas adheridas al árbol por un tiempo (Cruz, 2005).

2.4 Poda en el cacao

La poda, en el cacao, consiste en eliminar yemas, ramas improductivas y partes secas de la planta para facilitar el desarrollo de nuevas yemas, lo que permitirá la entrada de luz en el cacaotal y eliminará la presencia de plagas y enfermedades. La poda prolonga la vida útil del árbol y aumenta el rendimiento. Las podas deben ser ligeras, buscando una estructura adecuada para el árbol, mejorar la aireación y facilitar la penetración de luz (Enríquez, 2004; Sánchez *et al.*, 2007).

Las podas se realizan de acuerdo a la edad y condiciones de la planta. Existen tres tipos de podas: de forma, de mantenimiento y de rejuvenecimiento. El primero consiste en procurar tres o cuatro ramas primarias durante los dos primeros años para que la planta adopte la mejor forma (Enríquez, 2004). La poda de mantenimiento hace referencia a eliminación de frutos y partes infectadas de la planta por plagas y enfermedades. Por último, la poda de rehabilitación (rejuvenecimiento) tiene como propósito generar nuevos árboles a través de la obtención de yemas terminales (Córdova, 2005).

De acuerdo con Niether *et al.* (2018), los sistemas agroforestales de cacao además de proporcionar sombra, crean un microclima adecuado para el desarrollo del cacao, según estos autores al aplicar la poda es necesario considerar la época y la intensidad para equilibrar la luz y la disponibilidad de agua, ya que esta genera cambios estacionales en la temperatura y la humedad con efectos en la producción del cacao.

Dada la importancia del cacao y el valor que representa la cadena cacao-chocolate, la producción y rentabilidad del cultivo son de gran relevancia sobre todo para el pequeño productor; experiencias previas relacionadas con el manejo de plantaciones (Enríquez 1985; Quiroz y Amores, 2002), indican que la vida productiva de una plantación desde el enfoque económico, se encuentra entre los 20 a 25 años. Al llegar a este estado, por lo general los árboles son muy altos, buena parte de estos han muerto o se encuentran deteriorados o enfermos, y existe excesivo sombreado (Assiri *et al.*, 2009; Niether *et al.*, 2018); además, enfermedades como la pudrición negra (*Phytophthora spp.*) y la Moniliasis (*Moniliophthora roreri*), han acumulado sus efectos lo que se evidencia por los daños evidentes en diversas partes del árbol y el daño causado en las cosechas (Ramírez, 2008). Por lo general los rendimientos son bajos, por lo que, para restablecer la producción se hace necesaria la renovación de la plantación.

Sin embargo, además de las implicaciones técnicas, la renovación presenta repercusiones económicas, sociales y culturales (Bourgoing *et al.*, 2009; Assiri *et al.*, 2009; Assiri *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2016). Existe la percepción generalizada de oposición del productor para cambiar los sistemas tradicionales de manejo y renovar la vieja plantación. Además, el aspecto financiero ocupa un lugar importante, ya que es común que el productor no disponga de recursos para financiar los costos de la renovación de la plantación. Además, los ingresos a obtener a futuro dependerán del tamaño de la explotación, de la recuperación de la plantación y los rendimientos a alcanzar, después de la intervención.

La renovación de una plantación de cacao puede abordarse desde dos estrategias; la primera consiste en cortar los viejos árboles y realizar una nueva plantación lo cual permite cambiar la población de árboles, el diseño de siembra y la genética del material cultivado.

Esta estrategia es observable en países como Malasia, Nigeria y Brasil donde el cacao es cultivado en grandes extensiones; la renovación consiste del derribo de la vieja plantación seguida por la resiembra de material mejorado.

Para productores que poseen pequeñas extensiones de cultivo, como ocurre en México y en la mayoría de países productores de América latina, la estrategia parte del aprovechamiento de la plantación existente y mediante el manejo cambiar o rejuvenecer la estructura aérea de los árboles. En este sentido para rejuvenecer los árboles viejos, la poda se convierte en una práctica crucial mediante la cual se cambia la estructura aérea, se reduce la altura de los árboles y sobre todo se renueva el tejido productivo lo cual lleva la planta a una mayor actividad fotosintética y por ende una mejor producción (De Almeida y Valle, 2007; DaMatta, 2007). Desde el punto de vista social, la técnica es adaptable a las condiciones de cada productor,

y se puede establecer un plan para renovar parcialmente, por ejemplo, determinado número de surcos de plantas, de manera escalonada, según los recursos de que disponga el productor.

La poda como práctica de manejo de árboles adultos de cacao, tiene efectos en la fenología de la planta, así como en algunos componentes del rendimiento; investigaciones anteriores han demostrado que, para una producción óptima, debe aplicarse un manejo adecuado del árbol para mantener una copa o dosel y una altura adecuadas (Enríquez, 1985; Quiroz y Amores, 2002; Ramírez *et al.*, 2009; Govindaraj y Jancirani, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2019).

Por otra parte, la poda abre la posibilidad para incorporar otros componentes tecnológicos como el manejo sanitario y la fertilización (Quiroz y Amores, 2002; Ramírez *et al.*, 2011; López *et al.*, 2015). Para incrementar la población de árboles de cacao, Enríquez (1985) y Moreira (1994) sugieren después de la poda, sembrar plantas para aumentar la densidad modificándose el patrón o arreglo de siembra. También, los renuevos o “chupones” que por efecto de la poda se inducen en la base de los troncos podados también pueden ser aprovechados para obtener plantas nuevas, las cuales pueden o no ser injertados con material mejorado (Enríquez, 1985; Napitulu y Pamin, 1994; Moreira, 1994; Ramírez *et al.*, 2009; Quiroz y Amores, 2002; Adebisi y Okunlola, 2013; Arvelo *et al.*, 2017).

Independientemente de la estrategia de renovación que el productor elija, la poda de los viejos árboles será una actividad imprescindible y la aplicación de esta dependerá en buena medida del tamaño de la explotación, del estado de los árboles y de los recursos disponibles.

2.5 Sostenibilidad

La palabra sostenibilidad quiere ser reflejo de una política y estrategia de desarrollo económica y social continuo que no vaya en detrimento del ambiente, ni de los recursos naturales de cuya calidad dependen la continuidad de las actividad y desarrollo de los seres humanos (Guerrero *et al.*, 2016), siendo este concepto definido por las corrientes económicas de la década de los 80, como la armonía entre el crecimiento poblacional y la utilización de los recursos naturales.

Wehbe y Tonolli (2015), identifican tres nociones de la sostenibilidad: a) como un concepto puramente biofísico para un recurso natural determinado; b) como una percepción del medio biofísico usado para un grupo de recursos o un ecosistema, y c) como una concepción biofísica, económica y social, que busca mantener el crecimiento indefinido de la renta desde la respetivas económica, la conservación de los recursos naturales en el ámbito ambiental, hasta el campo de las ciencias

sociales en su aspecto de equidad, convirtiéndose la sostenibilidad en un meta concepto.

Para Caporali (2011), la sostenibilidad debe ser medida considerando el tiempo y el espacio, para lo que se tomar como unidad de investigación todo el sistema agrario, donde los recursos de entrada (energía, dinero, fertilizantes, maquinaria en otros), deben ser evaluados antes de su transformación (procesos) y vueltos a medir a la salida (productos, subproductos, desechos, residuos, emisiones o servicios).

2.6 Agricultura sostenible

Lindo (2008), define a la Agricultura Sostenible, como el proceso de producción agrícola capaz de satisfacer las necesidades básicas de alimentación de la población creciente, rural y urbana y posibilitar a la población rural tener acceso a los bienes y servicios disponibles en la sociedad, sin que exista la degradación de los recursos naturales en niveles que pueda comprometer estas mismas metas en el futuro.

La agricultura sostenible es una respuesta reciente a la temática del ambiente y la economía dentro de un trasfondo, de cambios a nivel mundial. El mayor crecimiento poblacional ocurrirá en los países en desarrollo, donde las limitaciones por tierras agrícolas cada día son mayores. A la luz de estas expectativas, la calidad del ambiente y el desarrollo económico de los recursos naturales a corto plazo, no pueden ser considerados separadamente; urge una planificación estratégica sobre el mejor uso de la tierra y los recursos naturales.

La agricultura sostenible debe mantener y enlazar tanto la productividad biológica como la económica. La primera, es requerida para promover el alimento a las familias de los agricultores y a las poblaciones no agrícolas. La segunda, es necesaria para proveer ingresos sanos a los agricultores y producir alimento a bajo costo para los consumidores. La agricultura sostenible debe reconocer la necesidad de intensificar la productividad como medio de soportar la acelerada demanda creada por el incremento poblacional, pero, al mismo tiempo debe proveer el mejor uso y conservación de los recursos naturales. El aumento de la productividad no puede ser ganada a expensas de la base de los recursos naturales; sino que dependerá de esfuerzos constantes en conservación (Morera, 2000).

2.6.1 Sostenibilidad económica

La sostenibilidad económica en el campo agrícola examina la viabilidad de la producción; es decir, si un sistema puede sobrevivir a largo plazo en un contexto económico cambiante, provocado por la variabilidad en la salida y entrada de precios, rendimientos, apoyo público y regulaciones estatales. Los indicadores económicos en el contexto de la sostenibilidad agraria se miden, básicamente a través de la rentabilidad, liquidez, estabilidad y productividad. La rentabilidad se calcula comparando los ingresos y los costes, ya sea como una diferencia o como una proporción. Mientras que la liquidez mide la disponibilidad de efectivo para satisfacer las necesidades inmediatas. La estabilidad se puede expresar como la dependencia económica de la actividad agraria (Latruffe *et al.*, 2016).

2.6.2 Sostenibilidad Social

La sostenibilidad social se refiere a las personas y a su forma de organización, y en ella se diferencian dos categorías: La primera se desarrolla a nivel de comunidad, y está relacionada con el bienestar de los agricultores y sus familias (Latruffe *et al.*, 2016), agrupando Lebacqz *et al.* (2013) los indicadores sociales en dos sub-categorías:

- a) El grado de educación y las condiciones de trabajo (medido por el tiempo de trabajo, la carga de trabajo, y la fuerza de trabajo) y
- b) La calidad de vida (medido por el grado de aislamiento y de participación social).

2.6.3 Sostenibilidad ambiental

Todo un sistema agrario depende de los recursos que aporte el capital natural, para lograr una estabilidad entre lo social y ambiental, la dimensión ambiental o biofísica definida en primera instancia como ecológica considera la conservación y mejora de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, de la biodiversidad y de los recursos naturales en general. Estos recursos constituyen la base para alcanzar la sostenibilidad, siendo su preservación de los mismos el pre-requisito de mejora de las ciencias económicas y sociales con el objeto de mantener el enfoque sistémico integrando a todos los elementos de los sistemas agrarios (de Muner *et al.*, 2015).

Diversos estudios realizados en las zonas tropicales coinciden en la importancia que los sistemas agroforestales tienen como áreas de conservación de la biodiversidad (Clough *et al.*, 2009), producción de madera, frutos comestibles y en la conservación de numerosas especies forestales (Oke & Odebiyi, 2007; Bhagwat *et al.*, 2008). Este agrosistema mediante el enfoque de medios de vida ofrecen a los productores mayores beneficios en comparación con los monocultivos (Dahlquist *et al.*, 2007).

2.7 Sistemas agroforestales

Nair (1993), define a los sistemas agroforestales (SAF), como aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se usan y manejan junto con cultivos agrícolas y animales, donde se producen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes que son resultado de los arreglos espaciales y temporales.

Mediante la combinación de la producción agrícola y forestal se pueden alcanzar mejor diversas funciones y objetivos de la producción de bosques y cultivos alimenticios. Existen ventajas ambientales, como también socioeconómicas, de tales sistemas integrados sobre la agricultura y/o monocultivos forestales (Wiersum 1981).

1. Se hace un uso más eficiente de los recursos naturales. Las diversas capas de vegetación proporcionan una eficiente utilización de la radiación solar, los diferentes tipos de sistemas de raíces a distintas profundidades hacen buen uso del suelo y las plantas agrícolas de corta duración pueden aprovechar de la capa superficial enriquecida, como resultado del ciclaje mineral mediante las copas de los árboles. Además, la integración de animales en el sistema puede aprovecharse para la producción secundaria y el reciclaje de nutrientes.

2. La función protectora de los árboles con respecto al suelo, la hidrología y la protección de las plantas puede utilizarse para disminuir los peligros de degradación ambiental. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, en muchos sistemas agroforestales, los componentes pueden competir por luz, humedad y nutrientes, por lo tanto, se deben considerar los intercambios. El buen manejo puede reducir al mínimo estas interferencias y aumentar las interacciones complementarias.

Los sistemas agroforestales también son importantes reservorios de carbono en el tiempo, mismos que dependen de la productividad, la finalidad para la cual se hayan diseñado y las condiciones ambientales bajo las que se desarrollan, además de ser una fuente de alimento para los dueños y proporcionar alimento para animales. La acumulación de carbono (C) secuestrado es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos; las cantidades de almacenamiento de C en la biomasa dependen de la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol (Montagnini y Nair, 2004).

En cuanto a los árboles de cacao (*Theobroma cacao*), se cultivan para la producción de cacao en un área de más de 10 millones de hectáreas (ha) en regiones tropicales en todo el mundo (FAOSTAT, 2016). Produciendo cantidades significativas de hojarasca y por lo tanto, podrían contribuir sustancialmente a la formación de materia orgánica del suelo, independientemente de la presencia de árboles de sombra (Vaast y Somarriba, 2014).

2.8 Indicadores para evaluar sostenibilidad

2.8.1 Carbono en biomasa aérea

Andrade *et al.* (2013) mencionan que los sistemas agroforestales con cacao son considerados como mitigadores del cambio climático por capturar carbono en biomasa, necromasa y suelos.

Los cacaotales, además de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en las fincas, ya que se cultiva juntamente con otras especies vegetales, sobre todo, café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que producen sombra, permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos (Martínez *et al.*, 2005). Estos sistemas también pueden contribuir en la conservación de biodiversidad y, últimamente, por su función como sumideros de carbono (Beer *et al.*, 2003).

Salvador *et al.* (2019), encontraron resultados que indican que los árboles de cacao almacenan carbono entre 6.9 Mg ha^{-1} y 9.7 Mg ha^{-1} , mientras que los árboles de sombra acumulan entre 26.23 Mg ha^{-1} y 41.6 Mg ha^{-1} .

La densidad de la diversidad y edad de árboles, son factores importantes en la mayor o menor existencia de C. A mayor densidad de árboles, mayor biomasa y mayor almacenamiento de C, sin necesariamente menor rendimiento de cacao.

Somarriba *et al.* (2012), mencionan que los rendimientos de cacao disminuyen de forma no lineal con el aumento de la sombra, por ello sostiene que es posible diseñar los SAF-cacao óptimos para que aporten altos rendimientos de cacao y grandes cantidades de C. De acuerdo a una escala propuesta por Somarriba *et al.* (2008), un nivel medio de carbono total y adecuado para no perjudicar la producción de cacao está entre $80\text{-}120 \text{ t C ha}^{-1}$.

Cerda *et al.* (2013) determinaron que la capacidad de almacenamiento de carbono se correlaciona con el área basal de los árboles maderables y frutales. Lo anterior significa que el grosor y tamaño de los árboles es tan importante como la abundancia de árboles y riqueza de especies.

2.8.2 Reciclaje de materia orgánica

La producción de hojarasca representa un componente fundamental de la productividad primaria neta en ecosistemas arbóreos en un estado dinámico estable (Prause *et al.*, 2003). Por tal razón la caída de hojarasca ha sido utilizada como una medida de la productividad primaria neta. La producción de hojarasca representa entre un 20 y un 30% de la producción neta total (Margalef, 1980), y está regulada

fundamentalmente por procesos biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque (Hernández *et al.*, 1992).

De acuerdo a Alegre *et al.* (2015), la descomposición de la hojarasca y el desprendimiento de nutrientes es uno de los factores biogeoquímicos claves que regulan la productividad de las plantas y reciclaje de nutrientes en los trópicos húmedos.

El balance entre la productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica determina el stock de carbono (C) en los trópicos húmedos y otros ecosistemas terrestres (Valentini *et al.*, 2000). La descomposición anual de la hojarasca contribuye aproximadamente con la mitad del CO₂ desprendido de los suelos (suelos + CO₂ de hojarasca) (Cousteaux *et al.*, 1995).

La descomposición de la hojarasca es decisiva en el funcionamiento de los ecosistemas porque la producción depende del reciclamiento de los nutrientes y éste depende, a su vez, de la descomposición de la materia orgánica y de la liberación de los nutrientes que contiene (Salgado *et al.*, 2009).

La hojarasca acumulada en el suelo provee de energía, nutrientes y alberga una gran cantidad de microorganismos que participan directamente en la dinámica de descomposición; juega, además, un papel importante en la fertilidad del suelo en términos de ciclaje de nutrimentos y en la formación de la materia orgánica del suelo (Guo, Sims, 1999).

Ramírez *et al.*, (2016) encontraron que en la producción de hojas caídas del cacao en la zona Central del Litoral ecuatoriano no presentó diferencias estadísticas; estuvo entre 272.40 g m² en el tratamiento *C. arborescens* + cacao y 309.40 g m² en *C. donnell-smithii* + cacao; lo que equivale a 1692.96 y 2404.54 kg ha⁻¹ a⁻¹.

2.8.3 Riqueza florística

Como cultivo conservacionista, el cacao no provoca degradación de la base de componentes del ecosistema, por el contrario, la masa forestal aumenta por la necesidad de sombra, a la vez que ofrece una provisión de servicios eco-sistémicos, protege y mejora los suelos y finalmente, crea el ambiente necesario para un mayor desarrollo de la biodiversidad (López *et al.*, 2015).

Los estudios sobre diversidad arbórea para sombra en el SAF-cacao en México son escasos, pero han determinado que las especies más comunes son *Erythrina americana* Mill, *Diphysa robinooides* Benth, *Gliciridia sepium* (Jacq.) Walp, *Samanea saman* (Jacq.) Merr y *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg, árboles frutales *Mangifera*

indica, *Citrus* sp. y *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. y forestal maderable *Cedrela odorata* L. (Ramos 2001; Córdova *et al.*, 2001).

Ramírez *et al.* (2013) al analizar la diversidad florística en SAF-cacao de 30 y 50 años de edad en Tabasco, México reportaron que los sistemas de mayor edad son más diversos que los de menor edad. Dicha diversidad es superior a la de otros sistemas de uso intensivo y similar a la diversidad de especies de la selva mediana perennifolia de Tabasco (Zarco *et al.*, 2010).

Por otra parte, Sánchez *et al.* (2016), encontraron que en los SAF de cacao de Cárdenas, Tabasco, se presenta una amplia diversidad de especies de árboles importantes para la conservación de la biodiversidad. La especie más común utilizada como sombra fueron *E. americana*, *C. odorata*, *G. sepium*, *C. arborescens* y *D. robinoides*. Además, debido a la gran cantidad de especies encontradas en los SAF de cacao, hay un volumen maderable que puede ser sustentable en diferentes maneras. Las especies con el mayor volumen maderable fueron *E. poeppigiana*, *E. americana*, *C. odorata*, *S. saman* y *G. sepium*.

2.8.4 Costos

González (2005), en Tabasco, México, estimó que el costo de producción del cacao, varía desde \$3,300.00 a \$7,480.00 por hectárea, con un ingreso neto de \$1,250.00 a \$4,000.00.

Córdova (2001) señala que generalmente se recuperan los costos directos, pero únicamente 70% de los costos indirectos con lo cual llega a obtener del cacao del 42% al 86% de sus ingresos, los cuales variaron de \$30,000 a \$46,000 por familia.

2.8.5 Rentabilidad financiera

Espinosa *et al.* (2015), demostraron que el cultivo de cacao es rentable cuando se produce más de 770 kg de grano por ha, identificaron 223 000 ha con potencial para producir cacao, ubicadas en Veracruz, Puebla, Oaxaca y Chiapas, siendo la región de Veracruz la que presentó el mayor rendimiento (1.12 t ha⁻¹) y una R B/C de 1.42. Concluyeron que los rendimientos medios de cacao e indicadores de rentabilidad estimados permiten ubicar regiones con potencial para incrementar la superficie, la producción y la competitividad actual de este cultivo.

Wilio *et al.* (2015), en Huimanguillo, Tabasco encontraron que el cacaotal de 15 años genera una utilidad promedio de \$ 6 930 ± 3 386 pesos, el de 20 años presenta una utilidad promedio de \$ 7 653 ± 3921 y el de 30 años \$ 5 899 ± 3 420 pesos. En el análisis estadístico encontraron diferencias estadísticas significativas ($p = 0.05$ %, test de Tukey-Kramer, JMP 2005) entre la utilidad de un nivel de edad a otro en las plantaciones de 15 a 20, de 15 a 30 y de 20 a 30 años de edad, resaltan que la

plantación de 20 años de edad es la que genera la mayor utilidad promedio, la plantación de 30 años es la de menores rendimientos, la diferencia de una plantación a otra en cuanto a la utilidad se justifica a la no equidad en cuanto al mantenimiento de la planta de cacao y esto hace que no todos obtengan similar producción por hectárea y por ende iguales ingresos por hectárea derivados de este cultivo.

Por su parte encontraron una Razón costo beneficio de 2.59 para el policultivo café robusta-cacao y 1.89 para el policultivo cacao-hule, por lo que fue favorable por ser $B/C > 1$, lo que indica que por cada peso de costo se obtiene más de un peso de ganancia bruta.

2.8.6 Mano de obra

González (2005), en Tabasco México, menciona que las necesidades de mano de obra en la producción del cultivo de cacao, van de 60 a 190 días hombre, representa la principal inversión constituyendo del 65 al 77 % de los costos directos.

De acuerdo a lo obtenido por Hernández *et al.* (2015), para el estado de Chiapas, México, el 54.1 % de los productores utiliza jornales en al menos una de las siguientes actividades durante el ciclo agrícola de cacao: limpia, poda y regulación de sombra. La participación de la familia en las actividades del cacao es igual de importante, pues el resto de los productores (45.9%) realiza estas actividades con mano de obra familiar.

Por otro lado, De la Cruz *et al.* (2015) encontraron en Comalcalco, Tabasco, México, que el 20% de los productores trabajan sin ayuda de familiares y sin contratar mano de obra; el 40% trabaja con ayuda familiar exclusivamente; el 28% recibe ayuda familiar y contrata mano de obra y el 10% restante maneja la plantación con mano de obra contratada exclusivamente, los productores que contratan mano de obra, son aquellos que poseen plantaciones con mayor producción, en comparación con los demás.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

Se estudiaron dos plantaciones de cacao, una ubicada en la comunidad Emiliano Zapata y otra en Villa Aldama del municipio de Comalcalco, Tabasco (Figura 1).

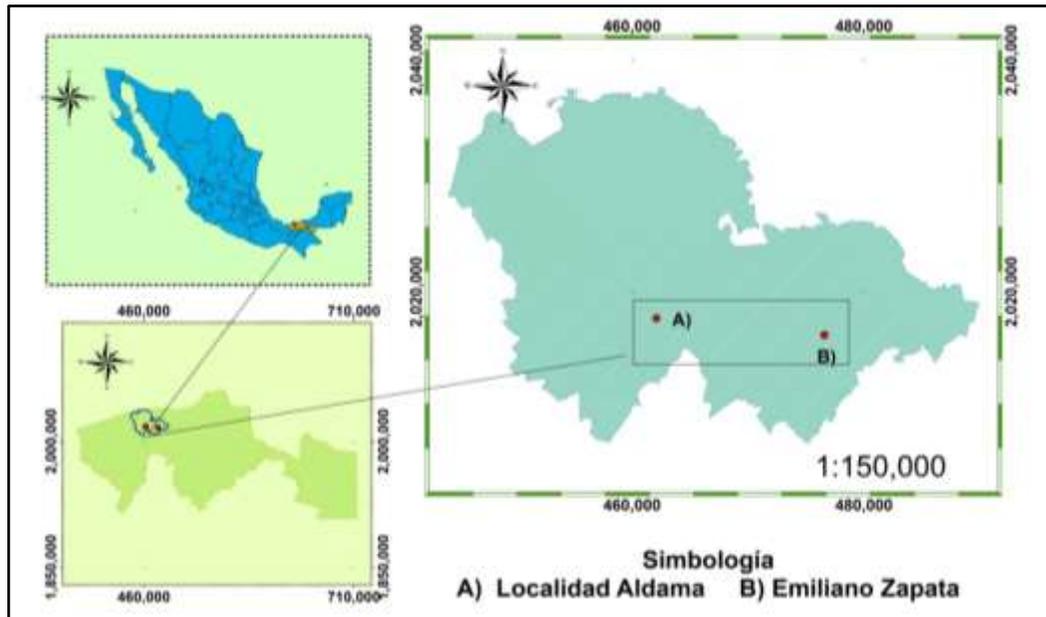


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Las plantaciones tienen las siguientes características:

- Plantación “tradicional” en proceso de tecnificación de 6 ha, formada por un sistema agroforestal cacao-sombra ubicada en Emiliano Zapata, Comalcalco, Tabasco; tiene 45 años de establecida, recibía un manejo tradicional (no poda, no manejo fitosanitario, no fertilización); sin embargo en el 2019, se aplicó tecnificación mediante la aplicación de poda de descopado, fertilización y remoción de frutos enfermos; los árboles de cacao son una mezcla genética “Trinitario”, plantados en cuadro a 4 m entre planta. En esta plantación existe mayor diversidad arbórea, además del cacao se observan árboles maderables, frutales y especias como la pimienta, se observa una mayor capa de hojarasca en el suelo, el cacao originado de semilla regional tiene alturas mayores a 4 m, hasta ahora, con poca innovación tecnológica.
- Plantación “moderna” tecnificada: manejada por la empresa Cocoa Farms México, ubicada en la localidad de Aldama, Comalcalco, Tabasco. Esta plantación tiene cinco años de edad, está establecida con el clon “Carmelo” a una distancia de 3x3 en cuadro, el nivel de sombreado es del 10%, se

aplican un riego artificial por mes, se aplica un plan agronómico que comprende el manejo de enfermedades, la fertilización mineral y la poda. Básicamente es un sistema de monocultivo, donde se observa menor diversidad arbórea y menos aportes de hojarasca.

- c) Testigo absoluto: Dentro de las 6.5 ha del sistema tradicional agroforestal de cacao-sombra ubicada en Emiliano Zapata, Comalcalco, se estableció un testigo absoluto de 0.5 ha realizando el manejo tradicional que el productor le da a su parcela, es decir no poda, no fertilización, no remoción de frutos enfermos, sin un plan agronómico.

El financiamiento del estudio fue realizado con recursos de Cocoa Farms México SAPI de C.V. derivado de la firma de convenio realizado con la Agencia Universitaria para el Desarrollo del Cacao-Chocolate de la Universidad Autónoma de Chiapas.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación desarrollada se muestra en la Figura 2, evalúa indicadores ambientales, económicos, sociales y agronómicos en dos sistemas productivos de cacao.

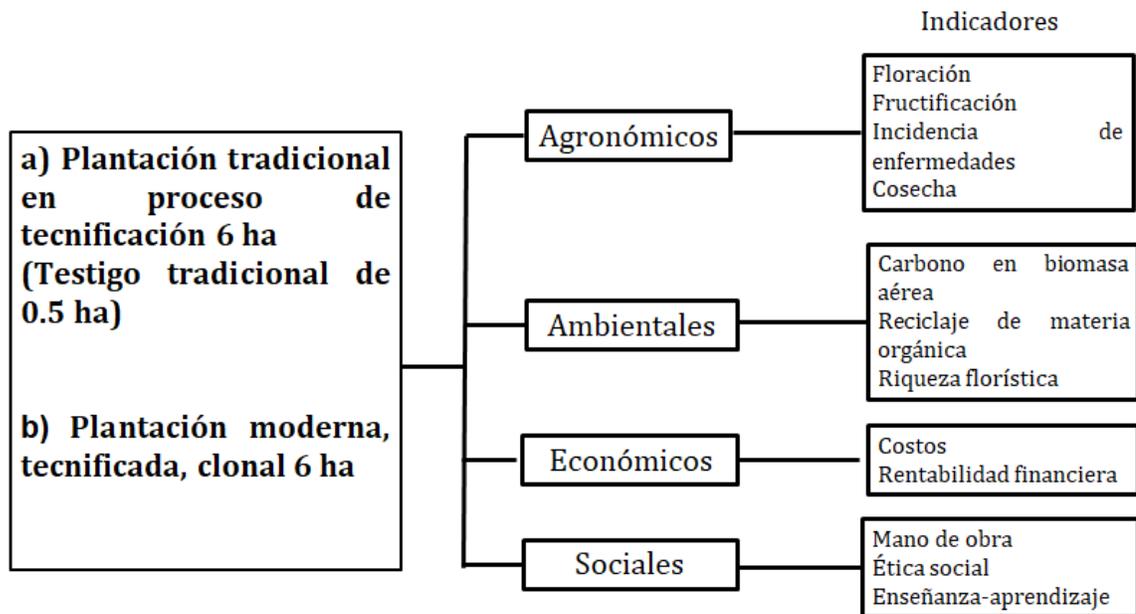


Figura 2. Diseño de la investigación para el estudio de la sostenibilidad de dos sistemas productivos de cacao.

Plantación tradicional en proceso de tecnificación

Instalación del ensayo y material vegetal. En colaboración con la empresa Cocoa Farms México SAPI de CV y un productor cooperante, se estableció en julio de 2019 un módulo de investigación tomando una plantación tradicional de 6.5 ha de extensión, formada por un sistema agroforestal cacao-sombra típico, ubicada en la comunidad Emiliano Zapata, de Comalcalco, Tabasco.

Poda de descopado. Se realizó entre los meses de julio y agosto de 2019, el criterio aplicado fue la de cortar los troncos o copas a una altura de 3 m del suelo, que equivale a reducir aproximadamente el 70 a 80% % del área foliar en una superficie de 6 ha. Como tratamiento testigo se dejó sin podar un lote de 0.5 ha el cual recibió el manejo tradicional del productor.

Variables cuantificadas:

Para cuantificar la respuesta de los árboles a la poda, mensualmente, partir de realizada poda, se registró el número de renuevos formados en la base y en la parte superior del tronco, el número de cojinetes en floración, frutos sanos y la incidencia de frutos enfermos por moniliasis, para lo cual se tomó una muestra de 100 árboles podados y 100 del lote testigo. Los datos generados fueron procesados mediante el análisis de varianza.

Manejo de enfermedades: Al momento de la poda, se eliminaron en forma manual todos los frutos afectados por las enfermedades moniliasis y mancha negra, el manejo sanitario posterior consistió de aspersiones mensuales de polisulfuro de calcio al 10 % tomando como base los resultados reportados por Ramírez *et al.*, (2011).

Fertilización: Para nutrir las plantas de cacao, mensualmente se realizan aspersiones foliares de un abono líquido en concentración del 2% V/V, preparado mediante la técnica propuesta por López *et al.* (2015), que contiene los elementos: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, fierro, sodio, boro, zinc y cobre.

La investigación se desarrolló en dos etapas las cuales se describen a continuación:

Etapa 1. Caracterización de los sistemas agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de producción de cacao

Se realizó la caracterización biofísica del área de estudio con el apoyo de los sistemas de información geográfica e información de precipitación y temperatura del Sistema Meteorológico Nacional. Se realizaron recorridos y se aplicaron encuestas a productores para determinar el manejo de enfermedades, tecnologías que aplican en la plantación, manejo del suelo, nutrición del cacao, capacitación y asesoría técnica obtenida.

Etapa 2. Determinación de factores agronómicos productivos, ambientales, sociales y económicos en la producción sostenible de cacao

Los Indicadores agronómicos de producción evaluados son los siguientes:

Floración: Se realizó el conteo de flores por metro lineal de troncos y rama principal, en una muestra de 100 árboles.

Frutos sanos: Se realizó el conteo mensual de chilillos, mazorcas verdes y maduras en una muestra de 100 árboles.

Cosecha: Se cuantificó en número de mazorcas cosechadas y kg de cacao seco producido en cada sistema.

Incidencia de enfermedades: Cada mes se realizó el monitoreo de cada plantación para cuantificar frutos enfermos especialmente afectados por la moniliasis.

Cada árbol fue considerado como una unidad experimental, los datos fueron recolectados cada mes.

Mano de obra: Se llevaron bitácoras para cuantificar el número de jornales utilizados para cada actividad realizada en el manejo.

Para el manejo de ambas plantaciones, se aplicó el paquete tecnológico desarrollado por la UNACH, que comprende el manejo de enfermedades, poda, manejo de la fertilidad de suelo y la nutrición del cacao, poda del cacao y regulación de la sombra, cosecha y manejo poscosecha. La poda del cacao y la regulación de sombra se realizó cada seis meses, la remoción fue de forma quincenal a mensual de los frutos enfermos para prevenir la acumulación de inóculo primario y la diseminación de la moniliasis y de la mancha negra.

Indicadores de sostenibilidad ambiental

Carbono en biomasa arbórea viva

Para evaluar la biomasa arbórea viva de árboles con diámetros mayores de 2.5 cm, se muestreó una superficie de 1000 m², en cada sistema productivo de cacao, utilizando 15 surcos de largo y 9 de ancho, se realizó el inventario de todos los árboles con diámetros mayores a 2.5 cm, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP), y la altura mediante el uso de un clinómetro, para el caso del cacao (*Theobroma cacao*), se tomó a 30 cm desde la base del suelo (Alegre *et al.*, 2002). Los datos de densidad de la madera, se obtuvieron de acuerdo a (Ordóñez *et al.*, 2015). Una vez obtenida la biomasa (kg por árbol), fue multiplicada por el factor de 0.47 para obtener el carbono en kg.

En el Cuadro 2, se muestran las ecuaciones alométricas utilizadas para cuantificar el carbono.

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar la biomasa (kg/árbol).

Especies de árboles	Ecuaciones Alométricas	Autor
Árboles forestales	$Y = \exp^{(-2.97 + \ln(Pd^2 h))}$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Cacao	$Y = 0.1208 D^{1.98}$	Yuliasmara, 2008

Y =biomasa (kg/árbol), \exp =2.718, \ln =logaritmo, natural (base $e=2.718$), ρ = densidad de los árboles tropicales (0.48 g cm^3), D o DAP = diámetro a la altura del pecho (cm) y h = altura (m).

Reciclaje de materia orgánica: Se realizó en dos períodos (seca, lluvia), se colocarán cinco cuadrantes de 1m^2 en cada plantación en los que se cuantificó la hojarasca acumulada semestralmente, las muestras fueron secadas hasta obtener peso constante, previo a la eliminación de ramas, cortezas y frutos.

Diversidad florística

Para conocer la diversidad florística, se realizó un registro de cada una de las especies arbóreas que se encontraron en los dos sistemas. De cada individuo contabilizado se registraron los nombres comunes asignados en la región, mismos que fueron proporcionados por los dueños de las parcelas y evaluados por un Ing. Ambiental.

La información registrada en campo se concentró en una base de datos (Excel 2010), los individuos registrados se agruparon en familias, géneros y especies, incluyendo nombres comunes, para luego hacer la comparación entre los dos sistemas.

La diversidad de especies géneros y familias de plantas asociadas al agroecosistema cacao en las dos plantaciones, se analizó mediante el cálculo del índice de Shannon-Wiener (H'), utilizando la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde

S: Número de especies (la riqueza de especies).

p_i : Proporción de individuos de la especie / respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la $\frac{n_i}{N}$ especies).

n_i : Número de individuos de la especie.

N: Número de todos los individuos de todas las especies.

Indicadores sociales y económicos

Se llevaron registros del programa de manejo de los dos sistemas productivos de cacao, cuantificando el número de jornales, costos de mano de obra e insumos, considerando las siguientes etapas:

Cuadro 3. Programa de manejo en dos sistemas productivos de cacao

Sistema tradicional en proceso de tecnificación	Sistema moderno tecnificado
Jilea, quitar troncos y ramas, poda del cacao y de la sombra	Resiembra de plantas de cacao
Aplicación de fungicida	Deshierbe de malezas
Fertilización foliar	Aplicación de fungicida y bioabono
Establecimiento de plantas de cacao	Aplicación de caldo sulfocálcico
Injertado	Poda de mantenimiento del cacao
Cosecha, eliminación de frutos enfermos y/o dañados	Resiembra de sombra a base de plátano y cocohite
	Sanearamiento, eliminación de frutos enfermos
	Cosecha del cacao
	Quebrado y extracción de granos

Estimación de la sostenibilidad

Se utilizó la herramienta “Diagnóstico para evaluar la sustentabilidad en fincas”, diseñada por Monje (2013), la cual fue modificada por Perezgrovas (2020), para evaluar fincas cacaoteras.

Monje *et al.* (2013), mencionan que el proyecto FINCAS, busca la solución del problema para valorar sustentabilidad en fincas, porque permite un ejercicio de acción-observante-indagación, desde un enfoque agroecológico, tanto cualitativa como cuantitativa, en cualquier parte del país donde se tenga acceso a Internet, sin ser necesario una asesoría profesional, ya que los indicadores se alimentan de preguntas entendibles y que sus respuestas dependen del conocimiento que tiene cada productor de su predio, además de lograr la sensibilidad suficiente de los impactos de los modelos no agroecológicos.

La herramienta identifica respuestas positivas de parte de los productores, y requiere de un juicio subjetivo del evaluador, el cual va a ser cuantificado en gráficas.

Monje *et al.* (2013), mencionan que la herramienta FINCAS, es un elemento de apoyo para validar ejercicios de transición agroecológica en predios rurales, sus resultados pueden ser validados por equipos multidisciplinares de productores y profesionales en agroecología, permitiendo tanto a los productores como a los asesores que trabajen con dicho productor tener un diagrama aproximado de la sustentabilidad de dichos predios a partir de un diagnóstico del uso del aplicativo.

Para responder a las preguntas del aplicativo, y para poder hacer una valoración cualitativa de las mismas, Perezgrovas (2020), generó preguntas previas antes de iniciar su uso. El aplicativo funciona con preguntas básicas que alimentan cada uno de los principios y objetivos del enfoque de la agroecología definidos para este tipo de evaluación aproximada, cada principio y objetivo definido tiene una serie de preguntas, que a su vez deben ser valoradas en una escala numérica para hacer una valoración cuantitativa y una consideración cualitativa para medir el grado en el que valora la actividad referenciada en la pregunta.

El instrumento de evaluación de sustentabilidad en fincas de cacao, está conformado por seis principios fundamentales:

- Un proceso de acción social colectiva en ejecución
- Un desarrollo participativo consolidado
- La circulación alternativa de productos, bienes y servicios
- Producción y consumo responsable establecido, definido y en ejecución
- Una generación de elementos que aporten a dar solución a la crisis ecológico y social, desde lo local hacia lo global
- Una estructura de resiliencia que aporte al sustento de la co-evolución social y natural.

Estos principios tienen en su totalidad 43 preguntas.

Este instrumento cuenta con siete objetivos enfoque:

- Que se haga desde un enfoque holístico y desde una óptica sistémica.
- Que se muestre que existen varios modos de hacer agricultura y cada uno responde a su entorno.
- Que se puede hacer uso múltiple del territorio; producción, servicios ecológicos, paisaje.
- Que lo local es importante. El potencial endógeno debe ser el fundamento de organización y planificación
- La ética es un valor trascendente, y no evadible.
- Es un aula abierta permanente donde el enseñar, entender y fomentar las interrelaciones entre los componentes del sistema, muestran un organismo íntegro y no de objetos aislados.
- Se debe generar y sustentar una ampliación y redefinición de los límites del sistema y sus modelos de usos sustentables.
- Se reconoce el conocimiento científico y otros tipos de conocimientos, y se encuentra los formatos para unirlos, pero se respeta la forma de hacer ciencia con la gente.

En la Figura 3, se muestra el esquema de función del aplicativo FINCAS.



Figura 3. Esquema de la estructura funcional del aplicativo FINCAS.
Fuente: Monge (2013)

Todas las valoraciones tanto las cualitativas como las cuantitativas, generan una escala numérica de cero (0) a cinco (5), que al final da un total promediado por cada uno de los principios y por cada uno de los objetivos y que al final se suman para hacer un aproximado al estado del tema de cada predio evaluado respecto a su desarrollo sustentable en una escala de cero (0) a diez (10). En la Figura 4, se muestra la escala de valoración de la sustentabilidad del aplicativo de fincas.



Figura 4. Escala de valoración del aplicativo FINCAS.
Fuente: Monge (2013).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de los sistemas agroforestal tradicional y tecnificado intensivo de producción de cacao

4.1.1 Precipitación media mensual

En la Figura 5, se muestran los datos de precipitación media mensual obtenidos en la Estación Climatológica CARTB, del Servicio Meteorológico Nacional, Cárdenas, Tabasco, México, ubicada en las coordenadas de Longitud -93.41 W; Latitud 17.80 N. dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (la más cercana al área de estudio), durante el periodo de 2016 a junio 2021.

Se puede observar que el mes más lluvioso fue noviembre del 2018 con 415.5 mm de lluvia; seguido de octubre del 2019 y 2017.

Referente a los meses de muestreo de indicadores agronómicos que comprende del período septiembre 2019 a diciembre del 2020, podemos identificar que los meses más lluviosos fueron noviembre, octubre y junio del 2019 y los meses con menos lluvia fueron abril y marzo del 2019.

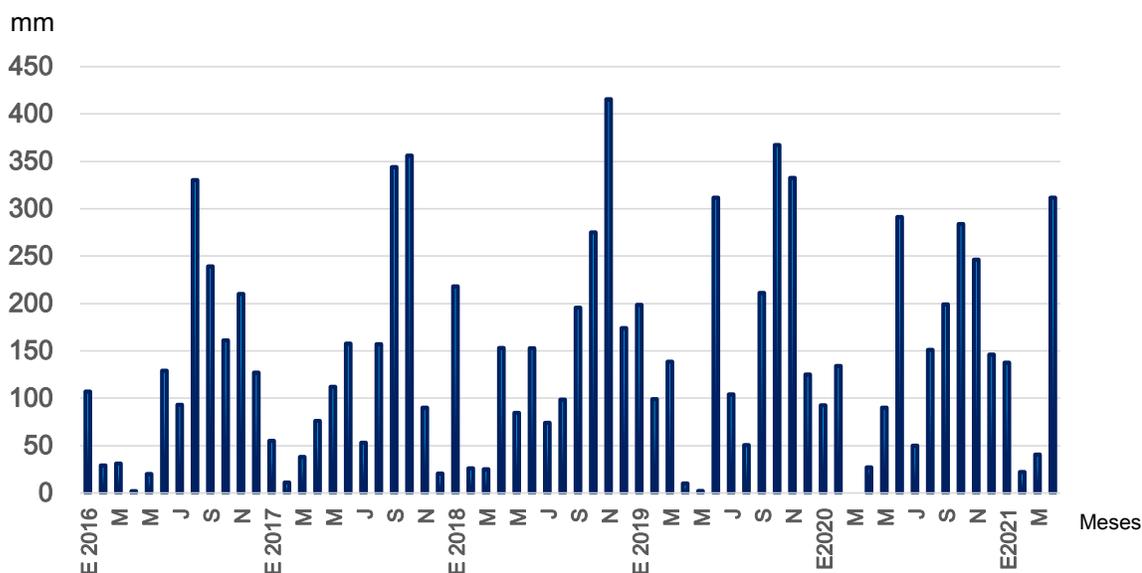


Figura 5. Precipitación media mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.

Para Vázquez *et al.* (2004) y Olivera (1997), la cantidad de lluvia que requiere el cultivo de cacao oscila entre 1 500–2 500 mm en las zonas de trópico húmedo y de 1 000–1 500 mm en las zonas más templadas o en los valles más altos, la precipitación más adecuada es la que oscila entre los 1 200 mm y 2 500 mm bien distribuida durante todo el año. Para Rodríguez (2001), el mínimo anual de

precipitación requerida o necesaria se sitúa alrededor de los 1 200 mm, siendo preferible una media superior a 1 500 mm.

De acuerdo a lo presentado en la Figura 6, las plantaciones obtuvieron precipitaciones aptas para el cultivo de cacao, podemos observar que en 2017 la precipitación es menor y tiene un incremento para 2018 y 2019.

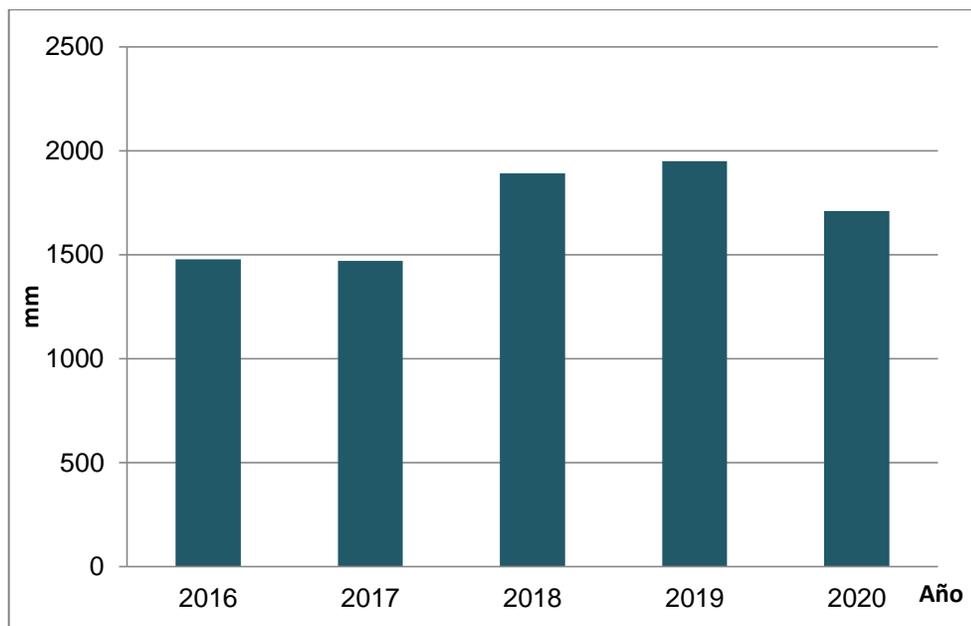


Figura 6. Precipitación anual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.

4.1.2 Temperatura media mensual

Avendaño *et al.* (2011), mencionan que la temperatura es un factor de gran importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cultivo de cacao. Zúñiga y Arévalo (2008), mencionan que para que el cacao tenga un crecimiento bueno, floración y fructificación abundante, y brotación vegetativa bien repartida durante el año, la temperatura media anual óptima debe estar entre los 23°C y 28°C.

En la Figura 6, se muestra la temperatura media del periodo 2015 a 2020, la temperatura media osciló entre 21.7 a 31.6°C, el mes con mayor temperatura media fue marzo del 2019 con 31.6°C y la menor en enero del 2018 con 21.7°C.

Referente a los meses de muestreo de indicadores agronómicos que comprende del período septiembre 2019 a diciembre del 2020, podemos identificar que se obtuvo mayor temperatura en el mes de marzo del 2019 con 31.6 °C y menor en enero del 2019 con 23°C. Se puede observar que las temperaturas medias mensuales tienen valores más altos en los meses de marzo a septiembre.

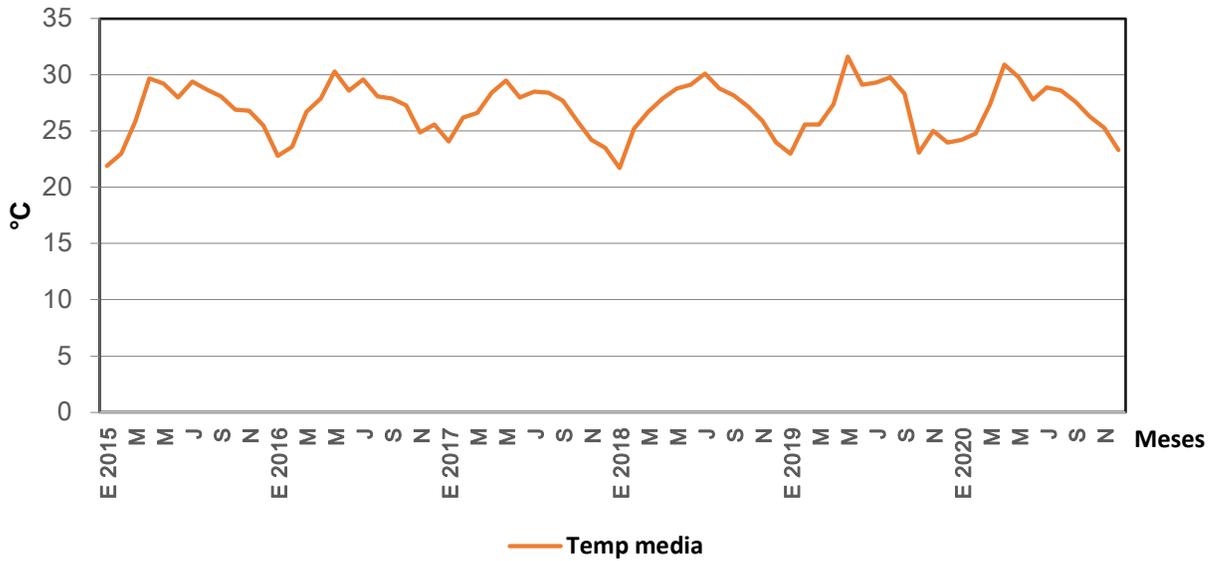


Figura 7. Temperatura media mensual en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.

4.1.3 Temperatura mínima mensual

En la Figura 8, se observa que las temperaturas mínimas mensuales oscilaron entre 18 y 25.9°C, presentándose menores temperaturas en febrero del 2015 y enero del 2018 con 18°C.

Para el periodo estudiado (septiembre 2019-diciembre 2020), la temperatura mínima fue 18.8°C, en el mes de diciembre del 2020.

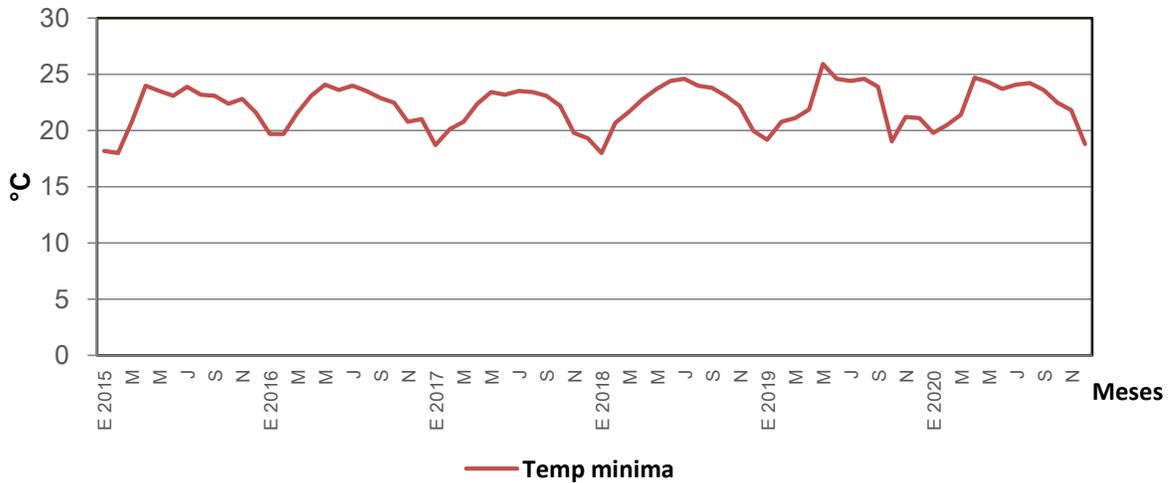


Figura 8. Temperatura mínima mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.

4.1.4 Temperatura máxima mensual

Las temperaturas máximas mensuales fueron de 26.3 a 37.3°C, en la Figura 9, se observa que la temperatura máxima mensual se presentó en mayo del 2019 con 37.3°C.

Para el periodo estudiado, la temperatura máxima mensual fue en abril del 2020 con 35.3°C.

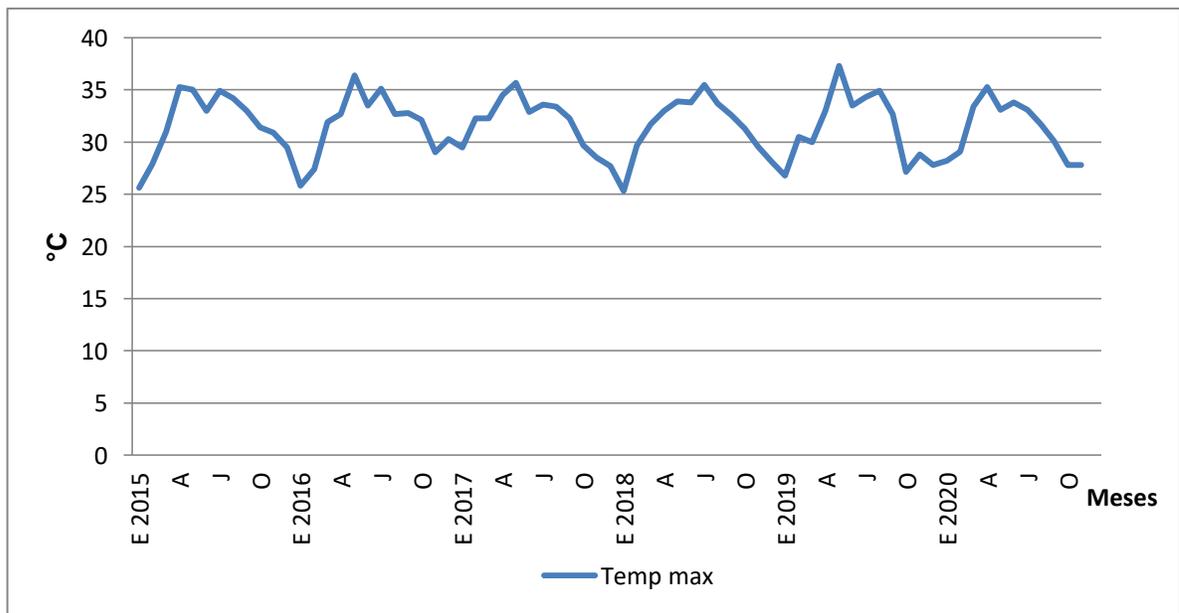


Figura 9. Temperatura máxima mensual registrada en la Estación CARTB Cárdenas, Tabasco.

4.1.5 Caracterización tecnológica de los sistemas productivos de cacao

Derivado de las encuestas y recorridos implementados con los productores, se pudo realizar la caracterización tecnológica de los dos sistemas productivos; obteniendo los siguientes resultados (Figura 10 y 11).

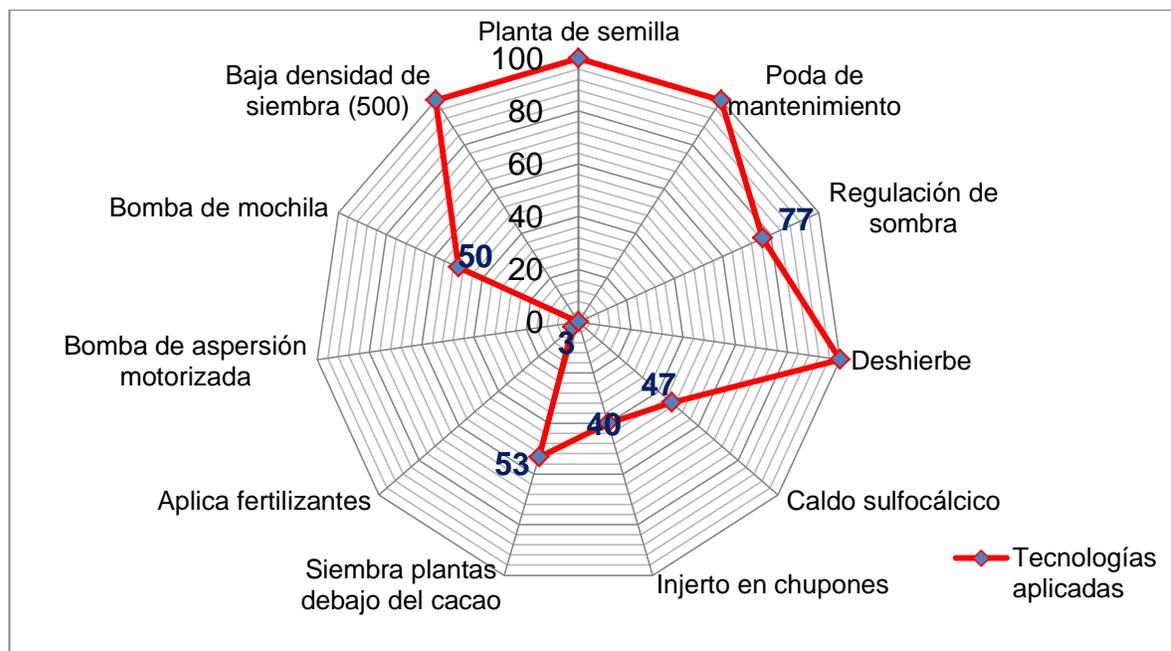


Figura 10. Caracterización tecnológica del sistema tradicional.

En el sistema tradicional, se puede observar que existe menor densidad de plantación de árboles de cacao (526 árboles por ha), comparado con el sistema moderno tecnificado (1600 árboles/ha), las plantas son reproducidas de manera sexual mediante semillas, en el sistema tradicional no se cuenta con bomba de aspersión motorizada, el 50% de productores usan bomba de mochila, pero estas bombas no permiten realizar el control de enfermedades porque los fungicidas no llegan hasta la copa del árbol, sólo el 3% fertiliza, el 53% siembra plantas debajo del cacao, el 40% realiza injerto de chupones, 47% aplica caldo sulfocálcico, el 100% realiza deshierbe, 77% regulación de sombra y 100% poda de mantenimiento.

En la Figura 11, se pueden observar las características de la plantación tradicional (testigo), donde no se implementa poda, remoción de frutos enfermos, aplicación de fungicidas ni fertilización; este sistema es típico de la mayoría de productores de cacao.



Figura 11. Plantación tradicional (testigo).

En la Figura 12, se observan las características de la plantación tradicional en proceso de tecnificación, a partir de la aplicación de poda, retiro de frutos enfermos, fertilización y aplicación de fungicidas; el cual es un modelo útil que puede implementarse en el cultivo de cacao.



Figura 12. Plantación tradicional en proceso de tecnificación.

Por su parte el sistema moderno tecnificado, ubicado en la Localidad Aldama, (Figuras 13 y 14), tiene una mayor densidad de plantación (1600 árboles de cacao por hectárea), se implementa al 100% poda de mantenimiento, regulación de sombra, deshierbe, aplicación de caldo sulfocálcico, aplicación de caldo bordelés, aplicación de fertilizante foliar, remoción de frutos enfermos, cuentan con bomba de aspersión motorizada que facilita el poder aplicar los fungicidas para el control de enfermedades en el cultivo de cacao.

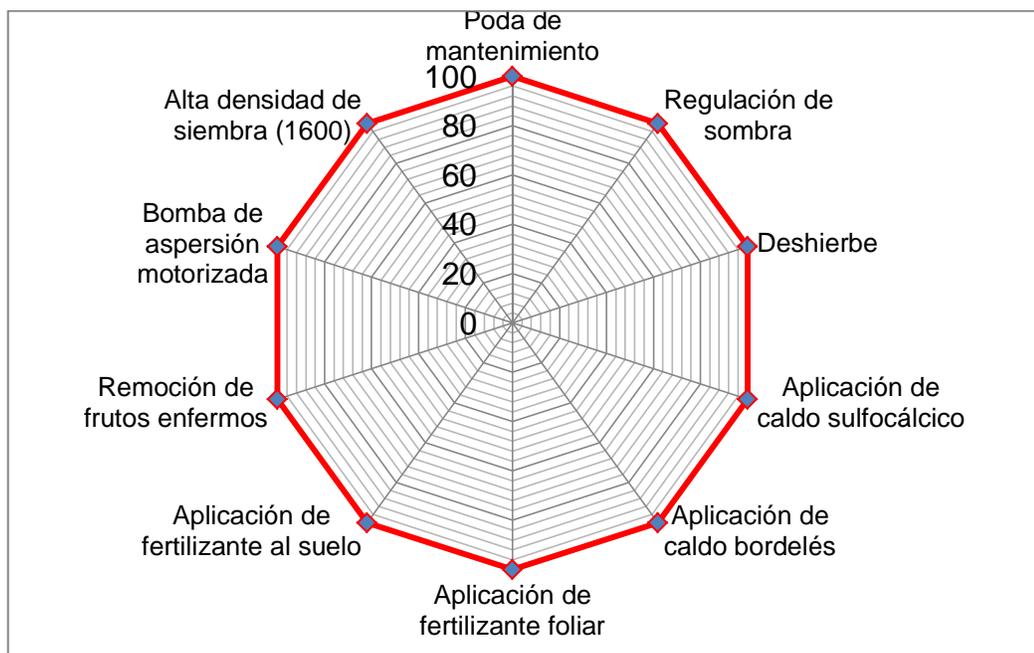


Figura 13. Caracterización tecnológica del sistema tecnificado.



Figura 14. Plantación moderna tecnificada.

4.2 Indicadores agronómicos

4.2.1 Floración

En la Figura 15, se muestra el promedio de cojinetes en floración, se puede observar una mayor cantidad de flores en la plantación tecnificada, seguido de la plantación tradicional en proceso de tecnificación y una menor cantidad en la plantación testigo. La mayor floración se presentó en el mes de diciembre en la plantación tecnificada, con un promedio de 79.2.

En cuanto a los efectos en la floración, en la Figura 15, se observa que en los meses de septiembre, octubre y noviembre se presenta un periodo de floración que se manifiesta tanto en árboles podados como en los del tratamiento testigo; sin embargo, en los podados se cuantificó una mayor cantidad de cojinetes con flores; y se cuantificó, además, una ampliación del periodo de floración hasta los meses de diciembre y enero.

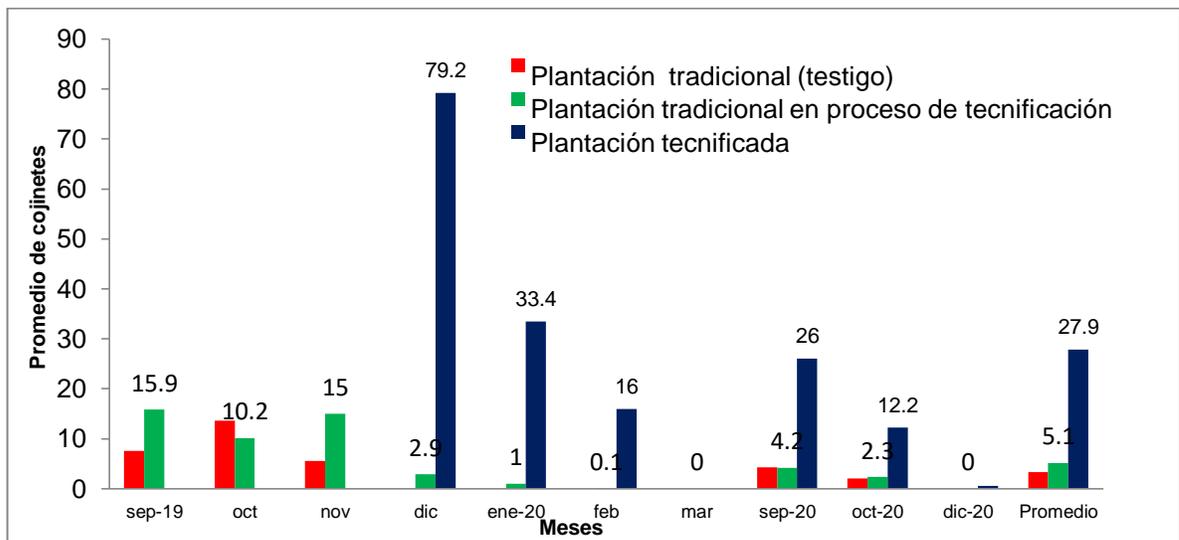


Figura 15. Promedio de cojinetes en floración por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.

Por la estructura del sistema agroforestal tradicional en el cual el cacao es cultivado bajo la sombra permanente de árboles, con frecuencia con sombra excesiva al cual se añade el efecto de autosombreamiento generado por los árboles de cacao, que aumenta con la edad y el poco manejo de la copa y altura del árbol, es indudable que el sistema influye en el comportamiento fenológico del cultivo. En estas condiciones de sombra excesiva la emisión de brotes foliares y la floración son menos intensos y menos frecuentes que los observados en plantaciones con menos sombra, criterio

que es concordante con los reportes de diversas investigaciones (Ken-Ichi *et al.*,1997) que indican que en plantaciones muy sombreadas el rebrote foliar y la floración son de menor intensidad y frecuencia que en cacaotales con menos o poca sombra; si a este efecto se adiciona la edad de la plantación, los rendimientos esperados de cacao por ha no son altos.

4.2.2 Frutos sanos

En la Figura 16, se muestran el promedio de frutos sanos en el sistema tradicional (testigo), tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado, se puede identificar mayor cantidad de frutos sanos en el sistema moderno con un promedio de 28.3 frutos sanos y menor en el testigo con 7.3.

El mes que obtuvo más frutos sanos fue diciembre 2019, con un promedio de 55.4 en la plantación tecnificada.

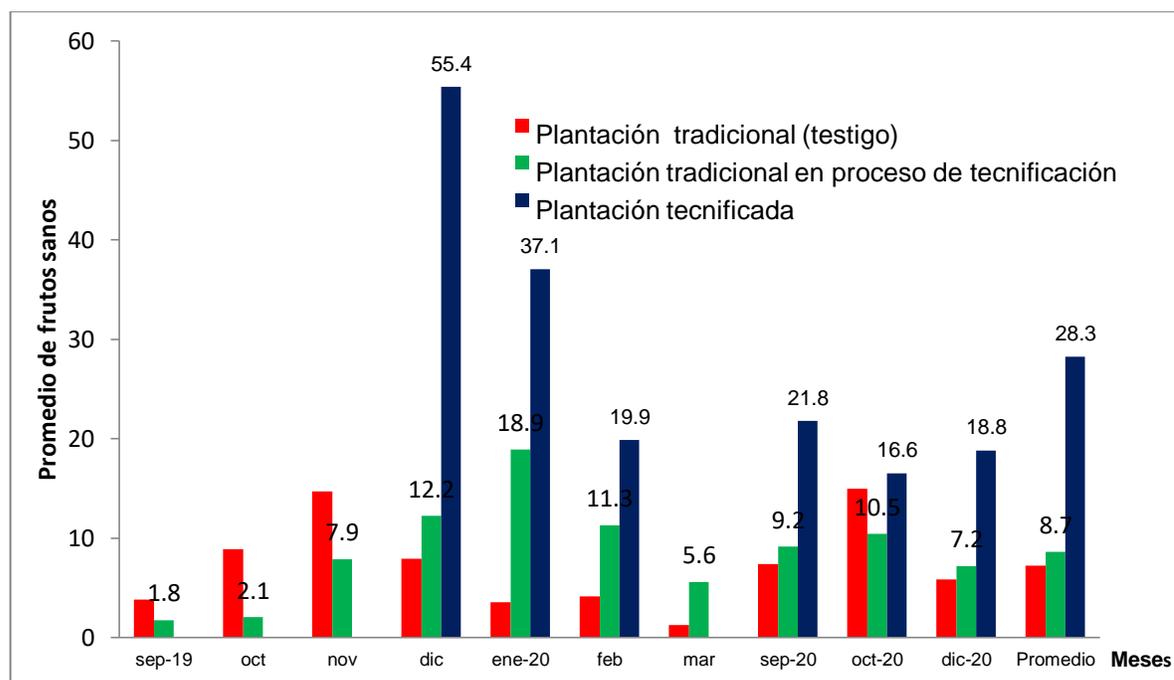


Figura 16. Promedio de frutos sanos por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.

En la Figura 17, se muestra la floración y frutos sanos en los tres sistemas productivos de cacao.



Figura 17. Floración y frutos sanos en plantación tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.

4.2.3 Incidencia de enfermedades

En la Figura 18, se observa una mayor cantidad de frutos enfermos en la plantación testigo, esto se da en gran medida por moniliasis, en esta plantación no se aplica poda, remoción de frutos enfermos y fungicidas.

Es importante remarcar que a pesar de que la poda de descopado reduce considerablemente el área productiva de los árboles, la producción de frutos por árbol, tanto en chilillos como en mazorcas, resultó mayor en la plantación podada con respecto al testigo. Un efecto adicional importante es la reducción de la incidencia de frutos enfermos por moniliasis en el tratamiento podado, la cual se mantuvo alta en los árboles que no fueron podados. Uno de los efectos de la poda es favorecer una mejor aireación y mayor circulación de aire en la plantación, lo cual reduce la humedad o evita su acumulación, contrarrestando así el microclima que propicia las condiciones para que *M. rozeri* se desarrolle.

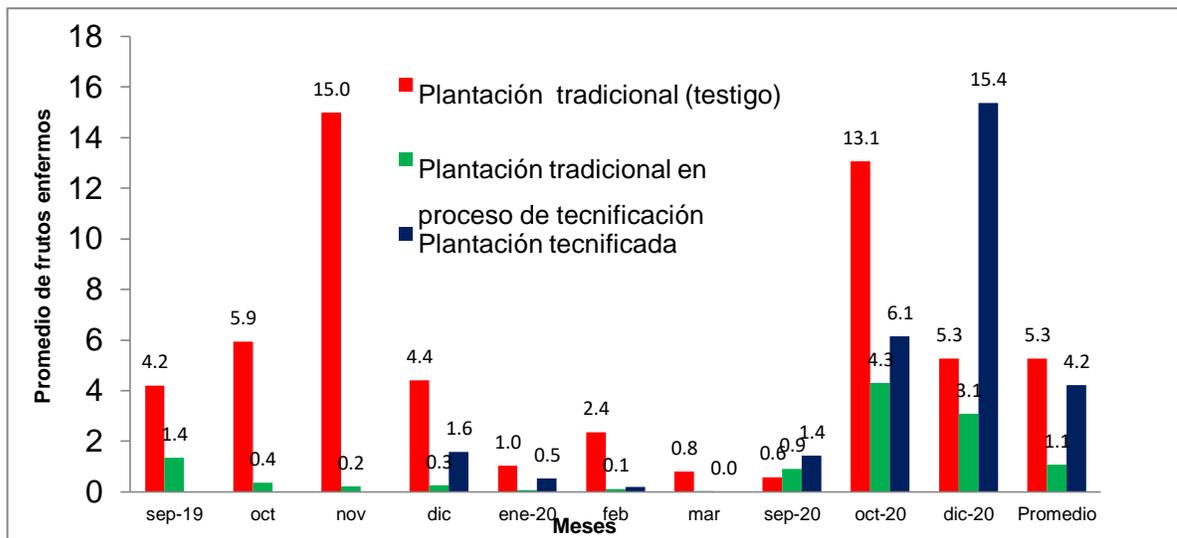


Figura 18. Promedio de frutos enfermos por árbol en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.

En la Figura 18, se identifica que existe una mayor incidencia de enfermedades en la plantación tradicional (testigo) y tanto la tradicional en proceso de tecnificación como la tecnificada, presentan baja incidencia, esto se da principalmente por el manejo que se le da al cultivo de cacao; implementando poda de descopado, poda de mantenimiento, remoción de frutos enfermos, aplicación de caldo sulfocálcico y fertilización, a medida que se realice un mejor manejo se tendrán menores pérdidas económicas y se podrá mejorar la rentabilidad del cultivo.

En la Figura 19, se presenta de manera mensual, el porcentaje de incidencia de enfermedades en los tres sistemas productivos; se observa que el mes de septiembre del 2019 existen porcentajes similares de incidencia de frutos enfermos tanto en la plantación testigo como en la plantación tradicional en proceso de tecnificación. A partir del mes de octubre se va reduciendo el porcentaje de frutos enfermos, esto debido a los efectos de la poda y aplicación de fungicidas.

En todos los meses se presentó una mayor incidencia de frutos enfermos en la plantación tradicional testigo y por el contrario la menor incidencia se registró en la plantación tecnificada, se observó que en los meses de octubre y diciembre un incremento de la incidencia de enfermedades principalmente en el número de chilillos enfermos; en la Figura 20, se presentan los registros de chilillos y mazorcas enfermas cuantificadas en ambos sistemas durante de periodo de estudio.

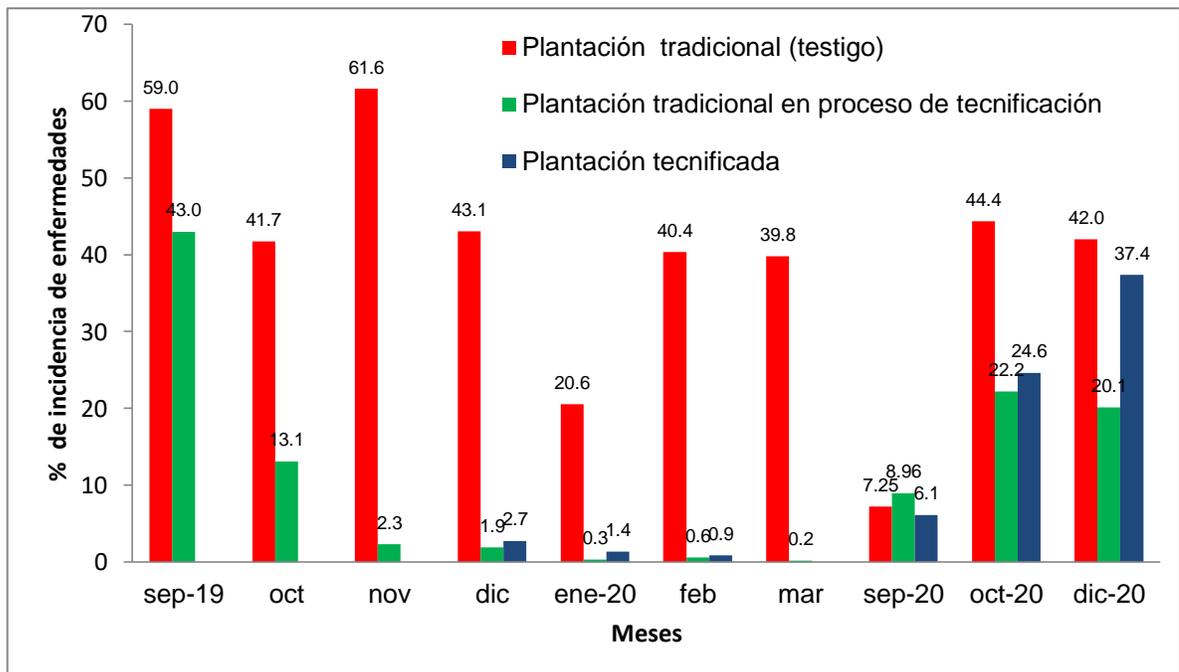


Figura 19. Porcentaje de incidencia de frutos enfermos de forma mensual en tres sistemas productivos de cacao



Figura 20. Chillillos y mazorcas enfermas.

En la Figura 21, se presenta una comparación del número de frutos sanos y enfermos en los tres sistemas de cacao, podemos identificar una mayor cantidad de frutos sanos en el sistema tecnificado; en la plantación en proceso de tecnificación la cantidad de frutos sanos se incrementó y el número de frutos enfermos se redujo en comparación con el testigo.

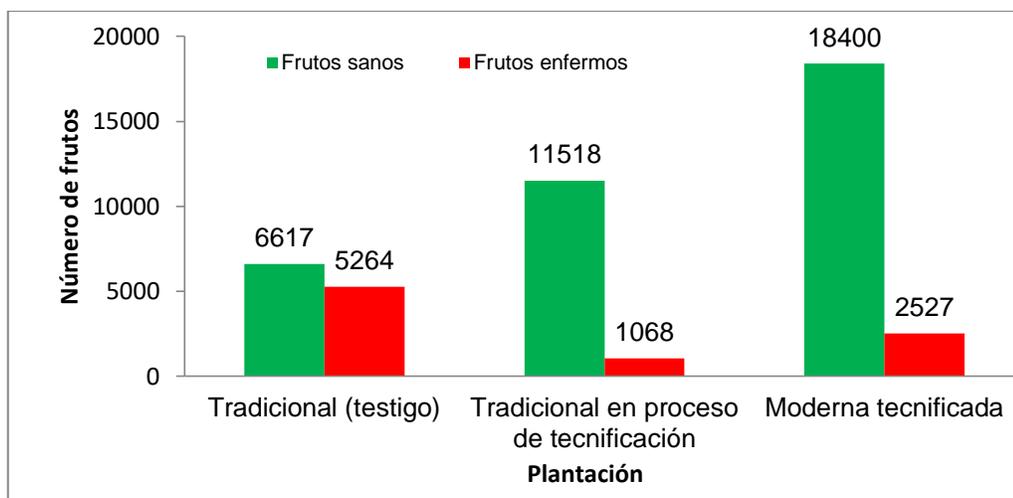


Figura 21. Frutos sanos y enfermos en tres plantaciones de cacao.

En la Figura 22, se observa el porcentaje de incidencia de enfermedades en los tres sistemas productivos de cacao, pudiéndose visualizar un alto porcentaje de frutos enfermos en el sistema tradicional con el 44.3%. El tradicional en proceso de tecnificación presenta menor incidencia de enfermedades, esto se da principalmente por la renovación de la plantación al aplicar la poda de descopado, retiro de frutos enfermos y aplicación de fungicidas. Si identificamos en términos de productividad la plantación tecnificada tuvo una mayor cantidad de frutos sanos.

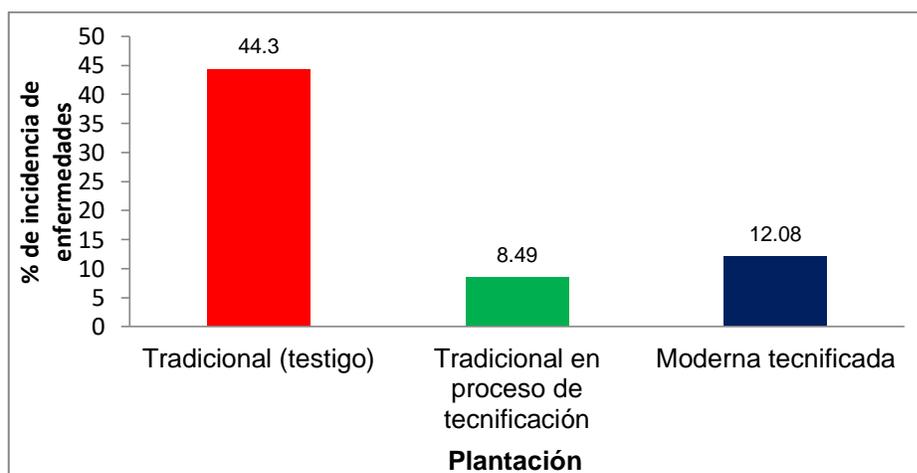


Figura 22. Incidencia de frutos enfermos (%) en tratamiento tradicional en proceso de tecnificación, tradicional (testigo) y tecnificado.

En la Figura 23, se hace una comparación de la precipitación media mensual con el número medio de frutos enfermos en los tres sistemas productivos de cacao, podemos observar que en la plantación tradicional testigo, existe relación con el porcentaje de incidencia de enfermedades, principalmente en meses lluviosos, esto se da porque son árboles altos de cacao en donde no se les realiza poda y con la lluvia se generan las condiciones predisponentes para la generación de enfermedades.

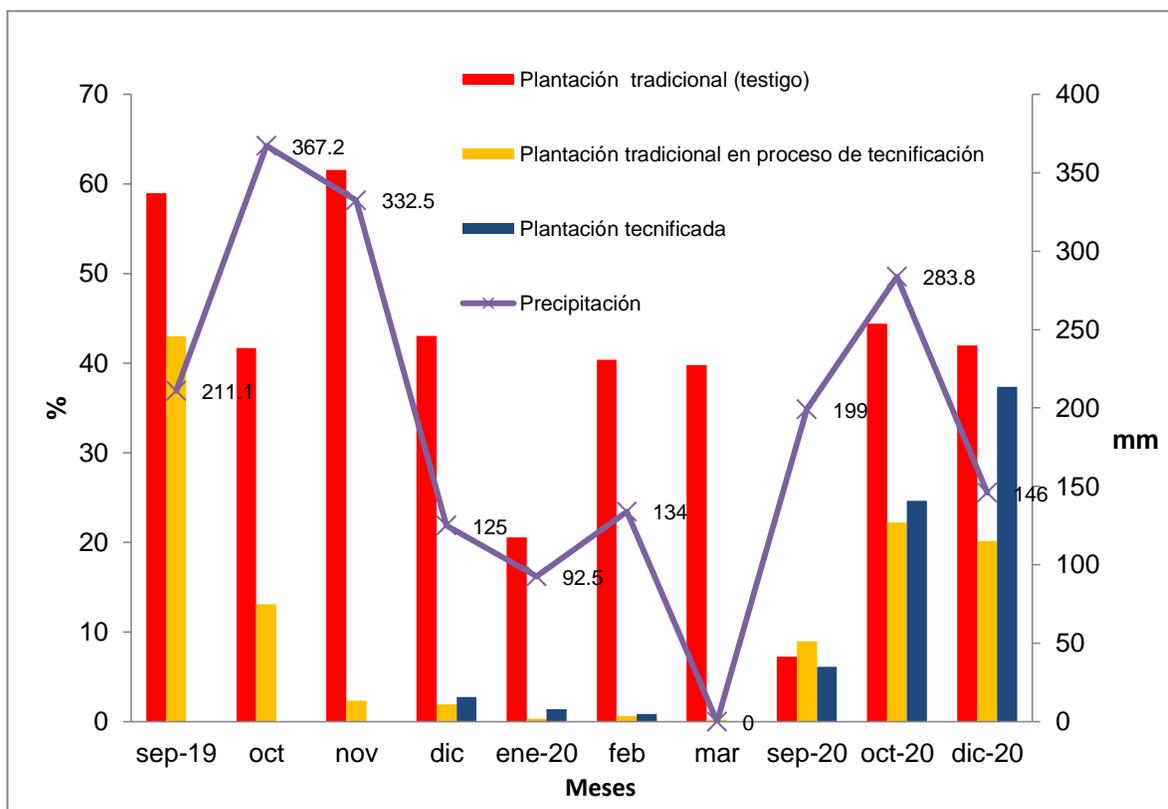


Figura 23. Porcentaje de incidencia de enfermedades en tres sistemas productivos de cacao y su relación con precipitación mensual.

4.2.4 Cosecha

En la Figura 24, se presenta el cacao cosechado en cada sistema productivo, considerando un valor promedio de 25 mazorcas por kg de cacao seco, se estima una producción de 736 kilogramos en la plantación tecnificada en un lote de 100 árboles, se puede identificar que en la plantación testigo las pérdidas por frutos atacados por enfermedades alcanzan el 44.3%.

Lo cual brinda elementos que permitan explicarles a los productores las altas pérdidas de cacao cuando no se realiza un manejo y que si se continúa con el sistema tradicional no será posible abastecer el mercado y seguirán teniendo ingresos mínimos.

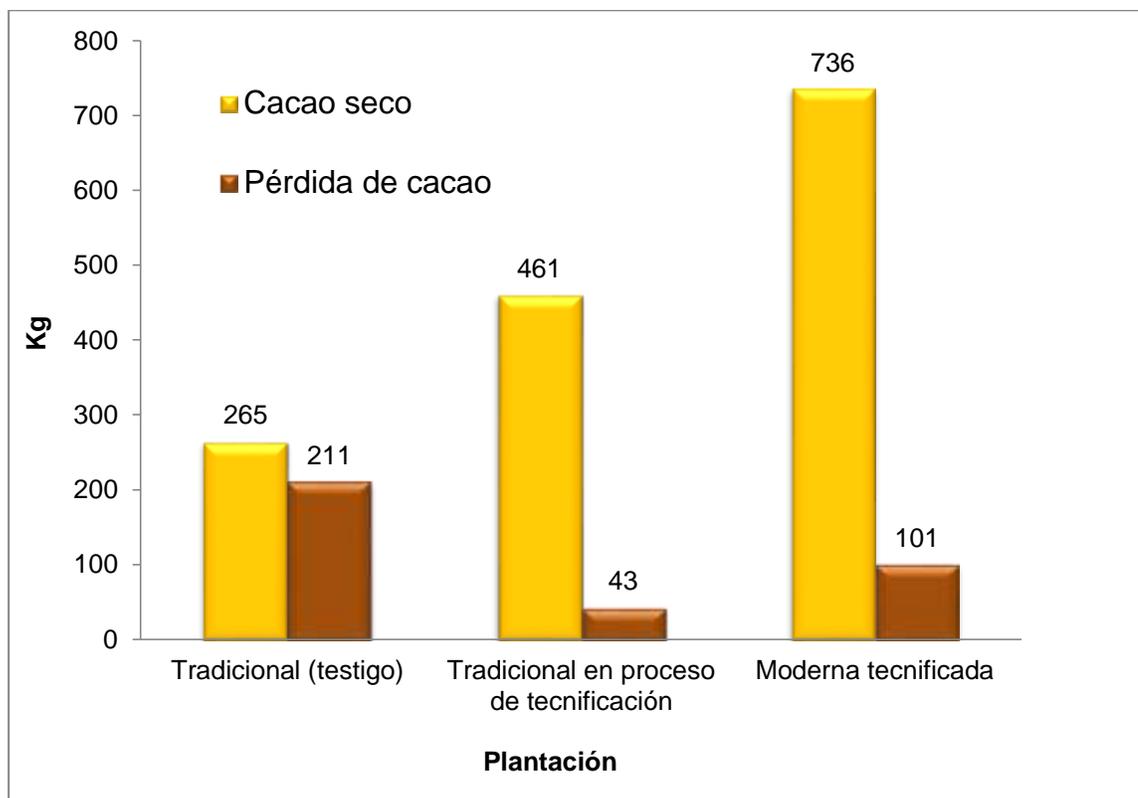


Figura 24. Producción acumulada de kilogramos de cacao seco y pérdidas en plantación tradicional (testigo), tradicional en proceso de tecnificación y tecnificado.

Si la producción se convierte en términos económicos y considerando que un kilogramo de cacao seco cuesta \$40.00 se estarían obteniendo mayores ingresos en la plantación tecnificada, a diferencia de la tradicional donde se está perdiendo una cantidad similar a los ingresos.

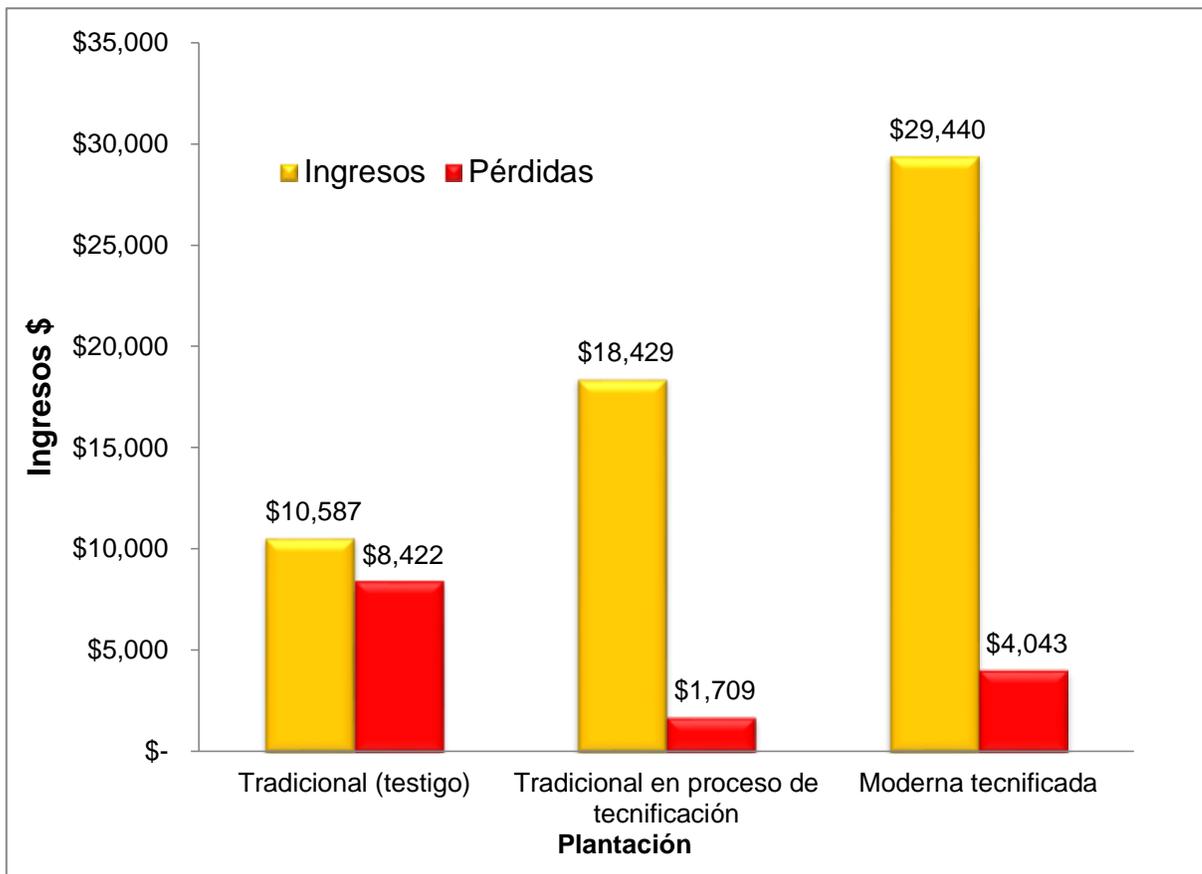


Figura 25. Ingresos de cacao seco y pérdidas en lotes en plantación tradicional (testigo), tradicional en proceso de tecnificación y tecnificado.

4.3 Indicadores ambientales

4.3.1 Carbono en biomasa aérea

En la Figura 26, se muestra que el carbono en biomasa aérea en los dos sistemas productivos fue de 41.5 Mg/ha¹ para el sistema tradicional en proceso de tecnificación y 37.7 Mg/ha¹ para el sistema moderno tecnificado.

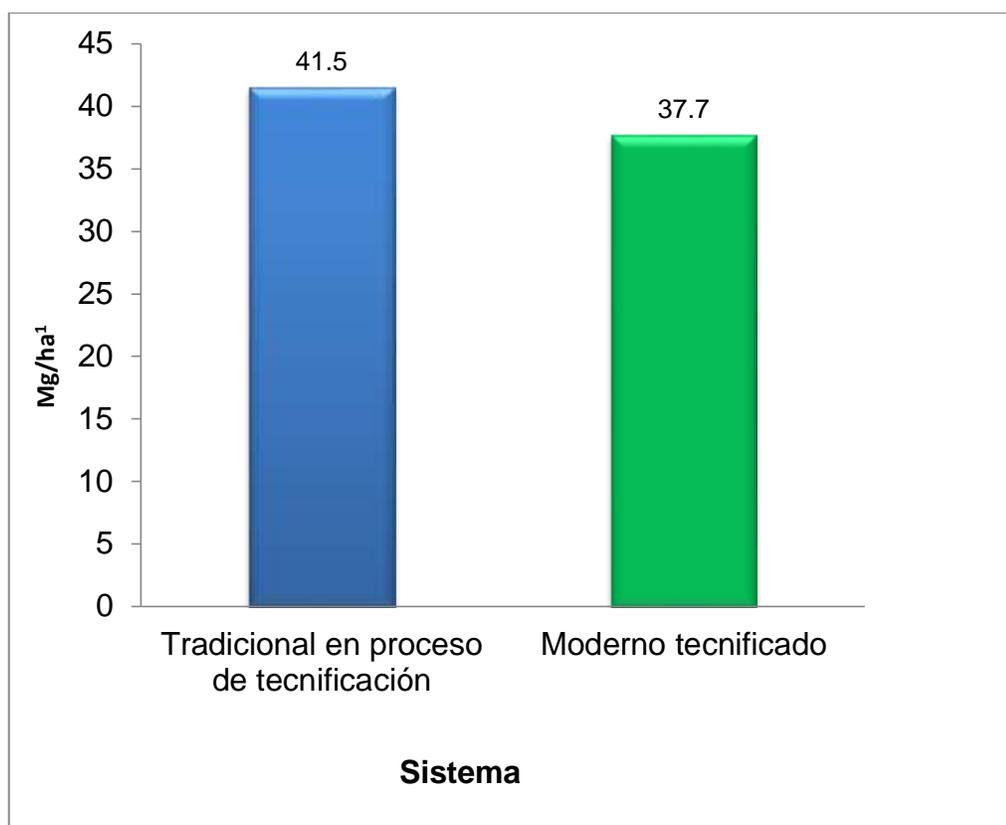


Figura 26. Carbono en biomasa aérea en dos sistemas productivos de cacao.

El Cuadro 4, muestra el contenido de carbono en las especies forestales y en el cultivo de cacao.

La especie con mayor contenido de carbono en ambos sistemas fue *Ficus insípida* Willd (amate); el sistema tradicional en proceso de tecnificación obtuvo 746 kg de biomasa y 350.7 kg de carbono.

Para el sistema moderno tecnificado *Ficus insípida* Willd (amate), obtuvo 831.26 kg de biomasa y 390.69 kg de carbono, es importante mencionar que ambos árboles superan los 30 m de altura.

Cuadro 4. Carbono en biomasa aérea en dos sistemas productivos de cacao.

Sistema	Biomasa aérea total Mg/ha ⁻¹	Carbono en biomasa aérea total Mg/ha ⁻¹	Cacao Mg/ha ⁻¹	Otras especies forestales Mg/ha ⁻¹
Tradicional proceso de tecnificación	83.7	41.5	16.55	24.91
Moderno tecnificado	80.2	37.7	15.24	22.45

En Perú, Concha *et al.*, 2007, encontraron valores en captura de carbono en biomasa arbórea, desde 12.09 t ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años, hasta 35.5 t ha⁻¹ presentado por el sistema de Huicungo de 12 años. El autor menciona que los resultados obtenidos indican que la captura de carbono no está relacionada a la edad de los sistemas sino a la diversidad de las especies propias de cada sistema con diferentes edades, mostrándose un desarrollo heterogéneo en cada sistema agroforestal. También está en función de las prácticas silviculturales, manejo adecuado de la plantación mediante podas y otras prácticas culturales.

Por su parte Zavala *et al.* 2018, encontraron en los sistemas evaluados resultados de biomasa aérea total de 609.28, 225.02 y 170.29 t ha⁻¹ de C en los sistemas mayor a 16 años, entre 8 y 16 años y menores de 8 años respectivamente. El autor menciona que los sistemas mayores de 16 años presentaron más biomasa que los otros sistemas, reafirmando que los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan valores más altos de acumulación de carbono.

Los resultados del presente estudio, concuerdan con lo obtenido por Segura 2005, Albrecht y Kandji (2003) y Ortiz (2006), donde reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales, Segura (2005) encontró 42 y 61 t C ha⁻¹ en cacaotales arbolados en loma y valle, Albrecht y Kandji (2003), (39-102 t C ha⁻¹) y 4 y Ortiz (2006) 62 t C ha⁻¹ en los sistemas laurel-cacao.

Dentro de los aspectos positivos de captura de carbono, es que los sistemas agroforestales de cacao, podría aportar ingresos económicos adicionales a los hogares si se logran vender los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En la Figura 27, se muestra la aplicación de la técnica para cuantificación de carbono en biomasa aérea.



Figura 27. Aplicación de la técnica de campo de estimación de carbono en biomasa aérea.

4.3.2 Reciclaje de materia orgánica

La producción de hojarasca en los dos sistemas varió entre 4 y 16.8 t/ha. En el período de seca, el sistema tradicional en proceso de tecnificación presentó un promedio mayor con 9.6 t/ha con respecto al tecnificado con 8.8 t/ha. En temporada de lluvia existe un decremento del aporte con 7.82 t/ha en el sistema tradicional en proceso de tecnificación y 6.79 en el sistema tecnificado intensivo (Figura 27). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las cantidades de hojarasca en los dos períodos, producida en los sitios muestreados para temporada de seca ($F= 7.50$; $Pr= 0.0368$), y período de lluvia ($F= 1.59$; $Pr= 0.3372$). La descomposición de la hojarasca es importante en el funcionamiento de los ecosistemas, porque la producción depende del reciclaje de nutrientes, la hojarasca provee energía, nutrientes y alberga microorganismos que participan en la descomposición y juega un papel importante en la fertilidad de suelos mediante la formación de materia orgánica del suelo.

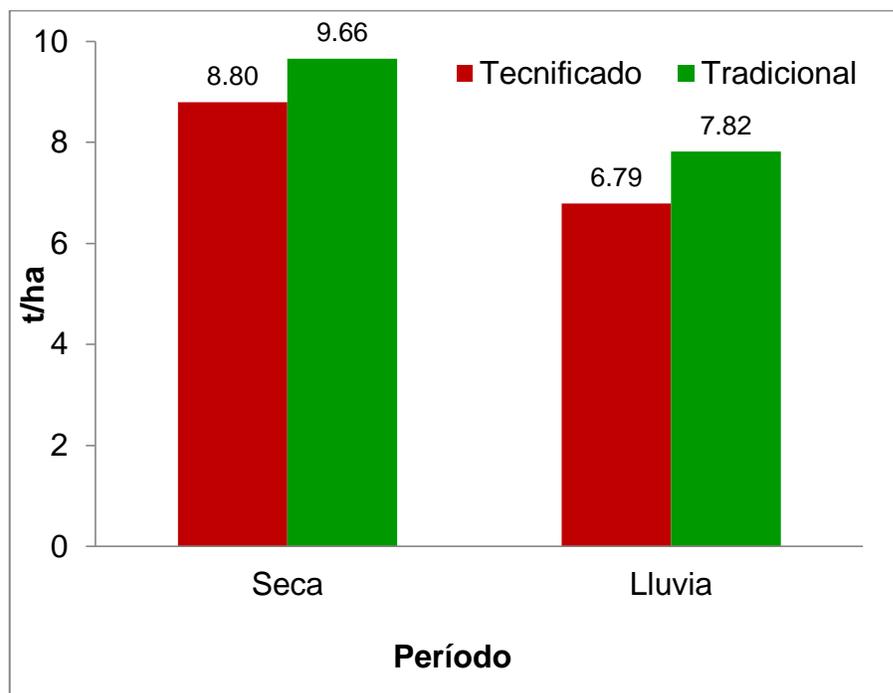


Figura 28. Comparación de aporte de hojarasca en dos sistemas productivos de cacao.

En la Figura 29, se muestran la técnica de recolección de las muestras de hojarasca, así como los resultados obtenidos.



Figura 29. Hojarasca obtenida en los dos sistemas productivos de cacao

4.3.3 Riqueza florística

Los árboles (distintos del cacao) tiene una densidad de 54 árboles/ha para el sistema tradicional en proceso de tecnificación y 101 árboles/ha para el sistema moderno tecnificado. Los resultados muestran una composición florística de 345 individuos, 23 familias y 34 especies para el tradicional en proceso de tecnificación ubicado en la localidad Emiliano Zapata y 604 individuos, 21 familias y 37 especies para el sistema moderno tecnificado.

Las familias botánicas mejor representadas en el sistema tradicional en proceso de tecnificación fueron: Arecaceae con 130 individuos, Meliaceae con 32, Bombacaceae y Myrtaceae con 22, Moraceae con 21, Bignoniaceae 18 y Simarubácea 12 individuos, estas familias agrupan el 74% de los individuos. En Nigeria, Oke & Odebiyi (2007) encontraron una mayor diversidad de la familia Arecaceae.

Para el sistema moderno tecnificado, las familias mejor representadas fueron: Myrtaceae con 335 individuos, Bignoniaceae con 91, Rhamnaceae con 42, Sterculiaceae con 37, Moraceae con 22, Verbenaceae con 13 individuos, estas familias agrupan el 89% de los individuos.

En el sistema tradicional en proceso de tecnificación, la flora con mayor riqueza fue *Acrocamia Aculeata* con 36%; y en el sistema moderno tecnificado *Pimenta dioica* L.

55% (Figura 29 y 30). Se encontraron 34 especies en el sistema agroforestal, 37 en el sistema moderno intensivo y en ambas plantaciones se encontraron 26 especies.

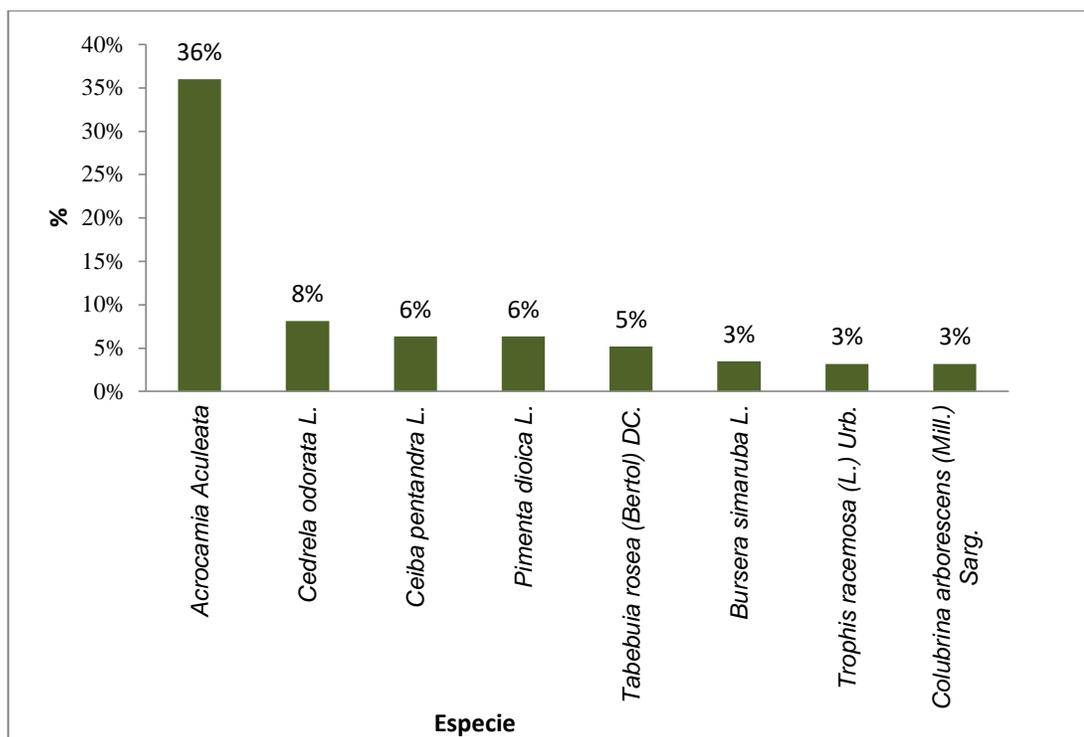


Figura 30. Especies con mayor número de individuos registradas en el sistema tradicional en proceso de tecnificación de cacao.

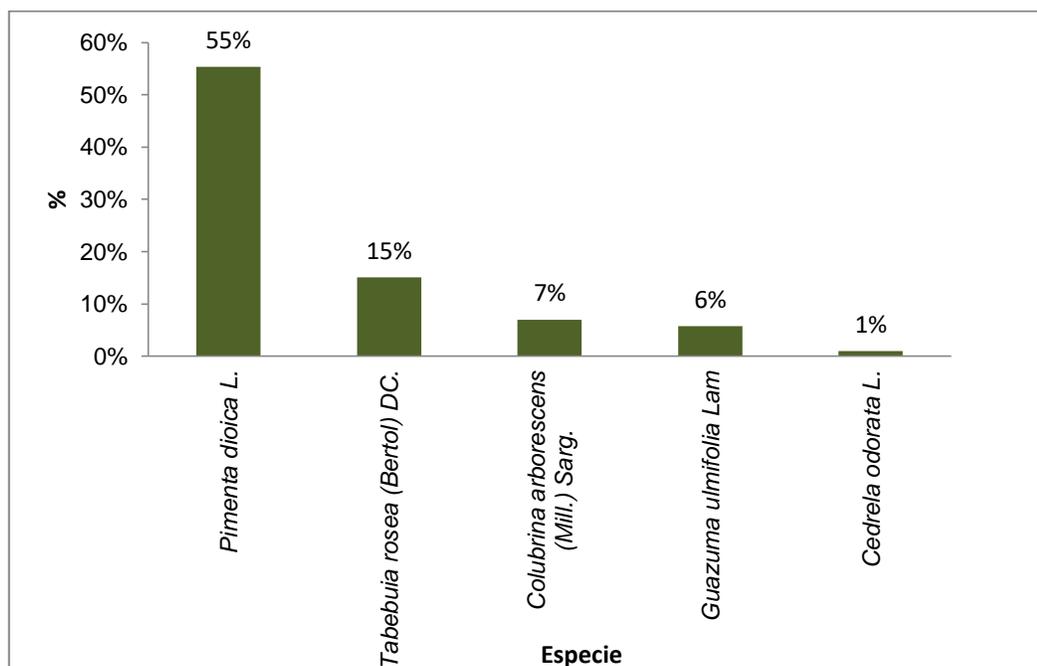


Figura 31. Especies con mayor número de individuos registradas en el sistema moderno intensivo de cacao.

Los índices de biodiversidad encontrados en las plantaciones de cacao estudiadas, fueron de H' 2.59 en el sistema tradicional en proceso de tecnificación y de 1.80 en el moderno tecnificado.

En la región del Soconusco en el estado de Chiapas, Salgado, *et al.*, (2007) reportan valores del H' que van desde 2.74 hasta 2.79, los cuales son mayores con los encontrados en este estudio.

En el Cuadro 5, se describe la diversidad, densidad y composición florística de las especies arbóreas encontradas en el sistema tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado de cacao en Comalcalco, Tabasco.

Guiracocha (2000), evaluó los beneficios y problemas que la biodiversidad presenta para los productores en tres sistemas diferentes encontrando una mayor diversidad en el bosque ($H'=2.56$) que implica un mayor grado de conservación de especies, seguido del sistema agroforestal cacao ($H'= 1.75$) y banano ($H' = 1.10$); por lo que el valor de los índices de diversidad en el sistema tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado, encontrados en el presente estudio son similares al encontrado por Guiracocha (2000) en el bosque y cacao respectivamente, por lo que el sistema agroforestal tiene un valor normal de índice de biodiversidad y el tecnificado un nivel bajo.

Ramírez *et al.* (2013), mencionan que algunos árboles forestales como *Samanea saman* (Jacq.) Merr) pueden estar ocasionando daños al sistema, relacionados con el hecho de que sus ramas son muy quebradizas y, al desprenderse caen y dañan a las plantas de cacao. Por ello es importante realizar el manejo de esta especie para evitar daños a la producción, se debe realizar un equilibrio entre la conservación de la biodiversidad de árboles acompañantes del cacao y la producción, mediante un manejo integral que permita establecer el cacao debajo del dosel de los árboles y no a plena luz del sol, pero cuidando el nivel de sombreado, monitoreo de ramas y árboles que pudieran caerse y esto conlleva a tener diversos beneficios en la biodiversidad, en la producción de hojarasca, reciclaje de nutrientes, hábitats para aves, mamíferos y sitios para conservación de flora.

Cuadro 5. Comparación de la diversidad, densidad y composición florística del sistema tradicional en proceso de tecnificación y moderno tecnificado de cacao en Comalcalco, Tabasco, México.

Variable	Sistema tradicional en proceso de tecnificación	Sistema moderno tecnificado
Número total de individuos	345	604
Número total de especies arbóreas	34	37
Promedio de especies arbóreas por parcela de 1000 m ²	5.4	10.1
Especies arbóreas más abundantes	<i>Acrocamia aculeata</i>	<i>Pimenta dioica</i>
Número de especies arbóreas que atraen mamíferos y aves	12	10
Número de especies frutales (de consumo humano)	7	10
Número de especies maderables	12	11
Número de especies para leña	8	8
Número de especies para sombra	7	11
Número de especies medicinales	8	11
Número de especies para forraje	6	8
Número de especies para construcción de techos	6	7
Número de especies para elaborar mangos para herramientas	4	7
Número de especies melíferas	4	7
Número de especies industriales	5	5
Número de especies ornamentales	3	5
Número de especies artesanales	3	5
Número de especies comestibles	5	4
Número de especies para postes para cerca	1	4
Número de especies para horcones para casa	2	3
Número de especies para reforestación	7	9
Densidad promedio (individuos ha ⁻¹)	54	101
índice de Shannon	2.59	1.80

Los árboles asociados al cacao tienen diferentes funciones, ya sea como valor alimenticio, generación de madera, producción de leña, proveedoras de sombra para el cacao, frutales, construcción de techos, mangos para herramientas, melífera, industrial, ornamental, artesanal, comestible, postes para cerca, horcones para casas y conservación de suelos.

Los usos encontrados en los sistemas estudiados, coinciden por lo reportado por (Ramírez *et al.*, 2013), donde describe que los usos más comunes de los árboles en SAF de cacao son medicinales, madera, pilares para construir casas, mangos de herramientas, postes para cercos, la producción de frutos, sombra para cacao, leña, ornamentales y techos para casas. Somarriba, *et al.*, (2003); Orozco y Somarriba (2005) reportaron que 34% de los árboles en plantaciones de cacao en Costa Rica y 15% en Bolivia se utilizan para tableros de espesor en función de su diámetro a la altura del pecho (DAP1.3 m).

Los árboles constituyen usos adicionales para beneficio de los productores de cacao, ya que especies como *Guazuma ulmifolia* Lam, *Andira galeottiana* Standl., *Bursera simaruba* se aprovechan como combustible a través de la obtención de leña para consumo en los hogares.

Entre las especies que son aprovechadas como frutales se identifican *Pouteria sapota* (zapote), *Spondias mombin* (jobo), *Mangifera indica* (mango), *Citrus limettioides* Tanaka (limón), *Citrus sinensis* (naranja), *Artocarpus altilis* (castaña) y *Muntingia calabura* (capulín).

Como especies maderables se identificaron la *Ceiba pentandra* (ceiba), (*Gmelina arborea* Roxb) melina, *Cedrela odorata* (cedro); es una especie maderable preciosa importante en la industria forestal de México y de uso local más importante en América tropical.

Salgado *et al.* (2007), señalan que los SAF de cacao proporcionan hábitats favorables para aves, insectos benéficos y mamíferos, así como sitios para la conservación de la flora. Especies como *Muntingia calabura* (capulín) provee alimento a por lo menos 60 especies de vertebrados (aves y mamíferos); los frutos de *Cecropia obtusifolia* (guarumo) son ávidamente consumidos por muchas especies de vertebrados e invertebrados, permite la explotación de frugívoros especializados pero también oportunistas, su importancia para la conservación de la fauna es importante; *Bursera simaruba* (palo mulato) es un recurso importante de nutrición para la vida silvestre que pasa el invierno en las Antillas y América Central, produce frutos que son consumidos por aves (tucanes) y ardillas (*Sciurus deppei*); *Guazuma ulmifolia* Lam (Guácimo) provee de alimentos a animales domésticos y silvestres, destacando la ardilla, perico, mono, loro, coyote, venado cola blanca, perezoso, caballo y cerdo (Vázquez *et al.*, 1999).

Los mamíferos en el agroecosistema cacao tienen roles ecológicos importantes, tales como influir en la composición vegetal (al depredar semillas y plántulas), en las propiedades químicas y físicas del suelo (aireación al excavar madrigueras), en la productividad primaria (consumo de hojas y frutos); en el reciclaje de nutrientes

(carroñeros); al proporcionar fuente de alimento base para carnívoros o el control de insectos y fauna menor, entre otras (Aguilera, 1985; Rumiz, 2010; Solari, *et al.*, 2002). De ahí la importancia de conservar las especies arbóreas y proteger la fauna, ya que la afectación de mamíferos por cacería, envenenamiento, influye negativamente en todo el sistema de cacao, provocando un desequilibrio en el agroecosistema.

Los roedores son asociados a pérdidas de cosechas de cacao, sin embargo, López *et al.* (2020), encontraron que los daños por roedores en los cultivos de cacao presentaron baja incidencia (<5% en promedio), posiblemente porque las especies depredadoras de cacao están siendo controladas por carnívoros que aún persisten en los bosques de reserva. Mientras que, las zonas de reserva proveerían refugio y alimento para ciertas especies, las áreas de cultivo funcionarían como corredores, permitiendo un equilibrio clave para estos sistemas agro-productivos. Por lo que se pueden implementar prácticas para el control de fauna, sembrando especies frutales como banano, mango y papaya como alternativa de alimentación de mamíferos, elaborar espantapájaros, realizar mayor vigilancia en la temporada de cosecha de cacao para espantar a las ardillas con ruido.

Algunas especies importantes para reforestación son: *Annona muricata* (guanábana), *Bursera simaruba* (palo mulato), *Cedrela odorata* (cedro), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Pimienta dioica* (pimienta), *Sterculia apetala* (bellota) *Tabebuia rosea* (maculís) con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva, *Gliricidia sepium* (cocoite) con potencial para reforestación productiva en zonas secas y áridas, es una de las especie multipropósito más populares en el área centroamericana con amplio potencial para la reforestación (Vázquez *et al.*,1999); por lo que se pueden obtener varetas y semillas de estas especies en los sistemas de cacao y poder realizar propagación de árboles, promoviendo actividades de protección, conservación y restauración de suelos.

Cecropia obtusifolia (guarumo) se utiliza para la recuperación de terrenos degradados, además de no tener un alto requerimiento de nutrientes, produce una gran cantidad de hojarasca que se degrada lentamente, la hojarasca es sumamente efectiva para la restauración del suelo, pues favorece una elevada diversidad de colémbolos, biomasa de microartrópodos, contenido de materia orgánica y capacidad de retención de agua, su papel puede ser muy importante al proveer nutrientes a las especies primarias (Vázquez *et al.*,1999).

De acuerdo a Vázquez *et al.* (1999), *Bursera simaruba* (palo mulato) es junto con *Gliricidia sepium* (cocoite), la especie más frecuentemente usada como cerca viva en las zonas tropicales de México, *Tebebuia rosea* (maculís) funciona como barrera rompivientos y cerca viva de los agrohábitats.

Existen especies que son importantes para la polinización y juegan un rol importante en la conservación de la biodiversidad, *Bursera simaruba* (palo mulato), produce flores, cuya duración es de un día, son visitadas por gran cantidad de abejas, principalmente *Trigona* spp, *Apis mellifera*, ocasionalmente alguna *Euglossinae*; *Citrus limón* (limón), *Citrus sinensis* (naranja) y *Muntingia calabura* (capulín), están asociadas a las especies *Trigona (Tetragonisca) angustula*, *Trigona (Trigona) fulviventris* y *Apis mellifera* (Vázquez *et al.*, 1999, Vandame *et al.*, 2013).

Las especies arbóreas tienen importancia económica que deben aprovecharse para mejorar la rentabilidad financiera de las plantaciones de cacao, por ejemplo, la *Pimienta dioica* es un cultivo importante para México, de acuerdo a Martínez, *et al.*, (2013), la producción nacional de pimienta gorda se canaliza al mercado internacional, ya que su consumo a nivel nacional es ínfimo y México ocupa el segundo lugar en producción después de Jamaica.

López *et al.*, 2015, mencionan que, desde una perspectiva de sustentabilidad, un sistema de plantación con una diversificación de árboles da lugar a diferentes oportunidades de aprovechamiento y satisfacer una diversidad de necesidades. Por ejemplo, esta diversificación puede conducir un productor a seleccionar especies maderables de alto valor para sus futuras necesidades o aprovechar los ingresos económicos obtenidos por la comercialización de madera, mientras que otro puede optar por integrar una combinación de árboles frutales, o industriales.

En las Figuras 32-35, se muestran los resultados obtenidos en riqueza florística.



Citrus sinensis
Naranja dulce

Annona muricata L.
Guanábana



Artocarpus altilis
Castaña



Pouteria sapota
Zapote

Figura 32. Especies frutales encontradas en los sistemas productivos de cacao.



Ceiba pentandra L.
Ceiba



Tabebuia rosea (Bertol) DC.
Maculís

Figura 33. Especies utilizadas para sombra, madera, medicinales y melíferas.



Bursera simaruba
Palo mulato

Roystonea regia (HBK.) O. F. Cook
Palma real

Figura 34. Especies utilizadas para postes para cerca, construcción de techos.



Theobroma bicolor
Pataxte

Pimenta dioica L.
Pimienta

Figura 35. Especies comestibles encontradas en los sistemas productivos de cacao.

4.4 Indicadores económicos

4.4.1 Análisis de costos

En el Cuadro 6, se muestran los costos de mano de obra en el sistema tradicional en proceso de tecnificación, ubicada en la localidad Emiliano Zapata.

Los costos más altos fueron en la actividad de jilea, quitar troncos y ramas, ya que, al ser una plantación alta, fue necesaria la renovación mediante la aplicación de poda de descopado.

El plan de manejo consistió en realizar actividades que permitan mejorar la productividad del cultivo, mediante la aplicación de fungicidas, fertilización foliar, la eliminación de frutos enfermos y dañados.

El Cuadro 6, podría ser de ejemplo en términos de costos y mano de obra para las plantaciones tradiciones que deseen pasar a un proceso de renovación.

Cuadro 6. Costos de mano de obra en el sistema tradicional en proceso de tecnificación.

Actividad / mano de obra	Número de jornales al año	Costo unitario	Costo acumulado para 5 ha	Observaciones
Jilea, quitar troncos y ramas, poda del cacao y de la sombra	318	\$150.00	\$ 47,700.00	Dos veces al año
Aplicación de fungicida	48	\$150.00	\$7,200.00	Seis veces al año
Fertilización foliar	90	\$150.00	\$13,500.00	Nueve veces al año
Establecimiento de plantas de cacao	34	\$159.00	\$5,406.00	Una vez al año
Injertado	50	\$150.00	\$7,500.00	Dos veces al año
Cosecha, eliminación de frutos enfermos y/o dañados	126	\$150.00	\$18,900.00	dos temporadas al año, tres meses cada una
Subtotal	666		\$100,206.00	
		Costo por ha	\$20,520.00	

En el Cuadro 7, se muestran los costos de mano de obra en el sistema moderno tecnificado, ubicado en la localidad Aldama.

El sistema engloba un conjunto de actividades en el plan de manejo que permiten continuar con el mejoramiento de la productividad y a diferencia del sistema tradicional en proceso de renovación, en este sistema se aplica poda de mantenimiento.

Los costos más altos fueron en la cosecha del cacao.

Cuadro 7. Costos de mano de obra en el sistema moderno tecnificado intensivo

<i>Mano de obra</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Número de veces</i>	<i>Total para una ha</i>	<i>Total 6 ha</i>
Resiembra de plantas de cacao	\$ 150.00	4	1	\$ 600.00	\$ 3,600.00
Deshierbe de malezas	\$ 150.00	2	2	\$ 600.00	\$ 3,600.00
Aplicación de fungicida y bioabono	\$ 150.00	1	12	\$ 1,800.00	\$10,800.00
Aplicación de caldo sulfocálcico	\$ 150.00	1	6	\$ 900.00	\$ 5,400.00
Poda de mantenimiento del cacao	\$ 150.00	9	2	\$ 2,700.00	\$ 16,200.00
Resiembra de sombra a base de plátano y cocohite	\$ 150.00	2	1	\$ 300.00	\$ 1,800.00
Saneamiento, eliminación de frutos enfermos	\$ 150.00	1	6	\$ 900.00	\$ 5,400.00
Cosecha del cacao	\$ 150.00	2	12	\$ 3,600.00	\$ 21,600.00
Quebrado y extracción de granos	\$ 150.00	1	20	\$ 3,000.00	\$ 18,000.00
			Subtotal	\$ 14,400.00	\$ 86,400.00

En los Cuadros 8 y 9, se muestran los materiales e insumos utilizados en el sistema tradicional en proceso de tecnificación y en el moderno tecnificado. Siendo indicadores de los costos que necesitaría un productor para poder pasar de su sistema tradicional a un proceso de renovación.

Cuadro 8. Materiales e insumos en el sistema tradicional en proceso de tecnificación.

Materiales e Insumos	Cantidad	Costo unitario	Costo acumulado para 5 ha
Fungicida (cantidad 20 L/ha/aplicación; 9 aplicaciones por ciclo, 200 litros por aplicación)	40	\$ 240.00	\$ 9,600.00
Fungicida (cantidad 10 litros/ha/aplicación; 4 aplicaciones/ciclo, 200 litros x aplicación)	40	\$ 240.00	\$ 9,600.00
Bioabono foliar 1% (2 litros en 200 litros x aplicación)	9	\$ 65.00	\$ 585.00
Bultos de azufre agrícola 25 kg	2	\$ 330.00	\$ 660.00
Machetes	6	\$ 90.00	\$ 540.00
Limas de afilar para machete	5	\$ 125.00	\$ 625.00
Tijera de poda de una mano	6	\$ 228.00	\$ 1,368.00
Roca fosfórica kg	120	\$ 3.50	\$ 420.00
Bultos de calhidra 25 kg	5	\$ 70.00	\$ 350.00
Combustible y lubricante para aspersora, podadora y desbrozadora	1	\$ 230.00	\$ 230.00
	Subtotal		\$ 23,978.00
		Total	\$ 124,184.00
	Total costo por ha		\$ 24,836.80

Cuadro 9. Materiales e insumos en el sistema moderno tecnificado intensivo.

Materiales e Insumos	Costo unitario	Cantidad	Número de veces	Total para una ha	Total 6 ha
Plantas de cacao	\$ 2.00	200	1	\$ 400.00	\$2,400.00
Fungicida (cantidad 20 L/ha/aplicación; 2 aplicaciones por ciclo, 200 litros por aplicación)	\$ 80.00	40	2	\$6,400.00	\$38,400.00
Fungicida (cantidad 10 litros/ha/aplicación; 4 aplicaciones/ciclo, 200 litros x aplicación)	\$ 80.00	40	4	\$12,800.00	\$76,800.00
Bioabono foliar 1% (2 litros en 200 litros x aplicación)	\$ 65.00	2	12	\$ 1,560.00	\$9,360.00
Bultos de azufre agrícola 25 kg	\$330.00	2	2	\$ 1,320.00	\$7,920.00
Machetes	\$ 90.00	6	1	\$ 540.00	\$3,240.00
Limas de afilar para machete	\$125.00	5	2	\$ 1,250.00	\$7,500.00
Tijera de poda de una mano	\$228.00	6	1	\$ 1,368.00	\$8,208.00
Roca fosfórica kg	\$ 3.50	120	1	\$ 420.00	\$2,520.00
Bultos de calhidra 25 kg	\$ 70.00	5	1	\$ 350.00	\$2,100.00
Combustible y lubricante para aspersora, podadora y desbrozadora	\$230.00	1	6	\$ 1,380.00	\$8,280.00
				\$27,788.00	\$166,728.00
				\$ 42,188.00	\$253,128.00

4.4.2 Rentabilidad financiera

El análisis de costos presentados en los Cuadros 6 al 9, permitió conocer los costos en el manejo de los dos sistemas productivos de cacao, generando antecedentes que permitan realizar la evaluación de la rentabilidad financiera.

Actualmente no se puede conocer la rentabilidad financiera, ya que el sistema tradicional en proceso de tecnificación, apenas tiene un año de la aplicación de poda y la producción se está recuperando; sin embargo, los datos obtenidos nos dan elementos de cuantos jornales se necesitan para cada etapa en el manejo de cacao y los insumos que se necesitarían en la renovación de las plantaciones.

Para poder analizar la rentabilidad financiera se tendrían que evaluar por lo menos dos años más la evolución y cosecha de las plantaciones.

4.5 Indicadores sociales

4.5.1 Mano de obra

En los Cuadros 6 y 7, se muestra de manera específica el número de jornales en cada etapa de manejo en el cacao, generalmente los sistemas productivos de cacao emplean la mano de forma familiar y no trabajan en conjunto mediante grupos.

Para el caso del sistema tradicional en proceso de tecnificación, se emplearon 666 jornales al año y la actividad que ocupó más jornales fue la jilea, quitar troncos y ramas.

Por su parte el sistema moderno tecnificado ocupó 720 jornales al año y la actividad con mayor número de jornales fue la cosecha del cacao.

4.5.2 Ética social

Derivado de la metodología “Diagnóstico para evaluar la sustentabilidad en fincas”, diseñada por Monje (2013), la cual fue modificada por Perezgrovas (2020), para evaluar fincas cacaoteras se analizaron los indicadores ética social y enseñanza-aprendizaje en los dos sistemas productivos de cacao.

En la Figura 36, se muestran los resultados obtenidos en ética social, se puede observar que el sistema tradicional obtuvo una puntuación global de 4.3, obteniendo valores de 5 en la pregunta 4, ya que busca la armonía con su entorno ecológico y valores de 4.5 en las preguntas de que respeta, aprovecha y mejora la base de los recursos naturales disfruta de buenas relaciones con los vecinos y comunidad en general y motiva el interés del aprendizaje ambiental.

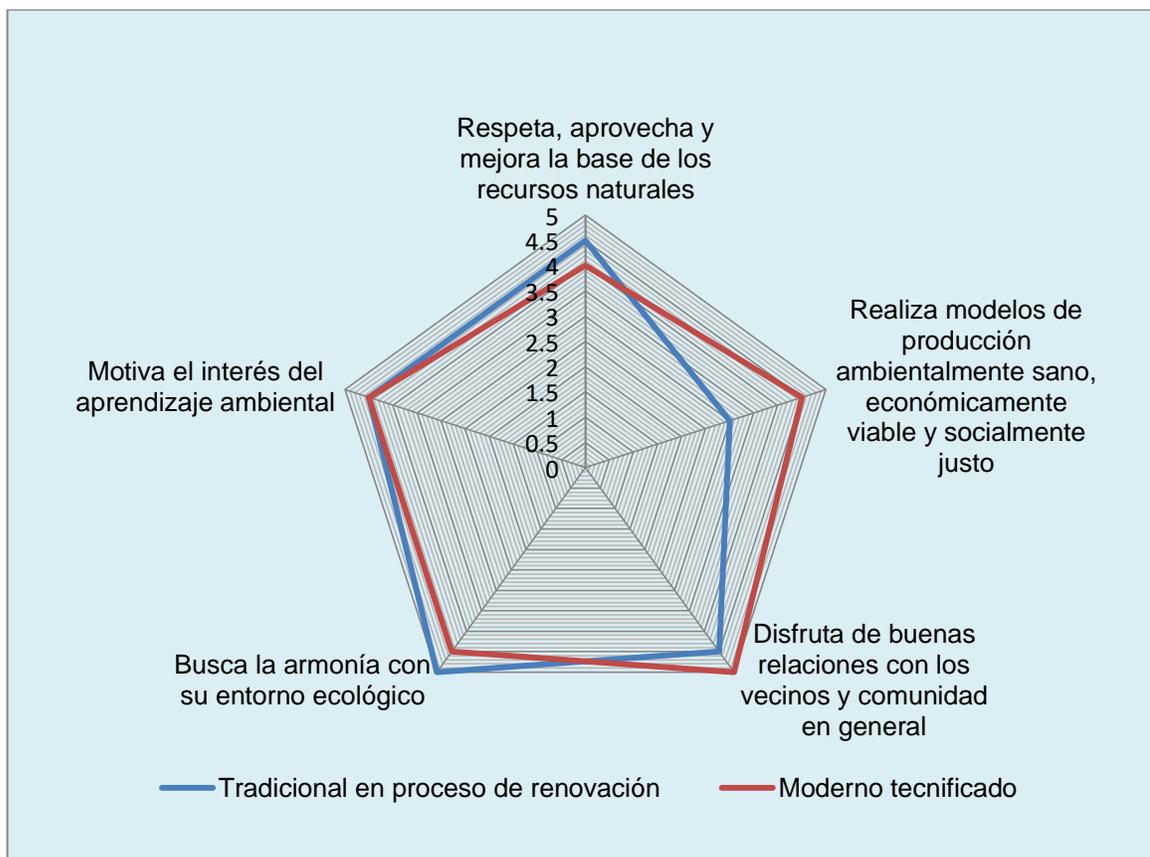


Figura 36. Ética social en dos sistemas productivos de cacao.

Por su parte el sistema moderno tecnificado obtuvo valores globales de 4.5, obteniendo mayor puntuación en la pregunta 3, ya que disfruta de buenas relaciones con los vecinos y comunidad en general, valores de 4.5 en las preguntas de: realiza modelos de producción ambientalmente sano, económicamente viable y socialmente justo, busca la armonía con su entorno ecológico y motiva el interés del aprendizaje ambiental; se implementan prácticas agroecológicas que promueven el respeto al ambiente, aplicación de fertilizantes orgánicos, se deja hojarasca en el suelo y se respeta la biodiversidad de especies forestales.

4.5.3 Enseñanza-aprendizaje

En la Figura 37, se observan los resultados obtenidos en el objetivo enseñanza-aprendizaje, ambos sistemas productivos de cacao, obtuvieron valores globales de 2.8.

El sistema tradicional en proceso de tecnificación, obtuvo mayor puntaje en la pregunta 4, ya que integra diferentes miembros del núcleo familiar en su sistema productivo, mientras que el moderno tecnificado tiene valores más altos en la pregunta 5, ya que utiliza personal capacitado (técnicos, administrativos) ya que el enfoque de la finca es empresarial, ambos sistemas comparten experiencias de campo con sus vecinos, sin embargo el tecnificado no aplica enseñanzas mencionadas por sus vecinos.

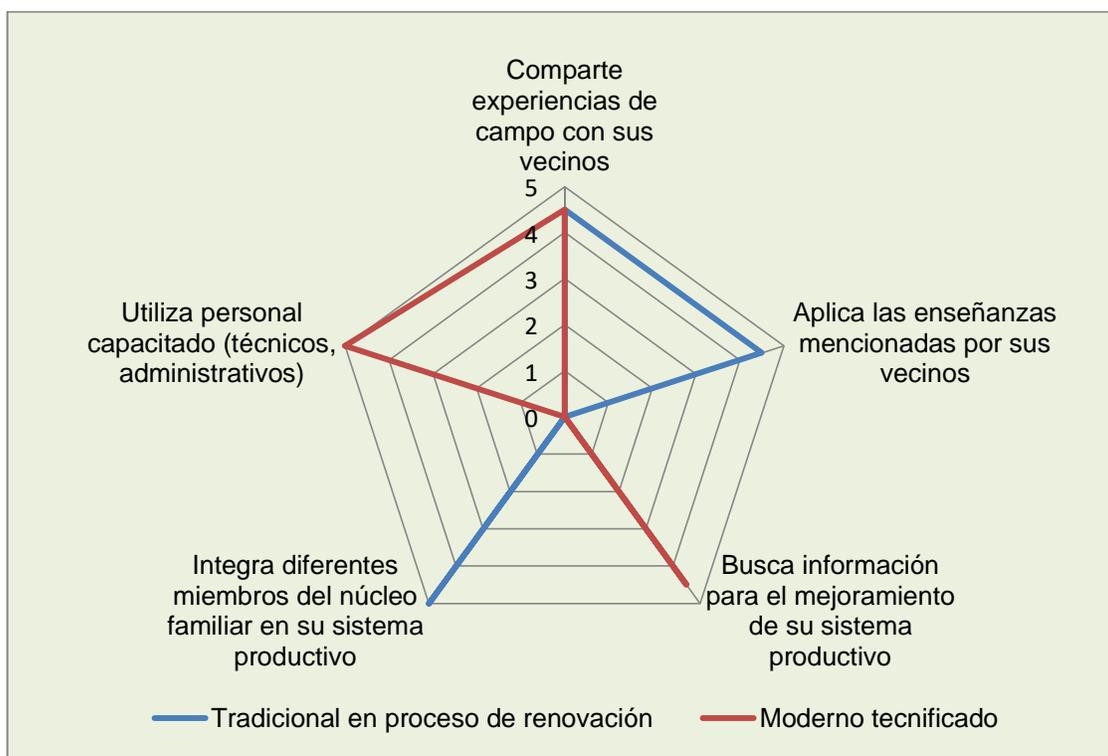


Figura 37. Enseñanza-aprendizaje en los dos sistemas productivos de cacao.

Dentro de los aspectos que se deben mejorar en la finca tradicional en proceso de renovación es que se debe buscar información para el mejoramiento de su sistema productivo, utilizar personal capacitado (técnicos, administrativos), en la parte técnica se ha venido trabajando con la Agencia Universitaria AUDES cacao de la UNACH, sin embargo, falta mejorar la parte administrativa para eficientar la producción y rentabilidad financiera. En el sistema moderno tecnificado no involucra la mano de obra familiar ya que es un sistema empresarial, sin embargo, promueve empleos locales, lo que se podría mejorar es la transmisión de conocimientos que se han implementado en el sistema para que otros productores puedan implementarlo.

4.6 Evaluación de la sostenibilidad

En la Figura 38, se presentan los valores generales de los principios fundamentales de la sustentabilidad, podemos observar que el sistema tradicional tiene valores de 5.7 catalogado como sustentable en evolución, mientras que el sistema tecnificado tiene 3.8 catalogado como no sustentable, este valor se da principalmente por tener bajos números en el principio un proceso de acción social colectiva en ejecución, no participa en asambleas comunitarias, no usan trabajo comunitario, tecnologías locales y no comparte tecnologías con sus vecinos y amigos. Cabe mencionar que en el sistema tradicional se utiliza la mano de obra familiar y el moderno tecnificado contrata mano de obra local y el enfoque es empresarial.

Referente a los objetivos del enfoque, ambos sistemas se encuentran en sustentable en evolución, con valores de 7.1 para el sistema tradicional y 5.9 para el sistema tecnificado.

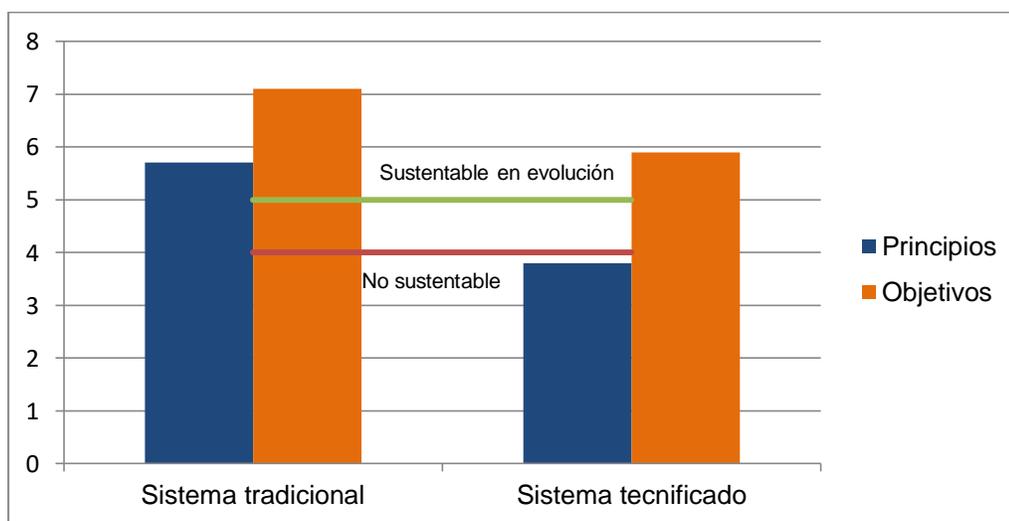


Figura 38. Principios fundamentales y objetivos enfoque de la sustentabilidad en dos sistemas productivos de cacao.

En la Figura 39, se describen los principios del sistema tradicional, los valores más altos se presentan en acción social colectiva en ejecución, el productor pertenece a una asociación de productores ecológicos y orgánicos, tiene en su finca otros cultivos además de cacao, presentando una amplia biodiversidad en su sistema, además del cacao la acompañan especies frutales, maderables que promueven la provisión de servicios ambientales y beneficios adicionales al productor, tiene cacao de distintas variedades (Trinitario); el cual es un híbrido obtenido a partir cacao criollo y forastero; además se produce un cacao fino de aroma el cual posee caracteres de aroma y sabores como el olor a flores, sabor a frutas, nueces y texturas agradables al paladar producto de la interacción con especies vegetales que conforman el sistema agroforestal del cacao donde predominan el uso de prácticas agroecológicas.

El productor se reúne periódicamente en asambleas comunitarias participativas, usan el modelo de trabajo comunitario, mano-vuelta, usa, investiga y comparte sus tecnologías locales con sus vecinos y amigos, maneja procesos de transferencia de conocimiento tradicional o ancestral y realiza algunas capacitaciones mediante (visita a experiencias, talleres, seminarios, etc.) sin embargo, no maneja de manera individual y tampoco la Asociación un fondo común de apoyo y emergencia.

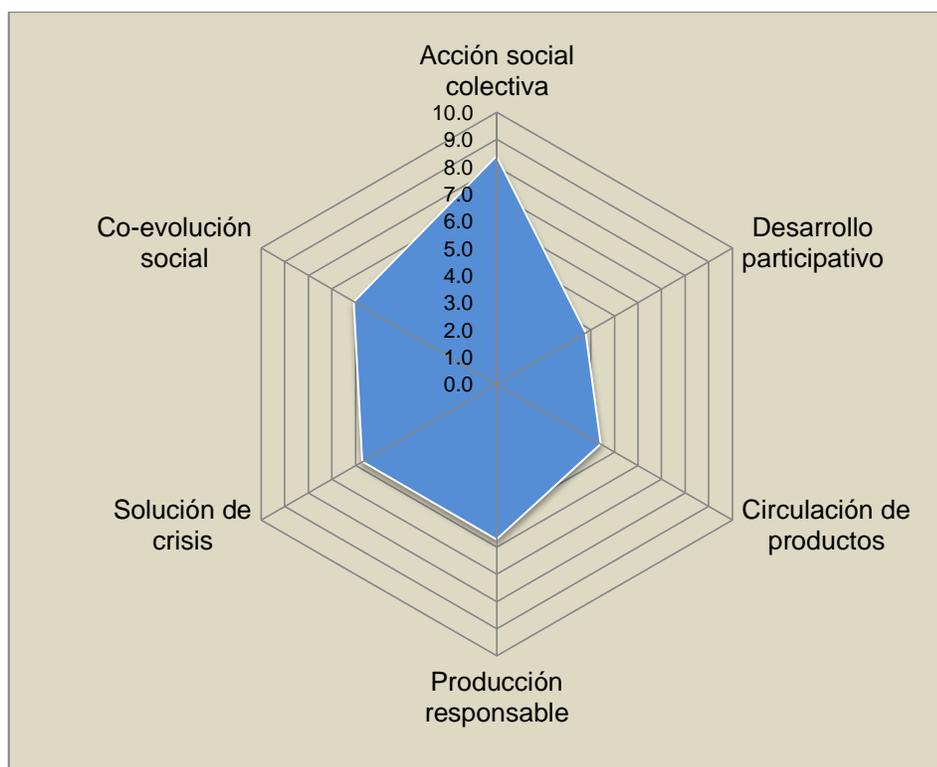


Figura 39. Principios del sistema tradicional en proceso de tecnificación.

En el principio de menor puntaje fue desarrollo participativo con 3.8, el productor realiza de manera intermedia innovación tecnológica en su finca, está incorporando manejo de poda, fungicidas orgánicos, actualmente recibe apoyos institucionales en

la parte técnica y organizativa a través de la Empresa Cocoa Farms y la Agencia Universitaria para el Desarrollo “AUDES Cacao-Chocolate” de la Universidad Autónoma de Chiapas, posee un organigrama de funciones del grupo de manera muy simple, donde únicamente se encuentra el presidente y tesorero, por lo que es primordial mejorar el organigrama del grupo y establecer funciones, no utiliza fertilizantes comerciales, no mantiene límites al uso de fertilizantes inorgánicos y agroquímicos, no asiste a ferias, seminarios, simposios contando su experiencia comunitaria y productiva y tampoco posee un sistema local de información para toda la comunidad (Cartelera, Boletín, etc.).

En el sistema moderno tecnificado, el principio con mayor puntuación, fue producción y consumo responsable, la finca integra producciones agrícolas, pecuarias y forestales, usa productos orgánicos para la producción, maneja registros de producción y realiza cronogramas de actividades dentro de la finca, su producción está dedicada al mercado no al autoconsumo, por lo que no planifica su producción de acuerdo a la demanda alimenticia en su unidad de producción (Figura 40).

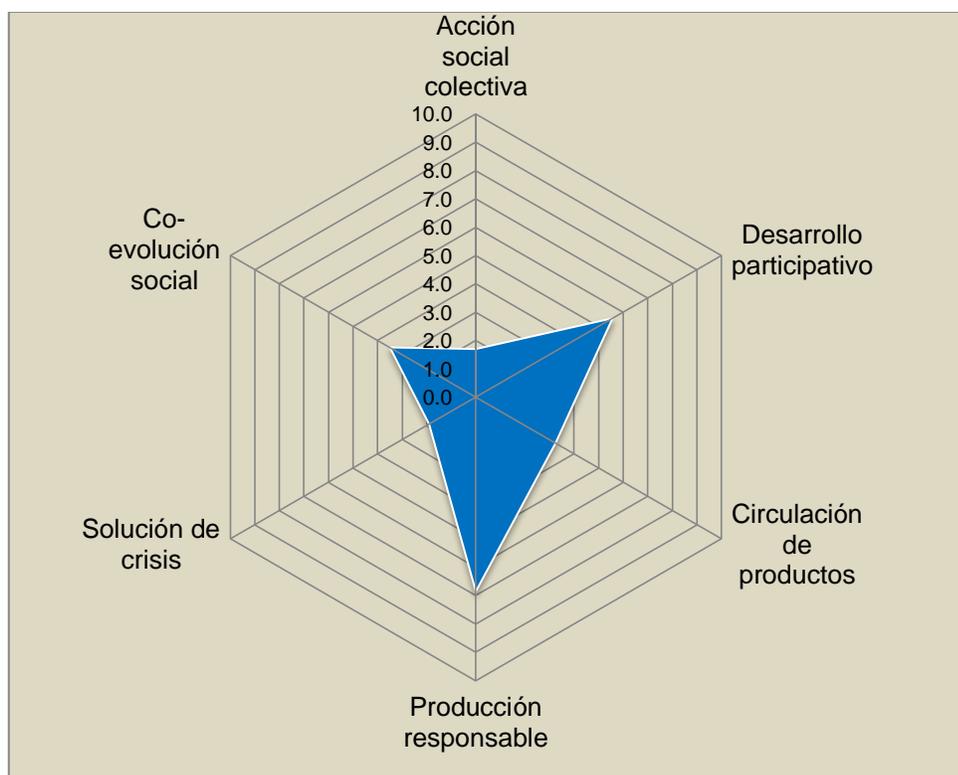


Figura 40. Principios del sistema moderno tecnificado.

El principio con menor puntuación fue un proceso de acción social colectiva, el productor trabaja de manera individual, no pertenece a una asociación y/o grupo de productores ecológicos y orgánicos, por lo que no se reúne periódicamente para

asambleas comunitarias participativas, no maneja un fondo común de apoyo y emergencia, no utiliza el modelo de trabajo comunitario, mano-vuelta, más bien contrata a trabajadores para realizar el manejo de cacao en su finca, no usa tecnologías ni investiga tecnologías locales, más bien utiliza tecnología desarrollada por AUDES- Cacao-chocolate de la UNACH.

Tampoco comparte sus tecnologías con sus vecinos y amigos, no maneja procesos de recuperación de conocimiento tradicional o ancestral y no se capacita constantemente, mediante visitas a experiencias, talleres, seminarios, etc.).

Dentro de las cosas positivas, tiene en su finca otros cultivos además de cacao, mediante la asociación de pimienta con cacao, especies frutales y forestales que proveen de sombra al cacao y generan servicios ecosistémicos adicionales y tiene cacao de distintas variedades.

Al realizar una comparación entre los dos sistemas; tradicional y moderno tecnificado, es posible identificar que son inversos en el principio acción social colectiva, en el sistema tradicional en proceso de tecnificación, es de mayor puntaje y en moderno tecnificado el de menor, esto se da principalmente porque el primero participa de manera grupal con cacaoteros, existe mayor vinculación y trasmisión de conocimientos a productores locales y el otro trabaja de manera particular de forma empresarial y no comparte su experiencia con los demás productores.

Una vez identificadas las ventajas y desventajas de cada sistema, nos da herramientas para realizar mejoras, la idea es poder tener los dos modelos de producción y poder capacitar a productores sobre el manejo de las fincas y realizar propuestas desde el enfoque de sostenibilidad, promoviendo la conservación y uso sustentable de las especies arbóreas acompañantes del cacao, producción de abonos orgánicos mediante el aprovechamiento de residuos, incentivar la capacitación y participación en seminarios y ferias, implementación de prácticas que promuevan la protección de fauna, establecer especies fijadoras de nitrógeno, manejo de residuos sólidos (bolsas y envases).

En la Figura 41, se describen los resultados obtenidos en objetivos, el sistema tradicional tiene una puntuación de 7.1, se encuentra en la categoría sustentable en evolución, los valores más altos, se encuentra en el objetivo ciencia y sociedad, integra lo científico y otros tipos de conocimientos, en términos sobresalientes y excelente, sostiene continuamente una comunicación abierta y sin compromiso entre productores, se tiene en cuenta el pensamiento de los otros, se está dispuesto a aprender y compartir pensamientos e ideas y promueve y realiza talleres de capacitación en su finca en donde participan profesionista de la Universidad Autónoma de Chiapas, promoviendo la participación de hombres y mujeres en

diversas actividades productivas del cacao; injerto, poda, manejo y control de enfermedades.

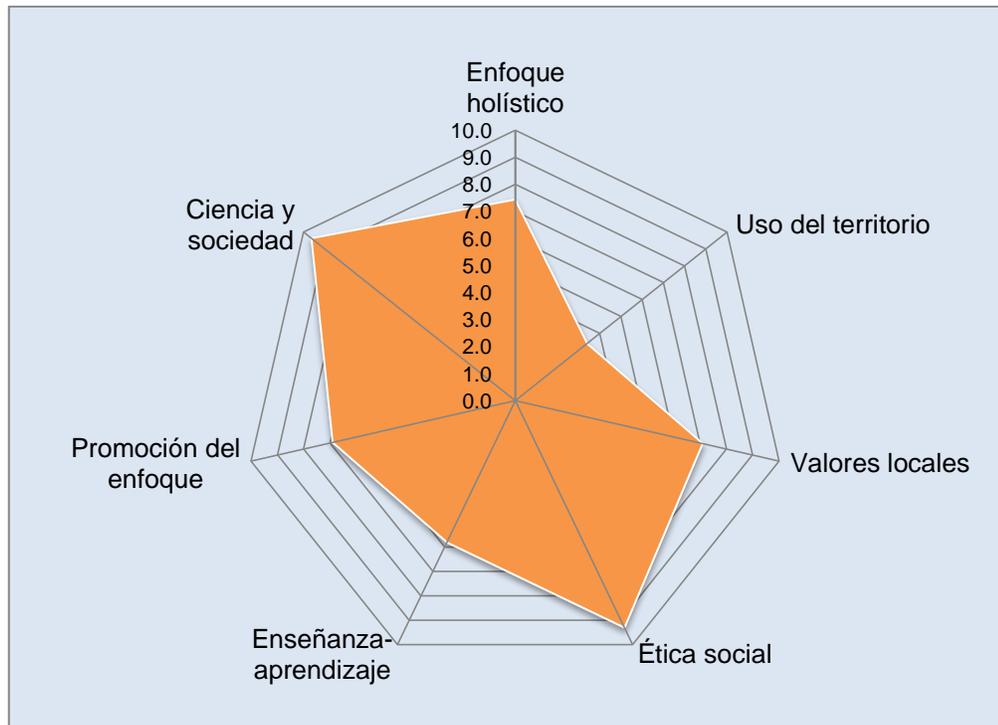


Figura 41. Objetivos de enfoque del sistema tradicional.

El objetivo que presentó menores valores, fue el de uso del territorio con 3.4, integra los sistemas productivos en su finca, pero no realiza rotación de cultivos por producción, no siembra maíz y/o frijol, no tiene hortalizas en su finca y tampoco utiliza estiércol de sus animales en el cultivo de cacao, sin embargo el poder integrar cultivos adicionales en la finca proveería de recursos económicos al productor y de no depender únicamente del cultivo de cacao, existen las condiciones para poder establecer hortalizas y otros cultivos para autoconsumo y venta; por otra parte al usar el estiércol podría generar abonos orgánicos mediante composta, vermicomposta, bocashi, entre otros.

En la Figura 42, se describen los resultados obtenidos en objetivos, el sistema moderno tecnificado tiene una puntuación de 5.9, se encuentra en la categoría sustentable en evolución, obteniendo mayor puntuación con 9.5 en ética social, respeta, aprovecha y mejora la base de los recursos naturales, realiza modelos de producción ambientalmente sano, económicamente viable y socialmente justo, disfruta de buenas relaciones con los vecinos y comunidad en general, busca la armonía con su entorno ecológico y motiva el interés del aprendizaje ambiental; se implementan prácticas agroecológicas que promueven el respeto al ambiente; aplicación de fertilizantes orgánicos, se deja hojarasca en el suelo y se cuida la biodiversidad de las especies forestales.

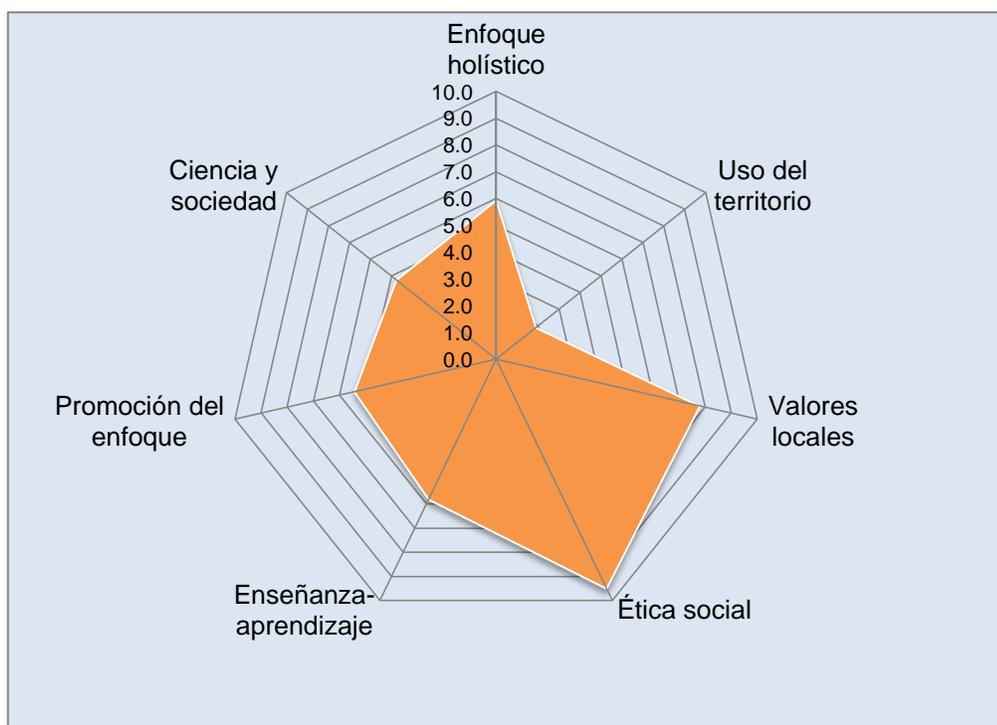


Figura 42. Objetivos de enfoque del sistema moderno tecnificado.

El objetivo con menor puntuación fue el uso de territorio con 1.9, integra los sistemas productivos en su finca, combinando cacao con pimienta, no realiza rotación de cultivos por producción, no siembra maíz y/o frijol, no tiene hortalizas en su finca y tampoco utiliza estiércol de sus animales en el cultivo de cacao, de la misma forma que el sistema tradicional se podrían incorporar actividades que complementen el cultivo de cacao, mediante un mejor uso del territorio, incorporando otros cultivos, producción de hortalizas y manejo eficiente de residuos de cosecha y uso del estiércol del cacao.

Realizando una comparación en objetivos de los sistemas; tradicional y moderno tecnificado podemos identificar similitudes en donde tienen mejor puntaje de sustentabilidad que el uso del territorio, por lo que la idea es mejorar la finca, a través de la incorporación de otras actividades que maximicen mayor rentabilidad y uso eficiente de recursos naturales.

Derivado de los resultados obtenidos en la evaluación de la sustentabilidad, en los Cuadros 10 y 11, se presentan recomendaciones que pueden implementarse en cada sistema productivo de cacao, con el objetivo realizar mejoras desde el punto de vista social, ambiental y económico.

Cuadro 10. Recomendaciones desde el punto de vista principios fundamentales de la sustentabilidad

Sistema tradicional en proceso de renovación	Sistema moderno tecnificado
✓ Manejar un fondo común de apoyo y emergencia	✓ Manejar un fondo común de apoyo y emergencia
✓ Mantener límites al uso de fertilizantes inorgánicos y agroquímicos	✓ Compartir tecnologías con vecinos y amigos
✓ Asistir a ferias, seminarios, simposios contando su experiencia comunitaria y productiva	✓ Capacitarse constantemente (visita a experiencias, talleres, seminarios, etc.)
✓ Generar un sistema local de información para toda la comunidad (cartelera, boletín, etc.)	✓ Manejar procesos de recuperación de conocimiento tradicional o ancestral
✓ Compostear los residuos orgánicos para re-incorporarlos a sus cultivos	✓ Asistir a ferias, seminarios, simposios contando su experiencia comunitaria y productiva
✓ Realizar un análisis de costos y beneficios en sus procesos (valor real)	✓ Generar un sistema local de información para toda la comunidad (cartelera, boletín, etc.)
✓ Manejar continuamente registros de producción	✓ Contar con un organigrama de funciones en la finca
✓ Realizar cronogramas de actividades dentro de la finca	✓ Realizar un manejo sustentable de estiércol (reciclaje, reutilización y reducción)
✓ Promover la acción colectiva para capacitación ambiental en la comunidad	✓ Compostear los residuos orgánicos para re-incorporarlos a sus cultivos
✓ Promover estrategias de integración socio ambiental a nivel local y regional	✓ Desarrollar actividades sociales en pro del mejoramiento local
✓ Utilizar prácticas de conservación de suelos como barreras vivas o rompe vientos	✓ Promover acción colectiva para capacitación ambiental en la comunidad
✓ Considerar reservorios de agua dentro de la finca, previendo que en futuro se tenga implementar riego en los cacaotales	✓ Promover estrategias de integración socio ambiental a nivel local y regional
✓ Manejar prácticas para la conservación de suelos	✓ Compartir metodologías desde la experiencia propia para su aplicación en forma grupal
	✓ Protección de cuencas hídricas y manantiales (ojos de agua)
	✓ Conservar especies animales nativas
	✓ Conservar semillas criollas
	✓ Promover la participación de las mujeres en el proceso de producción

Cuadro 11. Recomendaciones desde el punto de vista objetivos enfoque de la sustentabilidad

Sistema tradicional en proceso de renovación	Sistema moderno tecnificado
✓ Utilizar fuentes renovables de energía en la finca (biogás, tracción animal, leña, compost, molinos de viento, ariete o celdas solares).	✓ Reutilizar materiales dentro de la finca
✓ Utilizar estiércol de sus animales en el cultivo de cacao	✓ Contar con bancos de proteína y forrajeros para alimento animal
✓ Aplicar saberes y experiencias agroecológicas dentro de la finca	✓ Utilizar fuentes renovables de energía en la finca (biogás, tracción animal, leña, compost, molinos de viento, ariete o celdas solares).
✓ Realizar manejo de residuos en el sistema	✓ Utilizar estiércol de sus animales en el cultivo de cacao
✓ Buscar información para el mejoramiento de su sistema productivo	✓ Promover la producción de hortalizas en la finca
✓ Utilizar personal capacitado (técnicos, administrativos)	✓ Aplica enseñanzas mencionadas por los vecinos mediante el intercambio de experiencias
✓ Buscar diferentes mercados para la venta de cacao	✓ Realizar manejo de residuos (cosecha y estiércol) para el proceso de abonos
	✓ Promover y realizar talleres de capacitación en la finca

Mediante los resultados obtenidos en la cuantificación de indicadores agronómicos, ambientales, sociales y económicos, podemos determinar lo siguiente:

Indicadores agronómicos:

Desde el punto de vista de frutos sanos de cacao, el promedio fue mayor en el sistema moderno tecnificado principalmente por el manejo agronómico que se le da al cultivo de cacao, sin embargo también el sistema tradicional en proceso de renovación, presenta una reactivación en la producción de frutos, se requiere de mayor tiempo de monitoreo para comparar la producción de frutos, ya que en este sistema se aplicó poda de descopado.

En incidencia de enfermedades, identificamos un mayor control en el sistema moderno tecnificado; por lo que es de vital importancia realizar prácticas que promuevan el control de enfermedades; poda, remoción de frutos enfermos, fertilización, aplicación de fungicidas. En las Figuras 24 y 25, se puede apreciar las pérdidas que tiene el productor al realizar un manejo convencional, perdiendo un 175% con respecto al tradicional en proceso de renovación.

Indicadores ambientales

Ambos sistemas productivos de cacao almacenan captura de carbono; 41.5 Mg/ha¹ para el sistema tradicional en proceso de tecnificación y 37.7 Mg/ha¹ para el sistema moderno tecnificado.

En la parte de reciclaje ambos sistemas aportan hojarasca y nutrientes al suelo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las cantidades de hojarasca en los dos períodos, producida en los sitios muestreados para temporada de seca (F= 7.50; Pr= 0.0368), y período de lluvia (F= 1.59; Pr= 0.3372).

En riqueza florística los dos sistemas productivos tienen diversas especies forestales y frutales que acompañan al cacao, el sistema tradicional en proceso de renovación presenta un índice de biodiversidad bueno con una menor cantidad de especies pero con mayor distribución que el moderno tecnificado que presenta una mayor cantidad de especies pero menor diversidad, ambos sistemas generan servicios ambientales tales como hábitats de fauna, captura de carbono, conservación del agua, mejora la calidad de aire, contribuyen a la conservación de la biodiversidad, aumentando la riqueza, abundancia y diversidad de especies, en comparación con los sistemas agrícolas convencionales.

Indicadores económicos

En el análisis económico se determinaron los costos en ambos sistemas productivos de cacao, obteniendo el costo de mano de obra de \$20,500.00 por ha para el sistema tradicional en proceso de renovación y de \$14,400.00 por ha para el sistema moderno tecnificado; en materiales e insumos 24,836.80 por ha para el sistema tradicional y \$42,188.00 para el sistema moderno tecnificado.

Los datos obtenidos nos dan elementos de los costos de mano de obra y materiales e insumos que se necesitan para dos sistemas productivos diferentes y pueda servir de base en la toma de decisiones del productor acorde a sus necesidades; ya que en el sistema tradicional en proceso de renovación, es podar los árboles de cacao y aplicar un manejo agronómico y por otro lado en el sistema moderno tecnificado intensivo, derribaron la plantación e hicieron una nueva.

La información obtenida es un antecedente de los costos; en este momento no se puede conocer la rentabilidad financiera, ya que el sistema tradicional en proceso de tecnificación, apenas tiene un año de la aplicación de poda y la producción se está recuperando.

Indicadores sociales

Ambos sistemas productivos de cacao emplean mano de obra familiar y local, donde se generan empleos en diversas etapas del manejo, obteniendo 666 jornales para el sistema tradicional en proceso de tecnificación y 720 jornales para el sistema moderno tecnificado.

En ética social los dos sistemas productivos de cacao obtuvieron promedios similares 4.3 y 4.5 en donde realizan prácticas que promueven la armonía con su entorno ecológico, respetan, aprovechan y mejoran la base de los recursos naturales.

En enseñanza-aprendizaje ambos sistemas obtuvieron un promedio de 2.8 donde comparten experiencias de campo con sus vecinos, en el sistema tradicional en proceso de renovación, integra diferentes miembros del núcleo familiar en su sistema productivo a diferencia del moderno tecnificado que paga mano de obra y en este sistema si emplea a personal capacitado (técnicos y personal administrativo).

En la Figura 43, se muestran los resultados de indicadores ambientales, sociales y económicos que permitieron poder evaluar la sostenibilidad; por lo que ambos sistemas son sostenibles, presentando las siguientes características:

- ✓ Generan empleos familiares y locales en el manejo agronómico del cacao
- ✓ Promueven el respeto y manejo de los recursos naturales
- ✓ Comparten el aprendizaje y experiencia obtenida para mejorar la producción del cacao
- ✓ Tienen ingresos por venta de cacao seco
- ✓ Dejan hojarasca en el suelo, lo cual genera el reciclaje de materia orgánica
- ✓ Ambos sistemas cuentan con diversas especies arbóreas (frutales, maderables y especias), que tienen diversidad de usos y además generan servicios ambientales que promueven la biodiversidad y captura de carbono
- ✓ Emplean prácticas agroecológicas mediante la aplicación de fertilización, fungicidas, manejo del suelo.



Figura 43. Sostenibilidad en los dos sistemas productivos de cacao

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

Se determinó la sostenibilidad de los dos sistemas productivos, agroforestal tradicional en proceso de renovación y moderno tecnificado de cacao en Comalcalco, Tabasco, ambos sistemas productivos son sustentables, generando beneficios sociales, ambientales y económicos. De acuerdo a la metodología “Diagnóstico para evaluar la sustentabilidad en fincas”, ambos sistemas productivos de cacao, son sustentables en evolución. En cuanto a principios de sustentabilidad, el sistema agroforestal tradicional es sustentable en evolución y el moderno tecnificado obtuvo valores de no sustentable, principalmente por aspectos sociales; ya que este sistema es empresarial y no trabaja mediante grupos.

La caracterización de los sistemas determinó aspectos importantes en la tecnología aplicada en los sistemas productivos de cacao, entre ellos la poda, aplicación de fungicidas, injerto, fertilización y equipos con los que cuentan.

El sistema agroforestal tradicional de cacao puede ser modernizado mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas como la poda, fertilización, manejo de enfermedades y resiembras, lo cual permite recuperar la productividad y rentabilidad de cacao sin poner en riesgo la sostenibilidad del sistema productivo.

La poda de descopado aplicada a arboles viejos e improductivos de cacao generó una reactivación del tejido productivo en las plantas, efecto que se manifestó en una mayor capacidad de floración y producción de frutos sanos; en relación al sistema tradicional sin poda, se cuantificó un 175% más de frutos sanos de cacao.

La incidencia de frutos infectados por la moniliasis resulto considerablemente inferior en la plantación tecnificada, en sistema tradicional en proceso de tecnificación, la incidencia de moniliasis se redujo 35.8% en relación con el testigo tradicional.

La diversidad arbórea en los sistemas de cacao, tiene usos importantes que genera servicios adicionales al cacao y contribuye a la economía de los productores tales como la producción de madera, fruta, proveen de sombra a los cacaotales, proporcionan alimentos e insumos para sus viviendas.

Los dos sistemas productivos de cacao asociados con especies forestales maderables, frutales e industriales presentan fijación de captura de carbono en biomasa arbórea con 41.5 Mg/ha^{-1} para el sistema agroforestal y 37.7 Mg/ha^{-1} para el sistema moderno tecnificado.

La aportación de hojarasca fue similar en ambos sistemas productivos de cacao, por lo que contribuye al reciclaje de nutrientes, provee energía y alimentos para microorganismos y juega un papel importante en la fertilidad y materia orgánica del suelo.

Dentro de los impactos sociales, los sistemas productivos de cacao, generan empleos locales en actividades de resiembra de plantas de cacao, deshierbe de malezas, aplicación de fungicidas y bioabono, aplicación de caldo sulfocálcico, poda de mantenimiento, resiembra de sombra a base de plátano y cocohite, saneamiento, eliminación de frutos enfermos, cosecha del cacao, quebrado y extracción de granos.

El análisis económico permitió conocer los costos en el manejo de los dos sistemas productivos de cacao (renovación y tecnificación), considerando mano de obra e insumos, la información obtenida genera antecedentes para poder realizar la evaluación de la rentabilidad financiera analizando por lo menos dos años más la producción.

6. LITERATURA CITADA

- Adebiyi, S y J. Okunlola. 2013. Factors affecting adoption of cocoa farm rehabilitation techniques in Oyo State of Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences* 9 (3): 258-265.
- Aguilera, M. 1985. El estudio de los mamíferos en Venezuela: evaluación y perspectivas. Caracas, Venezuela: Asociación Venezolana para el Estudio de los Mamíferos AsoVEM y Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. 256 p.
- Albrecht, A y S. Kandji. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3): 15-27.
- Alegre, J., S. García, R. Vega y Y. Arévalo. 2015. Manual reciclaje de nutrientes en ecosistemas forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aimé, M y W. Phillips. 2005. The causal agents of witch's broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*).
- Alegre, J., L. Arévalo, R. Ricse. 2002. Reservas de Carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana. ICRAF/INIA. Perú. Disponible en: <http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>.
- Andrade, H., J. Figueroa y D. Silva. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria* 1: 6-10
- Arvelo, S.M.A., L. González, M.A.S. Steven, L.T. Delgado, L.P. Montoya. 2017. Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas. IICA, San José, C.R. IICA. 165p.
- Assiri, A.A., O. Deheuvels, Z.J. Keli, B.I. Kebe, A. Konan y N. Koffi. 2016. Identification de caractéristiques agronomiques pour le Diagnostic et la prise de décision de régénération des vergers de Cacaoyers en Côte d'Ivoire. *African Crop Science Journal* 24(3): 223-234.
- Assiri A., G.R. Yoro, O. Deheuvels, B.I. Kebe, Z.J. Keli, A. Adiko y A. Assa, 2009. Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2009. 2(1): 55- 66.

- Avendaño, C., J. Villareal, E. Campos, R. Gallardo, A. Mendoza, J. Aguirre, A. Sandoval y S. Espinosa, 2011. Diagnóstico del cacao en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 75 p. ISBN: 978-607-12-0219-2
- Beer, J., C. Harvey, M. Ibrahim, J.M. Harmand, E. Somarriba y Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80-87.
- Bhagwat, S.A.J., K.B. Willis, J.J. Birks y R.J. Whittaker. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical. *Trends in Ecology and Evolution* 23(5): 261-7.
- Bourgoing, R., D. Abolo, P. Jagoret, H. Ngnogue y M. Tonka, 2009. Innovations techniques proposées aux producteurs de cacao du Centre Cameroun. Premiers résultats et perspectives. Atelier final PCP/REPARAC. Innover pour améliorer les revenus des exploitations familiales et la production agricole du Grand-Sud Cameroun. Mbalmayo (Cameroun), 24-26 juin 2009. Actes. <http://agritrop.cirad.fr/551516/>
- Caporali, F. 2011. Agroecology as a transdisciplinary science for a sustainable agriculture. In E. Lichtfouse (Ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture* (Vol. 5, pp. 1–3). Dordrecht, Francia: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9513-8>
- Cerda, R., T. Espín y M. Cifuentes. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*. Pp. 33–41 Retrieved from <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/345.pdf>
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cirns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera y T. Yamakura 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests *Oecologia* 145 87–99
- Clough, Y., D. Dwi, P. Ramadhani, I. Teja. 2009. Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. *Biological Conservation* 142 (5): 1032-1041.
- Comité Estatal del Sistema Producto cacao de Chiapas. 2012. Plan rector cacao Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 36 p.

- Concha, J., J. Alegre y V. Pocomucha, 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162007000100009&lng=es&tlng=es
Consultado el 06 de septiembre de 2021.
- Córdova, A.V., H. M, Sánchez, C.N.G. Estrella, L. A, Macías, C.E. Sandoval, y S.T. Martínez, 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 17(34):93-100.
- Córdova, A. V. 2005. Organización campesina en la reconversión del cacao tradicional a orgánico en Tabasco, México. En: Aragón G.A., López, O. J. F. y Tapia, R. A. M. Manejo Agroecológico de Sistemas. Dirección de Fomento Editorial, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. 180 p.
- Couteaux, M., P. Bottner, B. Berg, 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends Ecol. Evol.* 10, 63–66.
- Cruz, G. 2005. Cultivos de cacao en sistemas agroforestal. P.48.
- Cruz, B., R. Jarquín, H. Ramírez, 2013. Viabilidad económica y ambiental de policultivos de hule, café y cacao. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 49-61. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000100004&lng=es&tlng=es.
Consultado el 16 de febrero de 2021
- Dahlquist, R.M., M.P. Whelan, L. Winowiecki, B. Polidoro, S. Candela, C.A. Harvey 2007. Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: a case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 16 (8): 2311-2333
- DaMatta F.M. 2007. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):239-244.
- De Muner, L., O. Masera, M. Fornazier, C. de Souza y M. de Loreto. 2015. Energetic sustainability of three arabica coffee growing systems used by family farming units in Espírito Santo state. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(5), 397–405.
- De Almeida A.F. y R.R. Valle 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):425-448.

- Diario de Tabasco. 2019. Comalcalco 1er lugar nacional en producción de cacao. <https://www.diariodetabasco.mx/sin-categoria/2019/05/17/comalcalco-1er-lugar-nacional-en-produccion-cacao-cacep/>
- Díaz, O., J. Aguilar, R. Rendón y V.H. Santoyo. 2013. Current state of and perspectives on cocoa production in Mexico. *Ciencia e investigación agraria*, 40(2), 279-289. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202013000200004>
- Enríquez, G.A. 1985. Curso sobre el cultivo de cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie materiales de enseñanza No. 22. 239p.
- Enríquez, G. 2004. Guía para productores ecuatorianos. Manual N° 54. Instituto Nacional Autónomo de investigaciones Agropecuarias. Quito, EC. 360 p.
- Espinosa, J., J. Uresti, A. Vélez, G. Moctezuma, D. Inurreta, S. Góngora, 2015. Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 1051-1063 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500012&lng=es&tlng=es
Consultado el 13 de octubre de 2020
- FAOSTAT, 2016. Database Collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://faostat.fao.org>
- González V. 2005. Cacao en México: Competitividad y Medio Ambiente con alianzas INIFAP E IPRC para USAID. 45 p.
- Govindaraj, K y P. Jancirani, 2017. Effect of pruning on cocoa (*Theobroma cacao* L.) on morphological, flowering and yield and quality of cocoa beans. *International Journal of Agricultural Science and Research* 7(6): 113-118.
- Guerrero, F., A. Yebra, L. Olivares, R. Jiménez, F. Wilker, 2016. Sostenibilidad 360°: pinceladas para entender el concepto. *Revista de Antropología Experimental*, 35–57. Retrieved from <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/rae>
- Guiracocha F.G. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Costa Rica, Turrialba: CATIE.
- Gutiérrez, E.E., E.I. Leiva y R. Ramírez. 2019. La poda y su efecto en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Costarricense* 43(2): 167-176.

- Guo, L.B. y R.E.H. Sims. 1999. Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short-rotation forests: implications for land management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73:93-100
- Hernández, I.M., I. Santa y J. Gallardo. 1992. Dinámica de la descomposición de la hojarasca forestal en bosques de la cuenca del Duero (Provincia de Zamora). Modelización de la pérdida de peso. En: *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 6:339-335.
- Hernández, E., J. Hernández, C. Avendaño, G. López, G. Garrido y E. Romero. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 33(2), 232-246. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000200232&lng=es&tlng=es
Consultado el 28 de enero de 2022
- Ken-Ichi M., W.S. Da Silva, P. Alvim. 1997. Productivity of Leaves of a Tropical Tree, *Theobroma cacao*, Grown Under Shading, in Relation to Leaf Age and Light Conditions within the Canopy. *The New Phytologist* 137(3): 463-472.
- Latruffe, L., A. Diazabakana, C. Bockstaller, Y. Desjeux, J. Finn, E. Kelly, S. Uthes, 2016. Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118(3), 123–130. <https://doi.org/10.7896/j.1624>
- Lebacqz, T., P. V. Baret y D. Stilmant, 2013. Sustainability indicators for livestock farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), 311–327. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0121-x>
- León, J. 2000. *Botánica de los cultivos tropicales*. (3a. ed.), San José, Costa Rica, Agroamérica, IICA. 545 p.
- Lindo, P. 2008. Los conceptos que han guiado los primeros pasos en el trabajo con cadenas de valor y equidad de género en Centroamérica.
- López, O., S. Ramírez, S. Espinosa, J. Villarreal, A. Wong. 2015. Diversidad vegetal y sustentabilidad del sistema agroforestal de cacao en la región de la selva de Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(2): 55 – 63. ISSN 2334-2501.
- López, C., T. Restrepo y Solari, S. 2020. Diversidad y ecología de mamíferos no voladores asociados a un sistema agroproductivo de cacao, Granja Yariguíes, Santander, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 42 (112), e1. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v42n112a01>

- Martínez, H.J., C.F. Espinal y L. Ortiz, 2005. La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá DC).
- Martínez, D., M. Hernández y E. Martínez, 2013. La pimienta gorda en México (*Pimenta dioica* L. Merrill): avances y retos en la gestión de la innovación. Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN: 978-607-12-0325-0
- Margalef, R. 1980. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona. España.
- Monje, J., A. Hernández y H. Chacón, 2013. El aplicativo FINCAS, una metodología para el diagnóstico aproximado de sustentabilidad de predios rurales. Memorias del V congreso Latinoamericano de Agroecología. ISBN 978-950-34-1265-7.
- Montagnini, F y P.K.R. Nair, 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems, in: *New Vistas in Agroforestry*. Springer, pp. 281–295.
- Moreira D.M. 1994. Selección de chupones como método alternativo para rehabilitar plantaciones de cacao. In: 11ava. Conf. Int. De Invest. en cacao, Yamoussoukro, Côte D'Ivoire. Proceedings: 815-821.
- Morera, J. 2000. Agricultura, recursos naturales, medio ambiente y desarrollo sostenible en costa rica. *Agronomía Mesoamericana* (en línea).11 (1), 179-185 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711127>
Consultado el 25 de septiembre de 2019. ISSN.
- Nair, P.R. 1993. An introduction to agroforestry. Springer Science Business Media.
- Napitulu L.A. y K. Pamin.1994. Prospect of the application of side grafting technique on mature plants for cocoa rehabilitation in Indonesia. In: *Malaysian Int. Cocoa Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia. Proceedings: 54-57.
- Niether W., L. Armengot, C. Schneider y G. Gerold 2018. Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science* 75, 38. 16p. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9>
- Oke, D. y K. Odebiyi 2007. Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (122): 305-311.

- Olivera, A. 1997. Rehabilitación de plantaciones de cacao, en paraíso Tabasco. Proyecto de Investigación y transferencia de tecnología. Campo Experimental Huimanguillo, Centro de Investigación Regional del Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. P.8
- Ordoñez, J., A. Galicia, N. Venegas, T. Hernández, M. Ordoñez y R. Dávalos, 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. Madera y bosques. Vol. 21, núm. especial: 77-126.
- Orozco, L. y E. Somarriba, 2005. Árboles maderables en fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. Agroforestería en las Américas.43:43-44.
- Ortiz, A, L. Riascos. 2006. Simulación del almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz pavón Oken) en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. Tesis Ing Agroforestal. Nariño, CO, Universidad de Nariño. 111 p.
- Peano, C., N. Tecco, E. Dansero, V. Girgenti y F. Sottile 2015. Evaluating the Sustainability in Complex Agri-Food Systems: The SAEMETH Framework. *Sustainability*, 7(6), 6721–6741. <https://doi.org/10.3390/su7066721>
- Phillips, W. 2003. Nuevas expectativas en la lucha contra la moniliasis del cacao: origen, dispersión y diversidad genética del hongo *Moniliophthora roreri* incorporación de fuentes de resistencia a través de mejoramiento genético. 3 p.
- Quiroz V.J. y F. Amores 2002. Rehabilitación de plantaciones tradicionales de cacao en Ecuador. Revista Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 63: 73 - 80.
- Prause, J., G. Arce y P. Angeloni, 2003. Variación mensual en el aporte de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Humado (Argentina). Revista de Ciencias Forestales- Quebracho N. 10 diciembre 2003.
- Ramírez, S. 2008. La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. Tecnología en marcha (Costa Rica) 21(1): 97-110
- Ramírez, S., O. López, S. Espinosa, J. Villarreal, 2009. Guía práctica para la renovación de plantaciones improductivas de cacao. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. UNACH, Fundación Produce Chiapas. 73 p.

- Ramírez, A., E. García, J.J. Obrador, O. Ruiz, y W. Camacho, 2013. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 29(3):215-230
- Ramírez, G., E. Torres, N. Cruz, S. Alava, A. Barrera y M. Jiménez, 2016. Biomasa de hojas caídas y otros indicadores de sustentabilidad en asociaciones de especies forestales con cacao “CCN51” en la zona Central del Litoral ecuatoriano. *Revista Ciencia y Tecnología*. ISSN-e 1390-4043, ISSN 1390-4051, Vol. 9, Nº. 2, 2016. Pp. 29-39
- Ramos, R. R. 2001. Análisis del uso sustentable de los suelos con plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México, aplicando sistemas de información geográfica. Tesis Maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados Campus, Montecillo. Edo. México. 146 p
- Rodríguez, S. N. 2001. Manejo Integral del Cultivo del Cacao. Facultad de agronomía de la U.C.V.
http://cacao.fundacite.org.gov.ve/aragua/manual_establ_viveros.pdf.
Consultado el 10 de octubre de 2020
- Rumiz, D. I. 2010. Roles ecológicos de los mamíferos medianos y grandes. En: R. B, Wallace, H. Gómez, Z. R, Porcel, y D. I, Rumiz (Eds.). *Distribución, ecología y conservación de los mamíferos medianos y grandes de Bolivia* (pp. 53-73). Bolivia: Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño.
- Salgado, M., N. Ibarra, S. Macías y O. López. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32(11):763-768.
- Salgado, M. G., Espinoza, S., Lerma, J. N., Moreno, S. Y., López, J. F. 2009. Cuantificación, descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Salvador, P., L. C. Cámara, J. L. Martínez, R. Sánchez y E. Valdés. 2019. Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y Bosques*, 25(1). Tabasco, México. e2511638. doi: 10.21829/myb.2019.2511638.

- Sánchez, F., J. Pérez, J. Obrador, A. Sol, O. Ruiz, 2016. Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe14), 2711-2723. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016001002711&lng=es&tlng=es
Consultado el 16 de febrero de 2021
- Sánchez, E. L., D. Parra, y Rondón, O. 2007. Poda del árbol de cacao. Ciencia y producción vegetal. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado de Táchira. La Asunción, Venezuela. 67 p.
- Santos, A., E. L. Peralta, J. Buysse, E. Chávez y C. Arias 2016. Determinantes de adopción de técnicas y uso de bio-fertilizantes en la rehabilitación de plantaciones de cacao nacional en Ecuador. La quinta ola del progreso de la Humanidad “la protección del medio ambiente” Vol.1: 31-43. http://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas_cientificas/quinta-ola-CIEA-EA-DAT-002.pdf
Consultado el 18 de abril de 2021
- Segura, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Turrialba: Proyecto Captura de Carbono y Desarrollo de Mercados Ambientales en Sistemas Agroforestales Indígenas con Cacao en Costa Rica (TF-052118), 2005. 139 p.
- SIAP. SADER. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Solari, S., J. Rodríguez, E. Vivar, y P. Velazco, 2002. A framework for assessment and monitoring of small mammals in a lowland tropical forest. *Environmental monitoring and assessment*, 76: 89-104. DOI: 10.1023/A:1015272905263.
- Somarriba, E., M. Trivelato, M. Villalobos, A. Suárez, P. Benavides, y K. Morán. 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., H. Andrade, M. Segura y M. Villalobos. 2008 ¿Cómo fijar carbono atmosférico, certificarlo y venderlo para complementar los ingresos de productores indígenas de Costa Rica? *Agroforestería en las Américas* 46:81-88.

- Somarriba, E., R. Cerda, L. Orozco, M. Cifuentes, H. Davila, T. Espin, H. Mavisoy, G. Ávila, E. Alvarado, V. Poeva, C. Astorga y E. Deheuvelds. 2012. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central América. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 173. 46-57
- Taiwo, O., M. O. Ogunlade, K. O. Ayegboyin, A. O. Famaye, D. O. Adeniyi, V. A. Oyedokun, S. A. Adeosun y K. B. Adejobi 2015. Factors affecting the practice of cocoa rehabilitation techniques in Nigeria: A case of South-west and South-south geo-ecological zone. *International Journal of Advance Agricultural Research* 3(2): 25-30. doi.org/10.33500/ijaar.2015.03.004
- Vaast, P y E. Somarriba, 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agrofor. Syst.* 88: 947–956.
- Valentini, R., G. Matteucci y A.J. Dolman. 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404, 861–865.
- Vaast, P. y E. Somarriba. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agrofor. Syst.* 88: 947–956.
- Vandame, R., R. Ayala., J. Esponda. 2013. Diversidad de abejas: el caso de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. pp. 233-239. En: *La biodiversidad en Chiapas: Estudio del Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.
- Vázquez, C., A. Batis, M. Alcocer, M. Gual, y C. Sánchez. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
- Vázquez, L. Z., R. Suárez, N. Guarat, E. Sánchez. 2004. Principales Requerimientos Agroecológicos para el establecimiento de *Theobroma cacao* L. en Cuba. *Revista electrónica Hombre, ciencia y tecnología*. http://www.gtmo.inf.cu/revista%20electronica/numero_39/principales%20requerimientos%20agroecologicos.html
- Wehbe, M., A. Tonolli, 2015. Propuesta conceptual y analítica de la sustentabilidad. In R. Á. Seiler A. M. Vianco (Eds.), *Metodología para generar indicadores de sustentabilidad de sistemas productivos*. Región Centro-Oeste de Argentina. Rio Cuarto, Argentina.
- Wiersum, K.F., 1981. Outline of the agroforestry concept. In, K.F.Wiersum, *viewpoints on Agroforestry: 1-23*. Hinkeloord, Agricultural University Wagenigen.

- Wilio, F., A. Sol y A. Galindo. 2015. Evaluación de la rentabilidad económica y captura de carbono en plantaciones de cacao en el plan Chontalpa, Tabasco. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. Vol. 2 Núm. 1, 2016, pp. 53-72. ISSN electrónico 2410-7980.
- Yuliasmara, F., A. Wibawa, A. Prawoto. 2008. Carbon Stock in Different Ages and Plantation System of Cocoa. Allometric Approach. *Pelita Perkebunan: Coffee and Cocoa Research Journal* 25(2), 86—100
- Zarco, V. M., J. L. Valdez, A. Pérez y O. Castillo. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal agua blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 26(1):1-1
- Zavala, W., E. Merino y P. Peláez, 2018. Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493501. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.04>
- Zúñiga, C. L. y G.E Arévalo. 2008. Clima, suelo y producción de cacao. Instituto de cultivos tropicales, San Martín, Perú. <http://www.ict-peru.org/ITClima.htm>

7. ANEXOS

CUADRO A 1. Encuesta: Estado de adopción de tecnologías por los productores de cacao

Nombre del productor: _____ Edad _____ Municipio: _____
 Comunidad _____ Entrevistador: _____
 Fecha: _____ Hectáreas de cacao: _____

A. Manejo de enfermedades con énfasis en monilia

1. ¿Ha asistido a los cursos de capacitación impartidos por el equipo UNACH-CI? si () no (). Si no asistió, cual es la razón: _____
2. Aplica lo aprendido en su plantación SI () NO ().
3. Por favor indique las Tecnologías que aplica en su plantación:

SI	Tecnología	Frecuencia con que realiza la practica	SI	Tecnología	Frecuencia con que realiza la practica
	3.1 Poda del cacao			3.4 Preparación y aplicación de caldo sulfocálcico	
	3.2 Regulación de la sombra			3.5 Aplicación de cal al tronco y frutos	
	3.3 Remoción de frutos enfermos			3.6 Aplica otro fungicida: cuál?	
3.7 En caso de no aplicar ninguna tecnología: ¿cuál es la razón? () no está convencido () no tiene dinero para comprar los productos () No se siente capacitado () Otra razón:					

B. Renovación de la plantación

- 4.1. Está renovando su plantación? SI () NO () ¿Cuáles técnicas está aplicando?

4.2 Deja Chupón basal sin injertar SI () NO () 4.3 Siembra de plantas de cacao de injerto debajo del cacao viejo. SI () NO () ¿Cuántas ha sembrado? Edad 4.4 Injertado en chupones basales SI () NO ()	4.5 ¿Sabe injertar? SI () NO () 4.6 Proporción de aboles injertados: () Ningún árbol () ¼ de los arboles () la mitad de los arboles () ¾ de los árboles. () Toda la plantación	4.7 Tiene arboles seleccionados por rendimiento o calidad? SI () NO () ¿Cuántos? 4.8 En caso de no aplicar ninguna tecnología: ¿cuál es la razón? () no está convencido () No tiene dinero para comprar los productos. () No se siente capacitado. () Otra razón:
---	---	---

C. Manejo del suelo y la Nutrición del cacao

5.1 ¿Conoce el estado de fertilidad de su suelo cultivado con cacao? SI () NO ()	5.2. Prepara el abono líquido Magro? SI () NO ()	5.3. Con que frecuencia lo aplica: 5.4. Dosis por ha	5.5. ¿Aplica cal y ceniza al suelo? SI () NO () 5.6. Cantidad por árbol: 5.7. Frecuencia:
5.8. Aplica otro tipo de fertilizante? SI () NO () 5.9. Cual: 5.11. Cantidad por árbol 5.10. Frecuencia:		5.11. En caso de no aplicar ningún tipo de fertilización. ¿Cuál es la razón? () No está convencido. () No tiene dinero para comprar los productos. () No se siente capacitado. () Otra razón, ¿cuál?:	

RIQUEZA FLORÍSTICA

CUADRO A 2. Familias, nombre común, científico y frecuencia de especies presentes en el sistema tradicional en proceso de tecnificación de cacao

Familia	Nombre científico	Nombre común	Número de árboles	Frecuencia relativa de las especies	Usos
Arecaceae	<i>Acrocamia Aculeata</i>	Palma coyol	125	36.23%	C, Ind
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	28	8.12%	M, Ar, Lñ
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Ceiba	22	6.38%	M, S,Md, Fo, Ind,MI
Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i> L.	Pimienta	22	6.38%	S, C, Umh, Ind, Md
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Maculís	18	5.22%	M,S, Ar, Lñ, Umh, Md, MI, Cs
Simarubácea	<i>Bursera simaruba</i> L.	Palo mulato	12	3.48%	M, Up, Ar, Lñ, Ind, Fo, Md
Moraceae	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	Ramón	11	3.19%	Up, Umh, Tc
Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Tatuán	11	3.19%	M, Oc, MI
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	9	2.61%	Fr, M, Umh, Or, Cs
Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill	Moté	9	2.61%	S, Or, Ar, Md, C
Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) Moore	Zapote	8	2.32%	Fr, S, M
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp	Cocoite	7	2.03%	S, Fo, M, Ar, Lñ, C, Umh, Ind, MI,
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	7	2.03%	Fr, S
Verbenaceae	<i>Lippia myriocephala</i> Sch. y Cham.	Cesniche	7	2.03%	Oc, Lñ
Arecaceae	<i>Roystonea regia</i> (HBK.) O. F. Cook	Palma real	5	1.45%	Or, Tc
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	Guarumo	5	1.45%	S, M, Md
Moraceae	<i>Castilla elástica</i> Sessé in Cerv.	Hule silvestre	5	1.45%	Lñ, Ind, Md, Tc
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Amate	5	1.45%	Up, Md
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> Willd	Caoba	4	1.16%	M, S, Md
Mimosaceae	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	Dormilón	4	1.16%	M, Fo, Oc, Tc, Umh
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	Guácimo	4	1.16%	Fr, Lñ, M, Fo
Fabaceae	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Samán	3	0.87%	M,Fo
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb.	Naranja dulce	3	0.87%	Fr, MI
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	1	0.29%	Fr, S, Md
Boraginaceae	<i>Cordia stellifera</i> I.M. Johnst	Candelero	1	0.29%	M, Tc
Clusiaceae	<i>Mammea americana</i> L.	Mamey	1	0.29%	Fr, S, M
Malvaceae	<i>Hampea nutricia</i> Fryxell	Majagua	1	0.29%	Md
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Jagua	1	0.29%	Fr, Md, M, Lñ
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i> L.	Naranja agria	1	0.29%	Fr
Rutaceae	<i>Zanthoxylum kellermanii</i> P. Wilson	Rabo de lagarto	1	0.29%	M, Tc
Salicaceae	<i>Salix chilensis</i>	Sauce	1	0.29%	S, Or, Lñ
Sterculiaceae	<i>Sterculia apetala</i>	Bellota	1	0.29%	M, Fo, Ind,C, MI
Sterculiaceae	<i>Theobroma bicolor</i> Humb.y Bonpl.	Pataxte	1	0.29%	C
Tiliaceae	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	Jolotzin	1	0.29%	Tc
Total			345	100.00%	

Usos: M=Madera; S=Sombreamiento; Fr= Frutal; C=Comestible; Fo= Forraje; Lñ= Combustible leña; Md= Medicinal; MI=Melífera; Ar= Artesanal; Or= Ornamental; Ind=Industrial; Up= Postes para cerca; Umh= Elaboración de mangos para herramientas; Tc= Construcción de techos p/casas rurales; Oc= Orcones para casas; Cs=Conservación de suelos

CUADRO A 3. Familias, nombre común y científico y frecuencia de especies presentes en el sistema moderno tecnificado de cacao

Familia	Nombre científico	Nombre común	Número de árboles	Frecuencia relativa de las especies	Uso
Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i> L.	Pimienta	334	55.30%	S, C, Umh, Ind, Md
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Maculís	91	15.07%	M,S, Ar, Lñ, Umh, Md, MI, Cs
Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Tatuán	42	6.95%	M, Oc, MI
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	Guácimo	35	5.79%	Fr, Lñ, M, Fo
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	9	1.49%	M, Ar, Lñ
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Amate	9	1.49%	Up, Md
Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb	Melina	7	1.16%	M, Lñ, Md
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	6	0.99%	Fr, M, Umh, Or, Cs
Mimosaceae	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	Dormilón	6	0.99%	M, Fo, Oc, Tc, Umh
Moraceae	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	Ramón	6	0.99%	Up, Umh, Tc
Verbenaceae	<i>Lippia myriocephala</i> Sch. y Cham.	Cesniche	6	0.99%	Oc, Lñ
Boraginaceae	<i>Cordia stellifera</i> I.M. Johnst	Candelerero	5	0.83%	M, Tc
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb.	Naranja dulce	5	0.83%	Fr,MI
Moraceae	<i>Artocarpus altilis</i> (Parq.) Forsb.	Castaña	4	0.66%	Fr, Md, M
Arecaceae	<i>Roystonea regia</i> (HBK.) O. F. Cook	Palma real	3	0.50%	Or, Tc
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Ceiba	3	0.50%	M, S,Md, Fo, Ind,MI
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	Guarumo	3	0.50%	S, M, Md
Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill	Moté	3	0.50%	S,Or, Ar, Md, C
Annonaceae	<i>Annona muricata</i> L.	Guanábana	2	0.33%	Fr, Lñ,Umh,MI
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp	Cocoite	2	0.33%	S, Fo, M, Ar, Lñ, C, Umh, Ind, MI
Fabaceae	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Samán	2	0.33%	M,Fo
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	2	0.33%	Fr, S
Moraceae	<i>Castilla elástica</i> Sessé in Cerv.	Hule silvestre	2	0.33%	Lñ, Ind, Md, Tc
Sterculiaceae	<i>Sterculia apetala</i>	Bellota	2	0.33%	M, Fo, Ind,C, MI
Tiliaceae	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	Jolotzin	2	0.33%	Tc
Tiliaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	Capulín	2	0.33%	Fr, S, Or, Lñ, Up, Fo, Ind, Md, MI
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	1	0.17%	Fr, S, Md
Capparidaceae	<i>Crataeva tapia</i> L.	Coscorrón	1	0.17%	Or, Up, C
Fabaceae	<i>Andira galeottiana</i> Standl.	Macayo	1	0.17%	Umh, Lñ
Fabaceae	<i>Delonix regia</i> (Boj.) Rot.	Flamboyant	1	0.17%	Or, Lñ, MI,
Fabaceae	<i>Haematoxylon campechianum</i> L.	Tinto	1	0.17%	Lñ,Up, Or, MI, Fo, Md
Moraceae	<i>Ficus microcarpa</i>	Yucateco	1	0.17%	S
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba	1	0.17%	Fr,Lñ, Umh, Md
Rutaceae	<i>Citrus limettioides</i> Tanaka	Limón dulce	1	0.17%	Fr
Rutaceae	<i>Zanthoxylum kellermanii</i> P. Wilson	Rabo de lagarto	1	0.17%	M, Tc
Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) Moore	Zapote	1	0.17%	Fr, S, M
Simarubácea	<i>Bursera simaruba</i> L.	Palo mulato	1	0.17%	M, Up, Ar, Lñ, Ind, Fo, Md
Total			604	100.00%	

CUADRO A 4. Principios fundamentales del sistema tradicional en proceso de tecnificación

Principios Fundamentales		A	B	TOTAL
Acción social colectiva	Un proceso de acción social colectiva en ejecución	4.5	3.9	8.4
Desarrollo participativo	Un desarrollo participativo consolidado	2.14	1.64	3.8
Circulación de productos	La circulación alternativa de productos, bienes y servicios	2.5	1.92	4.4
Producción responsable	Producción y consumo responsable establecido, definido y en ejecución	2.86	2.86	5.7
Solución de crisis	Una generación de elementos que aporten a dar solución a la crisis ecológico y social, desde lo local hacia lo global	3	2.7	5.7
Co-evolución social	Una estructura de resiliencia que aporte al sustento de la co-evolución social y natural	3.13	2.94	6.1

CUADRO A 5. Principios fundamentales del sistema moderno tecnificado

Principios Fundamentales		A	B	TOTAL
Acción social colectiva	Un proceso de acción social colectiva en ejecución	1	0.7	1.7
Desarrollo participativo	Un desarrollo participativo consolidado	2.86	2.71	5.6
Circulación de productos	La circulación alternativa de productos, bienes y servicios	1.67	1.58	3.3
Producción responsable	Producción y consumo responsable establecido, definido y en ejecución	3.57	3.29	6.9
Solución de crisis	Una generación de elementos que aporten a dar solución a la crisis ecológico y social, desde lo local hacia lo global	1	0.9	1.9
Co-evolución social	Una estructura de resiliencia que aporte al sustento de la co-evolución social y natural	1.88	1.63	3.5

CUADRO A 6. Objetivos del enfoque del sistema tradicional en proceso de tecnificación

Objetivos del Enfoque		A	B	TOTAL
Enfoque holístico	Que se haga desde un enfoque holístico y desde una óptica sistémica. Que se muestre que existen varios modos de hacer agricultura y cada uno responde a su entorno	3.75	3.69	7.4
Uso del territorio	Que se puede hacer uso múltiple del territorio; producción, servicios ecológicos, paisaje...	2	1.4	3.4
Valores locales	Que lo local es importante. El potencial endógeno debe ser el fundamento de organización y planificación	4	3.1	7.1
Ética social	La ética es un valor trascendente, y no evadible	5	4.3	9.3
Enseñanza-aprendizaje	Es un aula abierta permanente donde el enseñar, entender y fomentar las interrelaciones entre los componentes del sistema, muestran un organismo íntegro	3	2.8	5.8
Promoción del enfoque	Se debe generar y sustentar una ampliación y redefinición de los límites del sistema y sus modelos de usos sustentables	4.17	2.75	6.9
Ciencia y sociedad	Se reconoce el conocimiento científico y otros tipos de conocimientos, y se encuentra los formatos para unirlos, pero se respeta la forma de hacer ciencia con la gente	5	4.63	9.6
				7.1

CUADRO A 7. Objetivos del enfoque del sistema moderno tecnificado

Objetivos del Enfoque		A	B	TOTAL
Enfoque holístico	Que se haga desde un enfoque holístico y desde una óptica sistémica. Que se muestre que existen varios modos de hacer agricultura y cada uno responde a su entorno	3.13	2.81	5.9
Uso del territorio	Que se puede hacer uso múltiple del territorio; producción, servicios ecológicos, paisaje...	1	0.9	1.9
Valores locales	Que lo local es importante. El potencial endógeno debe ser el fundamento de organización y planificación	4	3.8	7.8
Ética social	La ética es un valor trascendente, y no evadible	5	4.5	9.5
Enseñanza-aprendizaje	Es un aula abierta permanente donde el enseñar, entender y fomentar las interrelaciones entre los componentes del sistema, muestran un organismo íntegro	3	2.8	5.8
Promoción del enfoque	Se debe generar y sustentar una ampliación y redefinición de los límites del sistema y sus modelos de usos sustentables	3.33	2.08	5.4
Ciencia y sociedad	Se reconoce el conocimiento científico y otros tipos de conocimientos, y se encuentra los formatos para unirlos, pero se respeta la forma de hacer ciencia con la gente	2.5	2.25	4.8
				5.9