

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Sucre

Autores

Judith del Carmen Martínez Atencia
Rafael Segundo Novoa Yáñez
Darwin Hernando Martínez Botello
Manuel Ramón Espinosa Carvajal
Antonio María Martínez Reina
Liliana María Grandett Martínez
José Luis Contreras Santos
María del Valle Rodríguez Pinto





Modelo productivo para el **cultivo de cacao** **(*Theobroma cacao* L.)** en el departamento de Sucre

Autores

Judith del Carmen Martínez Atencia

Rafael Segundo Novoa Yáñez

Darwin Hernando Martínez Botello

Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Antonio María Martínez Reina

Liliana María Grandett Martínez

José Luis Contreras Santos

María del Valle Rodríguez Pinto

AGROSAVIA
EDITORIAL



Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Sucre. / Judith del Carmen Martínez Atencia [y otros siete] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

188 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye tablas, fotos, gráficos y referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-740-546-0

ISBN e-Book: 978-958-740-547-7

1. *Theobroma cacao* 2. Manejo del suelo 3. Medidas fitosanitarias 4. Cosecha 5. Indicadores económicos 6. Sucre (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación Turipaná. Kilómetro 13 vía Montería - Cereté. Código postal 687527, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los proyectos “Investigación, Desarrollo e Innovación de cacaos especiales bajo arreglos agroforestales (2015-2022) con BPIN 2013000100255”; “Recomendaciones técnicas de sistemas alternativos de producción intensiva y tradicionales de cacao con énfasis en arreglos agroforestales (SAF)” (2013-2017); “Estrategias de manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del cultivo de cacao” (2013-2017); “Mejoramiento genético del cultivo de cacao mediante la selección varietal y propagación de genotipos sobresalientes, con participación comunitaria en fincas de agricultores en las principales regiones productoras de Colombia” (2008-2011); “Esquemas de fertilización convencional y orgánica para el sistema de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su efecto en el rendimiento y calidad del grano en las principales zonas productoras de Colombia” (2008-2011); “Sistema de producción de cacao bajo sistemas agroforestales como estrategia para la competitividad del cultivo en Colombia” (2008-2011); “Evaluación de clones de cacao regionales de alto rendimiento bajo nuevos arreglos forestales con maderas finas tropicales en zonas productoras de Colombia” (2008-2011); “Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de la moniliasis” (2005-2008); “Evaluación de la respuesta a moniliasis de algunos clones universales y regionales de cacao” (2005-2008) y “Evaluación del potencial adaptativo y productivo de clones regionales promisorios de cacao en zonas productoras de Colombia” (2005- 2008), entre otros.

Colección Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Modelo Productivo
Primera impresión: 500 ejemplares

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Edición: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Luz Ángela Uscategui

Diseño: Mónica Cabiativa

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Impresión: DGP Editores S.A.S.

Impreso en Bogotá, Colombia, junio de 2022

Printed in Bogotá

Citación sugerida: Martínez Atencia, J. C., Novoa Yáñez, R. S., Martínez Botello, D. H., Espinosa Carvajal, M. R., Martínez Reina, A. M., Grandett Martínez, L. M., Contreras Santos, J. L., & Rodríguez Pinto, M. V. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Sucre*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405477>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Contenido

- 13 Los autores
- 19 Agradecimientos
- 21 Introducción

CAPÍTULO I. Área geográfica y entorno ambiental — 25

- 26 Características naturales del departamento de Sucre
- 27 Geología
- 30 Zonas de aptitud de suelo
- 32 Entorno climático y ambiental del departamento de Sucre para el cultivo de cacao
- 33 Precipitación
- 34 Radiación solar
- 34 Humedad relativa del aire
- 35 Temperatura media
- 35 La evaporación

CAPÍTULO II. Origen, distribución y clasificación taxonómica — 37

- 39 Taxonomía y botánica
- 40 Morfología del árbol de cacao
- 40 Forma del árbol
- 41 Tallos y ramas
- 42 Hojas
- 43 Sistema radicular
- 44 Flores
- 46 Frutos

- 48 Tipos de cacao
- 48 Criollo
- 48 Forastero
- 49 Trinitario

CAPÍTULO III. Recursos genéticos y propagación ————— 51

- 51 Descripción del material vegetal más usado en el territorio
- 51 Características de los materiales
- 62 Medios y métodos de propagación

CAPÍTULO IV. Exigencias edafoclimáticas, riego y drenaje ————— 65

- 66 Manejo del recurso suelo

CAPÍTULO V. Sistemas agroforestales con cacao ————— 87

- 89 Servicios ecosistémicos ofertados por los sistemas agroforestales
- 89 Sistemas de siembra
- 91 Sombrío

CAPÍTULO VI. Prácticas culturales ————— 95

- 95 Control manual de los frutos
- 97 Fertilización
- 100 Fertilización en la siembra
- 103 Manejo de residuos de la cosecha
- 103 Usos del lixiviado para producción de vino
- 104 Podas
- 106 Materiales y herramientas utilizadas
- 107 Métodos
- 107 Recomendaciones de manejo para una poda oportuna

CAPÍTULO VII. Rehabilitación de plantaciones improductivas — 109

- 109 Diagnóstico de la plantación
- 111 Adecuación de la parcela
- 112 Siembra de especies en el sistema
- 112 Selección de árboles
- 116 Etapa posinjertación

CAPÍTULO VIII. Manejo integrado de enfermedades y de artrópodos plaga — 119

- 119 Enfermedades de cultivo de cacao
- 120 Factores que favorecen las enfermedades en el cultivo de cacao
- 121 Enfermedades y artrópodos plaga de control no oficial para el cultivo de cacao en Colombia
- 144 Guía de manejo fitosanitario recomendado para enfermedades y artrópodos plagas asociadas al cultivo del cacao
- 145 Principales labores asociadas al manejo preventivo fitosanitario del cultivo de cacao

CAPÍTULO IX. Cosecha y poscosecha — 147

- 148 Recolección
- 150 Partida de frutos y recolección de granos
- 151 Etapa del beneficio
- 160 Criterios fisicoquímicos de selección de muestra

CAPÍTULO X. Transformación y valor agregado ————— **163**

CAPÍTULO XI. Indicadores económicos ————— **167**

168 Características socioeconómicas de la muestra encuestada

169 Tecnología local de producción

172 Retornos económicos

175 Referencias

Lista de figuras

Figura 1	Distribución de las clases de restricción para el establecimiento del cultivo de cacao en el departamento de Sucre	28
Figura 2	Aptitud del suelo para actividades agropecuarias	31
Figura 3	Precipitación en mm para el departamento de Sucre	33
Figura 4	Rendimiento de grano de cacao por departamento	38
Figura 5	Sistema productivo de cacao en el departamento de Sucre, Colombia: áreas y rendimientos históricos	39
Figura 6	Árbol de cacao	40
Figura 7	Partes de la planta de cacao	41
Figura 8	Hojas del árbol de cacao	42
Figura 9	Raíz con malformación de plántulas de cacao en condiciones de vivero	43
Figura 10	Flor solitaria del árbol de cacao	44
Figura 11	Inflorescencia del árbol del cacao	45
Figura 12	Mazorca de cacao	46
Figura 13	Semillas de cacao	47
Figura 14	Características más importantes del material de cacao TCS 01	53
Figura 15	Características más importantes del material de cacao TCS 06	54
Figura 16	Características más importantes del material de cacao ICS 95	56
Figura 17	Características más importantes del material de cacao ICS 1	57

Figura 18	Características más importantes del material de cacao ICS 60	58
Figura 19	Características más importantes del material de cacao ICS 39	59
Figura 20	Características más importantes del material de cacao EET 8	61
Figura 21	Características más importantes del material de cacao CCN 51	62
Figura 22	Adecuación del lote para el establecimiento del sistema agroforestal	73
Figura 23	Toma de muestras y mediciones en suelo	74
Figura 24	Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración antes de la intervención con los SAF con cacao	76
Figura 25	Órdenes de macrofauna edáfica presentes en las diferentes localidades antes de la intervención con SAF con cacao	78
Figura 26	Abundancia absoluta de individuos de macrofauna por metro cuadrado antes de la intervención con sistemas agroforestales con cacao.	80
Figura 27	Porcentajes de órdenes de la macrofauna edáfica identificados durante el levantamiento de la línea base	81
Figura 28	Comportamiento de la densidad aparente (D_a , g cm^{-3}) y porosidad total (P_t , %) del suelo luego de dos años de intervención con sistemas agroforestales con cacao	82
Figura 29	Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración de las raíces en el suelo (R_{MP} , MPa) luego de dos años de intervención con sistemas agroforestales con cacao	83
Figura 30	Contenido de nutrientes en el suelo en sistemas agroforestales luego de dos años de intervención (Seg_2019) vs. nutrientes iniciales en el suelo (línea Base , Lb_2017)	
Figura 31	Índice de diversidad basado en el análisis de Simpson antes de la intervención (Lb_2017) y dos años luego de haber establecido los sistemas agroforestales (Seg_2019)	85

Figura 32	Carbono orgánico acumulado en el suelo antes de la intervención con los SAF con cacao (Lb_2017) vs. seguimiento dos años después de establecidos (Seg_2019)	86
Figura 33	Localización de parcelas con sistemas agroforestales	88
Figura 34	Diseño de sistema agroforestal con sombrío permanente en surcos dobles con barreras.	91
Figura 35	Número de frutos por planta bajo cuatro niveles de fertilización	98
Figura 36	Número de cojines florales por planta	99
Figura 37	Fertilización manual al momento de la siembra de patrones y árboles injertados de cacao	101
Figura 38	Fertilización edáfica manual en plantas de cacao bajo arreglo SAF en el departamento de Sucre	102
Figura 39	Diagnóstico de la plantación	110
Figura 40	Trazado y estacado del lote establecido para rehabilitación	111
Figura 41	Proceso de renovación por copa por injerto malayo.	115
Figura 42	Proceso de despatrone y cicatrización de corte en injerto malayo.	116
Figura 43	Evaluación cuantitativa del grosor de tallo y copa en injerto malayo en plantaciones rehabilitadas en el departamento de Sucre	117
Figura 44	Evaluación cuantitativa del grosor de tallo y copa en injerto de aproximación en plantaciones rehabilitadas en el departamento de Sucre	118
Figura 45	Síntomas de la incidencia del patógeno	122
Figura 46	Principales síntomas y signos asociados a <i>Phytophthora</i> sp. en cultivos de cacao	125
Figura 47	Principales síntomas y signos asociados a <i>Rosellinia</i> sp. en el cultivo del cacao	129
Figura 48	Características del manejo correctivo de <i>Rosellinia</i> sp. en el cultivo del cacao	131

Figura 49	Principales síntomas asociados a la muerte descendente en el cultivo del cacao	132
Figura 50	Principales síntomas y signos asociados a antracnosis en frutos y hojas en el cultivo de cacao	133
Figura 51	Principales síntomas y signos asociados a <i>Ceratocystis</i> sp. producida por el insecto <i>Xyleborus</i> sp. en plantas de cacao	134
Figura 52	Principales síntomas y signos de una planta enferma por <i>Corticium</i> sp. o mal rosado en plantas de cacao	135
Figura 53	Resultados a la 9ª semana de evaluación de cuatro tratamientos empleados en el control de la moniliasis	138
Figura 54	Síntomas visuales generados por antracnosis (<i>Colletotrichum</i> sp.) en una planta bajo condiciones de vivero	139
Figura 55	Secuencia de labores y prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustadas a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Sucre	143
Figura 56	Mazorcas maduras	149
Figura 57	Mazorcas de mala calidad con granos sobremaduros, enfermos y germinados, los cuales no son aptos para la fermentación	150
Figura 58	Extracción de los granos de cacao de la placenta.	151
Figura 59	Módulos de fermentación	154
Figura 60	Módulo de fermentación tipo escalera durante el proceso de remoción de la masa de cacao	155
Figura 61	Camas de madera de secado de almendras de cacao fermentadas	156
Figura 62	Prueba manual para determinar el contenido de humedad de los granos de cacao	157
Figura 63	Proceso manual de separación de la cascarilla y limpieza de la almendra de cacao	158
Figura 64	Prueba de calidad en laboratorio, separación y tamizaje de muestras	159
Figura 65	Respuesta del comportamiento de los sabores básicos en los fermentadores	161

Lista de tablas

Tabla 1	Descripción de requerimientos para el cultivo de cacao	29
Tabla 2	Descripción taxonómica de la planta de cacao	39
Tabla 3	Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Colosó, Sucre, 2017	68
Tabla 4	Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Ovejas, Sucre, 2017	69
Tabla 5	Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Morroa, Sucre, 2017	70
Tabla 6	Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de San Marcos, corregimiento Buenavista, Sucre, 2017	71
Tabla 7	Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Majagual, corregimiento La Sierpe, Sucre, 2017	72
Tabla 8	Comportamiento de parámetros fisicoquímicos de suelo antes de la intervención con sistemas agroforestales con cacao, 2017	75
Tabla 9	Órdenes de macrofauna dominantes en las localidades evaluadas antes de la intervención con SAF con cacao, 2017	79
Tabla 10	Estimación de nutrientes requeridos por el cacao en algunos estados de desarrollo	98
Tabla 11	Enfermedades de mayor importancia en el cultivo de cacao en el departamento de Sucre, Colombia	119
Tabla 12	Artrópodos plaga asociados al cultivo de cacao en Colombia	140
Tabla 13	Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) variedad nacional y variedad CCN 51	152

Tabla 14	Características requeridas del grano de cacao fermentado	160
Tabla 15	Parámetros evaluados para el índice de fermentación mediante la prueba de corte	162
Tabla 16	Porcentaje de cascarilla, índice de grano y porcentaje de humedad en los granos fermentados y secos	162
Tabla 17	Resultados bromatológicos en los tres fermentadores	162
Tabla 18	Características químicas del grano seco para los diferentes fermentadores	162
Tabla 19	Características de los agricultores de los sistemas agroforestales con cacao en el departamento de Sucre, 2020	168
Tabla 20	Principales sistemas de producción en la zona de estudio	169
Tabla 21	Costos de establecimiento de una hectárea de cacao en asocio con árboles maderables en tres localidades del departamento de Sucre	171
Tabla 22	Costos de mantenimiento a partir del segundo año de una hectárea de cacao en asocio con árboles maderables en tres localidades del departamento de Sucre	172
Tabla 23	Retornos económicos de un sistema agroforestal con cacao para el departamento de Sucre, 2021	173

Los autores

Judith del Carmen Martínez Atencia

Correo: jcmartinez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0492-2486>

Ingeniera agrícola con maestría y doctorado en Ciencias Agrarias, con énfasis en conservación de suelos, nutrición de plantas y agroforestería de la Universidad Nacional de Colombia. Ha liderado proyectos de investigación sobre manejo y conservación de suelos y estimación de indicadores de servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles, forestales, agroforestales y agrícolas. Actualmente, es investigadora PhD adscrita a la Red de Cultivos Permanentes del Centro de Investigación Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Rafael Segundo Novoa Yáñez

Correo: rnovoa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5566-618X>

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en suelo de la Universidad Nacional de Colombia, área fisicoquímica de suelos y nutrición vegetal. Investigador máster adscrito a la Red de Cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Líder de proyectos de investigación en producción y multiplicación de material vegetal; nutrición de cultivos, frutales, cacao y pasturas; rehabilitación de plantaciones improductivas, manejo sostenible de cultivos como aguacate y cacao; conservación y recuperación de suelos degradados.

Darwin Hernando Martínez Botello

Correo: dmartinezb@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6189-1607>

Ingeniero biotecnólogo, especialista en Biotecnología Agrícola y máster en Ciencias Agrarias con énfasis en fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con experiencia en manejo productivo del cultivo del cacao, enfermedades y plagas, caracterización morfológica de materiales, selección de materiales genéticos de cacao con requerimientos de producción y calidad, y rehabilitación de plantaciones. Es autor de ocho variedades de cacao de Fedecacao y ha publicado artículos científicos en revistas indexadas. Ha liderado proyectos de investigación e innovación científica en el país y es investigador máster senior, actualmente se desempeña como gestor de innovación de la red de cacao de AGROSAVIA.

Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Correo: mesinosa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8939-5472>

Ingeniero agrónomo, con maestría en Ciencias Ambientales con énfasis en biodiversidad de la Universidad de Córdoba. Cuenta con experiencia en investigación básica y aplicada en manejo de suelos, manejo del recurso hídrico, producción intensiva de especies forrajeras, análisis de modelos productivos y sus emisiones de gases de efecto invernadero, medición de servicios ecosistémicos, agroclimatología y manejo de cultivos. Experiencia en la medición de gases de efecto invernadero y su interacción con los sistemas productivos, diseño de modelos productivos intensivos y autosostenibles, implementación de estrategias de mitigación y adaptación para los diferentes escenarios climáticos en sistemas productivos hortícolas y frutales de clima cálido. Actualmente se desempeña con el cargo de investigador máster asociado del Centro de Investigación Turipaná- Agrosavia, adscrito a la red de Frutales.

Antonio María Martínez Reina

Correo: amartinezr@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9312-842X>

Economista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), con maestría en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia y doctorado en Ciencias Económicas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Fue investigador en sistemas de producción en el Instituto Colombiano Agropecuario desde 1988 por cuatro años, docente de tiempo completo de la UPTC. por dos años. Actualmente está vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el área de investigación desde 1994 Cargo Investigador PhD, en el Centro de Investigación Turipaná. Ha desarrollado proyectos de investigación en el área de evaluación de resultados de investigación e impacto institucional, regional y nacional de las tecnologías de producción agropecuarias, encadenamientos productivos y análisis de política sectorial. Ha ofrecido la cátedra universitaria de Microeconomía por más de 20 años. Además, profesor invitado del doctorado en ingeniería de alimentos de la universidad de Córdoba asignatura análisis agroeconómico y agroalimentario. Es autor principal de más de 40 artículos en revistas indexadas, Coautor de 15 artículos, ha escrito y publicado 8 capítulos de libro y está adscrito a la red de ganadería de Agrosavia como investigador PhD. Además, tiene trabajos de investigación económica en hortalizas y plantas aromáticas, cacao y en el sistema de producción de búfalos. Su más reciente publicación fue el Libro El cultivo de las Hortalizas en la Región Caribe de Colombia. Es el líder del Grupo Estudios Socioeconómicos de AGROSAVIA adscrito ante Minciencias y además par evaluador de la misma institución.

Liliana María Grandett Martínez

Correo: lgrandett@agrosavia.co

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-9755-2017>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Córdoba Colombia con maestría en Ciencias Ambientales con énfasis en manejo sostenibles de cultivos agrícolas. Cuenta con experiencia en manejo integrado de plagas para cultivos transitorios como algodón, maíz, hortalizas, pasturas, ñame. Además sus investigaciones se han centrado en biología y alternativas de manejo de diferentes artrópodos plaga claves, lideró el proyecto de Agricultura Urbana y Periurbana, espacios de investigación para agricultura familiar como contribución a la problemática de inseguridad alimentaria y nutricional, participa en proyectos como Introducción, cuarentena, establecimiento y evaluación de materiales genéticos élite de café canéfora (*Coffea canephora* P.); Transferencia de la oferta tecnológica en manejo integrado del cultivo de Cacao y buenas prácticas de beneficio en el departamento de Sucre; Plan de vinculación para las variedades de berenjena C015 y C029 para el Caribe Colombiano; y en esquemas de aseguramiento de calidad sanitaria (eas) en el sistema productivo de aguacate de Montes de María. Es especialista colaboradora en la obtención de la variedad de ahuyama (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir) AGROSAVIA La Plata y de ají (*Capsicum sinense* Jacques) AGROSAVIA Tropical. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas y actualmente se desempeña como investigadora máster vinculada a la Red de Hortalizas y al Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA en Cereté Córdoba.

José Luis Contreras Santos

Correo: jlcontreras@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8179-3430>

Ingeniero agrícola con maestría en Ciencias Agronómicas, con énfasis en ciencias del suelo de la Universidad Córdoba, Colombia. Ha liderado proyectos de investigación relacionado con el manejo y la conservación de suelos, estimación de servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles, agroforestales y agrícolas. Actualmente, es investigador máster adscrito a la Red De Cultivos Permanentes en el Centro de Investigación Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

María del Valle Rodríguez Pinto

Correo: mdelvrodriquez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4820-8287>

Ingeniera agrónoma con maestría en Ciencias Agronómicas con énfasis en sanidad vegetal de la Universidad de Córdoba, Colombia. Actualmente se desempeña en el cargo de investigadora máster del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA; adscrita a la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas, desempeñándose en el área de manejo integrado de cultivos, monitoreo de artrópodos y patógenos en diversos sistemas productivos como berenjena, ají dulce, ahuyama, aguacate, cacao, café canéfora, agricultura urbana y periurbana. También ha publicado un modelo productivo, libros y artículos científicos en revistas indexadas.



Agradecimientos

El Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Sucre se elaboró en el marco de desarrollo del proyecto “Investigación, desarrollo e innovación de cacaos especiales bajo sistemas agroforestales” con BPIN 2013000100255, financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTel) del Sistema General de Regalías (SGR). Desde la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), como entidad ejecutora, se presentan los más sinceros agradecimientos a las gobernaciones de Boyacá, Sucre y Santander como departamentos proponentes por la confianza depositada.

Asimismo, se agradece a la Universidad de Sucre, institución aliada para la ejecución de las actividades del proyecto en el departamento de Sucre. También, este agradecimiento se extiende a los estudiantes de esta alma mater, quienes a través del desarrollo de trabajos de grado contribuyeron a la generación de nuevo conocimiento fundamental para avanzar en la definición de recomendaciones de manejo del sistema productivo de cacao en las subregiones de La Mojana y Montes de María. Se extienden estos agradecimientos a los cacaocultores de estos municipios, quienes vinculados a través de la firma de acuerdos permitieron implementar y validar en sus cultivos las recomendaciones de manejo.

Finalmente, los autores de este documento agradecen a los investigadores, profesionales de apoyo a la investigación, asistentes de investigación y personal del área administrativa de los Centros de Investigación La Suiza, Turipaná y de Sede Central de AGROSAVIA, quienes hicieron posibles el desarrollo de las actividades de este proyecto para el departamento de Sucre.



Introducción

En Colombia el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene una larga tradición, es utilizado principalmente como bebida y en los últimos años se ha convertido en prioridad del gobierno por ser uno de los cultivos que promueven el desarrollo de programas dirigidos a favorecer la paz en regiones de posconflicto (Abbott et al., 2018). Un ejemplo de cómo se viene fortaleciendo este sistema productivo en el país es el incremento histórico registrado en la producción obtenida en el año cacaotero que inició en octubre de 2020 y terminó en septiembre de 2021, la cual fue de 70.205 toneladas de grano seco que representa un 9,2% más que el año anterior (Fedecacao, 2021).

Un aspecto importante del sistema productivo de cacao son las grandes ventajas que presenta por los beneficios sociales, productivos y ambientales que aporta, debido a que este cultivo permite la asociatividad de maderables o frutales en su siembra, sus prácticas agronómicas son ambientalmente amigables y sustentables en favor de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria, y finalmente su flujo de caja es práctico para los agricultores (Álvarez-Carrillo et al., 2016). Así mismo, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2020) lo considera de alta importancia socioeconómica, si bien las plantaciones se localizan en regiones con dificultades de orden público y vías en mal estado, como en el caso de Tumaco, Arauca y la zona del Catatumbo, en Norte de Santander.

Ahora bien, como en los últimos 15 años el sistema productivo del cacao se ha presentado como una alternativa para el desarrollo agrícola del país y específicamente para el departamento de Sucre, entidades de orden oficial y privado han decidido apostarle a este cultivo teniendo en cuenta las condiciones medioambientales de zona húmeda en La Mojana sucreña y de bosque seco tropical en los municipios de Montes de María.

El proyecto “Investigación, desarrollo e innovación de cacaos especiales bajo sistemas agroforestales”, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR), con injerencia en tres departamentos, Boyacá, Santander y Sucre, partió de la identificación de brechas y demandas territoriales en los territorios productores de cacao. Para el departamento de Sucre se definieron algunos ejes estratégicos enfocados en el desarrollo e implementación de la cultura cacaotera y en el fortalecimiento del conocimiento técnico y científico que facilitó la identificación e implementación de ofertas tecnológicas en cada uno de los territorios beneficiados.

Al respecto, el proyecto en mención desarrolló una estrategia de formación técnico-científica, innovadora y tecnológica para los cultivadores de cacao en el departamento, la cual trajo diversos beneficios que permitieron conectar a los productores con las universidades y el gremio, fortaleció el desarrollo y permitió la aplicación de modelos y ofertas tecnológicas que favorecieron la alta productividad, la sostenibilidad ambiental y el valor agregado en la poscosecha.

Esta iniciativa contempló estrategias de comunicación que involucraron jornadas de capacitación por el territorio, en donde la implementación de eventos teórico-prácticos de capacitación contribuyó a la consolidación del conocimiento de cada uno de los beneficiarios, quienes se agruparon por asociaciones y se caracterizaron por contar con algunos integrantes con buenas y malas experiencias asociadas al cultivo, muchas de ellas propiciadas por proyectos implementados en el pasado que no tuvieron la continuidad necesaria para realizar el acompañamiento que lograra garantizar el buen cumplimiento de los objetivos y la consolidación de una cacaocultura estable y duradera en el territorio.

Así mismo, un factor importante que se identificó es la baja disponibilidad de materiales vegetales ideales para el territorio, ya que después de varios proyectos implementados durante los últimos años nunca se logró contar con espacios adecuados e idóneos para la producción de material vegetal. A partir de esta carencia, en el proyecto se implementaron doce jardines clonales con sus respectivas instalaciones para la producción de material vegetal, infraestructura entregada a las asociaciones de productores para el fortalecimiento de la capacidad instalada en cada uno de los municipios beneficiarios.

Al respecto, la cadena de valor necesaria para la transformación del grano en el departamento se encontró muy débil, principalmente por la poca productividad del territorio, en la mayoría de los casos como consecuencia de los malos diseños de siembra y la falta de implementación de sistemas agroforestales que, sumados a los periodos de sequía, afectaban la productividad, inclusive hasta el punto de acabar con las plantaciones.

Para ello, el proyecto implementó estrategias tecnológicas fundamentadas en la rehabilitación de plantaciones, las cuales contemplaron la caracterización de predios cacaoteros, la identificación de los factores asociados a la baja productividad y la puesta en marcha de estrategias que incluyeron desde la implementación de los sistemas agroforestales hasta la renovación de sus plantaciones a través de la injertación en leño grueso y la creación de sistemas de beneficio tanto individuales como colectivos.

Estas tecnologías fueron sumando seguidores que a su vez se encargaron de llevar el conocimiento a gran parte de los productores de cacao, con lo cual lograron aportar características necesarias para la estructuración de la cadena de valor, desde los suministros de las materias primas hasta la transformación y distribución del producto.

Desde el punto de vista de la cadena de valor, el territorio asocia, en su mayoría, productores en su primer eslabón, caracterizados por la baja competitividad y transformación del producto, si bien también cuenta con iniciativas y emprendimientos orientados a la transformación del grano y mezcla de subproductos.

Desde los entes territoriales, el departamento cuenta con gobiernos decididos que creen en la cacaocultura como modelo de desarrollo, para lo cual afianzan estrategias público-privadas entre entidades como la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (Undoc), AGROSAVIA, la Universidad de Sucre (Unisucre) y asociaciones de productores de cacao como Asobuencacao y Asoapicol. Agroclimáticamente, el departamento cuenta con una diversidad y riqueza natural donde confluyen pisos térmicos entre 0 a 800 m s. n. m. y suelos aptos para la diversidad agrícola y con alta disponibilidad nutricional, al tiempo que regiones como La Mojana sucreña ofertan características medioambientales con suelos ricos y diversos, favorables para el buen desarrollo del sistema.

Todos estos factores confluyen en un encadenamiento que permite asociar los diferentes actores de la cadena en el departamento, los cuales son orientados por iniciativas nacionales como los Pactos por el Crecimiento, en donde el sistema productivo del cacao se muestra como un caso exitoso al incluir los eslabones de la cadena encargados de liderar aspectos como la trazabilidad, la calidad, la inocuidad y la productividad, factores necesarios para el buen desarrollo de la cadena. Un buen ejemplo del trabajo realizado en el departamento fue la alianza público-privada para los Montes de María, la cual fue liderada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid) y contó con la participación de los municipios de Colosó y Chalán. Esta participación se hizo efectiva gracias al apoyo de asociaciones como Asojuventud y Asoapicol, quienes articularon a sus productores para que lograran beneficiarse del apoyo y la capacitación de los diferentes actores involucrados, entre los que se encontraban la Cámara de Comercio y Fedecacao, desde el sector privado, y la Gobernación de Sucre, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y AGROSAVIA desde el sector público.

Los resultados plasmados en este modelo productivo son un aporte relevante al Plan Departamental de Desarrollo 2020-2023 “Sucre Diferente” (Asamblea Departamental de Sucre, 2020), ya que contribuyen con recomendaciones técnicas a la productividad agrícola del departamento, teniendo en cuenta que se está viendo afectada por situaciones como el mal estado de las vías secundarias, los niveles bajos de competitividad y productividad, la poca articulación entre entidades de educación e investigación con las demandas territoriales y la ausencia de una estructura industrial en el departamento.

El modelo productivo elaborado por AGROSAVIA como entidad ejecutora del proyecto contiene conocimientos soportados en tecnologías sostenibles basadas en manejos agronómicos y productivos aplicables en el departamento de Sucre.



CAPÍTULO I.

Área geográfica y entorno ambiental

En la región de Montes de María, que contempla 15 municipios en los departamentos de Bolívar (7 municipios) y Sucre (8 municipios), para el año 2012 el área cultivada de cacao se ubicó en 1117 hectáreas, las cuales aportaron una producción de 483 toneladas con un rendimiento de $0,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, muy por debajo del promedio nacional de $0,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ según registros de las Secretarías de Agricultura y Desarrollo de Bolívar y Sucre [SADBS]. En Bolívar, los municipios con mayor área sembrada son El Carmen de Bolívar (posee más de la mitad de las plantaciones), complementado por San Jacinto, San Juan de Nepomuceno y María la Baja, y para el departamento de Sucre, los municipios de Colosó, Chalán y Morroa representan el 12,9% del área total del cultivo en la región de Montes de María (Aguilera Díaz, 2013). Para el año 2014, en el departamento de Sucre la producción de cacao en grano seco fue de 99 toneladas en un área de siembra de 334 ha y 120 ha de cosecha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2020). Los registros de producción para el año 2017 indican que se obtuvo un área de siembra de 402 ha, de las cuales 251 se encontraban en producción y generaron 158 toneladas de grano seco con un rendimiento promedio de 0,63 toneladas por hectárea. Estos registros no cuentan con información precisa de los municipios que actualmente son productores de cacao en el departamento, sin embargo, se identifican los municipios de Chalán, Ovejas, Colosó, San Onofre, Toluviejo, Majagual, San Marcos y Guaranda, sin cifras oficiales.

Características naturales del departamento de Sucre

Sucre se ubica al norte de las cordilleras Central y Occidental en Colombia y tiene una extensión de 10.364 kilómetros cuadrados. Comparte límites al norte con el mar Caribe, al noreste y el sureste con Bolívar, y al suroeste con Córdoba, con 102 kilómetros de costa marítima de los cuales 45 kilómetros se presentan en el golfo de Morrosquillo. Un poco más de un tercio del territorio del departamento de Sucre forma parte de la depresión inundable del Bajo Magdalena y de los ríos Cauca y San Jorge, y esta zona en particular se caracteriza por presentar numerosas ciénagas, humedades y caños a lo largo del río San Jorge. Hacia la zona norte se extiende la serranía de San Jacinto o Montes de María, y entre estas colinas y la depresión del San Jorge se extienden sabanas más o menos planas.

El componente hidrológico del departamento, hacia la parte norte, presenta caños y arroyos de baja profundidad y corta longitud, los cuales vierten de manera estacional sus aguas en el mar Caribe, el golfo de Morrosquillo y el Canal del Dique. En la zona central y sur del departamento se encuentra la cuenca del río San Jorge, el principal eje fluvial, que nace en el nudo de Paramillo y desemboca sus aguas en el brazo de Loba del río Magdalena; sigue en dirección suroccidente nororiental y circunda numerosas ciénagas y drenajes que bajan de las serranías cercanas y cuenta con una longitud de 368 km aproximadamente, de los cuales una tercera parte se encuentra en Sucre. En el sur está la región de La Mojana, con zonas anegadizas y aguas superficiales de forma temporal o permanentes y estacionarias que contribuyen a la formación de muchos ríos, caños, ciénagas y zapales (Arévalo et al., 2017). Así mismo, las condiciones biofísicas como la altitud y el paisaje determinan el nivel de susceptibilidad del territorio tanto a inundaciones o sequías extremas como a temperaturas altas y bajas, que de alguna forma afectan los sistemas de producción agropecuarios (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2016).

Geología

La geología del departamento de Sucre comprende en su mayoría rocas de tipo sedimentario con edades muy variables desde el Terciario superior (Paleoceno), localizado hacia el oeste del departamento, donde se encuentran básicamente las formaciones Betulia, el Cerrito, El Carmen, San Onofre, San Jacinto y San Cayetano, constituidas por areniscas amarillas y rojas de afloración indistinta alternadas con bancos de arenas y lentes de arcillas, con presencia ocasional de acumulaciones calcáreas y gravillas petroféricas en el perfil (Consorcio Proyección IB2, 2014).

Hacia el sur del departamento se localizan llanuras de inundación compuestas especialmente por material sedimentario, producto de la dinámica de los ríos Cauca y San Jorge. Estas características fisiográficas imprimen condiciones fluviolacustres a estas zonas del departamento, en especial en los municipios de Majagual, San Benito y Guaranda, que deben ser consideradas especialmente para la escogencia de áreas para el cultivo por presentar mal drenaje y un nivel freático alto.

El cultivo de cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía plana y ondulada. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao corresponde a la profundidad efectiva del suelo, ya que este requiere de suelos profundos que permitan alcanzar mayor volumen de exploración radicular y, por ende, incrementar los procesos de absorción de agua y nutrientes. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas como cobertura, que proporcionen la protección necesaria al suelo y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo. Las plantaciones están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con un pH que oscilan entre 4,0 y 7,0. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo (Agroalimentación, 2006).

Estudios realizados por Corpoica (García Lozano et al., 2007) identificaron los principales requerimientos para el cultivo de cacao: altitud, temperatura promedio mensual, diferencia de temperatura entre el día y la noche, precipitación anual, presencia de periodos de

estrés por déficit hídrico en el año, condiciones de drenaje del suelo, profundidad efectiva del suelo, posibilidad de manejo y laboreo en el cultivo, condiciones químicas del suelo y toxicidad del suelo (tabla 1). Estos fueron categorizados en clases y subclases de acuerdo con las restricciones que se presentan, donde proponen cuatro categorías para el desarrollo del cultivo: supremamente apta (A1), moderadamente apta (A2), marginalmente apta (A3) y no apta (N). Para el departamento de Sucre, se detallan en la figura 1.

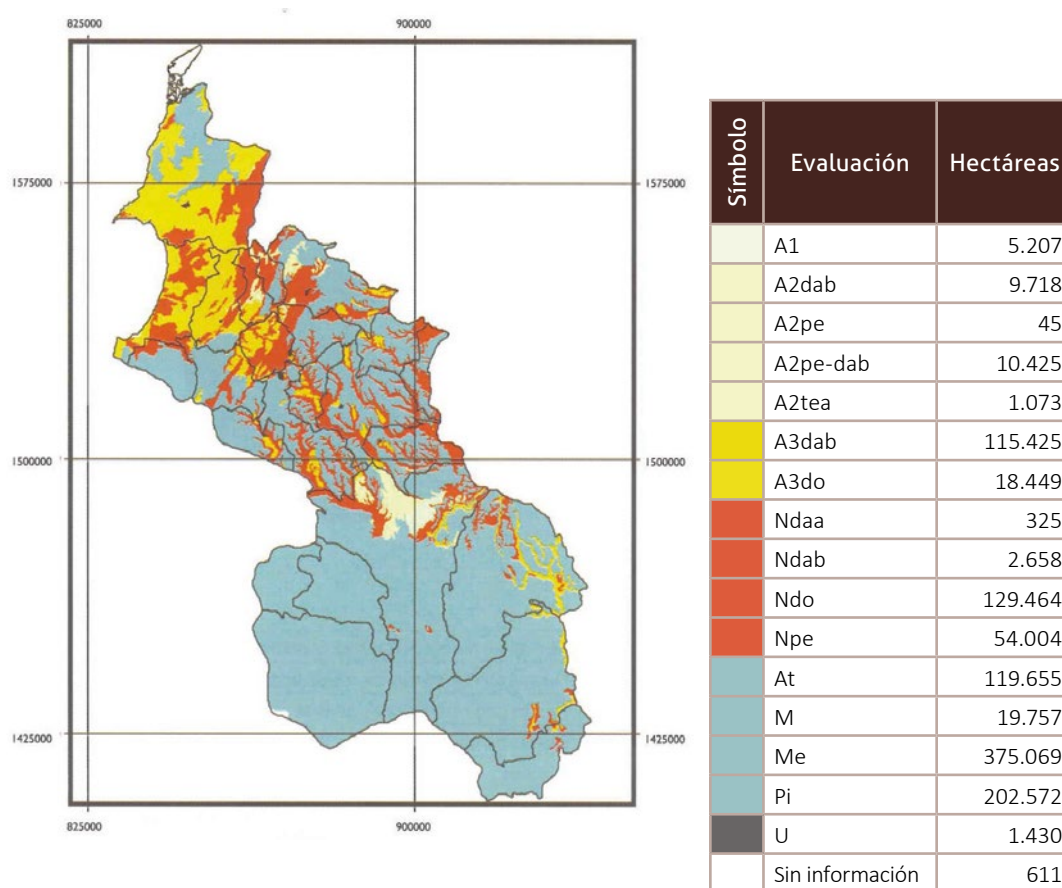


Figura 1.

Distribución de las clases de restricción para el establecimiento del cultivo de cacao en el departamento de Sucre.

Fuente: García et al. (2007).

Tabla 1. Descripción de requerimientos para el cultivo de cacao

Calidad de la tierra	Factor de diagnóstico	Unidad	Clase			
			Supremamente apta	Moderadamente apta	Marginalmente apta	No apta
			A1	A2	A3	N
Altitud	M s. n. m.	m	800-400	0-400 y 800-1000	1000-1200	>1200
Régimen de temperatura	Temperatura media mensual	°C	24 a 28	28 a 30 y 24 a 20	20 a 32 y 20 a 18	<18 y >32
	Máxima y mínima	°C		<9		>9
Humedad disponible (humedad total)	Precipitación anual	mm	1800-2600	2600-3200 y 1800-1500	3200-3800 y 1500-1200	<1200 y >3800
Oxígeno disponible en la rizosfera	Drenaje natural	Clase	4,5		3,7	1, 2, 6
Condición de enraizamiento	Profundidad efectiva	cm	>100	50-100	25-50	<25
Posibilidad de laboreo y manejo del cultivo	Clases	Categoría	1, 2, 3		4	No califica
Toxicidad del suelo	Exceso de aluminio	% saturación	<40			>40
	Exceso de sales	Sodización	No sódicos			Sódicos
Nutrientes disponibles	Acidez	pH	5,5-6,5	6,8-7,0 y 5,5-4,5	7,0-8,0 y 5,0-4,5	>8 y <4,5
	Materia orgánica	% total	>5	4 a 5	3 a 4	<3
	P ₂ O ₅	kg/ha	>69	69-57	57-46	<46
	K	meq/100 g	>0,3			<0,15
	Ca	meq/100 g	3,5-4	4 a 8	8 a 12	<2 y >12
	Mg	meq/100 g	1-1,5			<1
	Ca/Mg	meq/100 g	(3:1)			> (3:1)

Clases de drenaje: 1. Muy pobremente drenado; 2. Pobremente drenado; 3. Imperfectamente drenado; 4. Moderadamente bien drenado; 5. Bien drenado; 6. Excesivamente bien drenado; 7. Moderadamente excesivo.

Posibilidades de laboreo en el cultivo: 1. Fácil laboreo (0-25%); 2. Moderado laboreo (25-50%); 3. Difícil laboreo (50-75%); 4. Conservación (75%).

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de García Lozano et al. (2007)

Zonas de aptitud de suelo

Resulta oportuno analizar el mapa de aptitud agropecuaria del departamento de Sucre para el sistema productivo de cacao, el cual resume la aptitud de los suelos (alta, media, baja y no apta) obtenidos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) (figura 2), en donde se pudo observar de manera general que el departamento tiene zonas aptas para la implementación del cultivo de cacao en 342.615 ha, lo cual representa el 2% del total de aptitud para el país, que cuenta con 17.071.478 ha aptas para el cultivo. El departamento de Sucre cuenta con 1.071.860 ha de las cuales el 32% tiene aptitud agrícola para el cultivo de cacao, por lo tanto, es importante precisar en detalle y conocer las características que influyen en el comportamiento para el establecimiento del sistema agroforestal de cacao. Los municipios con mayor vocación para el establecimiento del cultivo de cacao son San Onofre, San Marcos, Sincé y San Benito Abad, con un potencial de aptitud alta de 55.917 ha, 24.807 ha, 20.303 ha y 15.008 ha, respectivamente; municipios como La Unión y Galeras tienen una vocación alta para el cacao en un área superior a las 10.000 ha, con 11.397 ha y 10.153 ha, respectivamente.

Municipios como Majagual y Guaranda, que han mostrado un potencial enorme para el desarrollo de la cacaocultura en el departamento de Sucre, están excluidos del mapa de aptitud y el criterio se basa en el riesgo de inundación que tienen, lo cual genera incertidumbres para cualquier proyecto de cultivos perennes; no obstante, esta es una condición que deberá ser validada en campo, ya que existen espacios de terreno que tienen una buena condición para el desarrollo de los cultivos, incluso en escenarios lluviosos, en los cuales se puede desarrollar la cacaocultura. Estos espacios pueden escapar a la escala de planificación que tiene la UPRA, ya que no se cuenta con una escala más aproximada y los espacios de terreno identificados en estos municipios no abarcan grandes zonas. Por último, es importante anotar, para estos dos municipios del sur de Sucre, que los casos de éxito para el establecimiento del sistema agroforestal de cacao representan mayores ventajas al ser comparados con los municipios del norte del departamento que, a pesar de tener mayores aptitudes para el desarrollo de la cacaocultura, deben contemplar alternativas adicionales durante el establecimiento debido a que el déficit hídrico y la falta de sombrero oportuno pueden generar

la muerte de las plantas de cacao durante los dos primeros años de establecimiento. En la figura 2 se presenta el número de hectáreas de acuerdo con la aptitud de suelo para actividades agropecuarias.

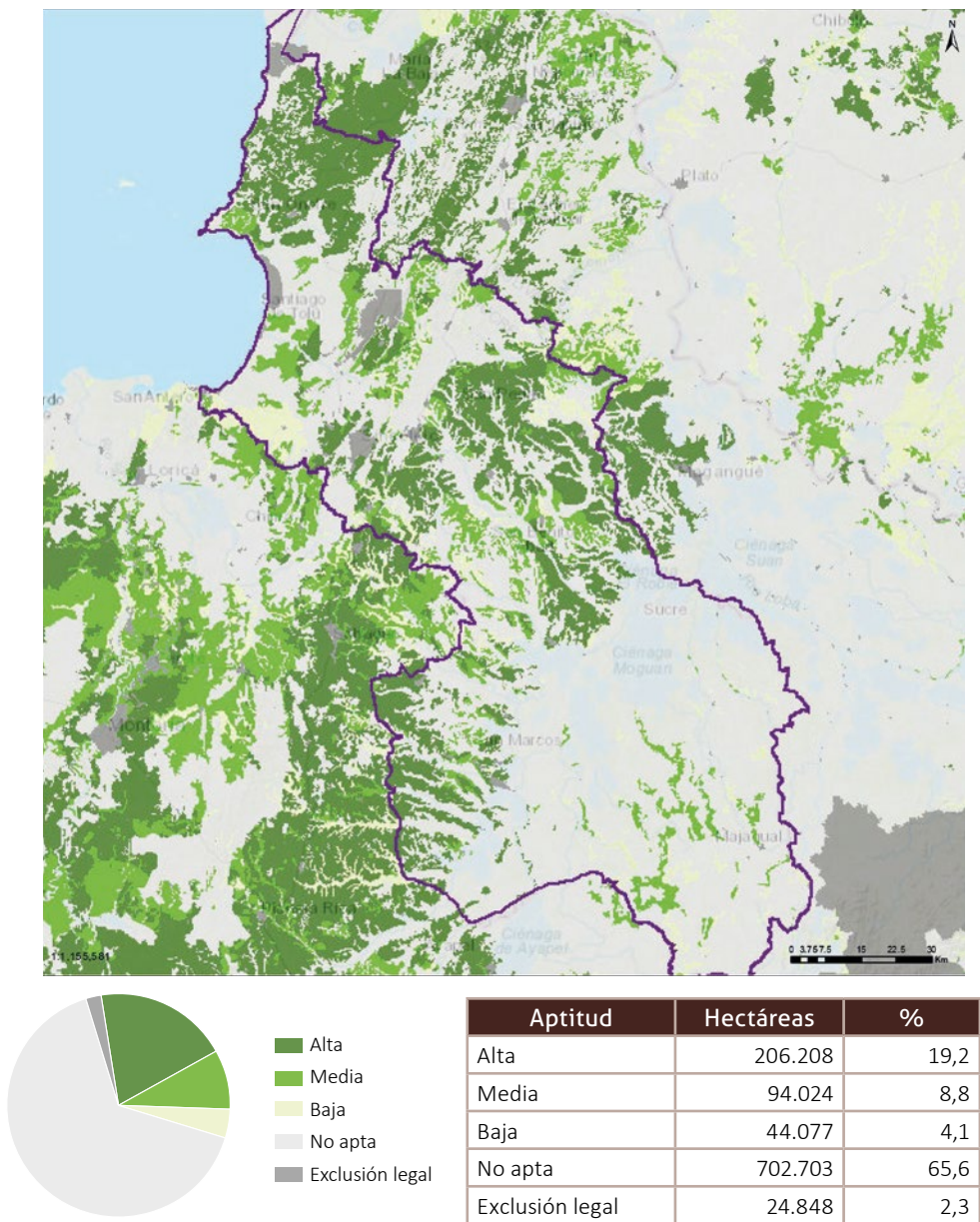


Figura 2. Aptitud del suelo para actividades agropecuarias.

Fuente: Adaptado a partir de Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA, 2019)

Entorno climático y ambiental del departamento de Sucre para el cultivo de cacao

Entre las características climatológicas para el cultivo de cacao, se evidencia que la precipitación es el elemento de mayor importancia como factor para el crecimiento del cultivo. Esta variable está determinada por la ubicación geográfica y por la influencia de algunos factores, tales como la circulación atmosférica, el relieve, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de áreas selváticas o boscosas que confluyen en el departamento. Una condición importante para el territorio donde se establezca el cultivo es la de conocer la disponibilidad del recurso hídrico, con lo cual se puede proyectar su regulación y el adecuado aprovechamiento mediante prácticas que favorezcan su uso potencial. Para el departamento de Sucre, las precipitaciones varían entre 1000 mm para las zonas en el norte y se incrementan por la altitud en los municipios pertenecientes a la zona de los Montes de María, con un promedio anual de 1500 mm con régimen bimodal y valores máximos de precipitación acumulada en los meses de septiembre a noviembre y mayo a junio (Montes, 2016), y para la zona sur se pueden alcanzar precipitaciones acumuladas de hasta 4800 mm en las zonas más lluviosas (Aguilera Díaz, 2005). En la figura 3 se presenta la precipitación en mm para el departamento de Sucre.

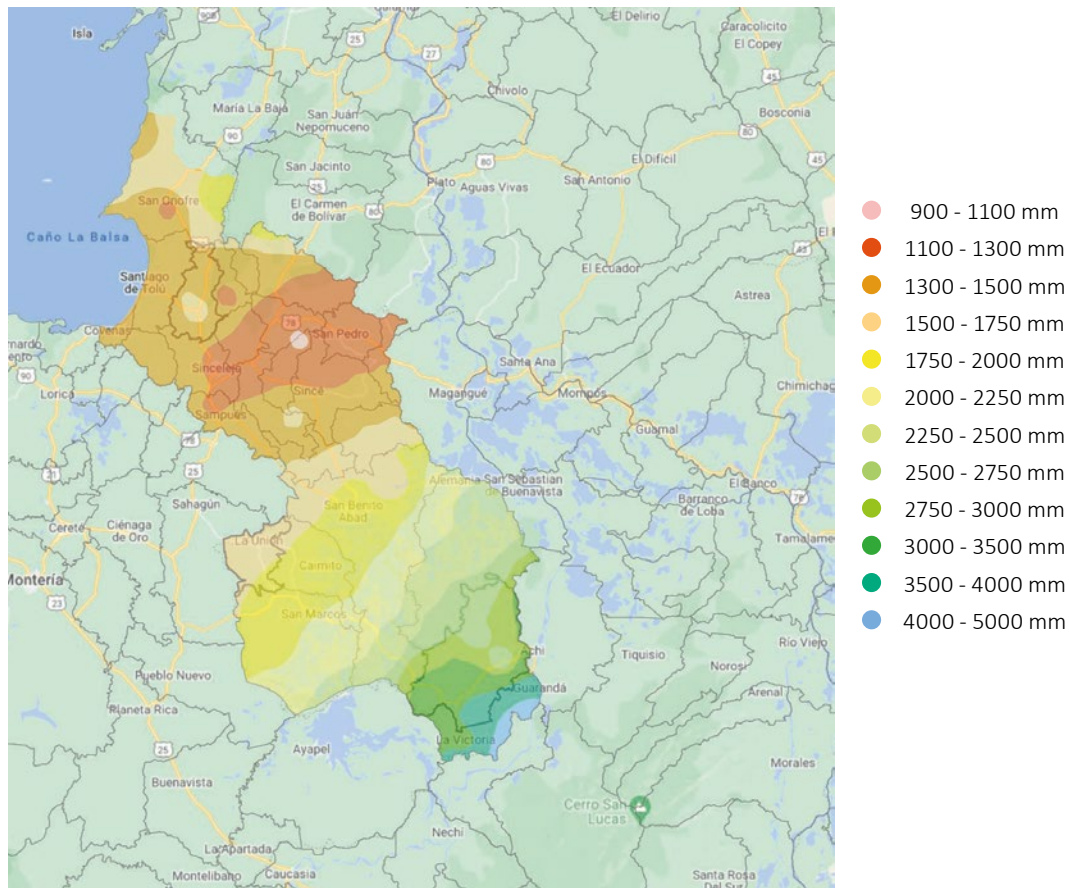


Figura 3.

Precipitación en mm para el departamento de Sucre.

Fuente: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), s. f.

Precipitación

Con respecto al cacao, es una planta sensible a la escasez de agua y también al encharcamiento, por lo que se precisará de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos (Agroalimentación, 2006).

Radiación solar

La radiación solar es la energía solar disponible en cada sitio por unidad de área y de tiempo que determina el calentamiento de la superficie terrestre y, por tanto, las corrientes de aire. La radiación solar del departamento de Sucre oscila entre 2600-3100 calorías cm^{-2} /semana, lo cual indica que la práctica de la arborización de áreas o cultivos es obligatoria para compensar la alta evaporación y deshidratación de los suelos, manteniendo así el equilibrio agroecológico orientado a un manejo sustentable de los sistemas agrícolas en los diversos agroecosistemas (Aguilera Díaz, 2005). El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo. El objetivo del sombreado al inicio de la plantación es disminuir la cantidad de radiación que llega al cultivo para reducir la actividad de la planta y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se haya establecido se podrá reducir el porcentaje de sombrero hasta un 25 o un 30 %. La luminosidad deberá estar más o menos al 50 % durante los primeros cuatro años de vida de las plantas para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas. Para el sombrero del cultivo se emplean las llamadas “especies para sombrero temporal”, que generalmente son otros árboles frutales o forestales intercalados en el cultivo con marcos de plantación regulares (Agroalimentación, 2006).

Humedad relativa del aire

Esta variable, de gran importancia para el cultivo de cacao, se define como la relación entre el peso del vapor de agua del aire con aquel que contendría si estuviese saturado a la temperatura ambiente del momento. Para el departamento de Sucre se registran promedios históricos de humedad relativa de 83,5% anual, con valores promedio máximos en el municipio de Majagual, con un 91% de humedad en el aire. Los meses de mayor humedad relativa se presentan en mayo y junio y se asocian con un incremento de la temperatura y la precipitación en el territorio (Aguilera Díaz, 2005). En el caso del cacao, se establece que el grado adecuado de humedad relativa es de 80%, aunque tiene un buen desarrollo en lugares donde la humedad relativa se mantiene por encima del 70%. Las tierras donde soplan vientos

fuertes permanentes no son aptas para el cultivo de cacao. Bajo estas condiciones, se deben establecer barreras rompevientos con árboles frondosos (Agroalimentación, 2006).

Temperatura media

Con respecto a la temperatura, el cacao no soporta temperaturas bajas y su límite medio anual es de 21 °C, ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Las temperaturas extremas muy altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol porque es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura. Cuando la temperatura es menor de 21 °C la floración es menor y a 25 °C la floración es normal y abundante. Esto hace que en determinadas zonas la producción de mazorcas sea estacional y que durante algunas semanas no haya cosecha cuando las temperaturas son inferiores a 22 °C (Agroalimentación, 2006).

La evaporación

La evaporación es un proceso físico por medio del cual el agua cambia su estado de líquido a vapor, depende de la disponibilidad de agua en el sistema y conjuga distintas variables del clima. El tiempo seco favorece el incremento de la radiación solar, hay déficit en los volúmenes de precipitación con disminución consecuente de la humedad en el medio natural y aumento de la temperatura. Esta situación es más crítica en las regiones donde no hay cobertura vegetal que amortigüe los efectos anteriores. La evaporación media en Sucre es de 1572 mm/año, con máximas mensuales de 156,5 mm/mes en febrero y marzo y mínimas de 108,5 mm/mes en noviembre (Aguilera Díaz, 2005).





CAPÍTULO II.

Origen, distribución y clasificación taxonómica

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta de la familia Malvaceae, originaria de los bosques tropicales húmedos en la cuenca del Amazonas. Sin embargo, existen reportes de que su origen es Mesoamérica (entre México, Guatemala y Honduras), donde su uso está atestiguado alrededor de 2000 años antes de Cristo, si bien estudios recientes han demostrado que por lo menos una variedad de *T. cacao* tiene su punto de origen en la alta Amazonía y que ha sido utilizada en la región por más de 5000 años (Lanaud et al., 2012). Esta planta se cultiva en regiones cálidas y lluviosas de América, África y Asia (Bhattacharjee & Kumar, 2007; Rodríguez-Medina et al., 2019), bajo sistemas agroforestales que permiten la opción de combinarla con otros cultivos y especies nativas (Jagoret et al., 2011; Navarro Prado & Mendoza-Alonso, 2006; Roa-Romero et al., 2009; Romero & Urrego, 2016).

En la actualidad, los cinco mayores productores de grano de cacao son Costa de Marfil, como primer exportador, ubicado en la región tropical de África occidental, seguido de Ghana e Indonesia en el sudeste asiático; Nigeria es la cuarta nación productora de cacao más grande del mundo y luego está Camerún. Colombia es el décimo país productor de cacao a nivel mundial, superado en Latinoamérica por Brasil que se ubica en el 7º puesto, Perú ocupa el puesto 8º y República Dominicana está en el 9º puesto. Pero la diferencia la marca la calidad del cacao colombiano, que es muy apetecido en el mundo y ha ganado reconocimientos a nivel internacional como uno de los cacaos más finos y con mejor aroma, distinción que solo se le da al 5% del grano que se exporta en todo el mundo (Barón Bayona et al., 2019). Los departamentos con las mayores producciones en el país para el 2019 fueron Santander, Antioquia, Arauca, Huila y Tolima (figura 4), que suman el 72% de la producción nacional. Santander, Antioquia y Arauca se quedaron con los primeros lugares en producción de cacao en Colombia con el 42%, 9% y 8% respectivamente (Fedecacao & MADR, 2020).

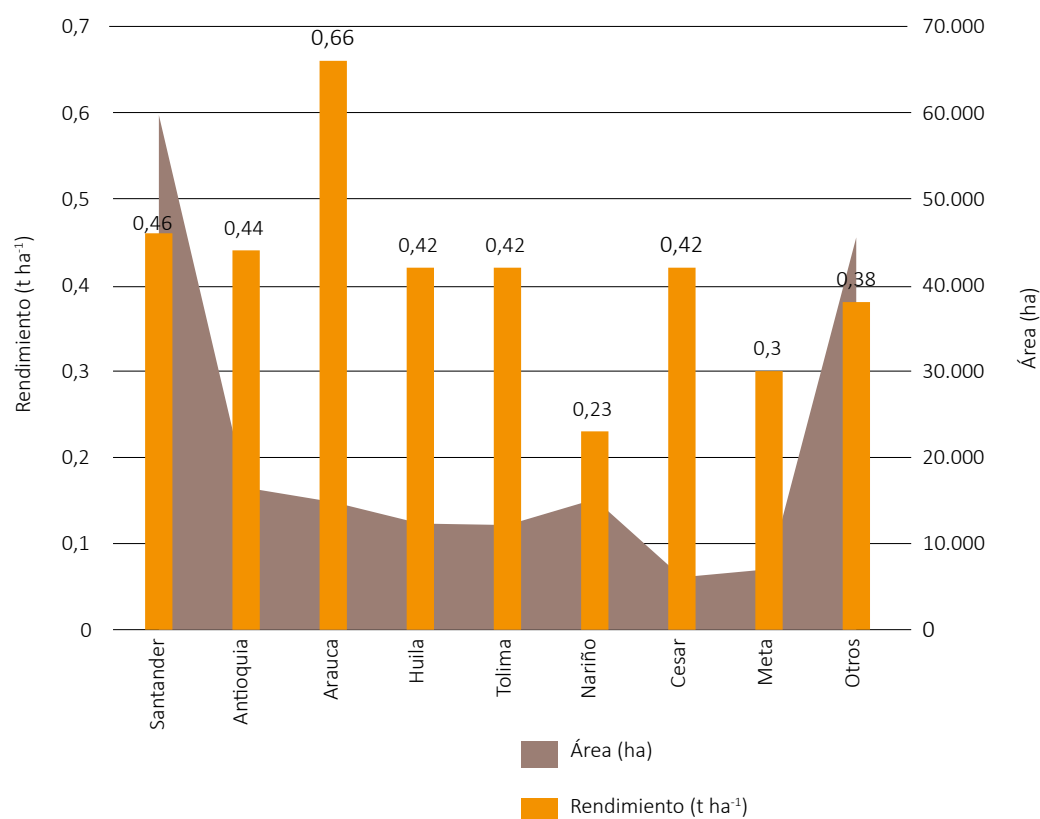


Figura 4.

Rendimiento de grano de cacao por departamento.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao & MADR (2020)

La producción del departamento de Sucre es mucho menor comparada con el departamento de Santander debido a que las siembras son más nuevas, aunque no deja de ser importante teniendo en cuenta que para el año 2008 contaba con 20 hectáreas sembradas y para el 2018 esta cifra se incrementó a 343 hectáreas, con una producción de 209,1 toneladas. Otro aspecto relevante es que el rendimiento supera al de otras regiones del país como Santander, que encabeza la lista a nivel nacional en producción, pero que para este año en mención alcanzó un rendimiento por hectárea de un 0,53 mientras que la producción del departamento de Sucre registró un rendimiento de 0,61 t·ha⁻¹ (figura 5) (Agronet, 2021).

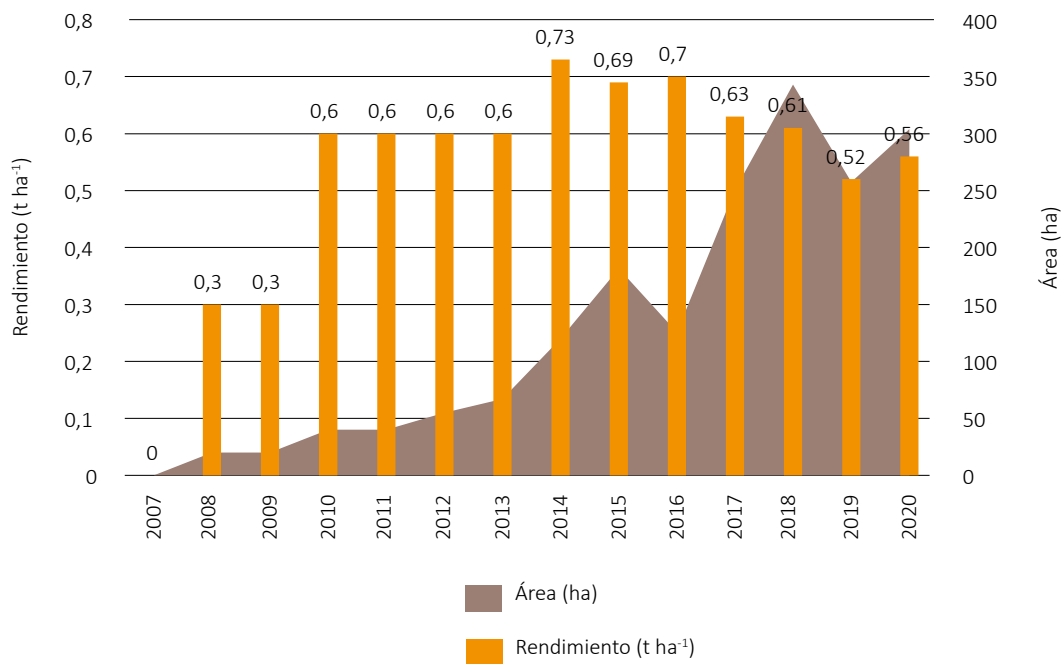


Figura 5.

Sistema productivo de cacao en el departamento de Sucre, Colombia: áreas y rendimientos históricos.

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2021)

Taxonomía y botánica

La clasificación taxonómica fue realizada por el suizo Carlos Linneo en 1753. Desde ese año, pertenece al género *Theobroma*, familia Sterculiaceae, y para el año 2003 fue reclasificada en la familia Malvaceae (tabla 2). Dentro del género hay 22 especies, de las cuales el *Theobroma cacao* y el *Theobroma glandiflorum* son las de mayor valor comercial (Perea, 2019).

Tabla 2. Descripción taxonómica de la planta de cacao

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Familia	Malvaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L.

Fuente: Elaboración propia

Morfología del árbol de cacao

Existe gran variabilidad de cacaos cultivados en relación con el color, las dimensiones y las formas de las partes que lo constituyen, como la flor, el fruto y la semilla. Esta variabilidad se deriva de los cruces, las mutaciones y las selecciones naturales o dirigidas que han sucedido a lo largo de los años.

Forma del árbol

Theobroma cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12 m de altura (figura 6) y en cultivo se mantienen normalmente a 4-8 m. La altura del árbol depende de factores ambientales que influyen en el crecimiento (Batista, 2009; Dostert et al., 2012).



Figura 6.

Árbol de cacao.

Tallos y ramas

Las plantas de cacao reproducidas por semilla sexual se caracterizan por presentar un tallo principal que se desarrolla de manera vertical hasta una altura de 0,80 a 1,50 metros en forma normal. A partir de ahí la yema apical detiene su crecimiento para dar origen a tres, cuatro o cinco ramas distribuidas al mismo nivel para formar la mesa, molinillo, horqueta o verticilo. El tallo es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes y la corteza es oscura, gris-café (Fedecacao, 2012; Rice & Greenberg, 2000).



Figura 7.

Partes de la planta de cacao.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

Las ramas en el árbol de cacao son dismórficas, es decir, de crecimiento ortotrópico, lo que se llama comúnmente “chupones”, y otras se caracterizan por un crecimiento oblicuo hacia afuera y se denominan ramas de crecimiento plagiotrópico. Los chupones, cuando no son podados en la época oportuna, proporcionan a la planta características indeseables de crecimiento por encima de la ramificación primaria, dándole mucha altura y mala formación al árbol (Batista, 2009; Fedecacao, 2012).

La planta de cacao proveniente de la reproducción asexual (injertos, acodos o estacas enraizadas) se caracteriza por presentar un crecimiento diferente al de la reproducción sexual o semilla. El tallo principal es similar al de una rama primaria, es decir que su crecimiento no es vertical y no emite horqueta. Estos métodos de reproducción son utilizados cuando se desea reproducir

fielmente una planta y se les llama “clones”. Dentro de los métodos asexuales, los injertos son los más utilizados y pueden realizarse en plantas originarias de semilla o bien en árboles adultos considerados no deseables en la plantación por una circunstancia determinada, pero que tengan características que permitan dicho procedimiento. Los clones son plantas que se caracterizan por presentar un menor crecimiento y poseen menos follaje, condiciones que favorecen el manejo agronómico de las plantaciones, especialmente en lo referente a artrópodos plagas y enfermedades (Fedecacao, 2012).

Hojas

Las hojas están conformadas por estípulas que protegen las yemas jóvenes, los peciolos y el limbo. En sus extremos (base y parte superior) se aprecian los pulvínulos que permiten a la hoja ubicarse en diferentes planos. Son coriáceas, simples y enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas (figura 8), ligeramente asimétricas, de forma alargada y tamaño medio, con 15-50 cm de longitud y ancho entre 5-20 cm. Las hojas se caracterizan por ser pigmentadas y su color puede variar de acuerdo con el contenido de los compuestos antociánicos, según los cultivares o clones, de verde pálido a rosado y violeta. Generalmente los cacaos criollos y trinitarios suelen presentar pigmentación más coloreada que los del tipo forastero, que presentan muy poca pigmentación y las hojas ya adultas son completamente verdes (Braudeau, 1970; Batista, 2009; Fedecacao, 2012).



Figura 8.

Hojas del árbol de cacao.

Sistema radicular

Dependiendo del tipo de reproducción, existen diferencias en el sistema radicular. Si la planta proviene de reproducción sexual, presenta una raíz principal, denominada “pivotante”, la cual crece de forma recta hacia abajo y se encarga del anclaje de la planta cuando las condiciones de suelo son óptimas para su crecimiento; sin embargo, cuando la raíz presenta deformaciones, se dificulta la penetración y el desarrollo en el suelo, ocasionando en muchos casos el volcamiento y mal desarrollo de las plantaciones (figura 9). Debajo del cuello se forman las raíces secundarias de donde se desprenden los pelos absorbentes, los cuales se encuentran en los primeros 20 o 30 cm del suelo y tienen la función de tomar los nutrientes y el agua que la planta necesita para su normal desarrollo (Batista, 2009; Fedecacao, 2012).



Figura 9.

Raíz con malformación de plántulas de cacao en condiciones de vivero.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

Flores

Las flores del cacao son hermafroditas (poseen ambos sexos: masculino y femenino), pentámeras y actinomorfas, se originan y se distribuyen a lo largo del tallo principal y de las ramas (figuras 10) y tienen una longitud de 20 mm de diámetro; el pedúnculo floral es de 1-3 cm de largo; se agrupan en sitios denominados “cojines florales” y poseen cinco estambres (órganos masculinos) verdaderos de color blanco y cinco falsos de color morado. El órgano femenino es el pistilo, formado por el estigma, el estilo y el ovario.



Figura 10.

Flor solitaria del árbol de cacao.

El proceso de fecundación inicia con la caída del grano del polen sobre el estigma y baja por el estilo hasta el ovario; de esta manera empieza la formación del fruto. La polinización es realizada en su mayoría por los insectos, de ahí la importancia de estar atentos al manejo de plagas, que debe enfocarse en el uso racional de productos químicos con el propósito de conservar las especies polinizadoras y benéficas (Fedecacao, 2012; Mejía & Argüello, 2000; Gutiérrez, 2011; Batista, 2009).

Existen diferencias en relación con el número de cojines florales (figuras 11), que dependen de las características genéticas. Un cojín floral puede tener entre 40 a 60 flores, pero solo un pequeño porcentaje desarrolla frutos (Batista, 2009).



Figura 11.

Inflorescencia del árbol del cacao.

Foto: Liliana María Grandett Martínez

Frutos

De acuerdo con su clasificación botánica, es una baya que se reconoce principalmente por la forma, el color de la flor, la forma de la semilla y el sabor. El fruto, denominado comúnmente “mazorca”, es el resultado del proceso de maduración del ovario de la flor fecundada (figura 12). Existen frutos llamados “partenocárpicos” que nunca maduran por falta de semillas y abortan. De acuerdo con las características genéticas de la planta y el ambiente donde se desarrolla el árbol, la forma y tamaño de los frutos varían ampliamente (Batista, 2009; Fedecacao, 2012).

El tamaño de la mazorca puede variar entre 10 a 35 cm de longitud, desde las que tienen puntas prominentes hasta chatas, unas con bases anchas y otras estrechas. Están clasificadas como amelonado, calabacillo, angoleta y cundeamor, según el tipo o la especie.



Figura 12.

Mazorca de cacao.

En la parte interna se encuentran las semillas (figura 13), las cuales se observan ordenadas en hileras en un eje central llamado “placenta”. Están rodeadas por una especie de pulpa cremosa llamada “mucílago”, que contiene azúcares y se desprende en el proceso de beneficio. El número de semillas se encuentra en el rango entre los 20 a 60 granos, cuyo tamaño y forma varían según el tipo genético (Batista, 2009; Fedecacao, 2012; Gutiérrez, 2011).



Figura 13.

Semillas de cacao.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez (2019)

El tiempo que tarda la mazorca desde la polinización de la flor hasta su madurez varía entre 150 y 180 días, dependiendo del origen genético y del clima en que se desarrolla. Los frutos, cuando aún no están totalmente maduros, pueden ser de color verde, morado o rojo y cambian su coloración al madurar, pasando de verde a amarillo, a tonalidades rojas o anaranjadas; todo depende de su origen genético (Fedecacao, 2012).

Tipos de cacao

Desde el punto de vista de la botánica, se distinguen tres tipos de cacao con características bien definidas: el criollo, originario de América del Sur y América Central, el forastero, procedente de la cuenca del Amazonas, y el trinitario, de Trinidad y Tobago, híbrido de los dos primeros tipos (De la Cruz-Medina et al., 2012).

Criollo

Se distingue por presentar frutos alargados, muy rugosos, que terminan en una punta delgada. Su cáscara es suave, las semillas son casi redondeadas, de sabor dulce, cuyos cotiledones frescos son de color blanco o rosado. Tiene alto contenido de grasa, por lo que el grano proporciona un mejor sabor y aroma al chocolate. El tamaño y la forma de la mazorca varían según los tipos regionales, pero en Colombia es común que el fruto sea alargado, un poco más ancho cerca del pedúnculo y delgado o con punta aguda en el extremo apical (Fedecacao, 2012).

Forastero

Los cacaos forasteros son conocidos también como cacaos amazónicos o amargos. Su centro de origen es la parte alta de la cuenca del Amazonas, en el área comprendida entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá. Se caracteriza por sus frutos redondos, lisos, de cáscara dura y de granos aplanados de color morado y sabor amargo. Son de menor calidad en relación con el sabor y el aroma que confieren sus granos al chocolate elaborado con ellos. El tamaño del grano suele ser más pequeño que el de los tipos criollos y algunos de ellos producen la almendra más pequeña posible para el cacao, de mucílago ácido (Lutheran World Relief [LWR] - Cacao Móvil, 2020; Álvarez-Carrillo et al., 2016).

Trinitario

Resultado del cruzamiento entre individuos criollos y forasteros. Comprende formas híbridas heterogéneas y su calidad y características botánicas son intermedias entre los dos grupos (Mejía & Argüello, 2000; Álvarez-Carrillo et al., 2016). Las mazorcas presentan frutos de coloración verde con 30 o más semillas de entre violeta oscuro y claro (Dostert et al., 2012; Mejía & Argüello, 2000).

Actualmente en Colombia las siembras se están llevando a cabo con materiales conocidos como “clones” que son multiplicados de forma asexual, es decir, vegetativamente, lo cual garantiza la homogeneidad de las características genéticas dentro de la plantación, y que provienen de la combinación de cacao criollo y trinitario realizada en programas de investigación (Superintendencia de Industria y Comercio [SIC], 2011). Los clones se caracterizan por mantener alturas por debajo de los 4 m; sin embargo, en ocasiones es necesaria la aplicación de prácticas de poda para regular la altura del árbol (Mejía & Palencia, 2000).





CAPÍTULO III.

Recursos genéticos y propagación

El departamento de Sucre, por su zona de influencia en los Montes de María, se ha visto beneficiado de diferentes programas, tanto de iniciativas de gobiernos como de alianzas público-privadas, principalmente desarrollados por instituciones como la Usaid, con el Programa de Tierras y el Programa de Finanzas Rurales. Debido a ello, municipios como Colosó, Chalán, San Marcos, Toluviejo y toda La Mojana sucreña han incorporado materiales vegetales regionales e introducidos que hoy en día ya se encuentran distribuidos en todo el departamento.

Descripción del material vegetal más usado en el territorio

En el territorio se pueden encontrar materiales de origen universal o introducidos, sin embargo, durante los últimos ocho años tanto el gremio como diferentes instituciones público-privadas han fomentado el uso de materiales regionales colombianos.

Características de los materiales

Cada uno de estos materiales tiene bondades y características muy particulares. A continuación, se describen las características más importantes de cada material que se puede encontrar en la zona.

Theobroma Corpoica La Suiza TCS 01

Precocidad: inicia producción a los 20 meses

País de origen: Colombia

Tipo genético: híbrido trinitario

Coloración inmadura: roja con pigmentos verdes

Coloración madura: naranja-amarillo

Índice de mazorca: 9 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 3 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autocompatible

Es un material de porte bajo, precoz y acriollado (figura 14). Su producción puede iniciar a los 20 meses. Sus granos se encuentran entre los más grandes del país, con gran capacidad de adaptación en todos los pisos térmicos hasta los 1100 m s. n. m. Su evaluación de rendimiento superó los 3 kg/árbol/año después de cuatro años de estar establecido, con una incidencia de monilia de 17,3% en departamentos como Santander y Boyacá. Aún no se cuenta con los registros de producción para el departamento de Sucre.

El TCS 01 corresponde a una variedad de cacao fino generada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. El material trinitario es reconocido por su calidad, porte bajo y precocidad. Inicia su floración a partir de los 14 meses, tiempo considerado como prematuro al compararlo con materiales introducidos como ICS 95, EET 8 y SCC 61. Esta característica se proyectó en el inicio temprano de su producción, con reportes de inicio a los 20 meses después de su injertación definitiva en campo.



Figura 14.

Características más importantes del material de cacao TCS 01.

Foto: Darwin Hernando Martínez Botello

Theobroma Corpoica La Suiza TCS 06

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

País de origen: Colombia

Tipo genético: híbrido trinitario

Coloración inmadura: verde con pigmentos rojos

Coloración madura: rojo jaspeado

Índice de mazorca: 12 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 2,1 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autoincompatible

Variedad autoincomplatible, es decir que requiere de un acompañante donador de polen como el TCS 01 (figura 15). Presenta porte bajo, inicia su floración a los 20 meses de establecido en campo y presenta características predominantes de cacaos criollos finos de aroma. Esta nueva variedad es de alto rendimiento, con promedios de producción superiores a 2,1 kg/árbol/año. El número de semillas en promedio por mazorca es de 47.



Figura 15.

Características más importantes del material de cacao TCS 06.

Evaluaciones realizadas a este material en la montaña santandereana evidenciaron porcentajes de infección por monilia del 2 %, características de resistencia a la enfermedad con un manejo agronómico eficiente. En esta misma región el comportamiento productivo del material arrojó una producción de 2000 kg ha⁻¹, con homogeneidad en los ensayos realizados y un bajo porcentaje de variación entre las localidades evaluadas en los rangos altitudinales de 200 a 900 metros sobre el nivel del mar. Para el caso específico del departamento de Sucre, aún no se cuentan con los registros de producción.

Imperial College Selection ICS 95

Tipo genético: híbrido trinitario

País de origen: Trinidad

Precocidad: inicia producción a los 20 meses

Coloración inmadura: rojo

Coloración madura: naranja-amarillo

Índice de mazorca: 19 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 1,4 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autocompatible

Material de porte alto con requerimientos nutricionales y demandas de poda alta (figura 16). Su principal característica es su precocidad y su resistencia a la infección por monilia. Sin embargo, aspectos importantes como un índice de grano muy bajo obligan al productor a necesitar mayor número de mazorcas para obtener un kilogramo de cacao seco, condición desfavorable y que ha evitado su recomendación para ampliación de zonas cacaoteras.



Figura 16.

Características más importantes del material de cacao ICS 95.

Foto: Nelson Báez

Imperial College Selection ICS 1

Tipo genético: híbrido trinitario

País de origen: Trinidad

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

Coloración inmadura: rojo

Coloración madura: naranja-amarillo

Índice de mazorca: 18 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 1,7 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autocompatible

Material de porte alto con exigencias en poda y manejo de su estructura (figura 17). Ampliamente distribuido en todas las regiones agroclimáticas del país. Su comportamiento frente a la infección por monilia no es bueno, de

tal manera que requiere de controles culturales manuales y un alto grado de manejo agronómico. Presenta notas leves a chocolate, al igual que notas leves frutales con aroma floral. Su seguimiento productivo en departamentos como Santander evidencia productividades superiores a los 1200 kg ha⁻¹ al año.



Figura 17.

Características más importantes del material de cacao ICS 1.

Foto: Nelson Báez Alonso

Imperial College Selection ICS 60

Tipo genético: híbrido trinitario

País de origen: Trinidad

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

Coloración inmadura: verde

Coloración madura: amarillo

Índice de mazorca: 14 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 2,2 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autoincompatible

Material de porte alto con exigencias en poda y manejo de su estructura (figura 18). Ampliamente distribuido en todas las regiones agroclimáticas del país. Se reconoce por su susceptibilidad a la monilia, requiere de controles culturales manuales cada 8 días y un alto grado de manejo agronómico. Presenta notas medias a chocolate y notas leves frutales con aroma floral. Su seguimiento productivo en departamentos como Santander evidencia productividades superiores a los 1300 kg ha⁻¹ al año.



Figura 18.

Características más importantes del material de cacao ICS 60.

Foto: Nelson Báez

Imperial College Selection ICS 39

Tipo genético: híbrido trinitario

País de origen: Trinidad

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

Coloración inmadura: verde

Coloración madura: amarillo

Índice de mazorca: 13 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 2,3 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autoincompatible

Material de porte alto con exigencias en poda y manejo de su estructura (figura 19). Ampliamente distribuido en todas las regiones agroclimáticas del país. Se reconoce por su susceptibilidad a la monilia, requiere de controles culturales manuales cada 8 días y un alto grado de manejo agronómico. Presenta notas altas a chocolate y notas muy leves frutales con aroma floral leve. Su seguimiento productivo en departamentos como Santander evidencia productividades superiores a los 1500 kg ha⁻¹ al año.



Figura 19.

Características más importantes del material de cacao ICS 39.

Foto: Nelson Báez

Estación Experimental Tropical EET 8

Tipo genético: cacao nacional de Ecuador × Desconocido

País de origen: Ecuador

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

Coloración inmadura: rojo

Coloración madura: naranja-amarillo

Índice de mazorca: 15 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 2 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autoincompatible

Material de porte alto con exigencias en poda y manejo de su estructura (figura 20). Ampliamente distribuido en todas las regiones agroclimáticas del país. Su susceptibilidad a la monilia es alta, requiere de controles culturales manuales cada 8 días y un alto grado de manejo agronómico. Presenta notas medias a chocolate, notas frutales y aroma floral leve. Su seguimiento productivo en departamentos como Santander evidencia productividades superiores a los 1300 kg ha⁻¹ al año.



Figura 20.

Características más importantes del material de cacao EET 8.

Foto: Nelson Báez

Colección Castro Naranja CCN 51

Tipo genético: ICS 95 × IMC 67 --- F1 × Canelo

País de origen: Ecuador

Precocidad: inicia producción a los 26 meses

Coloración inmadura: rojo

Coloración madura: naranja-amarillo

Índice de mazorca: 15 mazorcas para producir un kg

Índice de grano: 1,8 gr/grano seco

Autocompatibilidad: autocompatible

Material de porte medio (figura 21). Ampliamente distribuido en Colombia y los países productores de cacao en Latinoamérica. Su susceptibilidad a la monilia es media. Sus características organolépticas son poco apetecidas en el mercado europeo, no obstante, se ha demostrado científicamente que modelos apropiados de fermentación pueden lograr que el material exprese características de sabor y aroma. Su seguimiento productivo en departamentos como Santander evidencia productividades superiores a los 1500 kg ha⁻¹ al año.



Figura 21.

Características más importantes del material de cacao CCN 51.

Foto: Nelson Báez

Medios y métodos de propagación

Durante los últimos 20 años, en Colombia se ha promovido la propagación asexual de materiales híbridos. Sin embargo, dependiendo del territorio y de los objetivos planteados por el gremio, se pueden encontrar propagaciones de tipo sexual a través del establecimiento de materiales propagados por semilla (patronaje), los cuales son establecidos en un sitio definitivo para ser injertados. La intervención por injertación se recomienda cuando el tallo principal del patrón tenga un grosor superior a los 3 cm de diámetro y el sistema agroforestal ya esté proporcionando la sombra adecuada.

En la propagación sexual de semilla (patronaje) se utiliza la polinización abierta, donde los materiales madre o receptores de polen se reconocen por su estructura robusta y su resistencia a enfermedades de origen radical. Entre los más importantes se pueden mencionar materiales como IMC 67 y los CAUC 39 y 43. Estos mismos materiales de patronaje también pueden ser propagados e injertados en vivero para después establecerlos en sitios definitivos. Esta técnica de propagación asexual en vivero se reconoce porque las plántulas establecidas en campo pueden llegar a producir más rápido.

Sin embargo, depende de controles permanentes y un sistema de trazabilidad muy estricto para garantizar que el sistema radicular llegue en las mejores condiciones al terreno. Cuando no se cuenta con las herramientas de seguimiento y trazabilidad, no se recomienda este tipo de propagación. Al respecto, el establecimiento de patronaje y de material injertado en sitio definitivo cuenta con bondades y debilidades, las cuales deben ser evaluadas por el productor y el técnico de la zona antes de tomar una decisión. Entre las recomendaciones más importantes se pueden mencionar las siguientes.

Propagación a través de material de patronaje

Para ello, se recomienda utilizar semilla certificado por el ICA, principalmente de las variedades IMC 67, CAUC 39 y CAUC 43. Al momento de comprar la semilla, se debe tener en cuenta que la misma ya puede llegar germinada, por lo que es importante tener las bolsas llenas con el sustrato. El tamaño de la bolsa es importante y se recomiendan mínimo las siguientes medidas: 35 cm de alto × 13 cm de ancho con fuelle calibre 2. Como sustrato se puede usar una relación de 3:1:1 entre materia orgánica, suelo y arena. Una vez sembradas, se debe mantener el sustrato a capacidad de campo utilizando una polisombra del 65% para evitar los rayos directos. Mínimo tres meses después de realizada la siembra se recomienda realizar el paso a sitio definitivo. En capítulos posteriores se profundizará sobre estos aspectos.

Propagación a través de material clonado

Este tipo de propagación es utilizado principalmente por asociaciones e instituciones del territorio. En este método se siguen las recomendaciones anteriores sumadas a la injertación de las copas por materiales productivos y de altos rendimientos. Para este método se recomienda utilizar mayor altura en la bolsa (38 cm) y el diámetro puede ser el mismo, al igual que el calibre.

Para la rehabilitación de plantaciones se recomienda la injertación en leño grueso, un método que se fundamenta en el cambio de copas improductivas o enfermas por materiales clonales reconocidos por su alto rendimiento o resistencia a enfermedades.



CAPÍTULO IV.

Exigencias edafoclimáticas, riego y drenaje

Las plantas de cacao son sensibles a la escasez o al exceso de agua. Estas requieren, por una parte, suelo con buen drenaje para eliminar los excedentes de agua durante la época de lluvia y, por otro lado, disponibilidad de agua proveniente de lluvia o riegos durante la época seca (Enríquez, 1985).

En estudios realizados por Carr y Lokwood (2011), reportan que el requerimiento de agua para una planta de cacao adulta (mayor a cinco años) es de alrededor de 5 mm por día. Por otra parte, se reportan incrementos en el rendimiento de plantas de cacao cuando se aplican 20,5 litros/planta/día, lo que representa una lámina de alrededor de 6 mm/planta/día en un cultivo de cacao con una densidad de 1600 plantas ha⁻¹ (Orozco-Aguilar & López-Sampson, 2016).

Con lo descrito, cobra mucha importancia el manejo agronómico y silvicultural del cultivo y de los sombríos que conforman el sistema agroforestal, con el fin mantener el tamaño adecuado de copas que permita la captación óptima de agua proveniente de la lluvia o de riego por aspersión. Poppenborg y Hölscher (2009) identificaron que la cantidad y distribución del agua de lluvia en sistemas con diferentes especies es afectada por la estructura de la cobertura arbórea presente.

Bajo las condiciones del departamento de Sucre, el periodo de sequía se presenta de diciembre a abril, por lo que es imprescindible disponer de una fuente de agua de buena calidad y de un sistema de riego eficiente en el uso del agua y en su distribución, de tal manera que garantice el suministro a cada planta de cacao según su requerimiento. En este sentido, Arévalo et al. (2017) recomiendan que durante el período de sequía prolongada se suministre mensualmente una lámina de agua de 100 mm para el cultivo de cacao. Así mismo, indican que el manejo del agua a través de sistemas de riego está directamente relacionado con su diseño y eficiencia para

garantizar una adecuada uniformidad en el suministro de agua y humedad óptima en la zona de las raíces de las plantas de cacao.

Manejo del recurso suelo

Características de los suelos

En el departamento de Sucre se han identificado dos zonas con alto potencial edafoclimático para el establecimiento del cultivo de cacao: una está ubicada al norte del departamento, entre las serranías de San Jacinto y San Jerónimo, la cual hace parte de la subregión de Montes de María en el departamento de Sucre y está integrada por los municipios de Ovejas, Colosó, Chalán y Morroa, de relieve ondulado y suelos de origen sedimentario, depositados en un ambiente de transición marino-continental (fluviomarino); la otra zona identificada hace parte de las subregiones San Jorge y La Mojana y está comprendida entre los municipios de San Marcos, Majagual, Guaranda y otros, asociada al paisaje de valle y planicies (áreas con alto potencial de inundación), de pendientes suaves menores del 3% de poca energía, con predominio de suelos de origen sedimentario de características fluviolacustres, que guardan una relación con la posición geomorfológica: materiales muy finos cerca al área de las ciénagas, limos en la parte media de la llanura y limos y arenas cerca a los ríos y caños. Estas dos zonas están asociadas a los grupos taxonómicos Inceptisol y Entisoles (suelos incipientes o jóvenes) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1998).

En general, en las áreas de lomerío sobre la subregión de Montes de María los suelos presentan condición de drenaje adecuado, con predominio de texturas finas. Químicamente estos suelos presentan reacción (pH) con rango de variación de neutro (6,3) a ligeramente alcalino (<7,9), alto contenido de bases de intercambio (Ca, Mg, K y Na), alta capacidad de intercambio catiónico (CICe >20 cmol kg⁻¹), alto contenido de materia orgánica (>2,5%) y baja disponibilidad de fósforo (P), que indican una alta fertilidad. La principal limitante para su uso está relacionada con la poca oferta hídrica por su ubicación sobre una zona de bosque seco tropical y los altos contenidos de arcillas expandibles que, a su vez, por

las condiciones fluctuantes y extremas de humedad-sequía, ocasionan largos periodos de agrietamiento y susceptibilidad a procesos erosivos.

Para el caso de la zona baja o zona sur del departamento de Sucre, los grupos texturales dominantes presentan alto contenido de arcillas finas y muy finas, el drenaje de la zona es pobre a bien drenado, con un pH que varía de ácido a ligeramente ácido, con bajo a medio contenido de materia orgánica ($<2,0\%$), de bajo a medio contenido de bases de intercambio, media CICE ($<20 \text{ cmol kg}^{-1}$) y bajo contenido de P ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$), lo que indica una fertilidad moderada a alta. La principal limitante de uso, especialmente para el cultivo de cacao, está relacionada con la condición de mal drenaje y altos procesos de compactación (IGAC, 1998).

De acuerdo con los estudios realizados por AGROSAVIA en los municipios de la zona norte (Colosó, Ovejas y Morroa) y la zona sur (San Marcos y Majagual) del departamento de Sucre, se evidenciaron suelos con promedio de tres a cinco horizontes con sus procesos pedogenéticos característicos (tablas 3, 4, 5, 6 y 7).



Tabla 3. Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Colosó, Sucre, 2017

Localización	Finca El Ojito, corregimiento Chinulito
Georreferenciación	N 09° 32' 03,02' W 075° 17' 29,95'
Altura sobre el nivel del mar	54 m s. n. m.
Taxonomía	Typic Haplustepts
Posición fisiográfica o geoforma	Lomerío
Litología/sedimentos	Sedimentario
Relieve	Ondulado
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Rastrojo
Uso actual	Agrícola
Limitantes de uso	Déficit de humedad
Nivel freático	Mayor a los 100 cm
Drenaje natural	Rápido
Profundidad efectiva	29 cm, limitado material parental
Horizontes diagnóstico	Ócrico - cámbico
Horizontes	Descripción
Ap (0-16 cm)	Coloración en húmedo: se nota pardo oscuro a pardo (7.5 YR 4/4); de textura arcillosa (A); estructura en bloques subangulares, clase muy fina a fina, de grado moderado; de consistencia, en seco, ligeramente dura, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa y plástica; alta presencia de raíces medias a finas, distribuidas de forma normal y ubicadas en el horizonte; poros frecuentes de tamaños medios de formas tubulares y continuas; con una diferenciación (límite) del horizonte gradual.
Bg (16-29 cm)	Coloración en húmedo: se nota rojo amarillento claro (5 YR 5/8), con moteados de color pardo oliva (2.5 Y 4/8), de textura franco arcillosa (FA); estructura en bloques subangulares, clase muy fina a fina, con grado débil; de consistencia, en seco, dura, en húmedo es friable y en mojado es pegajosa; poca cantidad de poros, de tamaños finos y forma tubular, localizados en el perfil del horizonte; baja presencia de raíces finas; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
Cg1 (29-56 cm)	Coloración en húmedo: pardo grisáceo (2.5 Y 5/2), presenta moteados rojos amarillentos (5 YR 5/2), de textura arcillosa (A); sin estructura; con consistencia, en seco, muy dura, en húmedo es muy friable y en mojado es muy pegajosa; baja presencia de raíces finas; baja o nula presencia de poros de forma irregular y discontinua.
Cg2 (56-100/x cm)	Coloración en húmedo: pardo grisáceo (2.5 Y 6/6), moteados de gris a verdoso (6/10 GY), textura arcillosa (A); sin estructura; consistencia, en seco, muy dura, en húmedo muy friable y en mojado es muy pegajosa; muy baja presencia de raíces, de tamaños muy finos.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Adaptación y validación de modelos agroforestales con cacao especiales”

Tabla 4. Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Ovejas, Sucre, 2017

Localización	Ovejas
Georreferenciación	N 9° 32' 39,46" W 75° 13' 22,11"
Altura sobre el nivel del mar	254 m s. n. m.
Taxonomía	Inceptisol
Posición fisiográfica o geoforma	Lomerío
Litología/sedimentos	Sedimentario
Relieve	Ondulado
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Rastrojo
Uso actual	Agrícola
Limitantes de uso	Déficit de humedad
Nivel freático	Mayor a los 100 cm
Drenaje natural	Rápido
Profundidad efectiva	29 cm, capa compactada
Horizontes diagnóstico	Ócrico - cámbico
Horizontes	Descripción
Ap (0-24 cm)	Coloración en húmedo: de pardo a grisáceo oscuro (10 YR 4/2); de textura arcillo limosa (ArL); estructura en bloques subangulares, clase fina a media, grado moderado; con consistencia, en seco, suelta, en húmedo es friable y en mojado es muy pegajosa y ligeramente plástica; alta presencia de raíces de tamaños medios a finos, de distribución normal en el horizonte; alta cantidad de poros de tamaños finos a medios, de formas tubulares y continuas; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
Bw (24-50 cm)	Coloración en húmedo: pardo amarillo claro (10 YR 6/4), de textura franco arcillosa (FAr); con estructura de bloques subangulares, clase muy fina a fina, con grado débil; con consistencia, en seco, ligeramente dura, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa y plástica; alto contenido de concreciones carbonatadas, redondeadas, de tamaños medios, consistencia blanda; poca cantidad de poros, con tamaños muy finos a finos, de forma irregular, localizados en el perfil del horizonte; baja presencia de raíces, de tamaño fino a medio en el horizonte; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
Bd (50-x cm)	Coloración en húmedo: pardo grisáceo (2.5 Y 5/4), de textura franco arcillosa (FAr); estructura migajosa muy fina a fina, de grado débil; consistencia, en seco, muy dura, en húmedo es firme y en mojado es ligeramente pegajosa y plástica; con alto contenido de concreciones de composición carbonatada, de forma redondeada, con tamaños medios y consistencia blanda; poca cantidad de poros, de tamaños muy finos a finos, irregulares en su forma, localizados en el perfil del horizonte; poca presencia de raíces, de tamaños finos a medios en el horizonte; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Adaptación y validación de modelos agroforestales con cacaos especiales”

Tabla 5. Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Morroa, Sucre, 2017

Localización	Morroa
Georreferenciación	N 9° 27' 49,91" W 75° 17' 10,96"
Altura sobre el nivel del mar	175 m s. n. m.
Taxonomía	Inceptisol
Posición fisiográfica o geoforma	Lomerío
Litología/sedimentos	Sedimentario
Relieve	Ondulado
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Rastrojo
Uso actual	Agrícola
Limitantes de uso	Déficit de humedad y pendiente
Nivel freático	Mayor a los 100 cm
Drenaje natural	Rápido
Profundidad efectiva	45 cm, limitada por capa compactada
Horizontes diagnóstico	Ócrico - cámbico
Horizontes	Descripción
Ap (0-30 cm)	Colores en gris muy oscuro (10 YR 3/1); textura arcillosa (Ar), con pocos fragmentos de roca tipo gravilla de forma angular, altamente meteorizados; este horizonte presenta estructura en forma de bloques angulares finos a muy finos, de grado débil, con consistencia, en seco, dura, en húmedo es friable y en mojado es pegajosa y plástica; alta presencia de raíces de medias a finas, distribuidas de manera normal y ubicadas en el horizonte; alta cantidad de poros de tamaños finos a medios, con formas vesiculares y continuos; la diferenciación (límite) del horizonte es clara, con presencia frecuente de microorganismos.
AB (30-39 cm)	Colores en húmedo: gris muy oscuro mezclado con pardo oliva claro (10 YR 3/1 - 2.5 Y 5/4), textura arcillosa (Ar), modificada por alta presencia de gravas de tamaños finos a medios, de forma angular, con fuerte alteración; estructura en bloques angulares de clase fina, con grado débil a moderado; consistencia, en seco, dura, en húmedo es friable y en mojado es pegajosa; la cantidad de poros es frecuente, con tamaños finos, de forma vesicular, localizados en el perfil del horizonte; frecuente presencia de raíces, de tamaños medios en el horizonte; poca presencia de macroorganismos; con límite de horizonte.
Bw (39-61 cm)	Colores en húmedo: pardo oliva (2.5 Y 5/4); textura arcillosa (Ar), modificada por alta presencia de gravas de tamaños medios de forma angular, con fuerte alteración de naturaleza sedimentaria; estructura en bloques angulares de clase media a gruesa, de grado débil a moderado; con consistencia, en seco, ligeramente dura; poca o nula cantidad de poros, de tamaños muy finos a finos, de forma vesicular, localizados en el perfil del horizonte; baja presencia de raíces de tamaños finos en el horizonte; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
CR (61-81 cm)	Colores en húmedo: amarillo mezclado con gris a gris claro (5 Y 7/6 - 5 Y 6/1), de textura arenosa (A); sin estructura; de consistencia, en seco, muy dura, en húmedo es muy friable y en mojado es no pegajosa y no plástica; raíces pocas a nulas, muy finas; poca cantidad de poros de formas irregulares y discontinuos.
R (81-x cm)	Coloración en húmedo con matriz principal blanca (5 Y 8/1), sin textura determinada debido a que es un material rocoso consolidado basado en roca calcárea.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Adaptación y validación de modelos agroforestales con cacao especiales”

Tabla 6. Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de San Marcos, corregimiento Buenavista, Sucre, 2017

Localización	San Marcos, corregimiento de Buenavista, vereda Dividivis, finca Villa del Carmen
Georreferenciación	N 08° 42' 16,1" 7 W 075° 16' 55,95"
Altura sobre el nivel del mar	55 m s. n. m.
Taxonomía	Inceptisol
Posición fisiográfica o geoforma	Lomerío
Litología/sedimentos	Sedimentario
Relieve	Ondulado
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Rastrojo
Uso actual	Agrícola
Limitantes de uso	Déficit de humedad
Nivel freático	Mayor a los 100 cm
Drenaje natural	Moderado
Profundidad efectiva	80 cm, limitada por material parental
Horizontes diagnóstico	Ócrico - cámbico
Horizontes	Descripción
Ap (0-14 cm)	Coloración en húmedo: pardo (7.5 YR 5/3); de textura arcillo arenosa (AAR); con estructura de bloques angulares, clase media de grado fuerte; de consistencia, en seco, ligeramente dura, en húmedo es suelta y en mojado es pegajosa y plástica; alta presencia de raíces de medias a finas, con distribución normal y ubicadas en el horizonte; alta cantidad de poros con tamaños medios, de formas tubulares y continuos; la diferenciación (límite) del horizonte es gradual.
AB (14-27 cm)	Coloración en húmedo: de pardo a amarillento (10 YR 5/6), de textura franco limosa (FL); con estructura en bloques subangulares, clase fina con grado moderado; de consistencia, en seco, dura, en húmedo es suelta y en mojado es ligeramente pegajosa; alta cantidad de poros de tamaños finos, de forma tubular, localizados en el perfil del horizonte; baja presencia de raíces finas en el horizonte; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
Bw (27-46 cm)	Coloración en húmedo: de pardo a amarillento (10 YR 5/8), de textura franco arcillosa (FA); con estructura en migajones, clase muy fina a fina, con grado débil; de consistencia, en seco, ligeramente dura, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa; poca cantidad de poros, con tamaños finos, de forma tubular, localizados en el perfil del horizonte; poca presencia de raíces de tamaños finos en el horizonte; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
C (46-67 cm)	Coloración en húmedo: de pardo a grisáceo (2.5 Y 6/6), de textura arenosa (Ar); sin estructura; de consistencia, en seco, muy dura, en húmedo es muy friable y en mojado no pegajosa y no plástica; poca o nula presencia de raíces, de tamaños muy finos.
CR (67-100/x cm)	Coloración en húmedo con matriz principal pardo amarillento (10 YR 5/8), matriz secundaria gris claro (2.5 Y 7/1), de textura arenosa (Ar), con fragmentos rocosos de finos a medios; sin estructura; consistencia, en seco, muy dura, en húmedo es muy friable y en mojado es muy pegajosa; muy poca o nula presencia de raíces, de tamaños muy finos; nula presencia de poros de forma irregular y discontinua.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Adaptación y validación de modelos agroforestales con cacaos especiales”

Tabla 7. Descripción del perfil característico en predio cacaotero en el municipio de Majagual, corregimiento La Sierpe, Sucre, 2017

Localización	Finca Tolaima, corregimiento La Sierpe, Majagual, Sucre
Georreferenciación	N 8° 28' 46,09" W 074° 52' 35,30"
Altura sobre el nivel del mar	21 m s. n. m.
Taxonomía	Inceptisol
Posición fisiográfica o geoforma	Llanura de inundación, coluvio-aluvial
Litología/sedimentos	Sedimentos aluviales
Relieve	Plano
Clima edáfico	Údico, isohipertérmico
Vegetación natural	Pasto nativo
Uso actual	Agrícola
Limitantes de uso	Exceso de humedad
Nivel freático	Mayor a los 100 cm
Drenaje natural	Imperfecto
Profundidad efectiva	30 cm, limitada por capa endurecida
Horizontes diagnóstico	Ócrico - cámbico
Horizontes	Descripción
Ap (0-10 cm)	Coloración en húmedo: de pardo oscuro a pardo (7.5 YR 4/4); de textura arcillo limosa (AL); con estructura en bloques subangulares, clase fina a media, de grado moderado; de consistencia, en seco, suelta, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; frecuente presencia de raíces con tamaños finos, de distribución anormal y ubicadas en el horizonte; poca cantidad de poros, con tamaños muy finos, de forma vesicular y discontinua; la diferenciación (límite) del horizonte es gradual.
Bg1 (10-65 cm)	Coloración en húmedo: de pardo a amarillento claro (10 YR 6/4), moteados gris azulado (5/10 B), de textura arcillo limosa (AL); con estructura en bloques subangulares, clase fina a media, grado moderado; de consistencia, en seco, suelta, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; baja presencia de raíces, de tamaños finos, ubicadas en grietas; cantidad de poros frecuente, de tamaños finos a medios, de formas irregulares y discontinuos; la diferenciación (límite) del horizonte es clara.
Bg2 (65-x cm)	La coloración en húmedo es pardo oliva claro (2.5 Y 5/4), con moteados de color gris verdoso (6/5 G), textura arcillo limosa (AL); estructura en bloques subangulares de clase fina a media, con grado moderado; consistencia, en seco, suelta, en húmedo es friable y en mojado es ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; muy poca presencia de raíces, de tamaños finos, ubicadas en grietas; poros frecuentes de tamaños finos a medios, de formas irregulares y discontinuos.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Adaptación y validación de modelos agroforestales con cacao especiales”

La descripción de los perfiles de suelos evidenció suelos con poco o incipiente desarrollo asociados al orden Inceptisol, con horizontes diagnósticos ócrico sobre cámbico y suelos de fertilidad media a alta. Las principales limitantes de uso están relacionadas con el déficit hídrico del área de estudio, drenaje regular a imperfecto en algunas zonas y altos procesos de degradación del suelo. Estas descripciones coinciden con las reportadas en el estudio de zonificación de tierras del departamento de Sucre por el IGAC (1998).

Antes del establecimiento de las parcelas con los SAF con cacao (figura 22), se realizó el levantamiento de la línea base (condiciones antes de la intervención) de los parámetros fisicoquímicos y biológicos (macrofauna) en cada una de las localidades seleccionadas (figura 23). Para tal fin se determinaron los parámetros físicos: densidad aparente del suelo (D_a), porosidad total (P_t), resistencia mecánica a la penetración (RMP), distribución de agregados en el suelo (textura) y estabilidad estructural del suelo (EE), entre otros, los cuales son elementos que nos permiten evaluar el grado de compactación (dureza) del suelo y su efecto sobre el desarrollo de las raíces de los cultivos (Hossne, 2008). Las propiedades químicas del suelo nos permiten identificar el estado nutricional que favorece o desfavorece la producción del cultivo por establecer y la macrofauna del suelo es un indicador del estado de conservación y perturbación del suelo (Castillo Pérez & Ñique Álvarez, 2019).



Figura 22.

Adecuación del lote para el establecimiento del sistema agroforestal.

Foto: José Luis Contreras Santos



Figura 23.

Toma de muestras y mediciones en suelo.

Foto: José Luis Contreras Santos

Los resultados obtenidos mostraron restricción para el desarrollo de las raíces en los primeros 20 cm de profundidad (capa arable), un comportamiento que pudo estar asociado a la sobremecanización o al uso inadecuado de implementos de preparación del terreno (tabla 8).

Tabla 8. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos de suelo antes de la intervención con sistemas agroforestales con cacao, 2017

Propiedades de suelo	ID	BVA	MJA	CLO	OVS
Físicas	Da (g cm ⁻³)	1,37	1,47	1,12	1,44
	Pt (%)	48,29	44,54	56,82	42,7
	Ma (%)	5,86	0,33	11,27	11,08
	Me (%)	47,42	22,62	79,62	69,05
	Mi (%)	46,73	77,06	9,12	19,87
	DMP (mm)	0,48	0,14	0,99	0,82
	A (%)	36,96	42,68	69,39	48,38
	L (%)	25,61	45,01	22,36	35,75
	Ar (%)	37,44	12,33	8,27	15,88
	Textura	F-A	A-L	A	A
Químicas	pH	6,19	6,16	5,88	7,63
	CE (dSm ⁻¹)	0,36	0,22	0,28	0,49
	MO (%)	2,19	1,83	3,13	1,68
	P (mg kg ⁻¹)	4,3	16,23	3,51	82,64
	S (mg kg ⁻¹)	10,44	11,38	3,43	7,6
	Ca (cmol kg ⁻¹)	11,44	8,55	17,1	39,26
	Mg (cmol kg ⁻¹)	8,09	4,9	12,62	5,03
	K (cmol kg ⁻¹)	0,24	0,31	0,28	4,72
	Na (cmol kg ⁻¹)	0,1	0,1	0,33	0,41
	CIC (cmol kg ⁻¹)	19,87	13,86	30,33	49,42
	Fe (mg kg ⁻¹)	37,57	220,72	47,54	11,59
	Mn (mg kg ⁻¹)	1,9	2,33	3,63	1
	Zn (mg kg ⁻¹)	1	1,59	2,36	1
	Cu (mg kg ⁻¹)	1,32	4,56	3,52	1,59
	B (mg kg ⁻¹)	0,6	0,6	0,4	0,65
	Ca/Mg	1,4	1,7	1,4	7,8
	(Ca + Mg)/K	81,4	43,4	106,1	9,4
	Mg/K	33,7	15,8	45,1	1,1

ID: identificador; BVA: Buenavista; MJL: Majagual; CLO: Colosó; OVL: Ovejas; Da: densidad aparente; Pt: porosidad total; Ma: macroagregados; Me: mesoagregados; Mi: microagregados; DMP: diámetro medio ponderado; A: arcillas; L: limos; Ar: arenas; F-A: franco-arcilloso; A-L: arcilloso-limoso; A: arcilloso; pH: concentración de iones H⁺; CE: conductividad eléctrica; MO: contenido de materia orgánica; P: contenido de fósforo; S: contenido de azufre; Ca: calcio intercambiable; Mg: magnesio intercambiable; K: potasio intercambiable; Na: sodio intercambiable; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Fe: contenido de hierro disponible; Mn: contenido de manganeso disponible; Zn: contenido de zinc disponible; Cu: contenido de cobre disponible; B: contenido de boro disponible; Ca/Mg: relación calcio/magnesio; (Ca + Mg)/K; relación calcio + magnesio/potasio; Mg/K: relación magnesio/potasio.

Fuente: Elaboración propia

Los grupos texturales dominantes en las diferentes localidades fueron las texturas finas a muy finas y, en algunos casos, medias (BVA). Los valores obtenidos en casi todas las localidades respecto a la porosidad total (Pt) evidenciaron valores inferiores al 50%, lo cual indica reducción de espacios porosos, procesos de compactación y disminución del movimiento de solutos y oxígeno en la matriz del suelo, excepto en la localidad de Colosó (CLO). El diámetro ponderado medio de los agregados del suelo (DMP) mostró valores inferiores a 1,5 que indican estructuras con rango de variación de ligeramente estables a inestables (IGAC, 2006).

La resistencia mecánica a la penetración (RMP) mostró valores de 1,5 MPa superiores en los primeros 5 cm de profundidad en las localidades ubicadas al norte del departamento (CLO y OVS) y a partir de los 10 cm en las localidades ubicadas al sur (MJA y BVA). A partir de estas profundidades, la tendencia fue a aumentar, de acuerdo con Zerpa et al. (2013), ya que valores superiores a 1,5 MPa indican restricción para el desarrollo radicular de las especies vegetales (figura 24).

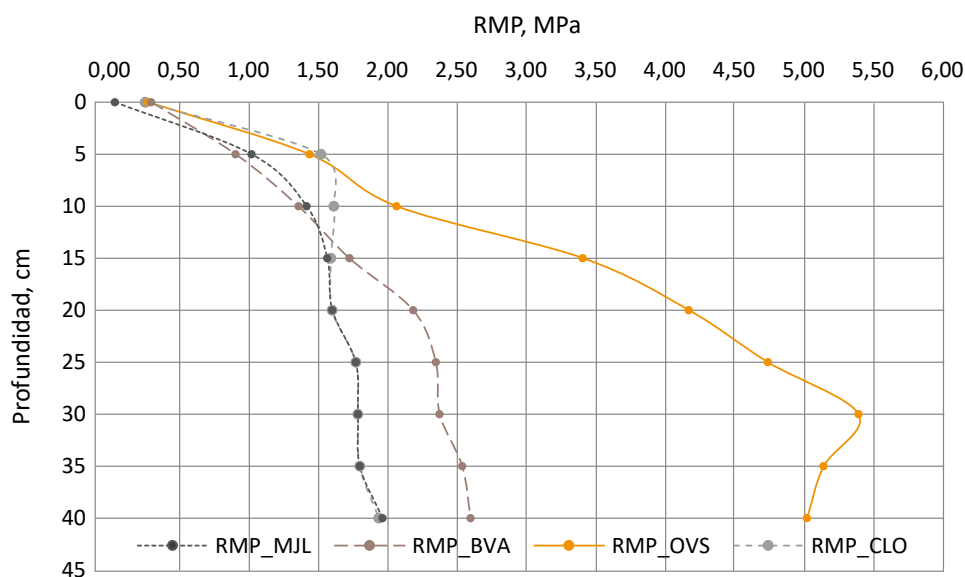


Figura 24.

Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración antes de la intervención con los SAF con cacao.

Los resultados de los análisis químicos de suelo obtenidos en las diferentes localidades mostraron valores de pH con variación de modernamente ácidos ($>5,6$) a ligeramente alcalinos ($<7,9$). Estas dos condiciones se presentan en la zona norte del departamento, en las localidades de Colosó y Ovejas respectivamente. Los contenidos de materia orgánica (MO) varían de medios a altos. Teniendo en cuenta que estos valores de MO altos se registraron en la localidad de Colosó y los menores valores en las localidades de Ovejas y San Marcos (Buenavista), el contenido de bases de cambio (CIC) varía de medio a alto y se encontraron valores superiores a 20 cmol kg^{-1} en las localidades de Colosó y Ovejas. Las bases de intercambio fueron altas en todas las localidades evaluadas. Los elementos menores o microelementos presentaron valores bajos en casi todos los elementos en las diferentes localidades. Los principales problemas químicos evidenciados se relacionan con las relaciones catiónicas calcio/magnesio, donde se evidenció deficiencia de calcio; las otras relaciones mostraron comportamiento similar y deficiencias de potasio en casi todas las localidades (tabla 6; ICA, 1992). Estos resultados permiten inferir que la fertilidad de las localidades evaluadas antes de la intervención con los modelos de SAF con cacao presentaron fertilidad media a alta. Resultados similares fueron reportados por el IGAC (1998).

En el departamento de Sucre, la macrofauna edáfica asociada a los sistemas agroforestales de cacao se caracteriza por la presencia de diferentes órdenes con diversa funcionabilidad de acuerdo con sus hábitos de vida como ingenieros del suelo, detritívoros, herbívoros y depredadores (figura 25).



Figura 25.

Órdenes de macrofauna edáfica presentes en las diferentes localidades antes de la intervención con SAF con cacao: a. Diplopoda; b. Coleoptera; c. Araneae; d. Diplura; e. Hymenoptera; f. Haplotaxida; g. Isoptera; h. Chilopoda (Geophilomor).

Fotos: Jeyson Garrido, Liseth Cárdenas y Angelica Manrique (2019)

En la tabla 9 se aprecia un listado de órdenes y grupos funcionales proveniente de una línea base realizada en el 2017.

Tabla 9. Órdenes de macrofauna dominantes en las localidades evaluadas antes de la intervención con SAF con cacao, 2017

Orden	Grupo funcional ⁺	Nombre común
Geophilomorpha (Chilopoda)	Depredadores	Ciempíes
Araneae	Depredadores	Arañas
Psudoscorpionida	Depredadores	Pseudoescorpión
Diplopoda	Detritívoros	Milpiés
Acari	Detritívoros	Ácaros
Polyxenida (Diplopoda)	Detritívoros	Milpiés
Isopoda	Detritívoros	Cochinillas
Haplotaxida	Detritívoros e ingenieros del suelo	Lombrices de tierra
Isoptera	Detritívoros e ingenieros del suelo	Termitas o comejenes
Coleoptera	Detritívoros, herbívoros y depredadores	Escarabajos
Diplura	Detritívoros, omnívoros	Tijereta
Orthoptera	Herbívoros	Grillos y saltamontes
Hemiptera	Herbívoros	Chinches
Hymenoptera	Omnívoros, depredadores e ingenieros del suelo	Hormigas

⁺ órdenes con más de una funcionalidad: se tomó la principal y con mayor representatividad en el suelo.

Fuente: Elaboración propia

Los ingenieros del suelo o del ecosistema (p. ej., lombrices de tierra, hormigas, termitas) son los encargados de transformar la materia orgánica y modifican la estructura del suelo mediante la construcción de canales internos que facilitan el movimiento de agua y oxígeno (Lavelle, 1997). Además generan estructuras biogénicas que son reservorios de nutrientes (p. ej., excretas fecales de lombrices, nidos de termitas y lombrices) (Cabrera Dávila, 2018).

Los detritívoros (p. ej., lombrices de tierra, caracoles, cochinillas, milpiés y termitas, entre otros) abarcan gran parte de los invertebrados que habitan en el suelo (dentro y fuera) y son los encargados de triturar los restos vegetales y animales que hacen parte de la hojarasca en tamaño de detrito, incrementando la superficie específica para la acción de hongos y bacterias (Cabrera Dávila, 2018).

Los herbívoros (p. ej., chiches, saltamontes, orugas y larvas de escarabajos, entre otros) influyen sobre la cantidad de material vegetal que ingresa al suelo y se alimentan de partes vivas de las plantas (hojas, tallos y raíces). Los depredadores (p. ej., ciempiés, arañas, escorpiones y escarabajos adultos, entre otros) son los encargados de realizar el control natural o mantener el equilibrio de la población de invertebrados y pequeños vertebrados vivos.

Por último, se encuentra el grupo de los omnívoros (p. ej., cucarachas, hormigas, entre otros), encargados de realizar un papel parecido a los depredadores en la regulación de los recursos al emplear todo tipo de material vivo o muerto en su alimentación (Swift et al., 2012; Cabrera Dávila, 2018).

Los resultados de la evaluación de la macrofauna en la línea base mostraron que la abundancia absoluta de individuos por metro cuadrado fue mayor en la localidad de Buenavista, San Marcos (BVA, 768 ind m⁻²), seguida de la localidad de Colosó (CLO, 256 ind m⁻²). La localidad de Majagual fue la que evidenció menor número de individuos absolutos (figura 26).

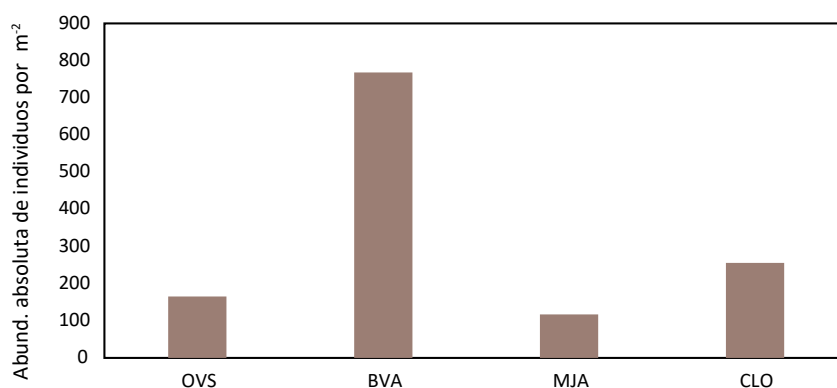


Figura 26.

Abundancia absoluta de individuos de macrofauna por metro cuadrado antes de la intervención con sistemas agroforestales con cacao.

Fuente: Elaboración propia (2017)

La abundancia absoluta encontrada en la localidad de Buenavista estuvo dominada por el grupo funcional “ingenieros del suelo” en un 90% (figura 27a) y el orden de mayor relevancia fue el Hymenoptera con el 53% (hormigas), seguido del orden Haplotaxida (lombrices de tierra, 35%). Un comportamiento similar se evidenció en la localidad de Colosó (figura 27b). Así mismo, la mayor diversidad de órdenes dentro de las localidades se obtuvo en Colosó y Majagual (10 órdenes) (figura 27c y 27d).

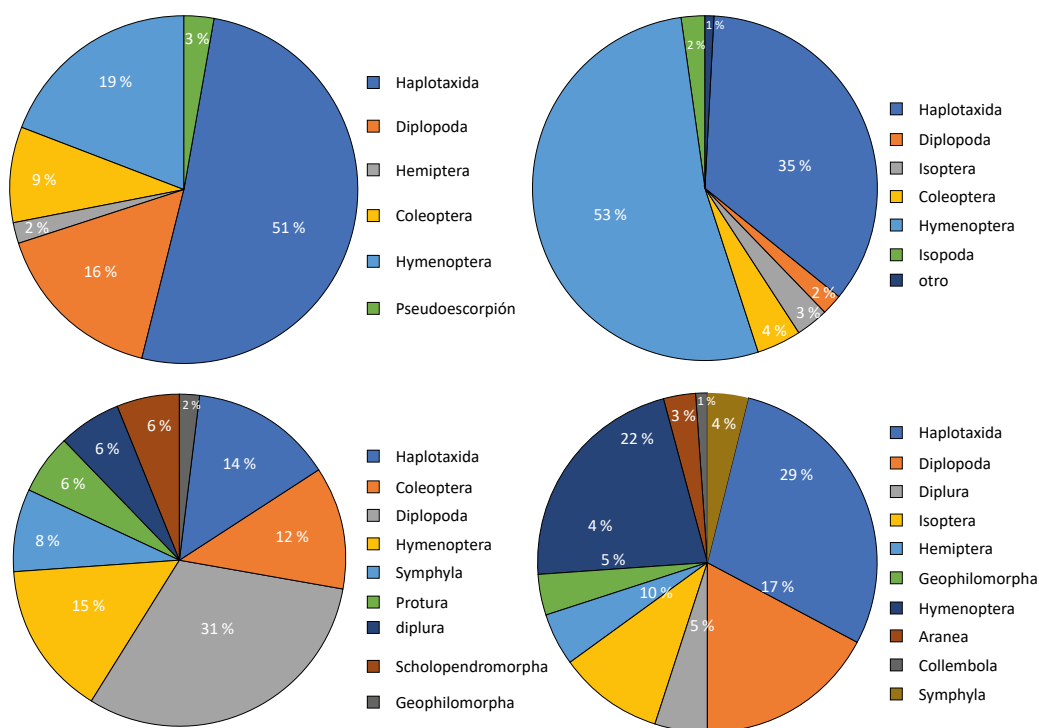


Figura 27.

Porcentajes de órdenes de la macrofauna edáfica identificados durante el levantamiento de la línea base: a. Ovejas; b. Buenavista; c. Majagual; d. Colosó.

Fuente: Elaboración propia (2017)

En general, se observó en todas las localidades la dominancia del orden Hymenoptera acompañado en algunos casos del orden Isoptera, relacionados con ambientes con alto grado de perturbación o sistemas de producción agrícola. Estos órdenes tienen alta capacidad de adaptación en ambientes disturbados y se consideran como indicadores de alteración ambiental (Araújo et al., 2017; Santos et al., 2017; Cabrera Dávila, 2018).

Los resultados edáficos obtenidos muestran que las zonas norte y sur del departamento de Sucre tienen un alto potencial para el establecimiento de sistemas agroforestales asociados con cacao.

En investigaciones realizadas por AGROSAVIA en el departamento de Sucre en sistemas agroforestales con cacao con dos años de establecimiento, se encontró que en los parámetros físicos “densidad aparente” y “porosidad total” del suelo la tendencia fue a mejorar y mantener los valores iniciales luego de la intervención con SAF. Este comportamiento fue más notorio en las localidades de Ovejas y Majagual, que pasaron de 1,44 y 1,47 g cm⁻³ en línea base (tabla 6) a 1,22 y 1,14 g cm⁻³ respectivamente dos años después de la intervención. Así mismo, se observó mejoría respecto al parámetro “porosidad total” y se encontraron valores superiores al 50% (figura 28), lo que indica buena aireación o mayor capacidad de retención de humedad (Contreras Santos et al., 2021).

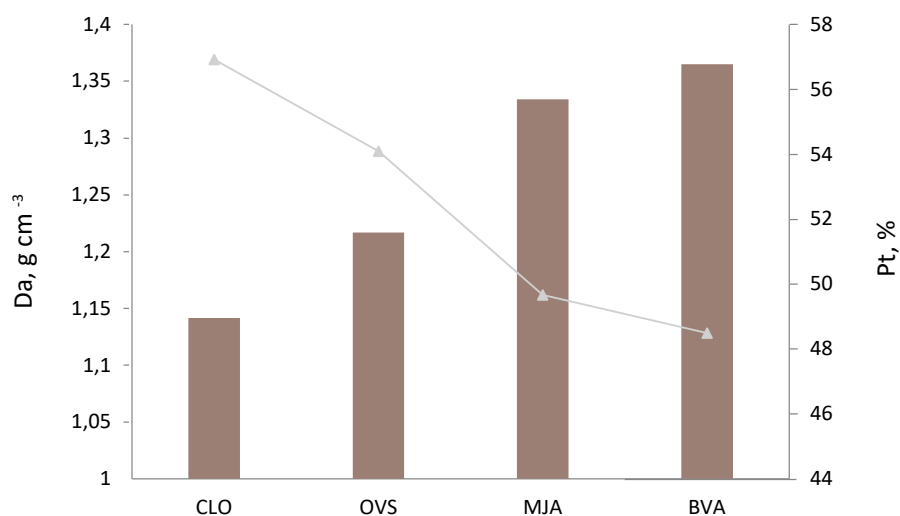


Figura 28.

Comportamiento de la densidad aparente (Da, g cm⁻³) y porosidad total (Pt, %) del suelo luego de dos años de intervención con sistemas agroforestales con cacao.

CLO: Colosó; ovs: Ovejas; MJA: Majagual; BVA: Buenavista. Barras verticales (Da), línea gris (Pt)

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los valores de resistencia mecánica a la penetración (RMP) obtenidos durante línea base mostraron valores superiores a 2 MPa en estratos superficiales (10 cm), que indican procesos de compactación del suelo. Luego de la intervención con SAF con cacao se observó mejoría en todas las localidades de estudio y se encontró que los estratos compactos reportados en línea base en los primeros 10 cm migraron hacia estratos más profundos (>20 cm, figura 29), lo que favorece el desarrollo de raíces finas encargadas de la adquisición de agua y nutrientes. Estos resultados son similares a los reportados por otros autores e indican que la presencia de especies leñosas dentro de los sistemas ayuda en el proceso de rehabilitación y descompactación de estratos superficiales a causa de una mayor presencia de raíces y acumulación de materia orgánica (Leyva et al., 2018; Contreras Santos et al., 2019; 2021).

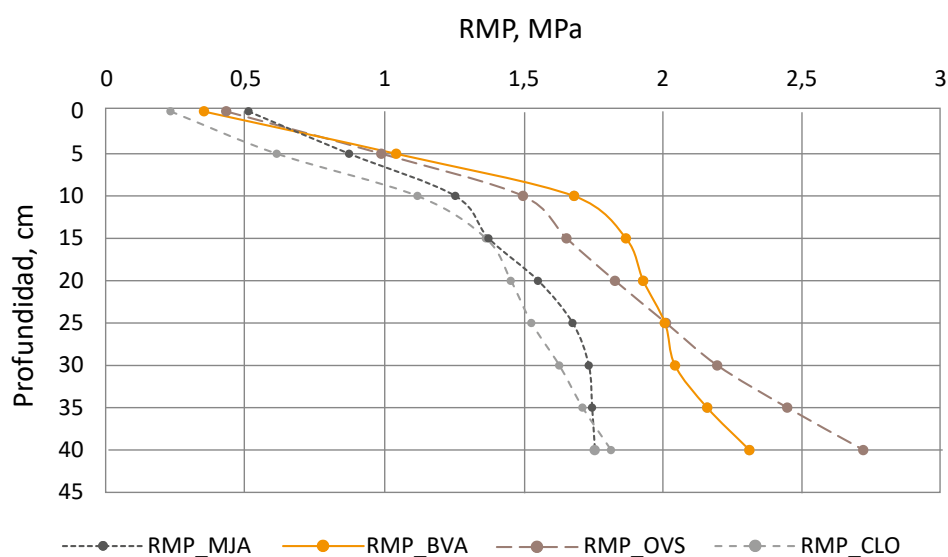


Figura 29.

Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración de las raíces en el suelo (RMP, MPa) luego de dos años de intervención con sistemas agroforestales con cacao.

CLO: Colosó; OVS: Ovejas; MJA: Majagual; BVA: Buenavista

Fuente: Elaboración propia (2019)

Desde el punto de vista químico, los sistemas agroforestales juegan un papel fundamental en la nutrición de los suelos (Rojas Molina et al., 2021). Esta afirmación coincide con los resultados obtenidos por AGROSAVIA en las localidades de Colosó, Ovejas, Buenavista y Majagual, donde se encontró que la concentración de nutrientes en el suelo bajo sistemas agroforestales mejoró significativamente respecto a la evaluación del suelo antes de la intervención (figura 30). El fósforo disponible (P) y las bases de intercambio (Ca^{2+} , Mg^{+} y K^{+}) mostraron valores altos, lo cual se asocia a la capacidad que tienen las especies arbóreas leñosas o maderables de obtener nutrientes en estratos más profundos y colocarlos en superficie (ciclaje de nutrientes) (Martínez-Atencia et al., 2020). Estos resultados concuerdan con los reportados por algunos autores, quienes destacan que los elementos mayores y las bases de intercambio (P, S, Ca, Mg y K) aumentan más dentro de los sistemas agroforestales que en un sistema de monocultivo (Casals et al., 2013; Contreras Santos et al., 2021).

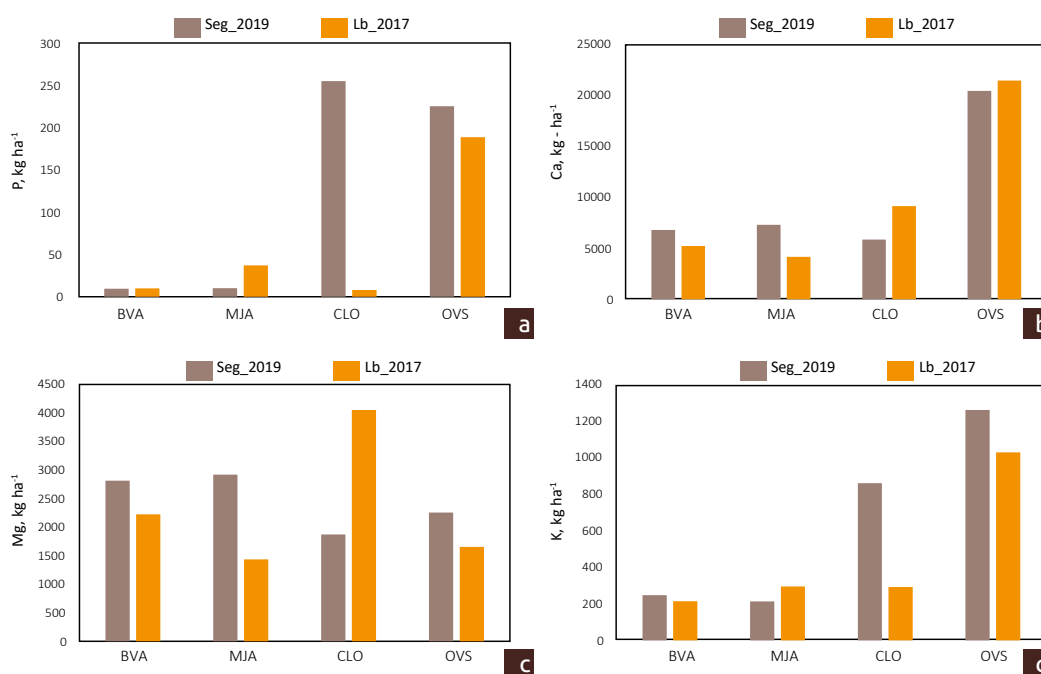


Figura 30.

Contenido de nutrientes en el suelo en sistemas agroforestales luego de dos años de intervención (Seg_2019) vs. nutrientes iniciales en el suelo (línea Base, Lb_2017): a. Fósforo; b. Calcio; c. Magnesio; d. Potasio.

CLO: Colosó; ovs: Ovejas; MJA: Majagual; BVA: Buenavista

Fuente: Elaboración propia (2019)

Para el modelo agroforestal con cacao, se realizó el análisis descriptivo con base en diferentes variables biológicas, con el fin de estimar el impacto de este sobre la fauna presente en el suelo (línea base). En la mayoría de las localidades se presentaron valores altos de diversidad y abundancia de individuos.

El establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) en la localidad de Majagual mostró impactos positivos en la fauna del suelo con base en los resultados arrojados por el análisis de diversidad de Simpson (figura 31), con notable aumento en la diversidad de fauna presente en cada sitio.

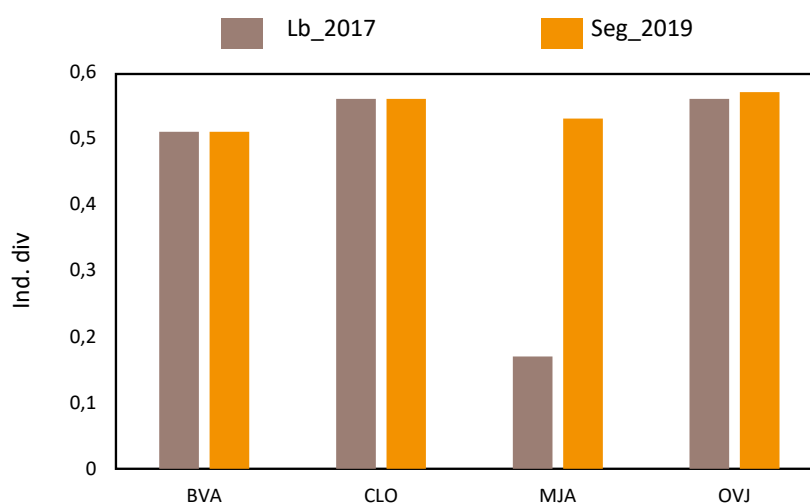


Figura 31.

Índice de diversidad basado en el análisis de Simpson antes de la intervención (Lb_2017) y dos años luego de haber establecido los sistemas agroforestales (Seg_2019).

CLO: Colosó; OVS: Ovejas; MJA: Majagual; BVA: Buenavista

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para el resto de las regiones se evidenció que la diversidad presente se mantiene estable, lo que permite inferir que los sistemas agroforestales con cultivo de cacao podrían considerarse sistemas de conservación de la fauna del suelo, convirtiéndolos en una alternativa de producción que va de la mano con los procesos naturales del suelo, ya que a pesar de la intervención no generarían efectos negativos en la diversidad y estabilidad del ecosistema.

Los sistemas agroforestales juegan un rol importante en la recuperación de suelos degradados así como en la mitigación de los gases de efecto invernadero debido a su potencial de inmovilización de carbono atmosférico en suelo y biomasa aérea-subterránea (Contreras Santos et al., 2019). Diferentes autores han destacado la importancia de la inclusión de diferentes especies en estratos múltiples con diferentes funcionalidades que ayuden a mejorar la biodiversidad y como estrategia de los sistemas tradicionales para su transformación en escenarios resilientes capaces de afrontar la variabilidad y el cambio climático (Patiño Forero et al., 2018).

Otro rol importante está relacionado con la captura de carbono orgánico en el suelo (COS). Resultados obtenidos durante la evaluación, dos años después de la intervención con los sistemas agroforestales (SAF) con cacao, muestran que aumentó en más de un 30% el potencial de captura de carbono orgánico (COS) respecto a la referencia inicial (línea base 2017). En la figura 34 se puede observar el comportamiento de captura en cada una de las localidades evaluadas frente a su referente (estado inicial o línea base). Es de anotar que la localidad con mayor potencial de captura de carbono fue Colosó con el 49%, con un estado inicial de $34,6 \text{ t ha}^{-1}$ y un estado a los dos años de $41,9 \text{ t ha}^{-1}$ (figura 32), seguido por la localidad de Ovejas con más del 30% de COS.

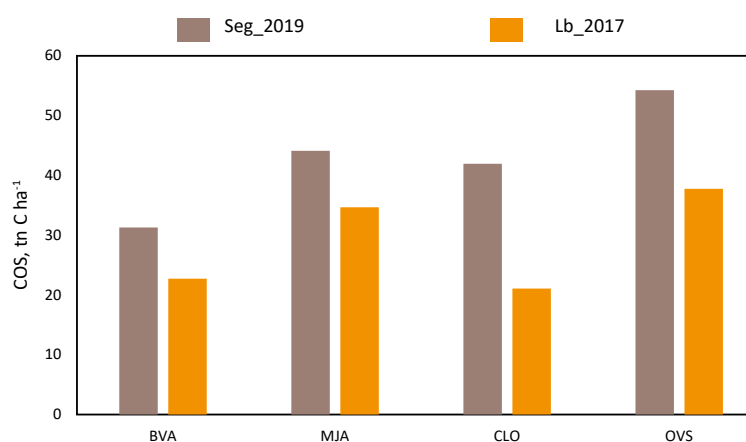


Figura 32.

Carbono orgánico acumulado en el suelo antes de la intervención con los SAF con cacao (Lb_2017) vs. seguimiento dos años después de establecidos (Seg_2019).

CLO: Colosó; ovs: Ovejas; MJA: Majagual; BVA: Buenavista

Fuente: Elaboración propia (2019)



CAPÍTULO V.

Sistemas agroforestales con cacao

Los sistemas agroforestales juegan un papel importante tanto en la conservación de la biodiversidad y el suelo como en la sostenibilidad económica y ambiental. Su estructura multiestratificada proporciona hábitat, recursos y alimentos a diferentes especies (animales y plantas); así mismo, mejoran la capacidad del suelo para la captura e inmovilización de carbono (Roa-Romero et al., 2009; Marín et al., 2016; Briones, 2017; Contreras Santos et al., 2021).

Diferentes estudios han demostrado la importancia de mantener el cultivo de cacao bajo una sombra parcial y se ha encontrado que el promedio de tiempo de vida de la hoja de cacao bajo sombra es 1,8 veces más que cuando está a plena exposición solar o su equivalente y puede tener un 55% más de vida útil (Almeida & Valle, 2007; Jaimez et al., 2008).

Basados en esto, tenemos que el uso de sistemas agroforestales juega un papel preponderante en la producción de cacao ya que, además de aumentar la vida útil de las plantaciones, brinda servicios ecosistémicos asociados a la captura de carbono, el ciclaje de nutrientes y la conservación de la biodiversidad. AGROSAVIA, en el departamento de Sucre, implementó modelos agroforestales (SAF) con cacao para atender las problemáticas sectoriales y regionales relacionadas con la producción de cacao.

Se implementaron SAF modelos o sistemas agroforestales con cacao con el uso de forestales nativos de interés en el departamento de Sucre, dos en la subregión Montes de María, en los municipios de Colosó y Ovejas, y dos en la subregión de La Mojana, en los municipios de San Marcos y Majagual (figura 33).

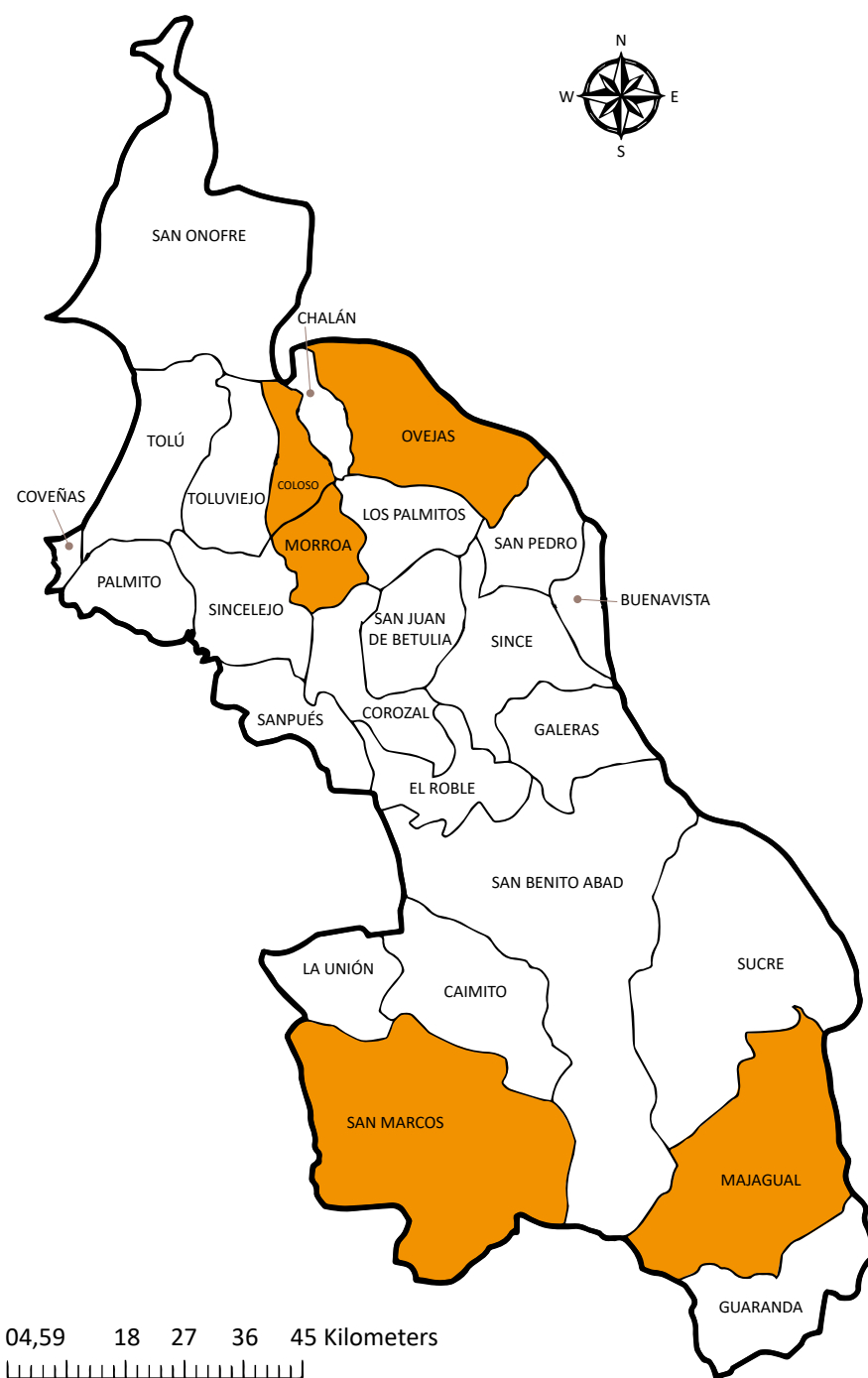


Figura 33.

Localización de parcelas con sistemas agroforestales.

Servicios ecosistémicos ofertados por los sistemas agroforestales

En los últimos años, los sistemas de producción agrícola tradicionales han migrado a sistemas sostenibles económica y ambientalmente, capaces de aportar servicios ecosistémicos, enfocados al uso sostenible del suelo, la captura de carbono en biomasa aérea, subterránea y suelo y la adaptación o mitigación de los efectos del cambio climático (Montagnini et al., 2015; Marín et al., 2016). Los servicios ecosistémicos son coproducidos por los humanos y la naturaleza como resultado de las interacciones de las funciones ecológicas, el manejo del suelo y las necesidades sociales (Ruiz Agudelo et al., 2019). La sostenibilidad agrícola depende de un conjunto de servicios ecosistémicos que pueden mantenerse y potencializarse de acuerdo con las prácticas de manejo y conservación del suelo (p. ej., labranza mínima, fertilización y captura de carbono, entre otras) (Tomich et al., 2016; Tully & Ryals, 2017).

Los sistemas agroforestales (SAF) con cacao han venido creciendo en área de establecimiento en el departamento de Sucre, teniendo en cuenta su importancia económica (economía campesina) y su alta resiliencia a la variabilidad y el cambio climático. Esto conlleva el apalancamiento de estudios que permitan aumentar su productividad y eficiencia frente a los nuevos retos de mercados internacionales, enfocados en productos con bajo uso de agroquímicos (alta inocuidad) y alta capacidad de inmovilización de carbono dentro de los sistemas.

Sistemas de siembra

El diseño y establecimiento de sistemas agroforestales inicia con la selección del lote y la identificación de las características de este dentro del paisaje para valorar la oferta edafoclimática que permita orientar su manejo. Así mismo, es importante considerar la pendiente del lote con el fin de definir el trazado del sistema agroforestal.

En el desarrollo del cacao, la sombra juega un papel importante al proveer condiciones de luz, temperatura y humedad relativa adecuadas para el normal desarrollo de esta especie.

Para el desarrollo del sistema agroforestal de cacao en el departamento de Sucre se deberán contemplar las áreas y localidades destinadas para tal fin; en ese sentido, la programación del sombrío transitorio y permanente será clave dentro del proceso. Para los municipios de la zona norte del departamento, la secuencia de actividades antes del establecimiento del cultivo de cacao deberá ser, primero, el establecimiento del sombrío transitorio con papoche, mafufo o cuatro filos (*Mussa* sp.). Una vez alcance una altura superior a 1,5 metros se podrá establecer el sombrío permanente y una vez se logre el 50% del sombrío en el predio, lo cual puede tardar entre 12 a 24 meses, se podrá establecer el cacao. Se recomiendan patrones con IMC 67. En algunas zonas el sombrío transitorio se desarrolla con el cultivo de plátano. Si bien este es un cultivo que genera recursos económicos importantes a partir de su producción, en la actualidad la comercialización de papoche se da muy bien y no es ajena a la generación de recursos importantes a partir de la cosecha durante los dos primeros años, con la ventaja adicional de que este no pierde su capacidad de generar sombrío al cacao especialmente en la época seca, contrario a lo observado con el cultivo de plátano que pierde su capacidad de producción de hojas y sombrío cuando el cacao más lo requiere.

De acuerdo con investigaciones realizadas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en el departamento de Sucre, el establecimiento de los sistemas agroforestales se desarrolla en dos momentos o fases. El primer momento corresponde a la siembra del sombrío permanente, es decir, las especies forestales en surcos dobles a cada lado de las líneas de cultivos transitorios (*Mussa* spp.) o sombrío temporal, con una distancia de siembra de 3×3 metros entre cada planta, como estrategia de obtención de recursos económicos a corto plazo y disminución de mano obra en el control de malezas. Las plantas de plátano, banano o popocho (*Mussa* spp.) se deben sembrar en cuadro cuando la pendiente del terreno es menor del 12% o en tresbolillo (triángulo) en pendientes por encima del 12%. En el segundo momento (segundo año), con la entrada de las lluvias, se establecen las plantas de cacao utilizando una distancia de siembra de 3×3 metros sobre la línea de siembra del sombrío temporal (figura 34).

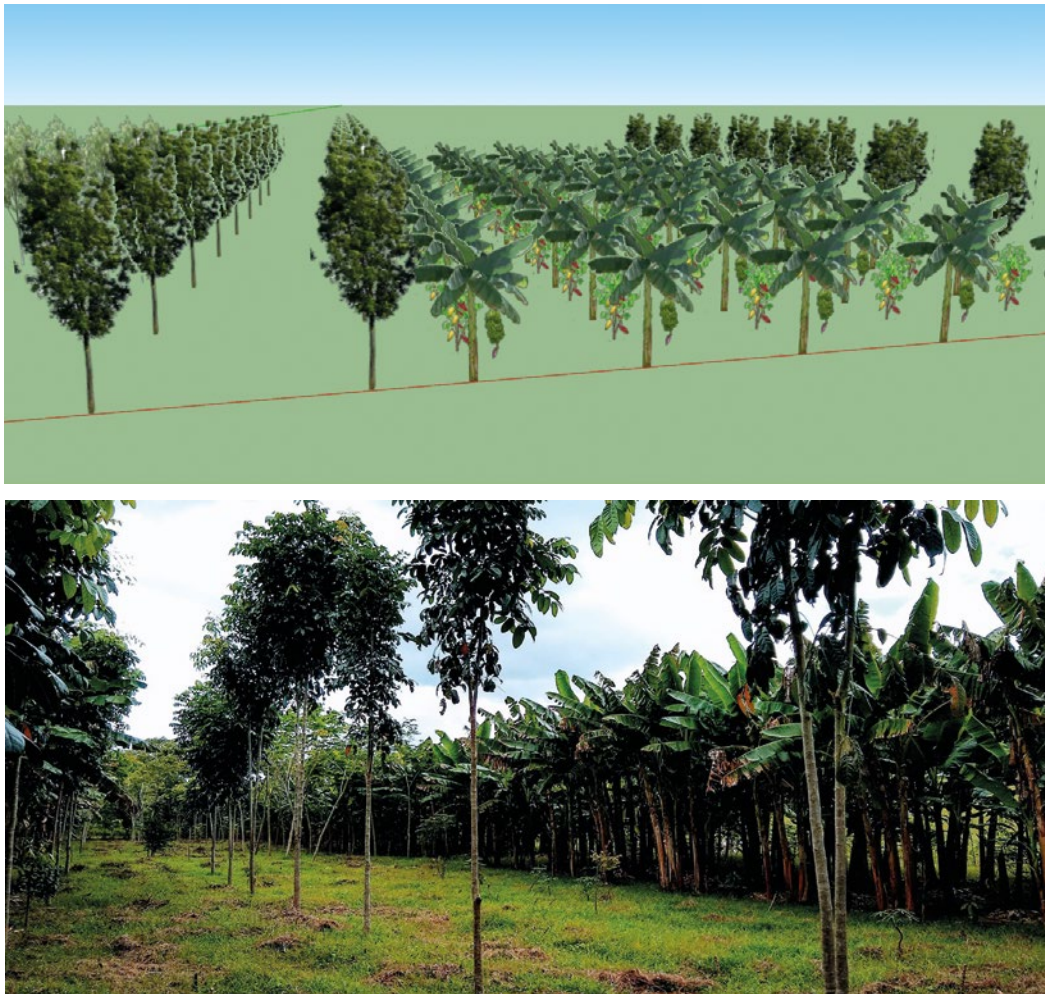


Figura 34.

Diseño de sistema agroforestal con sombrío permanente en surcos dobles con barreras.

Foto: José Luis Rodríguez Vitola

Sombrío

En los primeros años del establecimiento, las plantas de cacao requieren que el sombrío cubra alrededor del 70% de la entrada de luz. A medida que el cultivo crece se requiere mayor entrada de luz, por lo que, al quinto año, la sombra proporcionada por la especie usada como cobertura temporal debe eliminarse, así como también parte de la cobertura arbórea usada como sombrío permanente, la cual debe reducirse hasta un 30%.

En cuanto a la selección de las especies usadas como sombrío permanente, deben ser fáciles de establecer, capaces de proveer sombra aún durante la época seca, tener raíces profundas con el fin de evitar competencia con las raíces de cacao en los horizontes del suelo, debe ser fácil de eliminar, en caso de ser necesario, sin que esto dañe al cultivo del cacao y que no sean hospederas de plagas o enfermedades para el cultivo de cacao. También se debe optar por especies con proyección de comercialización, así como especies leguminosas que favorecen el ciclaje de nutrientes, particularmente de N.

Como sombrío temporal en el sistema agroforestal con cacao, se recomienda: plátano (*Mussa sapientum*), banano (*Mussa paradisiaca*), popocho (*Mussa* spp.), papaya (*Carica papaya*), matarratón (*Gliricidia cepium*), maracuyá (*Pasiflora edulis*), maíz (*Zea mays*) y yuca (*Manihot esculenta*). Las siguientes especies se recomiendan como sombrío permanente en el sistema agroforestal con cacao: caoba (*Swietenia macrophylla*), iguá (*Albizia guachapele*), cedro (*Cedrella odorata*), abarco (*Cariniana pyriformis*), solera (*Cordia alliodora*) y roble (*Tabebuia rosea*).

Todas las especies que componen el sistema agroforestal requieren de manejo agronómico (fertilización, deshoje, deshije, control de plagas y enfermedades, entre otras) y silvicultural para el caso de las arbóreas, como, por ejemplo, podas.

En el departamento de Sucre, específicamente en los municipios Buenavista, Majagual, Chalán, Colosó, Ovejas y Morroa, el sistema productivo de cacao se establece con especies forestales y cultivos transitorios, es decir, a través de modelos agroforestales. Las especies perennes cumplen una función de sombrío permanente y su selección se ha basado en establecer maderas finas, tales como abarco (*Cariniana pyriformis*), caoba (*Swietenia macrophylla*) e iguá (*Albizia guachapele*), y para el cultivo transitorio se recomienda el uso de plátano (*Musa* spp.) con el fin generar ingresos al productor en un corto a mediano plazo. En estos territorios el establecimiento se logra en menor tiempo y con mayor vigor en su desarrollo, ya que entre el establecimiento y la generación de sombrío transitorio y permanente se puede tardar entre 6 a 12 meses antes del establecimiento del cacao de manera definitiva,

comportamiento que genera ventajas para el éxito del establecimiento del sistema agroforestal. Dentro de las especies priorizadas para el desarrollo del sombrío transitorio se recomienda el cultivo de papoche, el cual tiene ventajas en la generación de sombra al no verse afectado por problemas sanitarios en su área foliar como la *Sigatoka* sp., enfermedad que condiciona al cultivo de plátano y que obliga a un mayor manejo, además de su baja tolerancia a condiciones de humedad presentes en el suelo por periodos prolongados de tiempo, que provocan su volcamiento y baja capacidad productiva.

Chalán, Colosó, Ovejas y Morroa corresponden a la zona denominada Montes de María o serranía de San Jacinto, caracterizada por ser una sabana tropical con invierno seco, es decir que presenta una temporada con los días más cortos y el sol más bajo en el horizonte debido a las variaciones altitudinales. La distribución de las lluvias es bimodal, así que la época de siembra está directamente relacionada con esta variable climática. De esta manera, el cacao se debe establecer en los meses de abril y mayo (transición de la época seca a la lluviosa).

El establecimiento de las plantas de cacao requiere de una labor de trazado y ahoyado suficientemente amplio (30 cm de ancho por 45 cm de profundidad), que permita la incorporación del suelo extraído mezclado con abono orgánico y fuentes de N, P y K.

El manejo agronómico de las plantas de cacao incluye las podas, las cuales le otorgan al árbol condiciones favorables para su producción. Se recomienda realizar las labores de poda al inicio de la época de lluvias y cuando las plantas tienen frutos con poco desarrollo. Los cortes dejados en la labor de poda deben ser curados con cicatrizante (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2014). La poda, inicialmente, incluye el corte de chupones y ramas sobresalientes de la arquitectura típica de la planta, y posterior a esta poda de formación se continúa con podas para controlar el crecimiento tanto vertical como lateral de las plantas.



CAPÍTULO VI.

Prácticas culturales



En el departamento de Sucre, al igual que en otros departamentos de la región Caribe, históricamente no se evidencia con exactitud una cultura cacaotera, si bien es importante mencionar que estas regiones han sido cacaoteras desde hace más de 60 años, con cultivos híbridos establecidos en el alto y el medio Sinú.

El sistema productivo de cacao es reconocido por la importancia de las prácticas culturales para garantizar cultivos sanos y productivos. Entre las prácticas culturales más importantes para el cultivo del cacao en el territorio se reconocen las siguientes:

Control manual de los frutos

Se fundamenta en la identificación de frutos enfermos, los cuales se debe retirar del cultivo, apilarlos y aplicar productos como la cal para agilizar los procesos de descomposición y evitar la proliferación de enfermedades y plagas. En cultivos jóvenes y adultos se recomienda la identificación de los frutos enfermos en sus primeras etapas de desarrollo, evitando así que enfermedades como la monilia generen procesos de producción de esporas y aumenten las presiones de inóculo en el cultivo, causando el aumento rápido de los porcentajes de infección en los lotes.

La labor se debe realizar de forma periódica y constante, principalmente en épocas de lluvia y durante 8 a 15 días, dependiendo de los materiales establecidos y del porcentaje de infección que se tenga en el lote.

Manejo de arvenses

El control de arvenses o malezas no es una práctica muy empleada en el territorio, sin embargo, se considera de máxima importancia, pues de esta

práctica parte el reconocimiento de aquellas plantas que pueden favorecer la plantación de cacao (arvenses) o afectar considerablemente la disponibilidad de nutrientes del suelo y el desarrollo de los cultivos (malezas).

Una de las arvenses reconocidas en el territorio, con crecimiento a manera de cobertura y que favorece la frescura del suelo para evitar la erosión y fortalecer la microflora y la microfauna, es la suelda consuela, arvense de cobertura noble y medicinal muy poco estudiada en el territorio.

Tanto las malezas como las arvenses son de manejo durante la instalación del cultivo, las primeras para eliminarlas de forma permanente y las segundas para su establecimiento y consolidación a lo largo del tiempo, de forma alterna al crecimiento de las especies asociadas como la madera, el plátano, el cacao y demás especies de ciclo corto que se busque establecer. La buena implementación de esta estrategia generará contribuciones económicas importantes, pues se reducirán al máximo los controles de malezas y se favorecerá tanto la frescura del suelo como la actividad microbiológica del mismo.

En cualquier caso, el control siembre deberá realizarse de manera mecánica con machete o guadaña, haciendo tres o cuatro controles manuales en el año, lo cual podrá variar de acuerdo con la presencia o no de arvenses gramíneas o ciperáceas en las plantaciones.

Existen alternativas de manejo como las coberturas vegetales, las cuales impiden en gran medida la proliferación de las malas hierbas en los primeros tres o cuatro años, ya que después de esta edad del cultivo el efecto de sombrío hace que la necesidad de su control disminuya mucho.

Además, estas coberturas favorecen la biodiversidad y la retención del agua del suelo y disminuyen las posibilidades de que este se erosione.

Estas coberturas, después del quinto año, son reemplazadas en gran medida por las hojas de cobertura, las cuales se desprenden de los árboles de cacao y generan un efecto de sombra permanente sobre el suelo que evita el crecimiento de malezas, al tiempo que mantiene la humedad en el suelo y favorece el desarrollo de microorganismos benéficos.

Finalmente, cada uno de los controles mecánicos deberá realizarse a manera de plateo radial a un metro del tronco principal, con la aplicación de maleza seca y residuos vegetales al plato, de manera tal que el suelo no quede completamente expuesto a los rayos del sol o el agua.

Fertilización

La fertilización es una práctica poco frecuente en los sistemas productivos de cacao a lo largo del territorio colombiano. Las características propias del sistema, basadas en las necesidades de sombrero a través de arreglos agroforestales con el acompañamiento de otras especies, permiten incrementar los procesos de aporte de materia orgánica y reciclaje de nutrientes, así como la conservación de los suelos y de la humedad en las áreas establecidas. Estas ventajas dentro del sistema, junto con los altos costos de los fertilizantes, han generado cierta apatía al uso de fuentes externas de nutrientes para el cultivo. En el departamento de Sucre, en la mayoría de los casos, el desconocimiento de tecnologías de producción, la reducida oferta agroambiental para el cultivo traducida en suelos de baja fertilidad y la poca oferta hídrica identificada a través de diagnósticos zonales, en especial para la subregión de Montes de María, demuestran la necesidad de fomentar las prácticas de fertilización del cultivo, particularmente con fuentes orgánicas, tanto en el caso de las plantas de cacao como para las especies asociadas para el sombrero.

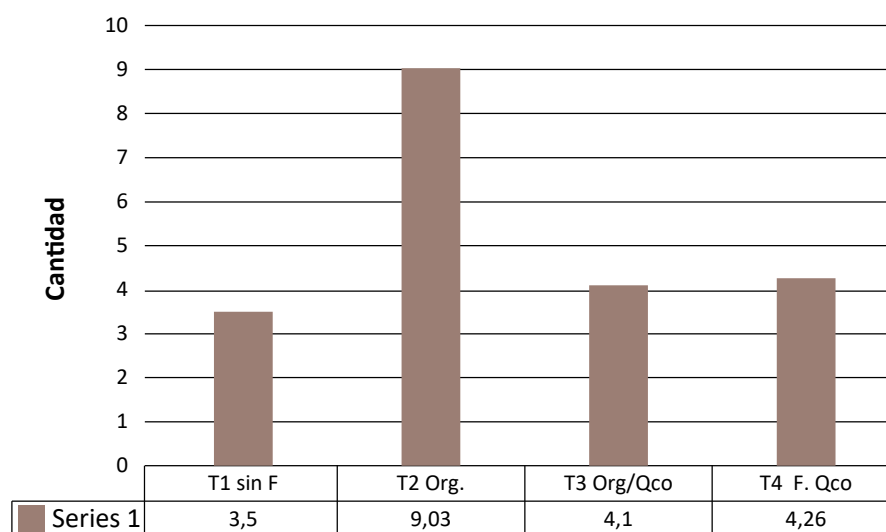
Las plantas de cacao, en cada una de sus etapas fenológicas, difieren en sus requerimientos nutricionales en cuanto a las cantidades adecuadas de nutrientes para el cumplimiento de sus procesos metabólicos. En términos generales, se ha demostrado que las mayores exigencias del cacao a nivel nutricional se presentan de acuerdo con el orden de absorción de potasio, nitrógeno y calcio, inclusive desde la etapa de vivero (Mejía & Argüello, 2000). Estos resultados no limitan la importancia del resto de los nutrientes esenciales para alcanzar un óptimo desarrollo de la planta hasta su etapa productiva. En la tabla 10 se muestran las necesidades nutricionales del cacao en algunas de sus etapas de desarrollo.

Tabla 10. Estimación de nutrientes requeridos por el cacao en algunos estados de desarrollo

Desarrollo de la planta	Requerimientos nutricionales de la planta (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Vivero	2,4	0,6	2,4	2,3	1,1
Primer año	136	14	151	113	47
Producción	438	48	633	373	129

Fuente: Elaboración propia con base en Mejía y Argüello (2000)

Un buen plan de fertilización inicia con el diagnóstico de por lo menos algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos donde se encuentra establecido el cultivo o donde se proyecta establecer. Se han obtenido resultados muy positivos en las zonas productoras del departamento de Sucre con la fertilización con fuentes orgánicas especialmente en la fase productiva, en la cual se ha observado un incremento de la producción de cojines florales y del número de mazorcas por planta. En la figura 35 se presenta el número de frutos por planta bajo cuatro niveles de fertilización.

**Figura 35.**

Número de frutos por planta bajo cuatro niveles de fertilización: T1. Tratamiento aplicado por el productor; T2. Tratamiento usando fuentes orgánicas; T3. Tratamiento combinado fuentes orgánicas + químicas; T4. Tratamiento con fuentes químicas.

Fuente: Elaboración propia

La fertilización con fuentes inorgánicas y su combinación con fuentes orgánicas también ha mostrado resultados en el aumento del número de cojines florales por planta. En la figura 36 se presenta el número de cojines florales por planta. La aplicación de fuentes orgánicas no solo contribuye al aporte de nutrientes a la planta, sino que también ofrece una mayor eficiencia ante la fertilización mineral porque mejora la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de absorción de humedad y el aporte de nutrientes como fósforo, nitrógeno y azufre en el proceso de mineralización.

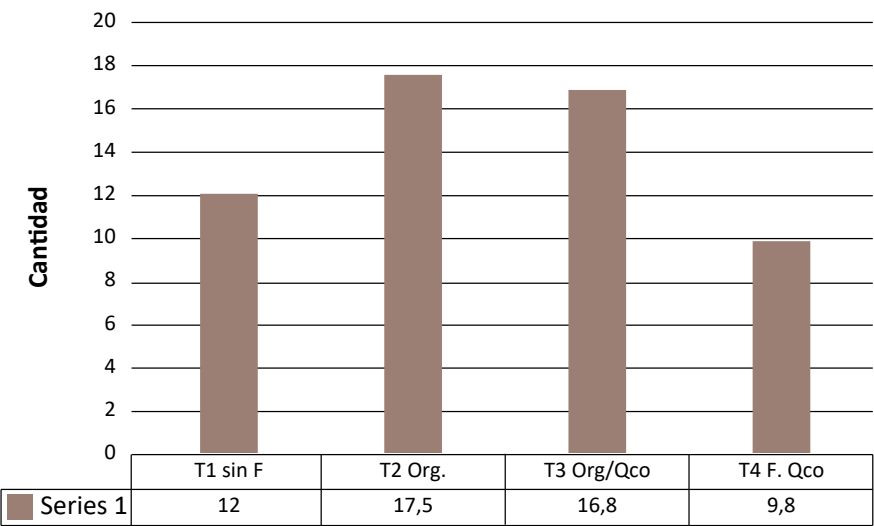


Figura 36.

Número de cojines florales por planta: T1. Tratamiento aplicado por el productor; T2. tratamiento usando fuentes orgánicas; T3. Tratamiento combinado fuentes orgánicas + químicas; T4. Tratamiento con fuentes químicas.

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados están asociados a la mayor disponibilidad y fácil absorción de nutrientes por las plantas debido a su nivel de solubilidad. Es importante anotar que en el caso de los suelos de las subregiones de San Marcos y La Mojana las mayores deficiencias nutricionales corresponden a las bases cambiables Ca, Mg y K. Igualmente, la condición ácida y los altos niveles de hierro y aluminio impiden una absorción eficiente de nutrientes importantes como fósforo y nitrógeno. Por el contrario, los suelos de la

subregión de Montes de María, debido a su condición de pH más hacia la neutralidad, contienen cantidades suficientes de bases cambiables Ca, Mg y K. Sin embargo, los déficits hídricos en el suelo, por la escasa precipitación en esta zona, reducen de manera importante la solubilidad y absorción de estos elementos por la planta. Al igual que para las condiciones ácidas de los suelos de San Marcos y La Mojana, también se pueden encontrar deficiencias de fósforo en estos suelos.

Es importante considerar un plan de fertilización al momento del establecimiento del cultivo, ya que los patrones o árboles injertados en las primeras fases de desarrollo requieren contar con una oferta nutricional suficiente en el suelo que garantice un óptimo desarrollo para las etapas posteriores. Las plantas establecidas deben proceder en lo posible de viveros registrados, producidas a través de procesos estandarizados en cuanto a la calidad de la semilla y el sustrato utilizado. Esto último es muy importante para garantizar la calidad fisiológica y física de la planta antes de su establecimiento en sitio definitivo.

Fertilización en la siembra

Para la siembra de patrones o árboles injertados se deben construir hoyos con una dimensión suficiente para el libre desarrollo radicular, sin presencia de impedimentos de tipo físico para el crecimiento de raíces y el movimiento del agua. Para la siembra de cacao en el departamento de Sucre, es recomendable construir pozos de 30×30×30 cm. Antes de la siembra se debe realizar una mezcla sobre por lo menos una tercera parte del suelo extraído de + 400 gr de abono orgánico + 150 gr de fertilizante fosfórico. Una vez realizada esta mezcla, se agregará al hoyo de forma manual y alrededor de la planta al momento de la siembra (figura 37).



Figura 37.

Fertilización manual al momento de la siembra de patrones y árboles injertados de cacao.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

En plantaciones ya establecidas es recomendable, para los sistemas productivos de cacao en el departamento de Sucre, realizar por lo menos dos fertilizaciones edáficas al año (figura 38): la primera con la entrada de las épocas de lluvia, en los meses de abril y mayo, y la segunda con las últimas lluvias de noviembre. En esta última es importante tener en cuenta una fertilización potásica, ya que este elemento, por su función de regulador osmótico al interior de la planta, permite brindar cierta tolerancia a las condiciones de estrés por déficit hídrico en las etapas siguientes de sequía, que en esta zona van regularmente desde diciembre hasta el mes de abril.



Figura 38.

Fertilización edáfica manual en plantas de cacao bajo arreglo SAF en el departamento de Sucre.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

La forma de aplicación puede ser en corona y cubierta con hojarasca sobre la zona de gotera del árbol, aunque la aplicación incorporada superficialmente y cubierta con suelo y hojarasca suele ser más eficiente en el sentido de alcanzar una tasa de solubilización más rápida y, a la vez, asociada a las partículas de suelo y materia orgánica. Igualmente, las pérdidas por arrastre o escorrentía son menores bajo esta forma, especialmente en plantaciones localizadas en áreas de ladera como las de los Montes de María.

Manejo de residuos de la cosecha

Esta práctica es bien reconocida en la cultura cacaotera. Se caracteriza por la acumulación de residuos y las aplicaciones de cal para acelerar los procesos de descomposición. Para el departamento del Sucre se recomiendan las siguientes estrategias:

- Formación de pilas con las cortezas de los frutos después del desengrullado de las mazorcas.
- Aplicaciones de cal para acelerar los procesos de descomposición.
- Las pilas en descomposición deberán alejarse de las bases de las plantas de cacao para evitar la transmisión de enfermedades como *Phytophthora* sp.
- En caso de que los predios evidencien la presencia de insectos plaga como carmenta negra o amarilla, se deberán tapar las pilas en descomposición con plásticos para evitar que los insectos cumplan sus periodos de incubación y puedan salir y aumentar los porcentajes de incidencia y las pérdidas en los predios de cacao.
- Una vez que los residuos se encuentren completamente descompuestos se pueden integrar a procesos para la elaboración de biofertilizantes que mejoren la disponibilidad tanto de nutrientes como de microorganismos benéficos en el suelo.

En la actualidad, algunas iniciativas generadas por instituciones como AGROSAVIA promueven el uso de los residuos de cosecha para la generación de concentrados para animales y fertilizantes orgánicos, sin embargo, estas propuestas se encuentran en etapas preliminares de estudios y patentes, por lo que aún no se consideran como una oferta tecnológica disponible para los productores en el departamento.

Usos del lixiviado para producción de vino

Esta práctica es reconocida dentro de la agroindustria del cacao. Diferentes alternativas han sido propuestas tanto por instituciones de educación superior como por el gremio, el SENA y diferentes países productores de cacao en el mundo y en todas ellas se señalan conclusiones asociadas al

exudado del mucílago del cacao, el cual no se aprovecha eficientemente para la fermentación del grano y representa más del 50% de su peso.

El contenido de azúcar en los frutos de cacao puede cambiar dependiendo de la variedad, sin embargo, todos superan los 10 °Brix, azúcares que, en muchas propuestas innovadoras en diferentes territorios de Colombia, son utilizados como materia prima para la producción de vinos. Asociaciones con propuestas innovadoras que apuntan a la transformación y beneficio tanto del grano como de sus subproductos generan esperanzas alentadoras para el crecimiento de la agroindustria en el territorio. Entre ellas, se puede mencionar Asobuencacao, asociación ubicada en La Mojana sucreña y parte del territorio de San Marcos que año tras año expone sus productos a base de la transformación del grano en diferentes espacios que ofrece la institucionalidad del territorio.

Podas

Las podas en el cultivo del cacao han sido objeto de diferentes interpretaciones y estudios, sin embargo, todos ellos concuerdan en la necesidad fisiológica de la planta de recibir podas de formación, de sostenimiento y de mejoramiento de las condiciones fitosanitarias. Esta práctica puede variar dependiendo del estado fisiológico en el que se encuentren las plantas. Su implementación dentro de las prácticas culturales en el cultivo del cacao es necesaria, pues de ella depende la buena circulación del aire y la distribución de los rayos solares, necesarios para favorecer la reducción de la humedad relativa al interior del cultivo y promover la formación de cojines florales, necesarios para lograr cosechas favorables que estimulen al productor y sostengan un flujo de caja óptimo para el diario vivir de los productores de cacao. Entre las mejor identificadas, se mencionan las siguientes:

Poda de formación

Es un tipo de poda que se le debe hacer a la planta para facilitar su periodo productivo en la etapa adulta o de madurez fisiológica. Se caracteriza por la identificación de ramas principales que deben ser formadas durante los tres primeros años de crecimiento de la planta para lograr una estructura arquitectónica que permita la entrada de luz y facilite el movimiento del

aire al interior del cultivo y la formación de cojines florales. Se recomienda su implementación dos veces al año, la primera iniciando el periodo de lluvias, pero después de la fertilización.

Poda de sostenimiento

Este tipo de poda se implementa una vez se ha logrado la buena formación arquitectónica en la planta adulta. Es necesaria para evitar la formación de ramas ladronas que alteren la buena penetración de los rayos solares y eviten la formación de cojines florales en el tronco principal. Se recomienda realizar dos de ellas durante el año en la etapa adulta de la planta. Al igual que la poda de formación, se recomienda su implementación dos veces al año, la primera iniciando periodo de lluvias, pero después de la fertilización, y la segunda durante los meses de agosto o septiembre. La condición para este tipo de poda es que debe contribuir a mantener la buena formación de la estructura del árbol. Para ello, durante la segunda práctica del año, se deberán identificar aquellas plumillas generadas después de la primera poda para seleccionarlas. Se deben eliminar aquellas que promueven el exceso de sombra y dejar las que se orienten para reemplazar ramas principales antiguas que en algún momento fueron productivas y que se encuentren próximas a cumplir su periodo productivo o que fueron afectadas por factores externos como rayos, troncos caídos o cualquier otro tipo de accidente que haya alterado su normal desarrollo.

Podas sanitarias

Este tipo de poda normalmente no debería realizarse en los cultivos de cacao, sin embargo, su empleo es necesario cuando no se han realizado las dos podas anteriores, lo cual genera cultivos con exceso de sombra, humedades relativas superiores a las recomendadas y presiones de inóculo altas que promueven la pérdida de frutos por enfermedades de tipo fúngico, entre las que se identifica a la monilia como la más limitante del cultivo.

Su empleo promueve la eliminación de ramas ladronas que ocasionan el exceso de sombra y la no formación de cojines florales y la búsqueda de ramas principales que favorezcan la circulación de aire y la entrada de la luz.

Por lo general, para su buena implementación se requieren dos podas en el año: una fuerte, con la eliminación de ramas principales no favorables, normalmente al inicio del periodo de lluvias y antes de la fertilización, y una segunda, durante los meses de agosto y septiembre, donde se deberán seleccionar e identificar plumillas que favorezcan la circulación del aire, la entrada de luz y la formación de cojines florales.

Materiales y herramientas utilizadas

Entre los materiales y herramientas más recomendadas y utilizadas para la intervención de plantaciones por podas se encuentran las siguientes:

Tijera manual

Es utilizada para realizar cortes finos y lisos, siempre en ángulos de 45 grados para evitar la acumulación de agua y la presencia de enfermedades. Cuando se siguen las recomendaciones de formación y sostenimiento arquitectónico del cultivo, esta herramienta se convierte en una de las más importantes y necesarias para el sistema productivo. En todos los casos se recomienda su desinfección antes de pasar de planta en planta.

Tijera aérea

Es una herramienta usada en los casos en que las ramas principales exceden la altura recomendada. Su utilización se recomienda en cortes finos y lisos que garanticen un ángulo de 45 grados. Al igual que la tijera manual, se recomienda su desinfección antes de pasar a realizar cortes en la siguiente planta.

Motosierra

Es una herramienta muy utilizada en intervenciones de rehabilitación de plantaciones o podas sanitarias. Se utiliza para eliminar ramas gruesas que favorecen el exceso de luz y la no formación de cojines florales. Su principal objetivo, además de mejorar las condiciones anteriores, es promover la circulación del aire y el uso eficiente de los recursos

nutricionales al interior de la planta, pues evita que carbohidratos de almacenamiento como los almidones se acumulen en ramas que no favorecen la producción de frutos.

Métodos

Pasta cicatrizante

Es uno de los materiales que no puede faltar al realizar las intervenciones por podas en el cultivo del cacao. Principalmente, la pasta cicatrizante favorece la cicatrización, evita la acumulación de líquidos y la liberación de exudados que favorecen la presencia de insectos plagas. En el mercado se pueden encontrar listas para aplicar, pero también pueden ser diseñadas y fabricadas por el propio productor. Para su fabricación, se recomienda la mezcla de componentes a base de cobre, insecticidas y pinturas de aceite o agua que desplazan las moléculas de agua y evitan su acumulación. Esta mezcla garantiza la cicatrización rápida y evita tanto procesos de infección como de aparición de insectos plaga.

Recomendaciones de manejo para una poda oportuna

Dentro de las recomendaciones de manejo para el departamento de Sucre está la identificación de los periodos exactos tanto de verano como de lluvias. Una vez se tengan identificados los inicios y finales de estos periodos, se recomienda la intervención de las plantaciones con la primera poda del año al inicio de las lluvias y después de la fertilización de las plantaciones.

La segunda poda del año, para cualquiera de los tipos de poda mencionados, se recomienda durante las épocas de agosto y septiembre, periodos en los cuales las plantas han finalizado la formación de hojas y se encuentran en la etapa de acumulación de nutrientes para garantizar el buen desarrollo y formación de los frutos. Durante esta etapa no se recomienda realizar cortes a ramas principales (solo la eliminación de plumillas), pues es importante mencionar que cualquier corte que

se realice desencadenará una redistribución hormonal al interior de la planta que puede favorecer o alterar el normal funcionamiento productivo.

El mejor método ordenado y sistemático de proceder en la práctica de la poda para lograr un sistema productivo de cacao estable y sostenido a través del tiempo es la implementación de las podas tanto de formación como de sostenimiento. En la primera se recomienda su implementación durante los años 1, 2 y 3 del cultivo, realizando dos intervenciones al año y siguiendo los pasos recomendados en la sección anterior. La segunda se recomienda desde el tercer año hasta el 12, cuando se empiezan a contemplar los cambios de copa por metodologías de intervención y se incluye la rehabilitación de plantaciones. La buena aplicación de este método garantizará un cultivo desarrollado y productivo en su etapa adulta, logrando beneficiarse del mayor potencial genético productivo de la planta.



CAPÍTULO VII.

Rehabilitación de plantaciones improductivas

En ocasiones suele haber confusión entre los términos *rehabilitación* y *renovación* de plantaciones. La rehabilitación comprende la acción de aplicar técnicas de manejo agronómico sobre áreas y plantas específicas, conservando la mayoría de la plantación con el fin de restaurar la producción, mientras que la renovación implica el cambio total de la plantación y el establecimiento de nuevas plantas, lo cual incluye la renovación genética para obtener mejores resultados en cuanto a producción (Fedecacao, 2012).

La gran mayoría de las plantaciones de cacao en el departamento de Sucre son relativamente jóvenes y con escasa tecnología de producción.

Diagnóstico de la plantación

Inicialmente se debe realizar un inventario del estado de la plantación. En este sentido, se consideran los aspectos sanitarios, el estado de las especies asociadas a los sombríos, la población de árboles de cacao, la identificación de materiales genéticos presentes, el estado de desarrollo y la productividad, entre otros. Este paso inicial es necesario para la identificación de la cantidad de material que se debe reemplazar, el tipo de clones por establecer y los sitios que van a ocupar los nuevos árboles de cacao, así como las especies de sombrío. En la figura 39 se muestra el estado inicial de algunas plantaciones de cacao en el departamento de Sucre.



Figura 39.

Diagnóstico de la plantación.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

Adecuación de la parcela

Consiste en definir las distancias de siembra para establecer nuevos patrones de cacao y restablecer la siembra de especies de sombrío faltantes, tanto transitorias como permanentes. Igualmente en esta fase, con base en el diagnóstico inicial, se pueden extraer los maderables de utilidad comercial y realizar entresacas para ajustar el sombrío. Para el caso del cacao y las especies de sombrío transitorio, es recomendable la siembra a 3×3 m. Dependiendo de las pendientes de terreno, se pueden establecer en sistema de cuadrícula o tresbolillo (figura 40).



Figura 40.

Trazado y estacado del lote establecido para rehabilitación.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

Para el caso de los sombríos permanentes, se deben tener en cuenta las ventajas económicas de estos para integrarlos al sistema, es decir que es importante seleccionar especies comerciales y en este sentido, igualmente, se puede considerar el establecimiento en sitios específicos de otras especies que puedan contribuir a la seguridad alimentaria de los productores. Para el caso de las zonas productoras del departamento de Sucre, algunas especies de importancia y ambientalmente adaptables son frijol (*Phaseolus vulgaris*), berenjena (*Solanum melongena*), ahuyama (*Cucurbita* sp.), batata (*Ipomoea batata*), yuca (*Manihot sculenta*) y maíz (*Zea mays*), entre otras.

Siembra de especies en el sistema

Para el departamento de Sucre, es importante tener en cuenta que si no se cuenta con sistema de riego las épocas de siembra deben corresponder o coincidir, durante el primer semestre del año, con el inicio de las primeras lluvias. El régimen pluviométrico en la región es monomodal, es decir, una temporada de lluvia que inicia desde el mes de abril y va hasta el mes de noviembre, con una ligera suspensión de lluvias hacia el mes de junio. En este caso, las especies establecidas con el inicio de las lluvias mantendrán una oferta hídrica casi constante durante aproximadamente siete meses, tiempo en el cual la planta tendrá oportunidad de alcanzar un grado de desarrollo que garantice su viabilidad para soportar los cinco meses posteriores de sequía en el segundo semestre. Otro de los aspectos por considerar en este aparte y que tiene gran significancia para asegurar el éxito de la siembra corresponde al estado del sombrero, ya que los patrones de cacao recién establecidos necesitan suficiente sombra para avanzar en sus fases posteriores de desarrollo sin problemas de tipo abiótico como los golpes de sol y déficit hídrico en el suelo.

Selección de árboles

Para la selección de los árboles por rehabilitar dentro de la plantación, es imperativo considerar el inventario de especies descrito inicialmente. Este inventario permite clasificar los árboles de cacao en tres grandes categorías (Agudelo Castañeda et al., 2021):

Categoría 1. Árboles productivos y sin problemas sanitarios.

Categoría 2. Árboles medianamente productivos y sanos.

Categoría 3. Árboles improductivos y con problemas sanitarios.

Los árboles seleccionados dentro de la primera y la segunda categoría pueden ser intervenidos con ofertas tecnológicas existentes en cuanto a podas, manejo de arvenses, manejo fitosanitario y fertilización. La planta de cacao responde rápida y positivamente al manejo agronómico cuando las condiciones edafoclimáticas donde se encuentra establecida no son adversas a su nivel de adaptación. De acuerdo con las necesidades del

productor, este puede tomar decisiones en cuanto a intervenir los árboles de categoría 2 y 3 con prácticas de intervención de copas o renovación de copa respectivamente. Para el caso de la intervención de copas, se pueden realizar prácticas de reducción de altura del árbol a través de podas de mantenimiento que permitan una mayor entrada de luz al dosel de la planta y para que se puedan activar los procesos de producción de cojines florales y número de mazorcas por árbol. Los árboles seleccionados en la categoría 3 necesariamente deben ser intervenidos con cambios de copa por materiales adaptados y de mayor producción. En este caso, se deben preparar los árboles por lo menos 15 días antes de la intervención realizando podas hasta de un 50% del área foliar y limpiando el tronco de la presencia de chupones y nudos con el fin de facilitar el área de injertación. Esta labor se complementa con un plan de fertilización de acuerdo con el análisis de suelos. En el departamento de Sucre, la rehabilitación de plantaciones a través de cambios de copa ha funcionado eficientemente con la injertación por el método malayo, cuyo proceso se describe en los siguientes pasos.

1. El injerto se hará por el lado de la pendiente en los árboles que se encuentren en terreno pendiente y en terreno plano se efectúa en un solo sentido hacia el occidente, con el objeto de que la radiación solar no afecte directamente el injerto en el estado inicial de desarrollo.
2. Los materiales genéticos para utilizar como copa deben ser dispuestos con anterioridad cumpliendo con las características de genotipos especiales de alta productividad y adaptados a la zona. La vareta porta yemas para injerto malayo debe seleccionarse preferencialmente del primer crecimiento con diámetro no inferior a 1 cm, descartando yemas en dormancia o brotadas. Estas se transportarán adecuadamente y se injertarán máximo 24 horas después de cortadas en jardines clonales o cultivos dispuestos para tal fin.
3. El tipo de injerto por realizar está dado de acuerdo con el grosor del tronco del árbol que se va a intervenir. Puede utilizarse el injerto tipo malayo en árboles con diámetros entre 5 y 15 cm o injerto de aproximación en árboles con diámetro menor a 5 cm, a una altura promedio de 40 centímetros del suelo.

4. En el sitio seleccionado del tronco, inicialmente se hace un corte horizontal en la corteza que debe penetrar hasta encontrar el cambium o leño. Luego, 7 cm por encima del corte horizontal, se hace un raspado de corteza hacia abajo que llegue a unirse con el corte horizontal. Posteriormente se hacen uno o dos cortes verticales de 10 cm hacia abajo para levantar la corteza e insertar la vareta porta yemas.
5. Para injertar se utilizan varetas maduras (generalmente esta madurez se alcanza entre los 90 y los 120 días) con dos a tres yemas viables. Para proceder a injertar la vareta del nuevo material, se realizan dos cortes en bisel en el extremo inferior de la vareta, uno más largo que el otro, de tal forma que el extremo de la vareta adquiera una forma de cuña. Para injertar la vareta sobre el tallo del patrón seleccionado, esta se coloca con el corte más largo en contacto con el tronco y el corte más corto en contacto con la corteza. Para evitar una rápida oxidación de los tejidos tanto en la yema como en el tronco que se va a injertar, el proceso de preparación y contacto no debería superar los treinta segundos.
6. Con el fin de lograr mayor contacto y estabilidad entre la vareta y el tronco del patrón se debe realizar un amarre fuerte, generalmente utilizando cuerda elástica. Posteriormente se cubre todo el injerto con vinipel o con material plástico, elástico y lo suficientemente resistente para evitar la filtración de humedad en el injerto y la consecuente aparición de problemas fitosanitarios. Es necesario impedir por todos los medios que el agua penetre al sitio del injerto para evitar la pudrición de la yema. En la figura 41 se muestra la secuencia fotográfica de un proceso de renovación por copa por injerto malayo.



Figura 41.

Proceso de renovación por copa por injerto malayo.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

Etapa posinjertación

1. Entre los 20 a 25 días posteriores, se quita el vinipel (sin soltar el cordel) dependiendo de la precocidad del injerto y se efectúa una aspersión, a manera de rocío, con un fungicida (si la época es lluviosa, aplicar pasta cicatrizante en el pegue del injerto). Si el injerto no prendió, se debe efectuar nuevamente en otro sitio a la misma altura. En caso de no prendimiento esta planta se soqueará para generar un chupón o, en caso extremo, establecer una nueva planta.
2. Una vez prendido el injerto, se debe aplicar el paquete tecnológico en lo referente a eliminación de chupones, control de plagas y enfermedades, etc., y seis meses después realizar la aplicación de correctivos y fertilizantes según el análisis de suelos. En la figura 42 se muestra un proceso de despatrone y cicatrización de corte en injerto malayo.



Figura 42.

Proceso de despatrone y cicatrización de corte en injerto malayo.

Foto: Rafael Segundo Novoa Yáñez

3. Es necesario revisar de manera constante la evolución del injerto a nivel de prendimiento, efectuar la detección de problemas sanitarios y hacer seguimiento de la aparición de hojas maduras en la nueva planta injertada. Se deben ir eliminando progresivamente las ramas del árbol viejo o patrón hasta su completa eliminación, generalmente entre los 90 y los 120 días o cuando las nuevas ramas con hojas maduras alcancen

una longitud entre 40 a 50 cm. La eliminación completa del árbol viejo o despatronaje se realiza cortando el tallo en bisel a ras del injerto, con desnivel hacia el lado opuesto de la zona de prendimiento o callo (figura 42), con el fin de evitar escurrimiento de agua hacia la zona de injertación. El corte debe ser cicatrizado inmediatamente e ir rectificando con la aparición de nuevo tejido.

4. De acuerdo con el desarrollo de la nueva copa, se efectúa la poda de formación para seleccionar ramas productivas y el despunte de ramas para evitar crecimientos excesivos y lograr el anclaje requerido en el tronco de la planta injertada.

Los resultados de investigación en el departamento de Sucre, relacionados con las ventajas del injerto malayo frente al injerto de aproximación, demuestran el rápido desarrollo de la nueva copa cuando se emplea el injerto tipo malayo. Estos resultados son importantes cuando se consideran aspectos relacionados con los tiempos respecto a las épocas de injertación y las épocas críticas de sequía en la región, ya que el rápido desarrollo de este injerto le permite a la nueva planta un mayor margen de viabilidad ante condiciones de estrés, siempre y cuando se realicen de manera oportuna las labores posinjertación. Las figuras 43 y 44 muestran las ventajas comparativas en ambos injertos en el departamento de Sucre.

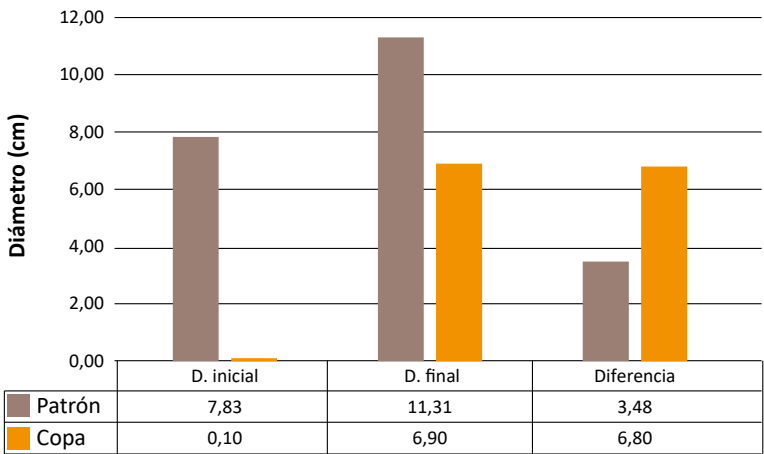


Figura 43.

Evaluación cuantitativa del grosor de tallo y copa en injerto malayo en plantaciones rehabilitadas en el departamento de Sucre.

Fuente: Elaboración propia

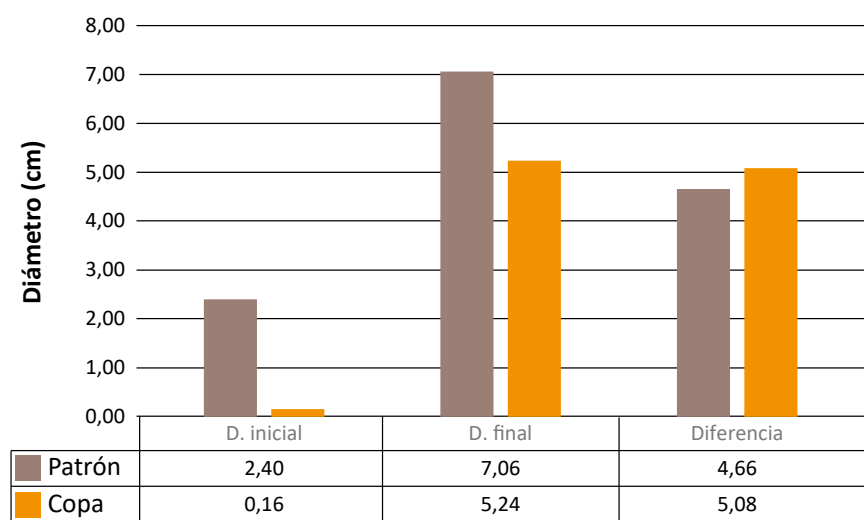


Figura 44.

Evaluación cuantitativa del grosor de tallo y copa en injerto de aproximación en plantaciones rehabilitadas en el departamento de Sucre.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VIII.

Manejo integrado de enfermedades y de artrópodos plaga

En la actualidad, el manejo integrado de plagas y enfermedades constituye la herramienta más poderosa para mantenerlas controladas. Esta estrategia de control se fundamenta en la utilización de diferentes métodos para un mismo fin y entre los más reconocidos se encuentran: el control biológico, el control cultural, el control químico y el control genético. A continuación, se presentarán los principales problemas fitosanitario y sus manejos teniendo en cuenta las características de cada método y los resultados logrados para el departamento.

Enfermedades de cultivo de cacao

El departamento de Sucre no es la excepción en cuanto a la presencia de algunas enfermedades que afectan el cultivo del cacao. En la tabla 11 se presentan las de mayor importancia para el territorio y se puede identificar tanto el agente causal como los órganos que ataca, los cuales pueden ser frutos en diferentes estados de desarrollo, tejidos meristemáticos en crecimiento, hojas, troncos y raíces.

Tabla 11. Enfermedades de mayor importancia en el cultivo de cacao en el departamento de Sucre, Colombia

Nombres comunes	Agente causal	Órganos que ataca
Monilia, moniliasis	<i>Moniliophthora roreri</i>	Frutos en todos sus estados de desarrollo.
Escoba de bruja, mano de bruja	<i>Moniliophthora perniciosa</i>	Frutos en todas las fases de desarrollo; puntos de crecimiento o meristemáticos activos, como cojines florales, sus yemas terminales y las yemas axilares.
Mazorca negra, <i>Phytophthora</i>	<i>Phytophthora</i> sp.	Hojas, tronco y raíz de frutos en sus fases de desarrollo.
Roselinia	<i>Rosellinia</i> sp.	Raíces.
Mal del machete	<i>Ceratocystis fimbriata</i>	Tejido leñoso.

Fuente: Elaboración propia, informe final del proyecto “Evaluación de incidencia y severidad de enfermedades en genotipos de cacao especiales bajo SAF”

Para tener éxito en el manejo de las enfermedades de plantas es esencial identificar la causa del problema. La identificación de la causa o diagnóstico es el medio para controlar la enfermedad o disminuir el daño. Esto involucra varios procesos y cada uno de ellos debe ser conocido. El tetraedro de la enfermedad es la ruta clásica para entender la interacción entre los principales elementos, los cuales, al combinarse, conducen a la enfermedad (Walters & Hardwick, 2000).

Las enfermedades no se presentan donde no se encuentra el patógeno o el hospedero receptivo y en condiciones ambientales desfavorables para la infección del patógeno. El hombre puede influenciar cada uno de estos elementos en un grado variable, y en estas condiciones se afecta el manejo de la severidad de la enfermedad. Cada especie de plantas tiene un rango de enfermedades. Sin embargo, en la naturaleza es raro ver plantas muy enfermas. Esta situación se presenta cuando plantas de genotipos similares crecen juntas para la producción económica de alimentos u ornamentos. Bajo estas condiciones, las enfermedades se convierten en el mayor problema porque conducen a ciclos de auge y caída de la enfermedad y generan susceptibilidad de los cultivares (Walters & Hardwick, 2000). En el cultivo de cacao, diversos factores impactan negativamente su producción y los de mayor daño potencial son las enfermedades denominadas monilia, escoba de bruja y mazorca negra, causadas por *Moniliophthora roreri*, *M. perniciosa* y *Phytophthora* spp. respectivamente (Ploetz, 2007).

Factores que favorecen las enfermedades en el cultivo de cacao

Diferentes factores influyen en la presencia de enfermedades fúngicas en el cultivo del cacao y entre las más importantes se pueden mencionar: el manejo inadecuado de las plantaciones, el exceso de sombra, la humedad relativa del ambiente y la poca ventilación de las plantaciones. Estos factores se presentan cuando no se realizan las labores agronómicas recomendadas en los cultivos, y entre las más importantes tenemos las siguientes:

- Falta de poda y exceso de sombra.
- Falta en el control de malezas asociadas al cultivo del cacao y poca circulación del aire.
- Poca frecuencia en la remoción de frutos enfermos.
- Edad avanzada de los cultivos.
- Suelos con poca disponibilidad nutricional.

Enfermedades y artrópodos plaga de control no oficial para el cultivo de cacao en Colombia

Las enfermedades y plagas de control no oficial para el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) son todas aquellas que se encuentran reportadas por la comunidad científica y que en la actualidad están presentes en las zonas productivas de cacao en Colombia, aunque no cuentan con normas o programas oficiales para su control y erradicación por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Entre las más importantes se encuentran *Rosellinia* sp., *Phytophthora* sp., muerte descendente, *Ceratocystis* sp. (mal del machete), *Corticium* sp. (mal rosado) y *Colletotrichum* sp. (antracnosis), así como *Monalonion* sp., pasador del tronco, raspador del follaje y perforador del fruto de cacao.

Moniliophthora roreri

M. roreri, agente causal de la monilia, es la enfermedad predominante en el departamento, se encuentra distribuida en todo el territorio y es la responsable por la disminución del suministro de cacao tanto en el departamento como en todos los territorios donde se produce cacao en Colombia y el mundo. El patógeno afecta directamente los frutos en todos los estados de desarrollo, causando lesiones marrones esparcidas sobre la superficie del fruto (Costa et al., 2012).

Durante la etapa de desarrollo del fruto, los primeros 90 días evidencian la mayor susceptibilidad, pues al ser infectados desarrollan protuberancias o áreas de madurez prematura sobre la superficie del fruto. Estas señales sirven como alertas tempranas a los productores para el inicio de controles manuales, principal método de control de la enfermedad. En plantaciones jóvenes se ha demostrado que una buena formación de la planta y la eliminación de los frutos enfermos antes de la esporulación del patógeno pueden reducir los porcentajes de la enfermedad a menos del 10% (Fulton, 1989).

Por el contrario, en aquellos frutos enfermos que no son eliminados de la planta la esporulación del patógeno puede llegar a producir alrededor de 44 millones de esporas por centímetro cuadrado sobre la superficie afectada del fruto. Estas esporas o semillas del patógeno son liberadas en el ambiente del cultivo, se diseminan tanto por el viento como por las gotas de agua, afectan nuevos frutos sanos y aumentan el porcentaje de pérdidas en el cultivo. Esto corrobora la correlación positiva significativa de alta pérdida de frutos con fuertes precipitaciones (Fulton, 1989).

Resultados generados en la evaluación de incidencia y severidad de enfermedades en genotipos de cacao especiales bajo SAF en el departamento de Sucre evidenciaron incidencias entre el 30 y el 90% en municipios como Majagual, Chinulito, Las Flores y el sector conocido como Trocha Persiana. En la figura 45 se muestran los síntomas de la incidencia del patógeno en los sectores mencionados.



Figura 45.

Síntomas de la incidencia del patógeno.

Foto: Darwin Hernando Martínez Botello

En el mismo informe reportan, con base en la información del área bajo la curva del progreso de las principales enfermedades de cacao establecidas en diferentes condiciones del territorio, cómo se procedió a seleccionar las estrategias con mayor efecto reductor sobre los daños ocasionados por los patógenos. Así, se logró diseñar un programa de manejo integrado de estas enfermedades, donde los inductores de resistencia, los controladores biológicos y los fungicidas tanto preventivos como sistémicos generaron un efecto positivo en el control de dicha enfermedad.

Moniliophthora perniciosa

M. perniciosa, especie hermana de *M. roreri*, causa la enfermedad denominada “escoba de bruja”, nombre por el cual también se reconoce en el territorio. Su incidencia no causa tantos daños como los generados por la moniliasis, si bien en otras regiones del país y del mundo es considerada la segunda enfermedad más importante del cultivo del cacao, seguida por *Phytophthora* sp., agente causal de la enfermedad conocida como “mazorca negra”.

El patógeno, a diferencia de la monilia, puede afectar tejidos de la planta en crecimiento, como las ramas y los cojines florales. Asimismo, se diferencia de su especie hermana por la susceptibilidad de sus esporas a radiaciones altas de luz, ya que el patógeno genera sus estructuras reproductivas bajo altas condiciones de humedad y excesos de sombra en los cultivos (Costa et al., 2012). Sin embargo, las basidiosporas son la única fuente de inóculo de este patógeno (Jaimes & Aranzazu, 2010). Las basidiosporas germinan y penetran los puntos en crecimiento en seis horas y esta es la oportunidad para efectuar un control químico mínimo (Fulton, 1989).

La forma más fácil para identificar la enfermedad en las plantaciones de cacao es la presencia de frutos en forma de zanahoria o ramas en crecimiento deformes, con protuberancias o proliferación de ramillas concentradas en puntos de crecimiento. En los cojines florales también se puede identificar la enfermedad de forma visual, pues tiende a deformarlos, generando flores más grandes de lo normal. Esta proliferación de ramas o lanzamientos de brotes hinchados con excesivas ramificaciones y entrenudos cortos son

denominadas “escobas”, pues al deshidratarse y cumplir la etapa final de incubación del patógeno generan la apariencia de una escoba de paja o de bruja, con se conoce históricamente en el argot popular.

Según autores como Farquharson (2014) y Sena et al. (2014), las escobas se forman completamente en 60 días después de la inoculación. El tamaño y número de escobas producidas depende de varios factores, como edad, naturaleza y vigor del tejido, condiciones ambientales y constitución genética del hospedero. Las escobas se pueden formar en lanzamientos terminales y laterales (Sena et al., 2014). Dos a tres meses después de la infección, la enfermedad entra en la fase necrótica. Las escobas se tornan marrones y eventualmente perecen dando lugar a la formación de los basidiomas pequeños y rosados, los cuales liberan millones de esporas (Farquharson, 2014).

La presencia de la enfermedad en los frutos se reconoce por una pudrición en cualquier estado de desarrollo, ya que los puede afectar en todas las etapas de crecimiento. Sin embargo, cuando la infección es en las primeras fases de crecimiento, la planta detiene su desarrollo y el fruto muere por marchitez prematura. En frutos superiores a un mes la enfermedad se manifiesta con la degradación celular, lo que ocasiona una pudrición acuosa con pérdida total de la semilla. Autores como Meinhardt et al. (2008) reportan que la pérdida de semillas es parcial en las infecciones del patógeno en frutos superiores a los cuatro meses de edad.

Phytophthora spp.

Esta enfermedad es reconocida en el territorio como la pudrición negra. Se encuentra dispersa en todas las zonas productivas de cacao en el mundo, sin embargo, para las condiciones propias del departamento de Sucre, su incidencia no es tan significativa. Su agente causal se conoce como Stramenopiles del género *Phytophthora*, que causan las enfermedades más prevalentes y destructivas del cacao (*Theobroma cacao* L.) en los países productores a nivel global. *P. palmivora* tiene cientos de hospederos registrados y tiene importancia mundial en el cacao, ya que causa pérdidas globales anuales de producción superiores al 20 y 30% y muerte de árboles por encima del 10%. Las pudriciones de

fruto causada por *P. capsici* y *P. citrophthora* son las más comúnmente causadas en Centro y Sur América y ocasionan pérdidas significativas bajo condiciones ambientales favorables (Guest, 2007). En la figura 46 se presentan los principales síntomas y signos asociados a *Phytophthora* sp. en cultivos de cacao.



Figura 46.

Principales síntomas y signos asociados a *Phytophthora* sp. en cultivos de cacao.

Foto: Fedecacao (2015)

Sus síntomas en la plántula son similares a los ocasionados por monilia y escoba, sin embargo, tienen diferencias notables y la más importante de ellas es la pudrición del fruto o mazorca negra. Las lesiones del fruto inician por manchas pequeñas, duras y oscuras sobre cualquier parte y en cualquier estado de desarrollo del fruto. En genotipos susceptibles, las lesiones crecen rápidamente hasta cubrir toda la superficie y los tejidos internos, incluyendo los granos, en pocos días. Los frutos colonizados se encogen para formar los frutos momificados, los cuales, para el caso de *P. palmivora*, se convierten en el reservorio del inóculo por al menos tres años. Bajo condiciones de humedad, en un solo fruto se pueden producir por encima de 4 millones de esporangios que son diseminados por la lluvia, hormigas, insectos voladores, roedores, murciélagos y zorros voladores que contaminan implementos de cosecha y poda, así como el suelo (Guest, 2007).

Un síntoma causado por especies de *Phytophthora*, aunque subestimado, son los cánceres. Estos reducen el vigor del árbol y la capacidad de cargue de frutos, reduciendo así la producción. Los cánceres también proveen una fuente de inóculo para la pudrición de frutos. A menudo, el desarrollo de los cánceres se asocia con barrenadores de tallo y corteza que se ven atraídos por estos. Los cánceres que anillan causan la muerte súbita de más del 10% de árboles anualmente, lo cual reduce la producción e impone un costo extra en el replantío y la pérdida de producción hasta que estos alcancen la madurez (Guest, 2007).

En cuanto al tizón de plántulas o muerte regresiva causada por *P. palmivora*, es la principal limitante en la producción de plántulas en todas las áreas con alta precipitación. La infección de *P. palmivora* causa una alta mortalidad en todos los viveros. El inóculo de *Phytophthora* se transporta principalmente en plántulas parcialmente infectadas o suelo contaminado y aumenta progresivamente el inóculo en las plantaciones de cacao. Así, este patógeno se introduce a nuevas áreas y produce un aumento de la incidencia de las enfermedades causadas por *Phytophthora* en cacao, en especial de la mazorca negra y los cánceres de tallo (Prabha & ChandraMohan, 2014).

Transmisión de la enfermedad

Normalmente la enfermedad se transmite por el contacto de herramientas infectadas con tejido sano de la planta, así como por el movimiento de las estructuras reproductivas del patógeno a través del viento, los insectos y el agua; también se puede transmitir por salpicaduras ocasionadas por la caída de las gotas de lluvia en suelos donde el patógeno se encuentra de forma natural (Fedecacao, 2012).

Manejo fitosanitario de *Phytophthora* sp.

La guía para la intervención fitosanitaria de *Phytophthora* sp. se basa en un manejo integrado de la enfermedad, donde se tienen en cuenta los mecanismos de acción preventivos y correctivos que se describen a continuación:

- Realizar podas de mantenimiento mínimo una vez al año, con reducción de altura (4 m) y adecuada nutrición de las plantas.
- La remoción de frutos enfermos no debe ser mayor a quince días.
- En plantaciones tecnificadas se deberán hacer dos a tres aplicaciones de productos cúpricos en dosis de 9 g/litro cada 20 días en la época próxima a la cosecha, cuando los frutos alcancen una edad superior a cuatro meses (120 días) (Aránzazu, 2009).
- Para Colombia, durante los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, las aplicaciones deberán dirigirse a los frutos ubicados en la parte inferior del árbol a una altura máxima de un metro.
- A los residuos de cosecha se les deberán aplicar productos como la cal para regular el pH del medio y acelerar el proceso de descomposición. También podrán ser utilizados productos biológicos a base de *Trichoderma* sp. y *Clonostachys* sp. (Aránzazu, 2009).
- Para las infecciones producidas en el tronco (cáncer del tronco), aplicar sobre el área afectada fungicidas con diferentes mecanismos de acción (sistémicos y de contacto) sobre la corteza y realizar máximo cuatro aplicaciones al año (Aránzazu, 2009).
- Se deberán realizar monitoreos periódicos a los árboles, mínimo cada año.

- En zonas superiores a 900 m s. n. m. y donde las temperaturas bajen de 18 °C en la noche, se debe usar patrones resistentes como P 7, IMC 67 y PA 46 e injertar a una altura no inferior a 40 cm.
- Usar herramientas apropiadas para la cosecha y poda de cacao, evitando al máximo causar heridas al árbol y utilizar cicatrizante.
- Las aplicaciones deberán dirigirse tanto al tallo principal como a las ramas secundarias y terciarias del árbol.
- Para las infecciones producidas en hojas y tallos, realizar los cortes de las ramas infectadas para evitar el avance de la enfermedad.

Principales labores asociadas al manejo preventivo de *Phytophthora* sp. en cacao

- Usar material vegetal proveniente de viveros certificados.
- Realizar un buen manejo de la humedad y la sombra.
- No ubicar los residuos de cosecha en la base de las plantas de cacao (cuello de los árboles).
- No dejar descubierta la base de la planta de cacao en zonas con alturas superiores a los 900 m s. n. m. (Aránzazu, 2009).
- Realizar una nutrición adecuada con un sustrato de calidad.
- Implementar el manejo preventivo integrado con prácticas de control biológico y químico.

Es importante destacar que entre las principales labores asociadas al manejo correctivo de *Phytophthora* sp. en cacao se encuentra el uso de pastas cicatrizantes mezcladas con fungicidas en los puntos donde se observen infecciones.

Rosellinia sp.

En la actualidad, constituye una enfermedad de interés fitopatológico, pues se han reportado al menos tres especies de este género (*Rosellinia* sp.) que afectan la producción de cacao en todo el mundo. Entre las más importantes se pueden mencionar *R. pepo*, *R. bunodes* y *R. paraguayensis*. Según la tabla de clasificación de enfermedades reportada por Ploetz (2007) y actualizada por Martínez Botello (2015), la *Rosellinia* se encuentra

con un riesgo actual de una estrella entre cuatro posibles en países como India, Indonesia, Malasia, Granada, África y las Américas. En la figura 47 se presentan los principales síntomas y signos asociados a *Rosellinia* sp. en el cultivo del cacao.



Figura 47.

Principales síntomas y signos asociados a *Rosellinia* sp. en el cultivo del cacao.

Foto: Fedecacao (2015)

Manejo fitosanitario recomendado para *Rosellinia pepo* en Colombia

La guía para el plan de manejo fitosanitario recomendado para el control de *Rosellinia pepo* responderá al alcance de los siguientes pasos y labores:

- Identificar y erradicar árboles enfermos, muertos y troncos viejos (inyección de arboricida al tronco).
- Realizar poda lateral de raíces en árboles cercanos a los eliminados.

- Recolección y destrucción de residuos vegetales de poda.
- Repicar el suelo y recolectar las raíces extraídas.
- Aplicación de cal agrícola sobre el suelo afectado siempre y cuando el análisis de suelos lo permita. Si no lo permite, se puede aplicar melaza a los residuos vegetales en descomposición.
- Cada 15 días realizar aplicaciones de 2 kg de melaza/bomba de 20 L de forma foliar y al suelo (Báez, 2009).
- Solarizar el área afectada durante cuatro meses, manteniéndola limpia de residuos vegetales y malezas.
- Aplicación de biocontroladores como *Trichoderma* sp. y *Clonostachys* sp. sobre el suelo afectado.
- Fortalecer la actividad microbial del suelo con el uso de soluciones revitalizadoras del suelo (caldos microbiales o super cuatro).
- Cuatro meses después de realizar las labores descritas, sembrar plantas indicadoras como el frijol cuarentano (*Phaseolus vulgaris*). Si durante el periodo de crecimiento la planta indicadora muere por *Rosellinia* sp., se deben extraer las raíces y repetir todas las labores mencionadas de forma focalizada.
- Al momento de establecer plátano o sombrío transitorio se deben utilizar abonos de origen animal o síntesis, manteniendo el área afectada completamente limpia de malezas y residuos vegetales por un periodo cercano a los ocho meses.
- Cumplidos 12 meses después de iniciar el tratamiento para el control del patógeno se pueden establecer las plántulas de cacao con abonos de origen animal o síntesis.
- Se deben realizar aplicaciones foliares y edáficas cada 15 días de acuerdo con lo establecido en el análisis del suelo. En la figura 48 se relacionan fotográficamente las características del manejo correctivo de *Rosellinia* en el cultivo del cacao.



Figura 48.

Características del manejo correctivo de *Rosellinia* sp. en el cultivo del cacao.

Foto: Fedecacao (2015)

Muerte descendente

En Colombia, la muerte descendente del cultivo de cacao puede ser producida por hongos endófitos que se encuentran naturalmente en la planta y que por cualquier tipo de estrés biótico o abiótico pueden llegar a convertirse en fitopatógenos foliares.

Uno de los agentes causales más importantes de este tipo de enfermedades es el hongo *Oncobasidium theobromae*, reportado con un impacto actual medio (dos de cuatro estrellas) en el cultivo del cacao (Ploetz, 2007; Martínez Botello, 2015). En la actualidad se tienen reportes no confirmados sobre su presencia en Colombia, pero sí se encuentra en países como India, Indonesia, Malasia, Papúa Nueva Guinea, Filipinas, Tailandia, Brasil, Costa Rica y Ecuador.

El daño más importante lo produce en los tejidos jóvenes en crecimiento, donde completa su periodo de incubación y produce obstrucción de los haces vasculares, de forma descendente, hasta llegar a las ramas principales y producir la muerte de la planta. Normalmente el control más eficiente se basa en podas controladas que eviten el progreso de la enfermedad, acompañadas de una buena fertilización y, por supuesto, un buen manejo agronómico. En la figura 49 se presentan los principales síntomas asociados a una muerte descendente en el cultivo del cacao.



Figura 49.

Principales síntomas asociados a la muerte descendente en el cultivo del cacao.

Foto: Fedecacao (2015)

Colletotrichum sp. (antracnosis)

La antracnosis es una enfermedad que normalmente se presenta en plantas adultas y con mala nutrición, no obstante, en algunos casos se ha identificado en plantas jóvenes y bien nutridas. Puede infectar brotes tiernos, hojas y tallos, afectando el crecimiento y la producción de frutos. Entre los síntomas más importantes se encuentra la formación de lesiones que avanzan desde el borde al interior de la hoja, las cuales se pueden reconocer por un halo amarillo que se forma alrededor de cada una de ellas. Las hojas infectadas se secan y caen, descubriendo las ramas y estimulando la producción de nuevas

hojas. En frutos jóvenes, las infecciones pueden causar abortos y en mayores de tres meses puede generar hundimientos con presencia de micelio de color inicialmente blanco y más tarde rosado salmón. En importante anotar que debido a la cultura cacaotera colombiana, donde se pueden encontrar plantaciones sin podar y con poca disponibilidad de nutrientes, alteraciones fitosanitarias de este tipo podrían llegar a constituir pérdidas significativas para el productor. En la figura 50 se presentan los principales síntomas y signos asociados a antracnosis en frutos y hojas en el cultivo del cacao.



Figura 50.

Principales síntomas y signos asociados a antracnosis en frutos y hojas en el cultivo de cacao.

Fotos: Fedecacao (2015) y Darwin Martínez Botello

***Ceratocystis* sp. (mal del machete)**

Enfermedad causada por el hongo *Ceratocystis cacaofunestan* que obstruye los vasos conductores de los nutrientes hasta desarrollarse de forma completa. Infecta y seca las hojas hasta producir su muerte, si bien las hojas pueden permanecer pegadas al árbol después de ello. En la figura 51 se presentan los principales síntomas y signos asociados a *Ceratocystis* sp. producida por el insecto *Xyleborus* sp. en plantas de cacao.



Figura 51.

Principales síntomas y signos asociados a *Ceratocystis* sp. producida por el insecto *Xyleborus* sp. en plantas de cacao.

Fuente: Fedecacao (2015)

***Corticium* sp. (mal rosado)**

El mal rosado es producido por el hongo *Corticium* sp., una de las enfermedades de control no oficial que en la actualidad no registran pérdidas significativas en el cultivo del cacao. En muy pocos casos el hongo puede producir la muerte del árbol y generalmente produce defoliación y secamiento de las ramas. Entre los signos más importantes se encuentra la formación de un micelio blanco que más tarde se torna rosado. En la figura 52 se presentan los principales síntomas y signos de una planta enferma por *Corticium* sp. o mal rosado en plantas de cacao.



Figura 52.

Principales síntomas y signos de una planta enferma por *Corticium* sp. o mal rosado en plantas de cacao.

Fuente: Fedecacao (2015)

Manejo integrado de enfermedades

La información disponible del territorio sobre antecedentes de manejo integrado de enfermedades como medidas de control es poca o nula, sin embargo, los resultados de las investigaciones realizadas en la evaluación de incidencia y severidad de enfermedades en genotipos de cacao especiales bajo SAF en el departamento de Sucre evidencian alternativas claras para el empleo de estrategias que, integradas de forma precisa, pueden contribuir en la reducción de las pérdidas ocasionadas por enfermedades.

A nivel de país, diferentes medidas de control han sido evaluadas de manera independiente en el control de monilia y *Phytophthora* en cacao, algunas con mayor o menor eficiencia. Sin embargo, en cada una de estas pruebas siempre se destaca la importancia y la eficiencia de las

medidas culturales, las cuales están encaminadas a la disminución del inóculo del patógeno, como la remoción semanal de frutos enfermos (Barros, 1981; Soberanis et al., 1999; Argüello, 2000), la remoción total de frutos en época de baja producción o al final de la principal etapa de producción (González et al., 1983; Bateman et al., 2005) y la cosecha oportuna de frutos (Bateman et al., 2005).

Desde el punto de vista de la práctica y el control cultural, el mundo reconoce las bondades de su empleo para la reducción de afectaciones ocasionadas por cada una de las enfermedades, algunas con mayor eficiencia que otras dependiendo del país donde se empleen. No obstante, cuando se combinan las aplicaciones de fungicidas y las prácticas culturales de saneamiento se proporciona un control útil no solo de las especies de *Phytophthora* sp., sino de todas las enfermedades reportadas para el cultivo (Lanaud et al., 2004).

El mismo efecto se ha reportado para el manejo químico de las enfermedades, donde las moléculas a base de cobre, metalaxil y estrobirulinas reportan resultados importantes (Lopes & Martins, 2005), aunque el alto costo de los fungicidas los hace poco accesibles a los pequeños agricultores, quienes producen más del 50% del cacao mundial (Guest et al., 1994).

Por otra parte, diferentes estrategias de control biológico han tomado fuerza durante los últimos 20 años en el cultivo del cacao, donde validaciones realizadas bajo ensayos controlados en laboratorio y campo reportan microorganismos biocontroladores para patógenos como *P. palmivora* (Krauss & Soberanis, 2001; Despreaux et al., 1989; Flament et al., 2001; Nyassés et al., 2007; Iwaro et al., 1997).

Entre las estrategias de control más importantes tanto para el territorio como para el país y el mundo, se reconocen las medidas culturales encaminadas a la disminución del inóculo del patógeno (Barros, 1981; Soberanis et al., 1999; Argüello, 2000; Rodríguez, 2006), la remoción total de frutos (González et al., 1983; Bateman et al., 2005), la cosecha oportuna de frutos (Bateman et al., 2005), la creación de condiciones adversas al desarrollo del hongo, como poda de formación y mantenimiento y control de arvenses (Barros, 1966; Galindo & Enríquez, 1984)

y la eliminación de excesos de sombra (Galindo & Enríquez, 1984), así como estrategias de control biológico y químico (Krauss & Soberanis, 2001; González et al., 1983; Bateman et al., 2005).

Así mismo, las evaluaciones de la resistencia genética de las plantas a infecciones de *M. roreri* han permitido la identificación de materiales genéticos con características de resistencia genética al patógeno (Phillips-Mora et al., 2005; Rodríguez & Medina, 2005; Jaimes et al., 2011).

Al respecto, autores como De la Cruz-Medina et al. (2011) han reportado medias de control integrado asociadas al control cultural y químico, con resultados de incidencia de *M. roreri* inferiores al 10 % durante dos años de evaluación.

Para el departamento de Sucre, los resultados generados en la evaluación de incidencia y severidad de enfermedades en genotipos de cacao especiales bajo SAF evidenciaron cómo, bajo diferentes condiciones del territorio, las estrategias de manejo integrado de la enfermedad generaron un efecto reductor sobre los daños ocasionados por los patógenos. Así, se consiguió diseñar un programa de manejo integrado de estas enfermedades, donde los inductores de resistencia, los controladores biológicos y los fungicidas tanto preventivos como sistémicos generaron un efecto positivo en el control de dicha enfermedad.

En la figura 53 se presentan los resultados a la 9ª semana de evaluación de cinco tratamientos empleados en el control de la moniliasis. En la misma figura se puede evidenciar cómo los tratamientos donde no se utilizó ningún tipo de molécula presentaron los porcentajes más altos de afectación por el patógeno.



Figura 53.

Resultados a la 9ª semana de evaluación de cuatro tratamientos empleados en el control de la moniliasis.

Foto: Darwin Hernando Martínez Botello

Asimismo, los tratamientos donde se utilizaron los controladores biológicos y los inductores de resistencia evidenciaron los mejores efectos en la reducción de la afectación de la enfermedad. Por otra parte, si bien el informe reporta las pruebas realizadas para determinar la incidencia del patógeno en el territorio, también reporta la presencia de otro tipo de enfermedades, principalmente en los puntos destinados para la producción de plántulas en vivero, donde enfermedades como la antracnosis y *Phytophthora* sp. se identificaron como las de mayor incidencia en las pruebas realizadas.

Según el mismo informe, la aplicación de bacterias controladoras Bs006 y *Bacillus subtilis* raza (QST 713) 1×10^9 UFC/g en el vivero durante la etapa de crecimiento de las plántulas de patronaje lograron controlar en un 100% la aparición de síntomas asociados a este tipo de enfermedades. En la figura 54 se presenta síntomas ocasionados en las hojas de una planta afectada por antracnosis, enfermedad generada por *Colletotrichum* sp.



Figura 54.

Síntomas visuales generados por antracnosis (*Colletotrichum* sp.) en una planta bajo condiciones de vivero

Foto: Darwin Hernando Martínez Botello

Artrópodos plagas

En el sistema productivo de cacao se presenta diferentes especies fitófagas, la mayoría pertenecientes a los órdenes Hemiptera, Thysanoptera, Lepidoptera, Coleoptera e Himenoptera, así como algunas especies de ácaros. De acuerdo con sus hábitos de vida y el tipo de aparato bucal, se pueden clasificar como chupadores, defoliadores o barrenadores (Cely et al., 2012). En Colombia, en los últimos años, el rendimiento de grano ha sido afectando drásticamente debido a problemas por artrópodos plagas como el chinche (*Monalonion* spp.) y el perforador de la mazorca (*Carmenta* spp.), como también por enfermedades tales como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la pudrición negra del fruto (*Phytophthora palmivora*), descritas anteriormente (Hernández-Núñez et al., 2020; Correa et al., 2014; Jaimes & Aranzazu, 2010; Jaimes et al., 2011).

En el departamento de Sucre no se cuenta con información relacionada con artrópodos plagas y datos estadísticos que permitan realizar estimaciones de pérdidas causadas por estos. Sin embargo, en la tabla 12 se describen algunos insectos plaga asociados al cultivo de cacao de importancia en el país.

Tabla 12. Artrópodos plaga asociados al cultivo de cacao en Colombia

Nombre vulgar	Nombre científico	Descripción	Manejo
Chupadores			
Chinche del cacao	<i>Monalonion</i> spp. Orden: Hemiptera. Familia: Maridae.	Las mazorcas de cacao pueden ser atacadas en cualquier estado de desarrollo por adultos y ninfas que succionan la savia y ocasionan un daño característico de lesiones parecidas a chancros o agallas oscuras de poca profundidad. Estas debilitan la resistencia de las mazorcas haciéndolas más vulnerables al ataque de otros insectos y hongos, y pueden ser vector de enfermedades como monilia, entre muchas otras (ICA, 2012; Cely et al., 2012, Huaycho Callisaya et al., 2017).	Especialmente aparece donde las condiciones son favorables, como altas temperaturas, humedad y poca sombra, por lo cual las prácticas de manejo preventivas se relacionan con monitoreos para detección oportuna, mantener las plantaciones con sombra regular, eliminar plantas hospederas alternas y promover el control natural efectuado por avispas y otros insectos benéficos. Para esto se debe, en lo posible, evitar la aplicación de insecticidas, los cuales pueden afectar los polinizadores del cacao, disminuyendo severamente la producción (ICA, 2012; Chicas et al., 2019).
Áfidos o pulgones	Reportados en Colombia por Bustillo (1976), Gallego (1967) y Saldarriaga (1972): <i>Toxoptera aurantii</i>, <i>Aphis rumicis</i> y <i>Aphis spiraecola</i>. Orden: Hemiptera. Familia: Aphididae.	Los áfidos o pulgones son plagas que pueden atacar el cacao en todas sus etapas, principalmente en vivero y en injertos jóvenes. Se alimentan en el envés de las hojas, en los cojinetes florales o en los pedúnculos de los frutos y en frutos pequeños. Las poblaciones altas pueden causar la muerte de los tejidos, ocasionando reducción en los rendimientos en las plantaciones establecidas. Se observan asociados de manera simbiótica con las hormigas (Cañarte & Navarrete, 2021).	Monitoreo periódico, manejo de arvenses hospederas, realizar aplicaciones con productos de bajo impacto ambiental como aceite vegetal o mineral para conservar el complejo de enemigos naturales como coleópteros, coccinélidos, crisopas, sírfidos y chinches de los géneros Zelus y Orius, entre otros (Cañarte & Navarrete, 2021).
Chinches harinosas o cochinitas	En Colombia, algunas reportadas en cacao por Kondo et al. (2008): <i>Dysmicoccus</i> sp., <i>Pseudococcus jackbeardsleyi</i> y <i>Pseudococcus landoi</i>. Orden: Hemiptera. Familia: Pseudococcidae.	Se pueden localizar en el tallo, las hojas, los brotes, los frutos y los cojinetes florales. Se alimentan del floema de manera similar a los pulgones, a través de la succión. En las mazorcas, pueden ocasionar marchitamiento, deformación o retraso en la maduración. Las infestaciones graves provocan defoliación y muerte de las plantas. En el cacao, son económicamente importantes debido a su papel como vectores de virus (Cely et al., 2012; Puig et al., 2021).	Monitoreos periódicos en las plantaciones, uso de material sano para siembra, uso de productos de bajo impacto ambiental como aceite vegetal o mineral y eliminación y destrucción manual de partes afectadas (Rogg, 2000).

continúa

Continúa tabla 12

Nombre vulgar	Nombre científico	Descripción	Manejo
Defoliadores			
Hormigas arrietas	<i>Atta</i> spp. Orden: Hymenoptera. Familia: Formicidae.	Se caracterizan por su cuerpo delgado a modernamente robusto, de colores bronceados a negro. Causan defoliación realizando cortes semicirculares en las hojas, desde los bordes hacia la nervadura central. Estas hormigas actúan en simbiosis con chinches, los cuales les brindan protección (Martínez et al., 2017). El daño es más preocupante cuando atacan botones florales y mazorcas muy pequeñas.	Para el manejo y control de la hormiga arriera se debe tener en cuenta un plan de acción que permita prevenir la formación de nuevos hormigueros y el manejo de los presentes a través de la aplicación de controles culturales y biológicos como el uso de cebos con avena en hojuelas y hongos <i>Beauveria</i>, <i>Metharizium</i>, <i>Trichoderma</i> y <i>Penicillium</i> (Vanegas, 2018).
Barrenadores			
Barrenadores del tallo	<i>Xyleborus</i> spp. <i>Xylosandrus</i> spp. Orden: Coleoptera. Familia: Scolytidae.	Las hembras, que son voladoras, taladran la madera de la planta, hacen un orificio de entrada y excavan galerías. Hacen su ciclo de vida dentro de tallos o ramas afectadas. Para detectar su presencia, se puede observar desprendimiento de aserrín en la base del tronco, como también chancros característicos alrededor del orificio de entrada. Se producen pudriciones de la madera y necrosis de los órganos afectados que causan secamiento y enfermedades como como <i>Ceratocystis fimbriata</i> (Chicas et al., 2019).	Dentro de las estrategias de manejo integrado se pueden mencionar algunas prácticas culturales como podas o erradicación de plantas afectadas, evitar los daños mecánicos a tallos y ramas y aplicaciones de entomopatógenos como <i>Beauveria bassiana</i>.
Perforadores o barrenadores de fruto y semilla	<i>Carmenta foraseminis</i> y <i>Carmenta theobromae</i>. Orden: Lepidoptera. Familia: Sesiidae.	Las especies son muy similares en su morfología, sin embargo, las hembras de <i>C. foraseminis</i> depositan los huevos en la superficie del fruto, las larvas recién emergidas perforan el epicarpio y alcanzan las semillas, mientras que, por el contrario, <i>C. theobromae</i> rara vez llega a las semillas (Castaneda et al., 2015).	Dentro de las prácticas de manejo integrado para estas especies se encuentra el monitoreo, el uso de trampas, atrayentes y medidas culturales como remoción y solarización de frutos afectados y utilización de algunos enemigos naturales como especies de <i>Trichogramma</i> sp., <i>Telenomus</i> sp., <i>Brachymeria</i> sp., <i>Polistes</i> sp. y un hongo entomopatógeno (<i>Paecilomyces</i> sp.) (Carabalí et al., 2018).

Fuente: Elaboración propia a partir de las referencias citadas

Prácticas de manejo para el desarrollo del cacao en el departamento de Sucre según sus condiciones climáticas

Con base en la descripción del clima para el departamento de Sucre y según los requerimientos del cultivo, se detallan las siguientes actividades para el óptimo desarrollo de las plantaciones.

1. Para los meses de diciembre, enero, febrero y posteriormente en agosto se remueven y retiran del lote productor los frutos enfermos con una frecuencia quincenal. La floración puede ser escasa en enero, febrero y marzo debido a que estos meses son los más secos del año.
2. La formación de la primera cosecha o *mitaca* del año se configura con las precipitaciones de finales de marzo e inicios de abril, dando una producción en los meses de julio a septiembre. Durante los meses de abril y mayo en el primer semestre y los meses de octubre y noviembre en el segundo semestre se podan los árboles para su mantenimiento. Esta práctica está acompañada de la fertilización de las plantas para lograr un buen estímulo en la producción. La poda empleada en estos periodos del año se enfoca en remover frutos y ramas enfermas, especialmente para el control de la escoba de bruja en las zonas donde se presente. El sombrío transitorio o permanente que conforma el sistema agroforestal que tenga el cacao se debe podar en los meses de mayo y agosto con el fin de estimular la floración y cuaje de los frutos de cacao. Para ello se debe tener un balance en el cultivo, no sobreexponer las ramas productivas directamente a la radiación solar y evitar de este modo la deshidratación de las flores e inactividad del polen.
3. Debido a la alta incidencia de frutos enfermos que puedan acumularse durante los meses de diciembre a febrero y antes del inicio de las lluvias en el mes de marzo e inclusive abril para algunas zonas del departamento de Sucre, se realiza una remoción de frutos enfermos de manera semanal hasta mantener una plantación limpia y sin focos de enfermedad. Esta labor se repite en el mes de agosto para evitar la proliferación de enfermedades en la nueva floración fuerte del año.
4. La floración del cacao en el departamento de Sucre tiene un comportamiento diferencial a otras zonas del país, ya que se mantiene durante nueve meses del año, y la de mayor producción es la que se genera a partir de septiembre y culmina en febrero. Esta floración se

repite a partir de las primeras lluvias a finales de marzo e inicios de abril y se sostiene hasta el mes de julio, llevando la cosecha de frutos hasta el mes de septiembre.

5. Para la formación de la segunda cosecha, que es la principal del cultivo durante el año, se inicia a partir de prácticas de manejo como la poda, la remoción de frutos enfermos, el manejo del sombrío y la nutrición, con lo cual se logra, a partir del mes de septiembre, el inicio de la floración que se mantiene hasta el mes de febrero, cuando empieza a disminuir por el efecto prolongado de la disminución de lluvias.
6. La cosecha principal de cacao se mantiene durante seis meses del año y depende en gran medida de las labores y prácticas de manejo empleadas en el cultivo, por lo tanto, una buena programación de estas garantizará el éxito productivo de las plantaciones. En la figura 55 se presenta la secuencia de labores y prácticas de manejo del cultivo de cacao.

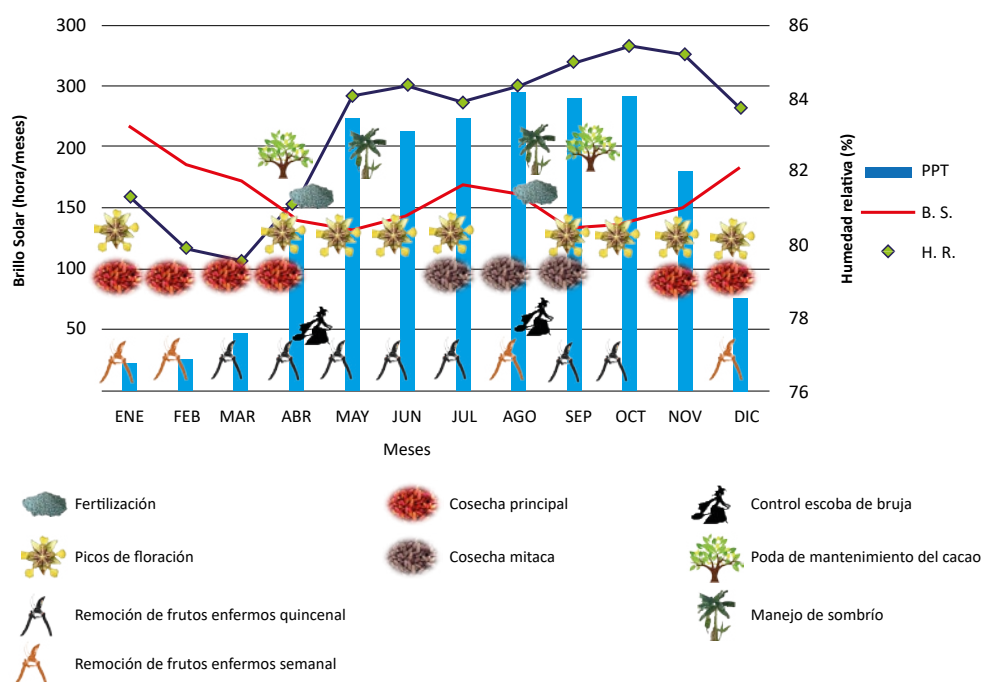


Figura 55.

Secuencia de labores y prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustadas a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Sucre.

Fuente: Elaboración propia

Guía de manejo fitosanitario recomendado para enfermedades y artrópodos plagas asociadas al cultivo del cacao

La guía para el manejo fitosanitario de enfermedades y plagas de control no oficial asociadas al cultivo del cacao se basa en un manejo integrado, donde se tienen en cuenta actividades de acción preventiva y correctiva. Entre las más importantes se pueden mencionar labores como la poda, la regulación de sombríos, el control de malezas, la fertilización, los drenajes y la remoción de material vegetal enfermo, que son acciones que se pueden integrar de forma sostenible con microorganismos biocontroladores. Estas labores agronómicas responden a la incidencia de la enfermedad o la plaga y no a las etapas fisiológicas en las que se encuentre la planta. Las recomendaciones para el manejo responderán al alcance de los siguientes pasos y labores:

- Identificación de plantas enfermas y focos de infección o infestación en hojas, frutos, ramas y tallos.
- Toma de muestras de suelo y tejido vegetal para análisis de laboratorio.
- Identificación de daños por artrópodos plagas como desfoliadores, perforadores de frutos y de tallo.
- Diseño de un plan de fertilización de acuerdo con los resultados de laboratorio y las recomendaciones del ingeniero agrónomo.
- Intervención de plantas enfermas (eliminación de partes afectadas y enfermas).
- Intervención fitosanitaria del cultivo (podas sanitarias, si se requieren).
- Recomendaciones técnicas y fitosanitarias al núcleo familiar del beneficiario.
- Visitas de seguimiento y monitoreo a la finca.

Asimismo, en toda la plantación se recomendarán las siguientes labores:

- Las podas de formación y mantenimiento se deben realizar mínimo una vez al año, con reducción de altura (4 m) y adecuada nutrición de las plantas.

- A los residuos de cosecha se les deberán aplicar productos como la cal y la urea para regular el pH del medio y acelerar el proceso de descomposición. También podrán ser utilizados productos biológicos a base de *Trichoderma* sp. y *Clonostachys* sp.
- Se deberán realizar monitoreos periódicos a los árboles, mínimo cada año.
- Usar la herramienta apropiada para la cosecha y poda de cacao, evitando al máximo causar heridas al árbol, y utilizar pasta cicatrizante.
- Promover siempre el adecuado manejo agronómico del cultivo del cacao.

Principales labores asociadas al manejo preventivo fitosanitario del cultivo de cacao

- Ubicar las plantas enfermas o dañadas físicamente, que pueden ser cacao, frutales y maderables.
- Evitar el uso indiscriminado de correctivos, abonos y productos químicos.
- Realizar todas las labores agronómicas que favorezcan el equilibrio biológico.
- Evitar realizar el anillamiento (muerte lenta) de los árboles de cacao.
- No ubicar los residuos de cosecha en la base de las plantas de cacao (cuello de los árboles).
- Usar las herramientas apropiadas, evitar causar heridas al árbol y utilizar siempre pastas cicatrizantes.
- Recordar la importancia de la nutrición y la calidad del sustrato.
- Promover el uso del control biológico y, en el caso en que sea necesario, también el químico.
- Utilizar material vegetal proveniente de viveros certificados.
- Las labores agronómicas se deberán enfocar teniendo en cuenta el manejo de la humedad y el exceso de sombra.
- No dejar descubierta la base de la planta de cacao en zonas con alturas superiores a los 900 m s. n. m.





CAPÍTULO IX.

Cosecha y poscosecha

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un alimento altamente nutritivo que se posiciona en el tercer lugar después del azúcar y el café en el mercado mundial. Colombia cuenta con condiciones naturales para su producción, es decir, características agroecológicas en términos de clima y humedad (Quijano Rivas, 2016). La producción promedio nacional en los últimos 10 años ha sido de 53.000 toneladas en un área sembrada promedio de 167.000 hectáreas. En el año 2020 la producción fue de aproximadamente 63.000 toneladas (6% más que el año 2019), con un área sembrada preliminar de 189.000 hectáreas concentradas en Santander, Antioquia y Arauca (Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios [UGRA], 2020).

El departamento de Sucre contó con una producción promedio de 134,66 toneladas de cacao para el año 2019, en un área de sembrada de 257,50 hectáreas (MinAgricultura, 2020) concentradas en la zona de los Montes de María (Ovejas, Chalán y Colosó) y La Mojana sucreña (San Marcos, Majagual y Guaranda).

Las labores de beneficio del grano que se aplican para la transformación de las semillas de cacao comprenden las etapas de recolección, desgrane, fermentación, secado, limpieza y clasificación del grano, proceso que es trascendental para la obtención de un grano de calidad debido a que en ellas se fija el olor y sabor característico del grano y, por tanto, del chocolate (Arango, 2017). La fermentación es la más crítica de estas etapas, ya que de ella depende que el grano sea apreciado por la industria nacional e internacional (Pinzón et al., 2012).

Países como Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú se consideran productores de cacao de sabor y aroma finos. La Organización Internacional del Cacao (ICCO) cataloga su grano como de exquisito aroma y sabor, cuyas características sensoriales sobresalen por sus notas frutales, florales, nueces y malta, atributos que lo diferencian de los cacaos producidos

en otros países (Fedecacao, 2019). De ahí la importancia y el rigor que emplean los cacaocultores en algunas regiones de Colombia para mantener el estándar de calidad de su producción.

El desarrollo de las etapas de beneficio del cacao se debe realizar atendiendo las recomendaciones que resultan favorables para mejorar la calidad del grano y realzar sus atributos de aroma y sabor, para lo cual se describen los pasos que se deben considerar en cada una de las etapas que se mencionan a continuación: recolección, desgrane, fermentación, secado, limpieza y clasificación del grano.

Recolección

La recolección del fruto inicia cuando se observa el estado de maduración. Para determinar el grado de madurez se debe tener en cuenta la coloración del fruto, ya que esta varía de acuerdo con el genotipo de cacao establecido. Una de las características relevantes de los genotipos de cacao es que algunos tienen frutos de color verde en su estado inmaduro y en su estado de maduración adquieren un color amarillo cuando se encuentran listos para la cosecha (figura 56a). Hay genotipos que tienen frutos de color rojo o púrpura en su estado inmaduro y presentan un tono naranjado o rojo claro cuando su estado es de maduración y están prestos para la cosecha (figura 56b) (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, 2016).

Los frutos llegan a su punto de madurez fisiológica entre los cinco a seis meses después de la floración; las mazorcas inmaduras o biches producirá sabores amargos y astringentes. Cuando la mazorca de cacao ha llegado a su punto de maduración óptima se recomienda la cosecha de los frutos con una tijera podadora manual u horquilla (media luna), cortando adecuadamente el pedúnculo sin afectar los cojines florales. La recolección se debe realizar cada 15 días en épocas de alta cosecha y cada 20 o 30 días en épocas de baja producción (Compañía Nacional de Chocolates [CNC], 2019).



Figura 56.

Mazorcas maduras: a. Proveniente de cacaos de color verde en su estado inmaduro; b. Proveniente de cacaos rojos, púrpuras o morados en su estado inmaduro.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Durante el proceso de recolección se deben recoger siempre frutos maduros y por ninguna circunstancia de deben recolectar frutos verdes, pintones o sobremaduros (figura 57), ya que la fermentación del grano a partir de este tipo de mazorcas no se genera de manera correcta porque han perdido o no cuentan con suficiente mucílago o pulpa que provea azúcares durante el proceso de fermentación, lo cual genera granos pizarrosos y de mala calidad en su mayoría. Los agricultores reconocen los frutos maduros porque producen un sonido hueco cuando los golpean con los dedos en los entrenudos.



Figura 57.

Mazorcas de mala calidad con granos sobremaduros, enfermos y germinados, los cuales no son aptos para la fermentación.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Partida de frutos y recolección de granos

El corte de las mazorcas debe ser transversal y sobre una plataforma de corte sin filo o machete pequeño invertido. Este es un método seguro que evita que se dañe el grano, el cual puede ser susceptible a la infección por hongos, y contribuye a la seguridad del recolector. Para el desgrane de las mazorcas es necesario que las personas que realizan esta labor se ubiquen de forma cómoda y cuenten con los materiales y elementos de protección personal (EPP) necesarios y accesibles en el sitio (CNC, 2019). En la figura 58 se presenta la forma práctica de extraer los granos de cacao de la placenta.



Figura 58.

Extracción de los granos de cacao de la placenta.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Para extraer los granos de la placenta en forma manual se deslizan los dedos a lo largo de la placenta. El tiempo de desgrane (tiempo transcurrido entre la toma de mazorca del árbol y la extracción del grano) afecta el proceso de fermentación, razón por la cual este debe variar entre uno y dos días porque cuando se emplea un mayor tiempo origina el inicio de la fermentación dentro de la mazorca (Ortiz-Valbuena & Álvarez-León, 2015).

Etapa del beneficio

Fermentación

Es un proceso de cambios bioquímicos y físicos en todas las estructuras del grano como la testa, el mucílago y el interior del cotiledón. En general, el proceso ocurre en dos fases: en la primera, la masa no se debe mover durante 48 horas porque los azúcares contenidos en la pulpa se transforman en agua, alcohol etílico y ácido acético por la acción de levaduras en condiciones anaerobias; en la segunda, la fase aerobia, se deben realizar volteos cada 24 horas para provocar la oxidación de polifenoles y cambios en el pH (Pinzón et al., 2012). En la tabla 13 se presentan los cambios generados a través del tiempo en un proceso de fermentación de cacao de las variedades nacional y CCN 51.

Tabla 13. Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad nacional y variedad CCN 51

Tiempo	Ubicación	Participantes	Resultados
	Cambios		Cambios
Día 1	Mucílago. Aumenta la acidez. Disminuye el pH. Disminuye la concentración de O ₂ .	Levaduras	Descomposición de la pulpa. Formación de etanol. Exudación.
Día 2	Disminuye la acidez. Aparece el etanol. Aumenta la concentración de O ₂ .	B. acéticas	Formación de ácido acético. Temperatura de 50 °C.
Día 2-3	Cotiledones. Sube la temperatura.	Ac. acéticas	Muerte de las células del cotiledón. Disminución de barreras biológicas.
Día 3-5	Cotiledones. Alta concentración de O ₂ .	Enzimas hidrolíticas	Oxidación de antocianinas y polifenoles. Disminución de astringencia.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de Teneda (2016)

El tiempo de fermentación se puede alargar por el exceso de mucílago que genera exceso de acidez e influye en el desarrollo de la expresión organoléptica del cacao (Amores et al., 2007). En la fermentación, el mucílago provee el sustrato para varios microorganismos que son esenciales en el desarrollo de los precursores del sabor y olor del chocolate (Ortiz-Valbuena & Álvarez-León, 2015). En la tabla 13 se presenta una descripción de los principales cambios que ocurren en los granos de cacao y los agentes generadores a lo largo del tiempo de fermentación. En el proceso de fermentación se emplean distintos métodos como cajas de madera, montones, canastas, sacos, gavetas y tendales (Enríquez, 2003).

Esta etapa de beneficio se realiza a través del uso de diferentes fermentadores que reciben su nombre de acuerdo con un prototipo, como se menciona a continuación:

Escalera: se compone de tres cajones en forma escalonada (figura 59a). El proceso de fermentación inicia el primer día, cuando se deposita el grano de cacao en el primer cajón donde se realiza un primer volteo. Se procede a retirar la tapa de este cajón y los granos son vertidos sobre el segundo cajón, lo que permite que el grano ubicado en la parte superior quede en el fondo y el que estaba en el fondo quede en la parte superior. Finalmente, el grano pasa al tercer cajón donde se realiza el último volteo y una vez cumplido el tiempo de fermentado se retira la masa de granos y se dispone al área de secado. Este prototipo es óptimo en el requerimiento del volteo del grano de cacao.

Lineal: es de forma rectangular, con dos o tres compartimentos en el interior (figura 59b). El proceso de fermentación inicia al depositar el grano en el primer compartimento; luego de 48 horas debe pasar al segundo compartimento y el que estaba inicialmente en la parte superior queda en el fondo. Este procedimiento se repite en los siguientes volteos y entre los diferentes compartimentos hasta completar el proceso de fermentación. Este prototipo es de fácil construcción y permite el volteo del grano de cacao más veces de acuerdo con las temperaturas.

Tambor rotatorio: es un prototipo de cajón de madera que permite fermentar 250 kg de cacao en baba (figura 59c), demanda un menor esfuerzo en los volteos y requiere una persona, ya que cuenta con unos ejes de paletas internas. Este cajón permite cerrar y abrir con facilidad, logra disminuir la contaminación, se obtiene un grano con calidad óptima y facilita la labor de cargue y descargue del cacao (Teneda, 2016).



Figura 59.

Módulos de fermentación: a. Escalera; b. Lineal; c. Tambor rotatorio

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal (2019)

Remoción o volteo

El proceso de volteo tiene el efecto inmediato de enfriamiento, liberación de CO₂ y aumento de la aireación y, por consiguiente, de la actividad de las bacterias acéticas. El fin de esta actividad es asegurar un grado de fermentación uniforme. El volteo debe empezar a las 48 horas de iniciada la fermentación y luego se hará cada 24 horas, es decir, una vez al día durante los dos o tres días restantes, dependiendo del tipo cacao fermentado (Teneda, 2016). En la figura 60 se puede observar uno de los tipos de módulos de fermentación que existen en el país.



Figura 60.

Módulo de fermentación tipo escalera durante el proceso de remoción de la masa de cacao.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal (2019)

Secado del grano

El secado del cacao se realiza cuando finaliza la etapa de fermentación (hidrólisis) y se ha iniciado la condensación oxidativa. Este puede ser al sol o artificial (García, 2010). Se utilizan dos métodos para el secado del cacao: el natural (secado al sol) y el artificial (secadoras), si bien el más aconsejable es el primero. En Ecuador y otros países cacaoteros, el secado natural es el procedimiento que más se utiliza; puede ser en tendales de madera, caña picada sobre montículo de arena cercada con caña de bambú o de cemento con ligera inclinación. Hay autores que recomiendan utilizar mantas de polietileno y parihuelas (gavetas) de madera a 40 cm del suelo para evitar la evaporación de la humedad del suelo. El secado depende de las condiciones climáticas, del número de horas de iluminación y de la intensidad de los rayos solares. El secado artificial es una alternativa necesaria para secar el cacao en zonas donde llueve mucho, en períodos pico de cosechas o en plantaciones grandes donde no se puede secar oportunamente toda la producción. En la figura 61 se pueden observar las camas de madera usadas en el secado de las almendras de cacao fermentadas.



Figura 61.

Camas de madera de secado de almendras de cacao fermentadas.

Fuente: Almanza y Pérez (2020)

En zonas como La Mojana en el departamento de Sucre, donde los factores climáticos como alta nubosidad, elevada humedad relativa y precipitaciones son altos, se deben atender las siguientes recomendaciones que inciden en el proceso de secado (Murrieta Medina & Palma Moscoso, 2015):

- Durante los dos primeros días es recomendable extender una capa de masa de cacao de 8 cm de grosor sobre la estructura de secado y protegerla del sol intenso. En épocas con temperaturas menores a 35 °C la capa debe tener un grosor de 6 cm y los dos primeros días puede exponerse al sol salvo al mediodía, cuando debe protegerse de la luz solar directa. La masa debe rastrillarse varias veces al día, en horas de la tarde.
- El tercer día, la capa de cacao debe tener de 3 a 4 cm de grosor y puede exponerse directamente al sol y removerse periódicamente con un rastillo de madera a lo largo del día.
- Según la intensidad del sol, pueden transcurrir de cinco a siete días para el secado. Se procede a confirmar que se completó el proceso al frotar los granos y escuchar un chasquido o cascajo (figura 62), que indica un óptimo porcentaje de humedad del grano de cacao (superior al 7 %).



Figura 62.

Prueba manual para determinar el contenido de humedad de los granos de cacao.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal (2019)

Limpieza y clasificación de granos de cacao

Esta fase es de suma importancia para la calidad del grano de cacao durante la etapa de beneficio. Para su comercialización, debemos eliminar las impurezas presentes y los granos con defectos como mohos, granos partidos y vanos o que no presenten almendra (figura 63). Manualmente o con ayuda de zarandas, se realiza la separación de granos con perforaciones en su almendra, actividad de común uso en las fincas. Con este proceso se pueden ofrecer granos sanos, secos y de buena apariencia (Ávila et al., 2013).



Figura 63.

Proceso manual de separación de la cascarilla y limpieza de la almendra de cacao.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal (2019)

Empaque

Se separa el producto en tres grupos de acuerdo con su aspecto visual. El primero, de acuerdo con la tabla, del número 1 al 5, el segundo del 6 al 10 y el tercero del 11 al 14 (figura 64).



Figura 64.

Prueba de calidad en laboratorio, separación y tamizaje de muestras.

Foto: Manuel Ramón Espinosa Carvajal (2019)

Una vez seleccionados los tres grupos de granos se empacan en sacos de fique y se almacenan para su comercialización. Es importante que estos no duren mucho tiempo en las bodegas para mantener los estándares de calidad (Infocafés, 2017).

Criterios fisicoquímicos de selección de muestra

Teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 1252 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2021) (tabla 14), se puede identificar la calidad del grano y la fermentación obtenida durante el proceso. Esta técnica se basa en el cambio de coloración interna de los granos que está directamente relacionada con la fermentación y el secado, ya que a medida que se fermentan cambian de un color violeta a marrón por cambios bioquímicos del grano y adquieren una forma que es completamente arriñonada.

Tabla 14. Características requeridas del grano de cacao fermentado

Requisitos	Premium	Corriente	Pasilla
Contenido de humedad en % (m/m), máx.	7	7	7
Contenido de impurezas en % (m/m), máx.	0	0,3	0,5
Grano mohoso interno, número de granos/100 granos, máx.	2	2	3
Grano dañado por insectos o germinados, número de granos/100 granos, máx.	1	2	2
Contenido de pasilla, número de granos/100 granos, máx.	1	2	
Contenido de almendra en % (m/m), mín.	-	-	40-60
Masa en g/100 granos, mín.	120	105-119	40
Granos bien fermentados, número de granos/100 granos, mín.	65	65	60
Granos insuficientemente fermentados, números de granos/100 granos, mín.	25	35	40
Granos pizarrosos, números de granos/100 granos, mín.	1	3	3

Fuente: Elaboración propia con base en Icontec (2021)

El índice de grano es uno de los parámetros físicos de calidad que permite determinar el peso promedio de los granos en gramos. La Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao, 2005), en su documento sobre caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, presenta tres clasificaciones para el índice de grano: bajo <1,05 g, normal 1,05 g y alto >1,2 g. Para CCN 51 se ha determinado un índice de grano promedio de 1,6 g de acuerdo con Perea et al. (2013) y se encontró un rango 1,2 a 1,7 g.

En el departamento de Sucre se realizó un estudio descriptivo para evaluar el efecto del método de fermentación en las características de calidad del grano de cacao en el año 2020. Se colocaron granos de cacao en tres fermentadores a escala piloto (lineal, escalera y tambor) y se realizó el volteo y la toma de temperatura a la masa. Las características físicas fueron evaluadas según la NTC 1252. Los resultados mostraron que se alcanzaron eficiencias de fermentación mayores al 85 % que clasifican a los granos en la categoría premium, con contenidos de fenoles totales entre 1,79 y 3,05 $\mu\text{g/mL}$, un color marrón medio, con aromas dulce, agridulce y frutos rojos y sabor a nuez. Se concluye que con los procesos de poscosecha empleados se generaron condiciones especiales para el cacao, contribuyendo así en la obtención de calidad y aceptación del cacao del departamento de Sucre por su aroma y sabor (figura 65). Ya que se requiere mayor experimentación y análisis de la cadena productiva (Almanza & Pérez, 2020), a continuación se discriminan los resultados de la investigación. En la tabla 15 se relacionan los parámetros evaluados para el índice de fermentación mediante la prueba de corte. En la tabla 16 se presenta el porcentaje de cascarilla, el índice de grano y el porcentaje de humedad en los granos fermentados y secos. En la tabla 17 se presentan los resultados bromatológicos en los tres fermentadores y en la tabla 18 se pueden ver las características químicas del grano seco para los diferentes fermentadores.

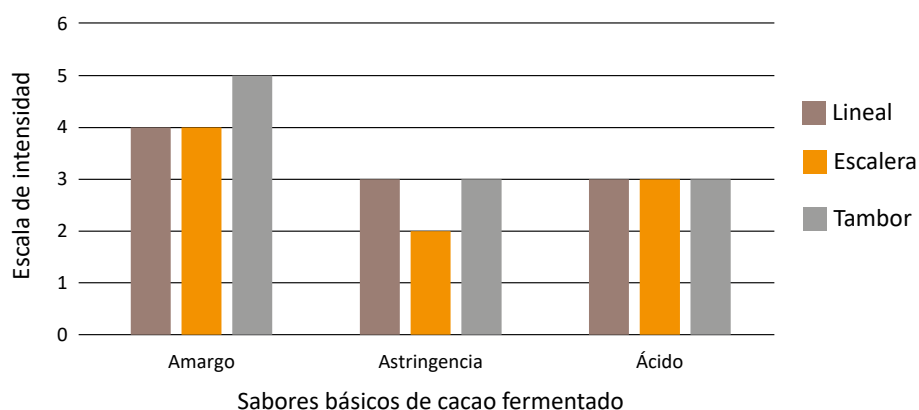


Figura 65.

Respuesta del comportamiento de los sabores básicos en los fermentadores.

Fuente: Almanza y Pérez (2020)

Tabla 15. Parámetros evaluados para el índice de fermentación mediante la prueba de corte

Evaluación de corte	Fermentadores		
	Lineal	Escalera	Tambor r.
Granos bien fermentados	82	75	83
Granos medianamente fermentados	14	11	9
Granos violetas	4	10	5
Granos pizarra	0	0	0
Granos sobrefermentados	0	4	3
Granos con moho	0	0	0
% total de fermentación	96	86	92

Fuente: Almanza y Pérez (2020)

Tabla 16. Porcentaje de cascarilla, índice de grano y porcentaje de humedad en los granos fermentados y secos

Parámetro	Fermentador		
	Lineal	Escalera	Tambor r.
Índice de grano (g)	1,089	1,165	0,988
% cascarilla	13,70	15,63	11,94
% humedad	6,32	7,06	6,44

Fuente: Almanza y Pérez (2020)

Tabla 17. Resultados bromatológicos en los tres fermentadores

Parámetros	Fermentador		
	Lineal	Escalera	Tambor rotatorio
Teobromina (mg/g muestra)	8,20	8,97	9,28
Cafeína (mg/g muestra)	1,66	1,57	1,52
Catequina (mg/g muestra)	N. D.	N. D.	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra)	4,55	1,75	2,84

Fuente: Almanza y Pérez (2020)

Tabla 18. Características químicas del grano seco para los diferentes fermentadores

Fermentador	Grano seco				
	Acidez (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Proteína (%)
Escalera	1,20	3,06	49,91	2,50	13,95
Lineal	1,28	2,83	51,03	2,86	12,82
Tambor rotatorio	1,28	2,87	51,15	2,34	14,51

Fuente: Almanza y Pérez (2020)



CAPÍTULO X.

Transformación y valor agregado

En el departamento de Sucre existen iniciativas de transformación y valor agregado que se proyectan como innovadoras en etapa de exploración, con un efecto claro para la transformación del grano, su industrialización y la valoración de los productos y subproductos. Algunas de las actividades llevadas a cabo para su buen desarrollo son las propuestas desarrolladas por instituciones y asociaciones como Asobuencacao y Asoapicol, quienes transforman el producto y lo mezclan con concentrados de cereales para crear alimentos fortificados, lo cual constituye una oportunidad única para el crecimiento y el desarrollo de la cadena en el departamento.

Se trata de iniciativas que en sus primeras etapas han demostrado ser exitosas, ya que fortalecen la cadena de valor del departamento y evidencian las bondades del encadenamiento y del sector en un territorio, el cual cuenta con las condiciones necesarias para desarrollar actividades que promuevan más casos de éxito que impulsen la competitividad del sector y generen valor agregado en un producto de tipo exportación. Se trata de condiciones que sin duda alguna fortalecerán la productividad e impulsarán iniciativas cada vez más dinámicas que permitan la consolidación de la cadena en el departamento.

Estas alternativas de transformación generan valor agregado que a través de acciones de caracterización y zonificación de la tipicidad de los cacaos producidos en el departamento de Sucre dan soporte técnico para la adopción de innovaciones tecnológicas apropiadas que agregan valor al cacao, sus coproductos y su industrialización (prácticas y actividades llevadas a cabo en dichos procesos).

Tanto el mercado mundial como el nacional y el regional distinguen dos grandes categorías: granos de cacao finos y de aroma y granos de cacao a granel u ordinarios. El mercado regional en el departamento tiene opciones de mejora para la identificación, producción y comercialización

de cacaos finos. No obstante, sus condiciones agroecológicas ofrecen todas las oportunidades para que las variedades de cacao trinitario (productoras de cacao fino y de aroma) se desarrollen en su máximo potencial.

Por otra parte, el mundo reconoce excepciones en esta generalización, como es el caso de la variedad nacional de Ecuador, con árboles considerados del tipo forastero que producen cacao fino y de aroma. Al analizar los destinos de exportación del cacao en Colombia, se encuentra que más de 70 países son destinatarios de este producto, donde México, Bélgica, Estonia y Estados Unidos reciben más del 80% (MADR, 2021). Desde el punto de vista nacional, el año cacaotero 2020-2021 registró la cifra de producción récord de 70.205 toneladas de grano, con un incremento del 9,2% respecto al año cacaotero anterior.

El cacao colombiano es producido típicamente por variedades trinitarias que dependen de procesos de transformación poscosecha y que son apropiadas para alcanzar los estándares adecuados de calidad. Dichos estándares están direccionados a mercados o nichos específicos, donde las características gourmet y la calidad identifican y diferencian al segmento del mercado al cual es destinado este tipo de cacaos. Estas características ofrecen a los productores valores agregados sobre el precio final del producto, pero también les exige estar a la vanguardia de la tecnología desarrollada en los diferentes procesos de poscosecha y beneficio, principalmente las desarrolladas por la Red de Innovación de Cacao de la Corporación de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Durante el último trimestre del año 2021, Colombia ingresó nuevamente al grupo selecto de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), la cual está conformada por 52 países productores de cacao fino y de aroma que desde el año 2015 reconocen que Colombia está en los primeros lugares de la lista de eventos de calidad del orden mundial, características que evidencian y potencializan la calidad del grano producido en el país (ICCO, 2021).

Desde el punto de vista del consumidor se pueden identificar dos tipos, el tradicional y el de estilo de vida. El primero orienta su decisión según el sabor y el precio, posee una alta elasticidad-precio y no aprecia el valor

que el grano aporta al productor final; el segundo muestra más interés en el valor agregado que posee el producto y principalmente está orientado al estilo de vida saludable, sostenible y socialmente responsable (Pricing - Revenue Management, 2022).

Finalmente, el segmento de mercado de los cacaos finos y de aroma evidencia la necesidad de los productores de invertir en instalaciones que permitan la poscosecha adecuada de su producto para expresar al máximo el potencial genético del cacao cultivado en el territorio. Lo anterior deberá ir de la mano de la estandarización de los procesos y el perfilamiento organoléptico del producto generado por el territorio, ya que son procesos diferenciados que traerán a las empresas cacaoteras diferenciación de productos y ayudarán a la consolidación de los territorios.

Desde el punto de vista del gremio, acciones como campañas para incentivar el consumo per cápita de chocolates con alto contenido de cacao, formalización y acreditación (certificaciones, Invima), difusión de información de las propiedades del chocolate y las potencialidades de la cadena de cacao, servicios ambientales, sellos, orígenes, capacitaciones y apoyos a iniciativas de transformación son las que debe llevar a cabo el país para mejorar la transformación y ampliar el portafolio de productos para mejorar su posicionamiento en el mercado nacional.





CAPÍTULO XI.

Indicadores económicos

En los análisis de los sistemas agroforestales que combinan cacao con otros cultivos, llamados “agroforestales con cacao”, este último se considera la especie eje o principal dentro del sistema agroforestal, el cual se constituye en una forma de subsistencia de las familias de agricultores de las regiones de Montes de María y La Mojana en el departamento de Sucre. La combinación del cultivo del cacao con cultivos como plátano y maderables les permite a las familias obtener alimentos e ingresos y a su vez favorecen al sistema de producción con el sombrío en las etapas iniciales mientras el cacao comienza a generar producción, lo que hace pensar que de este sistema se derivan beneficios biofísicos y socioeconómicos.

Se trata de caracterizar tanto la producción en su parte técnica como en los aspectos socioeconómicos con el fin de tener una visión integral del sistema de producción agroforestal con cacao bajo el modelo productivo de agricultura familiar en el cual muchos factores son aportados por la familia, como la tierra y la mano de obra principalmente, y tienen como contraprestación la oferta de alimentos y algunos excedentes para la venta que les permiten comprar los bienes que no produce la familia y son necesarios para continuar el proceso productivo y reproductivo.

Por lo tanto, dentro del análisis se consideraron indicadores sociales y económicos siguiendo la metodología de Quijandría (1991). Los primeros están relacionados con la edad, la educación y la composición familiar (Claverías, 1991), que permiten hacer la caracterización de los productores o actores del sistema (Agreda, 1991). Dentro de los indicadores económicos están los costos, los rendimientos, los ingresos (Krugman & Wells, 2006) y algunos indicadores de retorno que constituyen indicadores financieros, como en el caso del valor presente neto, la tasa interna de retorno y el costo anual equivalente (López Soto, 2000).

Características socioeconómicas de la muestra encuestada

La caracterización socioeconómica de los agricultores que usan sistemas agroforestales se hizo mediante el levantamiento de información en campo combinando técnicas de recolección de información como el sondeo y la encuesta estructurada (Martínez-Reina et al., 2021). Los resultados se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Características de los agricultores de los sistemas agroforestales con cacao en el departamento de Sucre, 2020

Variable	Tipo	Porcentaje	Promedio
Género	Hombre	77	100%
	Mujer	23	
Edad	Agricultor	Mínimo 32	54 años
		Máximo 74	
Educación	Nivel máximo	Secundaria 86%	100%
		Superior 14%	
Núcleo familias	Número de personas	6	6
Tenencia de tierra	Propiedad	65	100%
	Arrendamiento	22	
	Tierras heredadas	13	
Tamaño	Número de ha por predio	Mínimo 1,5	30 ha
		Máximo 12,4	

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las características socioeconómicas de los productores que manejan este sistema de producción, se encontró que el mayor porcentaje de los agricultores son los hombres, con el 77% de la muestra. La edad promedio es de 54 años, situación que pone al descubierto el envejecimiento de la agricultura. Los agricultores poseen un grado de educación intermedio y hay una proporción baja con estudios superiores. El número de miembros de la familia en promedio es seis personas. La forma de tenencia de la tierra que más predomina es la propiedad, sin

embargo, se presenta la posesión de tierras por herencia, algunas incluso sin título, transferidas de padres a hijos. Los tamaños varían mucho, aunque el promedio fue de 30 ha. Se encuentra un rango muy amplio, con un mínimo de 1,5 ha y un máximo de 124 ha. De esta información se puede inferir que se trata de agricultura familiar, los recursos en su mayoría los aporta la familia y así mismo obtienen como contraprestación alimentos e ingresos para acceder a los bienes que necesita la familia y que no produce la unidad productiva.

Tecnología local de producción

El trabajo tuvo como fin conocer la forma como los agricultores y sus familias manejan el sistema de producción. En ningún momento se trata de generar recomendaciones tecnológicas, sino de describir las diferentes actividades y esta información constituye la línea de base para comparar las opciones tecnológicas una vez sean generadas por la investigación biofísica.

Se observó que un 40% de los productores han establecido sistemas de producción con árboles maderables, frutales, arbustos y cacao, como se describe a continuación. En la tabla 20 se presentan los principales sistemas de producción en la zona de estudio.

Tabla 20. Principales sistemas de producción en la zona de estudio

Sistema de producción	Descripción del sistema
SP1	Aguacate, plátano y cacao.
SP2	Cacao, aguacate y árboles maderables.
SP3	Plátano, maderables y maíz.
SP4	Plátano, aguacate y cacao.
SP5	Plátano, cedro, cacao y aguacate.

Fuente: Elaboración propia

Se evidenció que los productores de cacao del departamento de Sucre manejan estos sistemas de producción porque conocen de sus ventajas, como el sombrío, la diversificación de la producción y la generación permanente de ingresos por diversas fuentes a lo largo del año por la venta de plátano en las etapas tempranas, y cacao y maderables que les dan estabilidad tanto económica como ambiental. Además, los

que respondieron la encuesta en un 100 % manifestaron que estaría dispuestos a invertir y a establecer sistemas agroforestales con cacao.

Con relación a la preparación del suelo, un 100% de los agricultores la hacen en forma mecanizada empleando arado, rastrillo y en algunos casos el cincel. También lo hacen combinando actividades de pica de los árboles, despalite, ahoyado y trazado. El material de siembra, en un 40% de los encuestados, es adquirido a través de la compra de plántulas en viveros certificados, un 30% establece semilleros en su finca y el restante 30% con la compra directa a otros agricultores. Para el trasplante se consideran las variables número de hojas, altura de la planta y tiempo de desarrollo o edad. De acuerdo con el sistema de producción, usan semilla sexual de variedades de maíz y semilla asexual de maderables.

Respecto al componente fitosanitario, los artrópodos plagas presentes son comején, hormigas y trozadores de tallo y hojas, los cuales son controlados con el empleo de moléculas químicas de insecticidas (con un mayor uso de organofosforados) de acuerdo con la especie plaga y por recomendación del asistente técnico. Los patógenos o enfermedades corresponden a la moniliasis, pudrición por *Phytophthora*, mazorca negra y antracnosis. Mantienen el uso de moléculas químicas para el control aplicando fungicidas de amplio espectro a base de mancozeb.

En este sistema productivo se realizan actividades culturales como podas de formación, deschupone, plateo, recolección de desechos y frutos dañados, además del control manual de malezas. En cuanto a la actividad de riego, el 90% de los entrevistados no dispone de algún sistema, solo cuentan con un reservorio o jagüey y con las precipitaciones.

La frecuencia de venta es mensual, el 10% de la comercialización del grano de cacao se realiza en sacos de 50 kg y en un 90% a granel, con costos de venta por kilo de cacao de primera de 10.000 COP y pago contra entrega sin formalización de contrato. Su venta es principalmente a un intermediario, seguido de cooperativas y en una proporción menor al mercado local. Los puntos de comercialización son la finca en un 50% y el otro 50% es el mercado local de la cabecera municipal del departamento de Sucre.

La información básica para el análisis económico de los sistemas agroforestales con cacao se obtuvo mediante el levantamiento de patrones de costos de acuerdo con la metodología de consenso (Quijandría & Ruiz, 1991). Para ello se realizaron tres talleres que contaron con la participación de los productores expertos en el manejo de este sistema: uno en Chalán, otro en Toluviejo y otro en San Marcos. Los insumos se valoraron a precio de campo (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 1988), es decir, el valor que pagan en el almacén agrícola y se agrega el costo del transporte para llevarlo a la finca. Que el producto se valoró a precio de campo también es decir el precio que le pagan al productor en la unidad productiva.

La información de los costos de establecimiento se presenta en la tabla 21 y en la tabla 22 los costos de mantenimiento que tienen lugar a partir del segundo año (Baquero Haeberlin, 1996).

Tabla 21. Costos de establecimiento de una hectárea de cacao en asocio con árboles maderables en tres localidades del departamento de Sucre

Indicador	Chalán valor COP	Salitral valor COP	San Marcos valor COP	Promedio valor COP
Labores	1.784.000	1.900.000	1.744.000	1.809.333
Insumos	3.348.400	4.270.000	4.215.200	3.944.533
Herramientas y equipos	273.667	0	64.333	112.667
Costos directos	5.406.067	6.170.000	6.023.533	5.866.533
Costos indirectos	108.121	123.400	120.471	117.331
Costos totales	5.514.188	6.293.400	6.144.004	5.983.864

Fuente: Elaboración propia. Cálculos del componente económico con base en trabajo de campo de 2021

Se puede apreciar que las labores, en promedio, participan en un 30%, los insumos en un 66% y las herramientas en un 2% de los costos totales. Los costos directos corresponden al 98% y se puede apreciar que se trata de un sistema de agricultura familiar que no tiene en cuenta los costos del capital, la administración ni los imprevistos porque quien realiza la administración es el mismo productor.

Tabla 22. Costos de mantenimiento a partir del segundo año de una hectárea de cacao en asocio con árboles maderables en tres localidades del departamento de Sucre

Indicador	Chalán valor COP	Salitral valor COP	San Marcos valor COP	Promedio valor COP
Labores	560.000	560.000	280.000	466.667
Insumos	226.000	226.000	172.000	208.000
Herramientas y equipos	69.000	69.000	7.000	48.333
Costos directos	855.000	855.000	459.000	723.000
Costos indirectos	56.259	42.750	22.950	40.653
Costos totales	911.259	897.750	481.950	763.653

Fuente: Elaboración propia. Cálculos del componente económico con base en trabajo de campo de 2021

Se aprecia que los costos directos constituyen el 95% de los costos totales y dentro de los costos directos las labores participan con el 65%, los insumos participan con el 29% y las herramientas con el 7%. Se observa que la actividad de establecimiento incurre en mayores costos que las de sostenimiento o mantenimiento del sistema y por eso los costos de establecimiento se consideran como la inversión inicial y se hace una vez para toda la vida del proyecto (López Soto, 2000).

Retornos económicos

Por tratarse de un sistema de producción de ciclo largo o de tardío rendimiento no es conveniente usar un periodo de un año, por lo que se consideró una inversión de largo plazo en un horizonte de 20 años. Los cálculos y análisis de los retornos se realizaron de acuerdo con Krugman y Wells (2006). Se consideraron como inversión inicial los costos de establecimiento y los costos de mantenimiento como costos variables por año. Se hicieron flujos de caja y se obtuvieron indicadores de retorno como el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el costo anual equivalente (López, 1997). Esta información se presenta en forma resumida en la tabla 23, donde, además de las localidades donde se hizo el levantamiento de la información, se promediaron estos resultados, los cuales se pueden usar para el departamento de Sucre.

Tabla 23. Retornos económicos de un sistema agroforestal con cacao para el departamento de Sucre, 2021

Indicador	Chalán valor cop	Salitral valor cop	San Marcos valor cop	Promedio valor cop
Costos de establecimiento	5.514.188	6.293.400	6.144.004	5.983.864
Costos de mantenimiento	911.259	897.750	481.950	763.653
Ingreso por cacao \$ ha ⁻¹	1.350.000	1.350.000	1.350.000	1.350.000
Ingresos por plátano \$ ha ⁻¹	2970000	2970000	2970000	2970000
Total ingresos sistema \$ ha ⁻¹	4.320.000	4.320.000	4.320.000	4.320.000
VPN	18.000.950	17.406.467	21.662.903	19.023.440
TIR	24	22	26	24
CAE	625.877,77	699.429,87	685.327.95	670.211,86

Fuente: Elaboración propia. Cálculos del componente económico con base en trabajo de campo de 2021

Los datos de los rendimientos físicos calculados en 500 kilos por hectárea multiplicados por los precios al productor de 2.700 \$/kg dieron lugar a los ingresos brutos por un valor de 1.350.000 \$ ha⁻¹ correspondientes al cacao. Con relación al plátano, se calculó un rendimiento de 9,9 t ha⁻¹ y un precio al productor de 300.000 \$/tonelada, los cuales dan un total de 4.320.000 \$ ha⁻¹. Igualmente, la inversión inicial en promedio fue de 5.983.864 \$ ha⁻¹. Los costos de mantenimiento fueron en promedio de 763.653 \$ ha⁻¹. Con esta información se construyó el flujo de caja para un periodo de 20 años. Cabe anotar que en el momento de levantar la información no se produjo madera y por tanto no se incluyó en este análisis. En la proyección del flujo de caja se estimó un valor presente neto positivo (19.023.440) para los 20 años de vida del proyecto, una tasa interna de retorno del 24% y un costo anual equivalente de 670.211 pesos, muy inferior a los ingresos generados por año; por lo tanto, es factible recuperar la inversión y generar ganancias para el productor. Los datos anteriores permiten inferir acerca de la eficiencia del sistema de producción, dada la capacidad que tiene el sistema de recuperar los costos y generar excedentes que superan los costos de oportunidad del capital.

Por todo lo anterior, los sistemas agroforestales con cacao se constituyen en una forma de subsistencia para los agricultores y sus familias en el departamento de Sucre porque suministran alimentos y generan ingresos para satisfacer sus necesidades.

Se trata de un sistema de producción bajo la modalidad de agricultura familiar donde es más importante la producción de alimentos y la continuidad de la especie humana a través de la familia que el lucro y la ganancia. Sin embargo, una parte de los excedentes que se generan se reinvierten en el sistema para el mantenimiento y la reposición de los elementos gastados a lo largo del periodo de producción y se pudo establecer que el costo anual de sostener el sistema es menor que el ingreso recibido por cultivar una hectárea, que es lo que lo hace sostenible económica y financieramente en el tiempo.

Referencias

- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M., Kelly, C. R., Lundy, M., Rodríguez, F., & Wilcox, M. D. (2018). *An analysis of the supply chain of cacao in Colombia*. USAID. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/96636>
- Agreda, V. (1991). Metodología para el análisis económico. En B. Quijandría & M. E. Ruiz (eds.), *Aspectos metodológicos del análisis social en el enfoque de sistemas de producción* (pp.93-124). IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8853/BVE20037866e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agroalimentacion (2006, junio 5). Cacao. Clima y suelo. *Engormix*. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/el-cultivo-cacao-t26412.htm>
- Agronet: Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (2021). Área cosechada, producción y rendimiento de cacao en el departamento de Sucre 2008-2018. <https://www.agronet.gov.co>
- Agudelo Castañeda, G. A., Cañar Serna, D. Y., Pabón Morales, M. A., Bello Gáfaró, M., & Hernández Nopsa, J. F. (2021). *Manual técnico para la producción de semilla de cacao en vivero para los Santanderes y Boyacá*. AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404586>
- Aguilera Díaz, M. (2005). *La economía del departamento de Sucre: ganadería y sector público*. Serie Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, n° 63. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-63-VE.pdf>
- Aguilera Díaz, M. (2013). *Montes de María: una subregión de economía campesina y empresarial*. Serie Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, n° 195. Banco de la República. https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_195.pdf
- Almanza, K. & Pérez, E. (2020). *Evaluación del método de fermentación en las características de calidad del grano de cacao (Theobroma cacao L.): estudio descriptivo*. Universidad de Sucre.
- Almeida, A. & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425-448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>

- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., & Suárez-Salazar, J. C. (2016). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Revista Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 307-314. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art:375
- Amores, F., Jiménez, J., & Saltos, A. (2007). *Comportamiento del perfil organoléptico de los cacaos CCN-51 y nacional en respuesta a la introducción del presecado de las almendras en el protocolo de fermentación*. INIAP.
- Arango, J. (2017). *Evaluación del efecto de técnicas de fermentación en el sabor y aroma de grano de cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.) en la zona de Tumaco-Nariño*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59584>
- Aránzazu, H. F. (2009). *Cacao: manejo de recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia*. Unión temporal Cacao de Colombia Uno. Fedecacao - Corpoica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19489>
- Araújo, A. S. F., Magalhaes, L. B., Santos, V. M., Nunes, L. A. P. L., & Días, C. T. S. (2017). Biological properties of disturbed and undisturbed Cerrado *sensu stricto* from Northeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 77(1), 16-21. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.06715>
- Arévalo, M. A., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Argüello, O. (2000). Manejo integrado de monilia en cacao (*Theobroma cacao* L.) en Santander. En L. Mejía & O. Argüello (comp.), *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao* (pp. 74-84). Corpoica.
- Asamblea Departamental de Sucre (2020). Plan Departamental de Desarrollo 2020-2023 "Sucre Diferente". <http://www.sucre.gov.co/planes/plan-departamental-de-desarrollo-20202023>
- Ávila, A., Campos, M., Guharay, F., & Camacho, Á. (2013). *Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado de cacao*. [Guía 8]. Lutheran World Relief. http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/19_Guia_8_Beneficiado.pdf
- Barros, O. (1966). Valor de las prácticas culturales como método para reducir la incidencia de monilia en plantaciones de cacao. *Agricultura Tropical*, 22(12), 605-612.
- Barros, O. (1981). *Cacao*. [Manual de asistencia técnica n° 23]. ICA.
- Bateman, R. P., Hidalgo, E., García, J., Arroyo, C., Ten Hoopen, G. M., Adonijah, V., & Krauss, U. (2005). Application of chemical and biological agents for the management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in Costa Rican cocoa (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, 147(2), 129-138. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00012.x>
- Batista, L. (2009). *El cultivo de cacao*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>

- Baquero Haeblerlin, I. (1996). *Evaluación económica de proyectos agroforestales*. [Documento interno de trabajo, Corpoica, Programa de Estudios Socioeconómicos, sin publicar].
- Barón Bayona, J. A., Otero Tapia, A. A., Zubiria Lara, M. F., & Forero Barón, L. A. (2019). Estructuración de la cadena de valor del cacao en el departamento de Sucre como estrategia para el crecimiento económico regional. *Documentos de Trabajo ECACEN*, n° 2. <https://doi.org/10.22490/ECACEN.3486>
- Bhattacharjee, R. & Kumar, P. L. (2007). Cacao. In C. Kole (ed.), *Technical Crops* (pp. 127-142). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34538-1>
- Braudeau, J. (1970). *El cacao, técnicas agrícolas y producciones tropicales* (*Theobroma cacao* L.). Editorial Pueblo y Educación.
- Briones, A. B. (2017). *Diseño de un sistema agroforestal de cacao en la hostería Hakuna Matata en Napo, Ecuador*. [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6035/1/IAD-2017-006.pdf>
- Bustillo P., A. E. (1976). *Lista de áfidos (Homoptera: Aphididae) y sus huéspedes registrados en Colombia*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/15599/25447_10274.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cabrera Dávila, G. (2018). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba*. [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis_grisel_de_la_caridad.pdf
- Cañarte E. G. & Navarrete, J. B. (2021). *Reconocimiento de artrópodos-plaga y controladores biológicos como herramienta para el manejo ecológico de plagas en cacao*. INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5750>
- Carabalí, A., Senejoa, C. E., & Montes, M. (2018). *Reconocimiento, daño y opciones de manejo de Carmenta foraseminis Eichlin (Lepidoptera: Sesiidae), perforador del fruto y semilla de cacao Theobroma cacao L. (Malvaceae)*. AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34398/68103.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carr, M. & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653-676. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Casals, P., Romero, J., Rusch, G. M., & Ibrahim, M. (2013). Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant and Soil*, 374(1-2), 643-659. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1884-9>
- Castaneda, Y. V., Gutiérrez, J. M., Ruiz, S. B. M., & Hernández-Baz, F. (2015). Ocurrencia de los barrenadores *Carmenta foraminis* Eichlin y *Carmenta theobromae* (Busck) (Lepidoptera: Sesiidae) en *Theobroma cacao* L., en el departamento de Antioquia-Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 16(1), 34-39. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/11780>

- Castillo Pérez, S. O. & Ñique Álvarez, M. (2019). Macrofauna del suelo como indicador biológico del estado de conservación en sistemas agroforestales del sector el Choclo en San Martín - Perú. *Tayacaja*, 2(2). <https://doi.org/10.46908/riect.v2i2.49>
- Cely, O. V., Bermúdez, E. C., & Cedeño, B. N. (2012). Artrópodos asociados al cultivo de cacao en Manabí. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 7, 34-42. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/618/683>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. (Edición completamente revisada). CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Chicas, J. M. S., Pérez, D., Serrano-Cervantes, L., Parada-Jaco, M. E., Joyce, A. L., Maldonado-Santos, E. J., ... & Lovo-Lara, L. M. (2019). Insectos como plagas potenciales del cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Salvador. *Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador-Revista Minerva*, 2(2), 117-134. https://www.researchgate.net/publication/338165503_Insectos_como_plagas_potenciales_del_cacao-Theobroma_cacao_L_en_El_Salvador
- Claverías, R. (1991). Metodología para el análisis de fenómenos sociales y culturales. En B. Quijandría & M. E. Ruiz (eds.), *Aspectos metodológicos del análisis social en el enfoque de sistemas de producción* (pp. 67-92). IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8853/BVE20037866e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Compañía Nacional de Chocolates [CNC]. (2019). *Cosecha, beneficio y calidad del grano de cacao* (Theobroma cacao L.). CNC.
- Consorcio Proyección IB2. (2014). *Evaluación de la situación actual y de los escenarios futuros del mercado de materiales de construcción y arcillas en las ciudades de Cali, Cúcuta, Villavicencio, Cartagena, Sincelejo, Yopal, Valledupar y Montería*. UPME.
- Contreras Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., & Falla-Guzman, C. (2021). Carbono acumulado en raíces de especies vegetales en sistemas silvopastoriles en el norte de Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 52-69. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.3>
- Contreras Santos, J. L., Martínez Atencia, J., Cadena Torres, J., & Fallas Guzmán, C. K. (2019). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29-41. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (s. f.). *MAPA. Sistema experto*. <http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Inicio/Index?ReturnUrl=%2fNetCorpoicaMVC%2fSEMapa%2fRegional%2fDepartamento%3fcodigoDane%3d70&codigoDane=70>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2016). Plan de Manejo Agroclimático Integrado en Colombia, Capítulo Sucre, Tolúviejo. En *Manejo agroclimático integrado del sistema productivo de ñame* (pp. 234-330). <https://agriperfiles.agri-d.net/display/AS-pub-D1150FBAB2BF60D4F1D968B20D0C5D1C>

- Correa, A., Castro, M., & Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronómica*, 63(4), 388-399. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/42747/47914
- Costa, G. G. L., Cabrera, O. G., Tiburcio, R. A., Medrano, F., Carazzolle, M. F., Thomazella, D. P. T., Schuster, S. C., Carlson, J. E., Gultinan, M. J., Bailey, B. A., Mieczkowski, P., Pereira, G. A. G., & Meinhardt, L. W. (2012). The mitochondrial genome of *Moniliophthora roreri*, the frosty pod rot pathogen of cacao. *Fungal Biology*, 116(5), 551-562. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.01.008>
- De la Cruz-Medina, J., Vargas-Ortiz, M., & Del Ángel-Coronel, O. (2012). *Cacao: operaciones poscosecha*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Despreaux, D., Clement, D., & Partiot, M. (1989). Black fod disease of cocoa in Cameroun: analysis of a resistant character observed in field. *Agronomie*, 9(7), 683-691. <https://doi.org/10.1051/agro:19890706>
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., Weigend, M., & Luebert, F. (2012). *Hoja botánica: Cacao*. *Theobroma cacao* L. doi: 10.13140/RG.2.2.31228.44165
- Enríquez, G. (1985). *Curso para el cultivo del cacao*. Serie Materiales de Enseñanza, n° 23. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://books.google.com.co/books?id=eZgOAQAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Enríquez, G. (2003). *El cultivo de cacao bajo concepto de calidad total*. Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- Farquharson, K. L. (2014). The Fungus, the Witches' Broom, and the Chocolate Tree: Deciphering the Molecular Interplay between *Moniliophthora perniciosa* and *Theobroma cacao*. *The Plant Cell*, 26(11), 4231. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.133462>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2005). *Caracterización físicoquímica y beneficio del grano de cacao* (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Fedecacao. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2272>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2012). *Guía técnica para el cultivo del cacao*. Fedecacao. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11685>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2015). *Enfermedades y plagas del cacao*. [Convenio 0266-2015. Proyecto financiado por la dirección de innovación del Ministerio de Agricultura y ejecutado por la Federación Nacional de Cacaoteros]. Fedecacao.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2019, abril 4). *icco ratifica a Colombia como país exportador de cacao fino y de aroma*. <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/867-icco-ratifica-a-colombia-como-pais-exportador-de-cacao-fino-y-de-aroma>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao] & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). *Boletín de prensa. Así quedó el ranking de producción de cacao en Colombia*. <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1193-boletin-de-prensa-asi-queda-el-ranking-de-produccion-de-cacao-en-colombia>

- Flament, M., Kebe, I., Clément, D., Pieretti, I., Risterucci, A., N’Goran, J., & Lanaud, C. (2001). Genetic mapping of resistance factors to *Phytophthora palmivora* in cocoa. *Genome*, 44(1), 79-85. <https://doi.org/10.1139/g00-099>
- Fulton, R. H. (1989). The cacao disease trilogy: Black Pod, Monilia Pod Rot, and Witches’ - Broom. *Plant Disease*, 73(7), 601-603. <https://doi.org/10.1094/PD-73-0601>
- Gallego, F. L. (1967). Lista preliminar de insectos de importancia económica y secundarios, que afectan los principales cultivos, animales domésticos y al hombre, en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 26(65), 32-66. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29108/29383>
- García Lozano, J., Romero Carrascal, M., & Ortiz, L. A. (2007). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao*. [Cartilla]. Corpoica.
- García, L. F. (2010). *Catálogo de cultivares de cacao del Perú*. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI); DEVIDA. https://www.academia.edu/33872810/MINISTERIO_DE_AGRICULTURA_Y_RIEGO_DEVIDA_CULTIVARES_DE_CACAO_DEL_PER%C3%9A
- Galindo, J. J. & Enríquez, G. A. (1984). *Estrategias para el combate de la moniliasis del cacao*. CATIE.
- González, C., Sánchez, J. A., Porras, V. H., Umaña, S., & Murillo, D. (1983). Evaluación del fungicida clorotalonil y de la destrucción de mazorcas enfermas en el combate de la moniliasis del cacao. *Agronomía Costarricense*, 7(1-2), 1-7.
- Guest, D. (2007). Black pod: diverse pathogens with a global impact on cocoa yield. *Phytopathology*, 97(12), 1650-1653. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1650>
- Guest, D. I., Anderson, R. D., Foard, H. J., Phillips, D., Worboys, S., & Middleton, R. M. (1994). Long-term control of Phytophthora diseases of cocoa using trunk-injected phosphonate. *Plant Pathology*, 43(3), 479-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x>
- Gutiérrez, B. (2011). *Estudio agromorfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Usulután y California del Departamento de Usulután en El Salvador*. [Tesis de grado, Universidad Dr. José Matías Delgado]. <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/04/IAL/ADTESGE0001258.pdf>
- Hernández-Núñez, H. E., Gutiérrez-Montes, I., Sánchez-Acosta, J. R., Rodríguez-Suárez, L., Gutiérrez-García, G. A., Suárez-Salazar, J. C., & Casanoves, F. (2020). Agronomic conditions of cacao cultivation: its relationship with the capitals endowment of Colombian rural households. *Agroforestry Systems*, 94(6), 2367-2380. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00556-9>
- Hossne, A. (2008). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 195-202. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000300001&lng=es&tlng=es
- Huaycho Callisaya, H., Maldonado Fuentes, C., & Manzaneda Delgado, F. (2017). Control del chinche del cacao (*Monaloniondis simulatum* Dist.) con aplicación de bioinsecticidas en la región de los Yungas de Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1), 31-39. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182017000100005&script=sci_arttext

- Infocafés. (2017). *Sistema de calificación y clasificación de estándares de calidad para cacao fino y de aroma*. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/04/Tercer-Entregable-Sistema-de-Calificaci%C3%B3n-y-Clasificaci%C3%B3n.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación*. ICA. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.): medidas para la temporada invernal. [Cartilla]*. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/->
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2021). NTC 1252:2021. Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (1998). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6ª ed.). Imprenta Nacional.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. IGAC.
- Iwaro, A., Sreenivasan, T., & Umaharan, P. (1997). Foliar Resistance to *Phytophthora palmivora* as an Indicator of Pod Resistance in *Theobroma cacao*. *Plant Disease*, 81(6), 619-624. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619>
- Jagoret, P., Michel-Dounias, I., & Malézieux, E. (2011). Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 81(3), 267-278. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9368-x>
- Jaimez, R. E., Tezara, W., Coronel, I., & Urich, R. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao* L.): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2), 253-258.
- Jaimes, Y. & Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12699>
- Jaimes, Y. Y., Aranzazu, F., Rodríguez, E., & Martínez, N. (2011). Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 361-371.
- Krauss, U. & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of Cocoa Pod Diseases with Mycoparasite Mixtures. *Biological Control*, 22(2), 149-158. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0956>
- Krugman, P. & Wells, R. (2006). *Introducción a la economía. Microeconomía*. Reverté.
- Lanaud, C., Risterucci, A. M., Pieretti, I., N'Goran, J., & Fargeas, D. (2004). Characterisation and genetic mapping of resistance and defence gene analogs in cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Molecular Breeding*, 13(3), 211-227. <https://doi.org/10.1023/B:MOLB.0000022515.23880.1b>
- Lanaud, C., Loor, R. G., Zarrillo, S., & Valdez, F. (2012). Origen de la domesticación del cacao y su uso temprano en el Ecuador. *Nuestro Patrimonio*, 12, 12-14.

- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27, 93-132. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)
- Leyva, S., Baldoquin, A., & Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Agrícolas* 35(1), 36-47. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.81>
- Lopes, M. & Martins, E. (2005). *Identificação e manejo das principais doenças do cacaueteiro no Brasil*. CEPLAC; CEPEC; SEFIT.
- López, N. (1997). *Proyectos agropecuarios: teoría y casos prácticos*. Universidad Nacional de Colombia; Produmedios.
- López Soto, N. (2000). *Proyectos agropecuarios: teoría y casos prácticos*. (1ª ed.) Produmedios.
- Lutheran World Relief [LWR] - Cacao Móvil. (2020). *Guía 1. El cacao en sistemas agroforestales*. [Aplicación móvil]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=kronos.cacaomovil&hl=es_BO
- Marín Q., M. del P., J. Andrade, H., & P. Sandoval, A. (2016). Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 351-360. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.89>
- Martínez, S. P., Noceda, C., Zambrano, O., Parra, D., Cordova, L., & del Castillo, D. S. (2017). Descripción de plagas en viveros de cacao en el cantón Milagro a partir de diferentes fuentes de información. *Revista Ciencia UNEMI*, 10(24), 19-38. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol10iss24.2017pp19-38p>
- Martínez-Atencia, J., Loaiza-Usuga, J. C., Osorio-Vega, N. W., Correa-Londoño, G., & Casamitjana-Causa, M. (2020). Leaf litter decomposition in diverse silvopastoral systems in a neotropical environment. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(7), 1-20. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1723112>
- Martínez Botello, D. (2015). *Caracterización de cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) por su respuesta de defensa a Moniliophthora roreri y su polimorfismo de SSRs*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52470>
- Martínez-Reina, A. M., Grandett-Martínez, L., Tordecilla-Zumaqué, L., Rodríguez-Pinto, M., Cordero-Cordero, C. & Tofiño-Rivera, A. (2021). Análisis tecnológico y socioeconómico del sistema de producción local del frijol rosado Zaragoza (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Caribe de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), 1-21. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11520>
- Mejía, L. A. & Argüello, O. (Comps.). (2000). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Corpoica. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3832/1/220.1.pdf>
- Mejía Florez, L. A., & Palencia, G. E. (2000). *Manejo integrado del cultivo de cacao*. Corpoica.

- Meinhardt, L. W., Rincones, J., Bailey, B. A., Aime, C., Griffith, G. W., Zhang, D., & Pereira, G. A. G. (2008). *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao: what's new from this old foe? *Molecular Plant Pathology*, 9(5), 577-588. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00496.x>
- MinAgricultura (2020). *Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). *Cadena de cacao*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Cadena de cacao*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. [Informe técnico n° 402]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); Fundación CIPAV. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>
- Montes, C. J. (2016). *Estudio de factibilidad para la producción y exportación de cacao en el municipio de Sincelejo-Sucre*. [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11619/MontesMontiel_CarlosJavier_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Murrieta Medina, E. & Palma Moscoso, H. (2015). *Manual de buenas prácticas de cosecha y poscosecha de cacao a nivel de productor: beneficio centralizado y secadora solar*. USAID.
- Navarro Prado, M. & Mendoza-Alonso, I. (2006). *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales*. ProDeSoc.
- Nyassés, S., Efombagn, M., Kébe, B., Tahi, M., Despréaux, D., & Cilas, C. (2007). Integrated management of *Phytophthora* diseases on cocoa (*Theobroma cacao* L.): Impact of plant breeding on pod rot incidence. *Crop Protection*, 26(1), 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.015>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (2016). *Manual de buenas prácticas agrícolas de proceso y empaque de cacao* (*Theobroma cacao*). Dirección Regional de Inocuidad de Alimentos.
- Organización Internacional del Cacao [icco]. (2021). *La Organización Internacional del Cacao da la bienvenida a Colombia como 52º país miembro*. <https://www.icco.org/la-organizacion-internacional-del-cacao-da-la-bienvenida-a-colombia-como-52o-pais-miembro/>
- Orozco-Aguilar, L. & López-Sampson, A. (2016). Balance de agua y requerimientos de riego en cacao. *Boletín Cacao*, segundo trimestre. https://www.researchgate.net/publication/306079734_Balance_de_agua_y_requerimientos_de_riego_en_cacao
- Ortiz-Valbuena, K. & Álvarez-León, R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). *Boletín Científico del Centro de Museos de la Universidad de Caldas*, 19(1), 65-84. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.1.5>

- Patiño Forero, S., Suárez Santos, L. N., Andrade Castañeda, H. J., & Segura Madrigal, M. A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 121-134. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>
- Perea, J. A. (2019). *El cacao desde la ciencia: de la semilla al chocolate*. Universidad Industrial de Santander.
- Perea, A., Martínez, N., Aránzazu, F., & Cadena, T. (2013). *Características de calidad del cacao: catálogo de 26 cultivares*. División de publicaciones UIS.
- Phillips-Mora, W., Castillo, J., Krauss, U., Rodriguez, E., & Wilkinson, M. J. (2005). Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology*, 54(4), 483-490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01210.x>
- Pinzón, J., Rojas, F., Ramírez, F., Moreno, & Castro, G. (2012). *Guía técnica para el cultivo del cacao*. Fedecacao.
- Poppenborg, P. & Hölscher, D. (2009). The influence of emergent trees on rainfall distribution in a cacao agroforest (Sulawesi, Indonesia). *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 204(10), 730-736. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2008.10.003>
- Ploetz, R. C. (2007). Cacao diseases: important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology*, 97(12), 1634-1639. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1634>
- Prabha, K. & ChandraMohan R. (2014). Management of cocoa seedling blight caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Archives*, 14(1), 461-463. [http://plantarchives.org/PDF/Vol.%2014\(1\)%20\(461-463\).pdf](http://plantarchives.org/PDF/Vol.%2014(1)%20(461-463).pdf)
- Pricing - Revenue Management (2022). *Elasticidad precio de la demanda*. <https://www.pricing.cl/conocimiento/elasticidad-precio-de-la-demanda/>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2014). *Guía para el cultivo de cacao*. Compañía Nacional de Chocolates. <https://issuu.com/pnudcol/docs/cartilla-final>
- Puig, A. S., Wurzel, S., Suarez, S., Marelli, J. P., & Niogret, J. (2021). Mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) Species Associated with Cacao Mild Mosaic Virus and Evidence of Virus Acquisition. *Insects*, 12(11), 994. <https://doi.org/10.3390/insects12110994>
- Quijandría, B. (1991). Integración de las metodologías de los análisis sociales en la planificación y ejecución de la investigación en sistemas de producción. En B. Quijandría & M. E. Ruiz (eds.), *Aspectos metodológicos del análisis social en el enfoque de sistemas de producción* (pp. 125-130). IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8853/BVE20037866e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quijandría, B. & Ruiz, M. E. (Eds.). (1991). *Aspectos metodológicos del análisis social en el enfoque de sistemas de producción*. IICA.
- Quijano Rivas, A. (2016). *Características generales de la estructura y dinámica en la cadena del cacao en Colombia 2005-2015*. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias]. https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/141/

- Rice, R. A. & Greenberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3), 167-173. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.167>
- Roa-Romero, H., Salgado-Mora, M., & Álvarez-Herrera, J. (2009). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas - México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 97-110. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2009000300007&lng=en&tlng=es
- Rodriguez-Medina, C., Arana, A. C., Sounigo, O., Argout, X., Alvarado, G. A., & Yockteng, R. (2019). Cacao breeding in Colombia, past, present and future. *Breeding Science*, 69(3), 373-382. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19011>
- Rodríguez, E. (2006). Técnicas de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 4(4), 68-77.
- Rodríguez, E. & Medina, J. (2005). Caracterización de clones de cacao por respuesta a monilia (*Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans *et al.*) en Santander. *Fitopatología Colombiana*, 28(2), 61-64.
- Rogg, H. W. (2000). *Manual: manejo integrado de plagas de cultivos tropicales*. Abya Yala. <https://www.cabi.org/wp-content/uploads/Rogg-2000b-IPM-in-tropical-crops.pdf>
- Rojas Molina, J., Ortiz Cabrales, L., Escobar Pachajoa, L., Rojas Buitrago, M., & Jaimes Suarez, Y. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, Rionegro-Santander. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 193-206. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45790>
- Romero, C. & Urrego, E. (2016). *Estudio del cacao en el Perú y en el mundo*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Ruiz Agudelo, C. A., Hurtado Bustos, S. L., Carrillo Cortes, Y. P., & Parrado Moreno, C. A. (2019). Lo que sabemos y no sabemos sobre los sistemas agroforestales tropicales y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos. Una revisión. *Ecosistemas*, 28(3), 26-35. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1697>
- Saldarriaga V., A. (1972). *Plagas del cacaotero*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23642/22822_3825.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santos, D. P., Schossler, T. R., Dos Santos, I. L., Batista, N., & Guimarães, G. (2017). Soil macrofauna in a Cerrado/Caatinga ecotone under different crops in Southwestern Piauí State, Brazil. *Ciência Rural* 47(10), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160937>
- Sena, K., Alemanno, L., & Gramacho, K. P. (2014). The infection process of *Moniliophthora perniciosa* in cacao. *Plant Pathology*, 63(6), 1272-1281. <https://doi.org/10.1111/ppa.12224>
- Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria [SIPRA]. (2019). Aptitud cacao (*Theobroma cacao* L.) Sucre. [Mapa]. <https://sipra.upra.gov.co/>

- Soberanis, W., Ríos, R., Arévalo, E., Zúñiga, L., Cabezas, O., & Krauss, U. (1999). Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection*, 18(10), 677-685. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00073-3)
- Superintendencia de Industria y Comercio [SIC]. (s. f.). *Cadena productiva del cacao: diagnóstico de libre competencia*. https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Cacao.pdf
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M. S., & Huising, E. J. (2012). Capítulo 1. El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En F. M. S. Moreira, E. J. Huising & D. E. Bignell (eds.), *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (pp. 29-52). Instituto Nacional de Ecología.
- Teneda, W. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao*. Universidad Internacional de Andalucía.
- Tomich, T. P., Brodt, S. B., Dahlgren, R. A., & Scow, K. M. (2016). *The California nitrogen assessment: Challenges and solutions for people, agriculture, and the environment*. University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520962231>
- Tully, K. & Ryals, R. (2017). Nutrient cycling in agroecosystems: Balancing food and environmental objectives. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 761-798. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1336149>
- Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios [UGRA]. (2020). *Ficha de inteligencia: Cacao*. Finagro. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/ficha_de_inteligencia_-_cacao.pdf
- Vanegas, E. (2018). *Plan de manejo integrado de la hormiga arriera en el municipio de Campo Hermoso, Boyacá*. Alcaldía municipal de Campo Hermoso, Boyacá. https://campohermosoboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/campohermosoboyaca/content/files/000072/3596_hormiga-arriera-en-campohermoso.pdf
- Walters, K. F. A. & Hardwick, N. V. (2000). Chapter 1. Principles of pest and disease management in crop protection. In D. Alford (ed.), *Pest and disease management handbook* (pp. 1-18). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470690475.ch1>
- Zerpa, G., Sosa, O., Berardi, J., Bolatti, J. P., Galindo, A., & Maldonado, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*, 35, 64-68. <https://fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2014/09/12AM35.pdf>

Impresión y encuadernación:

DGP Editores S.A.S.

Terminó de imprimirse

en junio, Bogotá, D. C., Colombia

El cacao (*Theobroma cacao*), como cultivo comercial, es de alta importancia en áreas tropicales de Centro y Sur América, Sureste de Asia y África y es el sustento de millones de agricultores. En el departamento de Sucre el cultivo ha tenido gran relevancia durante los últimos años por su fácil adaptación y producción, favorecido por las diversas zonas agroecológicas que le permiten desarrollarse y generar una buena productividad, además de garantizar excelentes ingresos para los productores que procuran mejorar su calidad de vida. A pesar de sus virtudes para el territorio, el reto aún es grande ya que se requiere empoderar a los productores de conocimiento para un manejo sostenible del cultivo y que la aplicación del modelo contribuya al aumento de la resiliencia ante las adversidades del clima.

Este documento consta de once capítulos que abordan diferentes áreas temáticas, que buscan orientar a los productores de cacao del departamento de Sucre para el desarrollo de este sistema productivo con enfoque de sostenibilidad y competitividad. Se incluyen aspectos relacionados con el entorno ambiental requerido por la especie, así como su origen, características fenológicas, distribución espacial, requerimientos edafoclimáticos, sistemas de siembra en arreglos agroforestales, prácticas culturales para el cultivo, rehabilitación de plantaciones improductivas, manejo integrado de enfermedades y artrópodos plaga, cosecha y poscosecha, transformación y valor agregado y las características socioeconómicas, tecnologías locales de producción, que están relacionados con los retornos económicos de este sistema productivo en la zona de estudio.



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: bac@agrosavia.co

TÉLEFONO: (57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274

SKYPE: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/join/biblioteca.agropecuaria)

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA
EDITORIAL