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

(2ª edición)

Autores

Yeirme Yaneth Jaimes Suárez
Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Eliana Yadira Báez Daza
Felipe Montealegre Bustos
Gersain Antonio Rengifo Estrada
Jairo Rojas Molina



El campo es de todos · Minagricultura · SGR · AGROSAVIA Editorial
Siempre Santander Gobernación · Gobernación de Boyacá · Secretaría de Agricultura · Boyacá Avanza · Gobernación de Sucre · Sucre empieza a ser Cambiante · Secretaría de Desarrollo Económico y Medio Ambiente · EPI · Sucre se reactiva

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

(2ª edición)

Autores

Yeirme Yaneth Jaimes Suárez
Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Eliana Yadira Báez Daza
Felipe Montealegre Bustos
Gersain Antonio Rengifo Estrada
Jairo Rojas Molina

AGROSAVIA
EDITORIAL

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander / Yeirme Yaneth Jaimes Suárez [y otros cinco]. – 2ª edición -- Mosquera (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

184 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye fotos, gráficos, tablas y referencias bibliográficas
ISBN: 978-958-740-552-1
ISBN E-book: 978-958-740-553-8

1. *Theobroma cacao* 2. Propagación de plantas 3. Cosecha 4. Medidas fitosanitarias 5. Indicadores económicos 6. Santander (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 La Suiza. Kilómetro 32 vía al mar, vereda Galápagos, Rionegro-Santander. Código postal 687527, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los proyectos "Investigación, desarrollo e innovación de cacao especiales bajo sistemas 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 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 edición: 500 ejemplares

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Edición: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Amalia Tapiero Barreto

Diseño: Mónica Cabiativa
Diagramación: Javier Barbosa
Impresión: DGP Editores
Impreso en Bogotá, Colombia, julio de 2022
Printed in Bogotá

Citación sugerida: Jaimes Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2022) *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander* (2ª ed.). Corporación Colombiana de InvestigaciónAgropecuaria-AGROSAVIA.https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405538

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.

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

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

Contenido

7 Lista de tablas
11 Los autores
15 Agradecimientos
17 Introducción

Capítulo 1. Cadena productiva del cacao-chocolate 21

23 Producción

Capítulo 2. Situación mundial del cacao 23

25 Moliendas
29 Producción

Capítulo 3. Situación nacional del cacao 29

33 Comercio internacional
35 Características naturales de la zona productora de cacao en Santander

Capítulo 4. Descripción de la producción en Santander 35

39 Características socioeconómicas
41 Altitud
41 Relieve

Capítulo 5. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao 41

42 Temperatura
42 Radiación solar
44 Vientos
44 Precipitaciones
47 Humedad relativa
47 Requerimiento edáfico
51 Descripción taxonómica

Capítulo 6. Taxonomía y material genético 51

52 Materiales genéticos
54 Propagación del material genético

56 Materiales genéticos utilizados para la producción de patrones
59 Material genético utilizado como copas productivas
62 Compatibilidad sexual

Capítulo 7. Manejo agronómico 67

69 Sistemas agroforestales con cacao
81 La agricultura familiar en sistemas agroforestales con cacao
89 Sustratos esenciales para la producción de clones de cacao en etapa de vivero
92 Requerimientos nutricionales de las plántulas de cacao en vivero
92 Propiedades químicas del suelo para plantaciones de cacao
101 Fertilización en la etapa productiva de la plantación
103 Recomendaciones para la aplicación del fertilizante o abono

Capítulo 8. Manejo fitosanitario 107

108 Monilia
113 Escoba de bruja
118 Mazorca negra
124 Mal del machete
127 Llaga estrellada
129 Otros problemas fitosanitarios del cultivo de cacao en Santander
133 Renovación y rehabilitación de plantaciones

Capítulo 9. Modernización de plantaciones improductivas 133

143 Recolección de frutos de cacao

Capítulo 10. Cosecha y poscosecha del cacao 143

146 Clasificación de frutos de cacao
147 Partida de frutos y extracción de granos
149 Fermentación de los granos de cacao
157 Secado de los granos de cacao
161 Limpieza y clasificación de granos de cacao
161 Empaque
162 Requisitos físicos
165 Costos de establecimiento de vivero y producción de material vegetal clonado de cacao

Capítulo 11. Costos de producción 165

166 Costos de establecimiento del cultivo de cacao bajo arreglo agroforestal

171 Referencias

Lista de figuras

Figura 1 Estructura de la cadena del cacao-chocolate 21

Figura 2 Producción de grano de cacao seco de los diez principales países productores (2020) 24

Figura 3 Producción, moliendas y existencias mundiales de grano de cacao seco de los últimos diez años 26

Figura 4 Comportamiento del precio mensual nacional e internacional del grano seco de cacao entre enero de 2016 y diciembre de 2021 27

Figura 5 Área de cacao sembrada por departamento en 2020 30

Figura 6 Participación en la producción nacional de granos de cacao seco (%) de los principales departamentos productores de Colombia, 2021 31

Figura 7 Producción de cacao por departamentos en 2020 32

Figura 8 Importaciones y exportaciones de granos de cacao seco realizadas en Colombia, periodo 2010-2020 33

Figura 9 Los cinco principales municipios cacaoteros del departamento de Santander, 2020 36

Figura 10 Cronograma de prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustado a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Santander 38

Figura 11 Mapa de suelos del departamento de Santander 39

Figura 12 Variedades liberadas por AGROSAVIA en 2014 (TCS 01 y TCS 06) y 2017 (TCS 13 y TCS 19) 53

Figura 13 Método de propagación asexual del cacao mediante injertos 55

Figura 14 Plántulas de *T. cacao* con injertación 55

Figura 15 Variedades de material vegetal empleadas como patronaje en la propagación vegetativa del cacao 57

Figura 16 Semilla de cacao adecuada para la obtención de patrones, pregerminada para la siembra en sustrato 57

Figura 17 Material vegetal de cacao apto para establecimiento definitivo en campo 58

Figura 18 Variedades de cacao liberados por AGROSAVIA para las subregiones Montaña Santandereana y Magdalena Medio (Santander) 61

Figura 19 Flores de *T. cacao* con edad para su fecundación 62

Figura 20 Modelo de siembra de materiales de la serie TCS liberados en combinación 63

Figura 21 Modelo de siembra por franjas de materiales autocompatibles liberados por AGROSAVIA con alto porcentaje de fecundación 63

Figura 22 Clones de cacao especiales TCS de AGROSAVIA, sembrados ordenadamente en sistemas agroforestales de maderas finas tropicales 66

Figura 23 Sistema agroforestal de maderas finas con cacao 70

Figura 24 Trazado del lote para siembra de especies de sistema agroforestal con caca 74

Figura 25 Disposición del sistema agroforestal de cacao 75

Figura 26 Diseño de siembra de los cultivos intercalados de maíz y frijol en un sistema agroforestal con cacao en Rionegro, Santander 83

Figura 27 Producción de fríjol calima en el ensayo de cultivos intercalados maíz-fríjol en el Centro de Investigación La Suiza 85

Figura 28 Producción de ICA V-109 en el ensayo de cultivos intercalados maíz-fríjol en el Centro de Investigación La Suiza. 85

Figura 29 Sistema agroforestal con cacao intercalado con siembra de fríjol en Rionegro, Santander 88

Figura 30 Sistema agroforestal con cacao intercalado con siembra de maíz en Rionegro, Santander 88

Figura 31 Apertura de hoyo (40-60 cm) para extracción de la submuestra 95

Figura 32 Principales deficiencias de nutrientes (N, P , K, Ca, Mg, Mn, S, Fe, Cu, Zn, B) en tejido vegetal del cultivo de cacao 99

Figura 33 Síntomas y signos de monilia 109

Figura 34 Ciclo de la monilia 110

Figura 35 Síntomas de escoba verde (previos a la necrosis del tejido) ocasionados por *M. perniciosa* 114

Figura 36 Síntoma de escoba de bruja en cojín floral 115

Figura 37 Ciclo de la escoba de bruja 116

Figura 38 Formación de basidiocarpos de *M. perniciosa* sobre tejido enfermo necrosado de plantas de cacao. 117

Figura 39 Síntomas de mazorca negra en fruto de cacao 120

Figura 40 Síntomas de mazorca negra en tronco 120

Figura 41 Ciclo de la mazorca negra 121

Figura 42 Procedimiento para el manejo de cánceres causados por *Phytophthora* sp. en árboles de cacao 123

Figura 43 Síntomas de clorosis ocasionada por el mal de machete 125

Figura 44 Árbol de cacao con clorosis generalizada ocasionada por la enfermedad de la llaga estrellada 128

Figura 45 Insecto-plaga del género *Monalonion* y daño que ocasiona 130

Figura 46 Daño ocasionado por larva del género *Gymnandrosoma* en frutos de cacao 131

Figura 47 Daño ocasionado por larva del género *Stenoma* en frutos de cacao 132

Figura 48 Injerto lateral en tronco realizado para la rehabilitación de plantaciones improductivas de cacao 137

Figura 49 Inicio proceso de injertacion lateral 138

Figura 50 Parcela improductiva con intervención de injerto malayo 138

Figura 51 Destape de injerto para verificar prendimiento 139

Figura 52 Corte final cicatrizado para evitar la entrada de patógenos y plagas 140

Figura 53 Estado final de una parcela intervenida por con un proceso de rehabilitación, un manejo agronómico adecuado e introducción de nuevas copas productivas 141

Figura 54 Colores de frutos de cacao según su madurez fisiológica 144

Figura 55 Frutos de cacao no aptos para cosecha y poscosecha 145

Figura 56 Cosecha de frutos de cacao con madurez óptima para su beneficio 146

Figura 57 Selección de frutos de cacao cosechados 147

Figura 58 Labor de partir frutos de cacao 148

Figura 59 Extracción de granos de los frutos de cacao 149

Figura 60 Masa de granos de cacao con mucílago en los cajones de fermentación 150

Figura 61 Verificación de temperatura en la masa de cacao 151

Figura 62 Volteo de granos de cacao en fermentación 152

Figura 63 Corte de grano de cacao que permiten identificar el estado de fermentación por cambio en la coloración 153

Figura 64 Prueba de corte de granos de cacao para determinar grado de fermentación 153

Figura 65 Cajones fermentadores de granos de cacao 155

Figura 66 Fermentador en cajón tipo doble o lineal para fermentación de granos de cacao 155

Figura 67 Fermentador tipo barril rotatorio para fermentación de granos de cacao 156

Figura 68 Infraestructura para el secado natural de grano de cacao 157

Figura 69 Secador artificial rotatorio con aire caliente 158

Figura 70 Prueba manual para determinar el contenido de humedad de los granos de cacao 159

Figura 71 Equipos para determinar el porcentaje de humedad en los granos de cacao 160

Figura 72 Granos de cacao mohoso 161

Figura 73 Empaque en sacos de granos de cacao 162

Figura 74 Curvas de crecimiento de los clones de cacao en los arreglos forestales 168

Lista de tablas

Tabla 1 Representantes de la cadena productiva del cacao-chocolate 22

Tabla 2 Caracterización socioeconómica del departamento de Santander 40

Tabla 3 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao 49

Tabla 4 Taxonomía del cacao 52

Tabla 5 Principales características productivas de las variedades de cacao recomendados para Santander 60

Tabla 6 Matriz de compatibilidad entre materiales genéticos de AGROSAVIA 64

Tabla 7 Matriz de compatibilidad entre materiales universales y de Fedecacao 65

Tabla 8 Elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas 80

Tabla 9 Niveles mínimos de las condiciones químicas de los suelos para el desarrollo de proyectos productivos de cacao en Colombia 81

Tabla 10 Variables productivas de maíz ICA V 109 en ensayos de distancias de siembra de maíz y fríjol intercalados. Rionegro, Santander, Centro de Investigación La Suiza 84

Tabla 11 Variables productivas de fríjol calima en ensayos de distancias de siembra de maíz y fríjol intercalados. Rionegro, Santander, Centro de Investigación La Suiza 84

Tabla 12 Niveles de producción de maíz y fríjol por ciclo de producción 86

Tabla 13 Estimación de ingresos y costos para maíz y fríjol por ciclo de producción 86

Tabla 14 Análisis económico de los diseños establecidos 87

Tabla 15 Propiedades físicas y químicas de un sustrato ideal para el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao en vivero 91

Tabla 16 Principales datos a tener en cuenta para el envío al laboratorio de química de suelos 96

Tabla 17 Valores para la interpretación de la fertilidad de suelos cacaoteros de Colombia 97

Tabla 18 Rango para la interpretación del pH o grado de acidez de los suelos agrícolas 98

Tabla 19 Rangos óptimos de disponibilidad de nutrientes en suelos de acuerdo con el grado de acidez 100

Tabla 20 Absorción de nutrientes según la etapa de desarrollo 101

Tabla 21 Contenido nutricional en partes vegetativas de la planta de cacao 102

Tabla 22 Extracción de nutrientes (kg/1.000 kg de grano seco) en clones de cacao con aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio 102

Tabla 23 Síntomas de deficiencias nutricionales en la planta de cacao 105

Tabla 24 Principales problemas sanitarios del cultivo de cacao en Colombia 107

Tabla 25 Clasificación a nivel de plantación híbrida y a nivel de árbol clonado para determinar grado de eficiencia productiva 135

Tabla 26 Requisitos físicos del grano de cacao seco 163

Tabla 27 Características más importantes del grano de cacao de acuerdo con la tolerancia permitida 163

Tabla 28 Costos de construcción y dotación de vivero y producción de plántulas de cacao (precios de 2020) 166

Tabla 29 Indicadores de flujo de caja para el establecimiento de una hectárea de cacao bajo arreglo agroforestal 169

Los autores

Yeirme Yaneth Jaimes Suárez
Correo: yjaimes@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7942-0598

Microbióloga con énfasis en alimentos de la Universidad de Pamplona, maestría en Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada y doctorado en Agronomía Protección de Plantas de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Botucatu (São Paulo, Brasil). Trabaja como investigadora PhD en AGROSAVIA desde el 2008. Ha recibido entrenamiento en fitopatógenos del cacao en el Centro de Investigación en Cacao (Ceplac), en Itabuna (Bahía, Brasil). En cacao, ha trabajado principalmente en el diseño de esquemas para el manejo de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa*, y en la biología de poblaciones de estos patógenos y *Phytophthora* sp. y *Rosellinia* sp. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas sobre temas relacionados con el cultivo del cacao.

Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Correo: gagudelo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0469-1406

Ingeniero agrónomo, magíster en Fisiología Vegetal con énfasis en Ecofisiología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja. Posee experiencia en la evaluación y selección de materiales genéticos de cacao adaptados a diferentes ambientes, en modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales, en manejo productivo del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales y en manejo de viveros y producción de material vegetal de siembra para el establecimiento de nuevos cultivos. Es autor de cuatro variedades de Cacao de AGROSAVIA TCS (Theobroma Corpoica La Suiza), ha publicado artículos científicos en revistas indexadas, manuales y escritos relacionados con el cultivo de Cacao. Actualmente, se desempeña como investigador máster vinculado a la Red de Cacao del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro Santander.

Eliana Yadira Báez Daza
Correo: ebaez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1059-1604

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Pamplona, magíster en Agroforestería Tropical con énfasis en Sistemas Agroforestales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá. Cuenta con experiencia en manejo de recursos genéticos; caracterización morfológica de materiales; selección de materiales genéticos de cacao con requerimientos de producción, calidad y factores climáticos; manejo de cosecha y poscosecha de cacao; modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales y manejo productivo del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales. Es autora de dos variedades de Cacao de AGROSAVIA TCS (Theobroma Corpoica La Suiza) y ha publicado artículos científicos en revistas indexadas. Actualmente, se desempeña como investigadora máster vinculada a la Red de Cacao del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro Santander.

Felipe Montealegre Bustos
Correo: fmontealegre@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7757-6508

Economista egresado de la Universidad del Tolima y magíster en Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción – en Chile. Cuenta con una sólida fundamentación teórico – práctica en investigación económica, especialmente en el área socioeconómica, economía ambiental, economía de recursos naturales y valoración económica. En Chile y Colombia se ha desempeñado como docente en varias universidades e investigador en proyectos financiados por entidades públicas y privadas de orden nacional e internacional. Desde 2018 hace parte del equipo de Investigadores de AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Suiza, en el cual hace parte de Red Cacao y participa en procesos de investigación relacionados con cultivos como cacao, frutales y agricultura familiar.

Gersaín Antonio Rengifo Estrada
Correo: grengifo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8716-6040

Licenciado en ciencias naturales de la Universidad de Pamplona e ingeniero ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña (UFPSO). Cuenta con una maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Manejo de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia. Recibió la capacitación en sistemas agroforestales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Se ha desempeñado como profesor catedrático en la carrera de Tecnología Agropecuaria e Ingeniería Ambiental de la UFPSO. Cuenta con experiencia en investigación agropecuaria, orientada a la búsqueda del equilibrio entre la seguridad alimentaria, biodiversidad y manejo sostenible de los recursos naturales, con énfasis en los sistemas productivos de pastos, plátano, yuca, maíz, agroecología (en manejo integrado de insectos plagas y fertilidad orgánica), hortalizas, agricultura específica por sitio, frutales de clima medio, cacao, en extensión y transferencia de tecnología; específicamente en fisiología del cultivo, manejo y conservación de suelos y aguas, evaluación de metales pesados en suelos cacaoteros y determinación de servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales (biodiversidad y carbono entre otros).

Jairo Rojas Molina
Correo: jrojas@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3929-9487

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima con maestría en Agroforestería del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie) de Costa Rica. Trabaja como investigador máster asociado en AGROSAVIA desde 2007. Ha recibido entrenamiento en investigación en cacao, específicamente en sistemas agroforestales, en el Centro de Investigación en Cacao (Ceplac) ubicado en el estado de Bahía, Brasil. Se ha desempeñado como profesor en la maestría de Sistemas Agroforestales en la Universidad de la Amazonia, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) y la Universidad de los Llanos. En cacao, ha trabajado con diseños de sistemas agroforestales, fertilidad en suelos y determinación de servicios ecosistémicos para los sistemas agroforestales (carbono, biodiversidad, etc.). Participó en la construcción del *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao) para el departamento del Huila* y ha publicado artículos en revistas indexadas sobre temas relacionados con el cultivo de cacao.



Agradecimientos

Esta segunda edición del *Modelo productivo para el cultivo de cacao* (*Theobroma cacao* L.) *en el departamento de Santander* es producto de la ejecución del proyecto "Investigación desarrollo e innovación de cacaos especiales bajo sistemas agroforestales", financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTeI) del Sistema General de Regalías (SGR). La aprobación y ejecución del proyecto en cuestión se logró gracias al apoyo brindado por las gobernaciones de Boyacá, Sucre y Santander a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), entidad encargada de su ejecución y a la cual los autores expresamos el más sincero y profundo agradecimiento.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a las instituciones aliadas que suscribieron con AGROSAVIA convenios para la ejecución de las actividades del proyecto en los departamentos de Boyacá, Santander y Sucre. Expresamos especial gratitud a la Universidad Industrial de Santander (UIS), a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), a la Universidad de Sucre, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), a la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), y a la Cooperativa Ecocacao. Igualmente, extendemos un agradecimiento especial a los cacaocultores de estos departamentos, quienes se vincularon al proyecto a través de la firma de acuerdos y nos permitieron validar en sus cultivos las recomendaciones de manejo.

Finalmente, los autores agradecemos a los investigadores, profesionales de apoyo a la investigación, a los asistentes de investigación y al personal del área administrativa del Centro de Investigación La Suiza y Sede Central de AGROSAVIA que hicieron posible el desarrollo de las actividades de este proyecto y la consolidación de esta segunda edición del *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander*.



Introducción

En Colombia, el cultivo de cacao es una actividad realizada de pequeña a mediana escala en predios que no superan las 3 ha en promedio y por pequeños productores que recurren, fundamentalmente, a la mano de obra familiar. En estas fincas diversificadas se cultivan diferentes productos que son consumidos y constituyen elementos fundamentales de la dieta de los campesinos cacaoteros (Espinal et al., 2005; García et al., 2014; Pettersson, 2016). Asimismo, la siembra de cacao ha devenido un sistema de producción alternativo a los cultivos ilícitos en zonas con altos niveles de pobreza y donde predominan los conflictos sociales.

Según datos de 2020, el país cuenta con 188.000 ha distribuidas en 27 departamentos. El cultivo genera 96.295 empleos directos y 76.998 indirectos y a su producción están vinculadas aproximadamente 65.341 familias. El 61,64% de la producción se concentra en los departamentos de Santander, Antioquia y Arauca, donde Santander es el principal productor, con el 40,57% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). Aunque para gran parte de esta producción se obtiene de materiales de cacao híbridos, han incrementado las áreas sembradas con materiales vegetales clonados provenientes de programas de mejoramiento realizados por entidades como AGROSAVIA (genotipos TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19), Fedecacao (genotipos FTA 2, FSA 12, FSA 13, FEAR 5, FEC 2, FLE 2, FLE 3, FSV 41, FSV 155), la Compañía Nacional de Chocolates (genotipos CNCH 12 y 13) y Casa Luker (clones Luker 40 y Luker 50). Asimismo, las áreas sembradas con materiales universales (como CCN 51, ICS 1, ICS 39, TSH 565, entre otros) han aumentado.

El departamento de Santander es el primer productor, con una producción de 26.315 t de grano de cacao seco en un área de 59.711 ha. En este departamento, el cacao constituye un cultivo estratégico, ya que, después de la palma de aceite, está dentro de los principales sistemas agrícolas por área sembrada (15,7%); además, genera aproximadamente 20.000 empleos (Gobernación de Santander, 2020). Sin embargo, sus rendimientos

(460 kg de cacao seco/ha) siguen siendo bajos. Esto se debe a diversos problemas en el manejo de este cultivo, tales como diseños de siembra inadecuados (Álvarez et al., 2012; Pabón et al., 2016); presencia de plagas y enfermedades que afectan el rendimiento del cultivo y cuyo manejo inadecuado magnifica la problemática sanitaria (Jaimes & Aranzazu 2010; Carvajal et al., 2022); deficiencia nutricional en los cacaotales (León et al., 2019); escasa o nula realización de podas; utilización de híbridos no productivos y establecimiento de variedades mejoradas en sitios inadecuados que limitan la expresión de su verdadero potencial genético —lo cual redunda en la ausencia niveles de producción por encima de los 1.500 kg de cacao seco por hectárea— (Agudelo et al., 2018).

Por otra parte, el cultivo de cacao se caracteriza por la utilización de mano de obra familiar y depende de esta para mejorar sus niveles de productividad (Zabala et al., 2019). En las fincas donde la disponibilidad de mano de obra familiar es baja se contrata mano de obra. Esto incrementa los costos y disminuye la rentabilidad del cultivo. La escasez de mano de obra en el cultivo de cacao se explica porque esta actividad no es atractiva para la juventud, lo cual se ve reflejado en la edad promedio del productor cacaotero, que está por encima de los 50 años (Pabón et al., 2016; Montealegre et al., 2021). Esta situación lleva al desplazamiento de los jóvenes agricultores del campo a la ciudad (Zequeira et al., 2021, Montealegre et al., 2021), pues tanto los niveles de capitalización de los agricultores como los niveles de crédito son bajos (Hernández et al., 2020; Pabón et al., 2016; Pérez et al., 2021). A su vez, esta situación repercute en la disminución de la rentabilidad, que no es adecuada para hacer las mejoras requeridas ni aumentar los niveles de producción.

En Colombia, una gran mayoría del cacao se cultiva en sistemas agroforestales (SAF) (Suárez et al., 2018; Pérez et al., 2021). En estos sistemas, las densidades de siembra, que oscilan entre 600 y 700 árboles/ha, son bajas (Álvarez et al., 2012), además, los cultivos pueden estar asociados a especies maderables o frutales gracias a las cuales el productor percibe ingresos adicionales (Cerda et al., 2014). Los SAF son una práctica amigable con el medio ambiente, constituyen un medio que permite la adaptación al cambio climático y ofrecen beneficios que contribuyen a la seguridad alimentaria (Hernández et al., 2020). Dentro de los servicios ecosistémicos

que brindan estos sistemas se destacan la regulación del ciclo hídrico, el secuestro de carbono y la provisión de hábitat para especies de aves, insectos, y mamíferos.

La mayor parte de la producción de Santander se comercializa en grano de cacao seco y es liderada por compañías nacionales como la Casa Luker, la Compañía Nacional de Chocolates y algunas empresas regionales. Sin embargo, las tendencias internacionales apuntan a otros mercados, por ejemplo, el de los "cacaos especiales" (Ríos et al., 2017). Dentro de estos cacaos se incluyen cacaos de orígenes únicos, cacaos diferenciados por toques organolépticos, cacaos orgánicos o cacaos certificados como Fairtrade, Agricultura Sostenible, UTZ o Rainforest Alliance. En ese sentido, para acceder a mercados diferenciados se debe plantear la necesidad de generar un cambio en la cacaocultura del departamento para adoptar estándares de producción de grano de cacao más rigurosos y alcanzar una mayor calidad en la transformación del producto.

Con este modelo productivo diseñado para el departamento de Santander se pretende contribuir al cambio en la cacaocultura, razón por lo cual se pone a disposición de los productores, los asistentes técnicos, los académicos y las asociaciones de cacaoteros la oferta tecnológica del cultivo de cacao. La información suministrada pretende contribuir al mejoramiento de este importante sector productivo y saldar las brechas tecnológicas en aspectos como la selección de los sitios adecuados para la siembra, la escogencia de los mejores clones para el establecimiento de las plantaciones, el manejo de plagas y enfermedades y los procesos de beneficios y poscosecha del producto (así como los costos de su implementación). Se espera que la información contenida en este documento sea de utilidad para los programas de fomento del cultivo en Santander y el resto del país. Con esta publicación, AGROSAVIA divulga los resultados de sus trabajos de investigación y validación de las ofertas tecnológicas desarrolladas para este importante sector productivo.



CAPÍTULO 1.

Cadena productiva del cacao-chocolate

Mediante la Ley 811 de 2003 se crearon las cadenas productivas agropecuarias en Colombia, dentro de las cuales se incluyó la del cacao-chocolate (Espinal et al., 2005), reglamentada, a su vez, a través del Decreto 3800 de 2006 (MADR, 2021). En esta cadena productiva se identifican varios actores con diferentes funciones, los cuales están involucrados en las diferentes etapas: desde la producción primaria de grano de cacao seco hasta la comercialización, transformación y distribución de los productos transformados (figura 1) (Abbott et al., 2019). Asimismo, el Consejo Nacional Cacaotero (CNC) —integrado por entidades de los sectores público, de investigación y privado (tabla 1)— se creó mediante la Resolución 00041 de 2002 y su reconocimiento como órgano consultivo de la política cacaotera del país se hizo por medio de la Resolución 329 de 2009 (MADR, 2021).

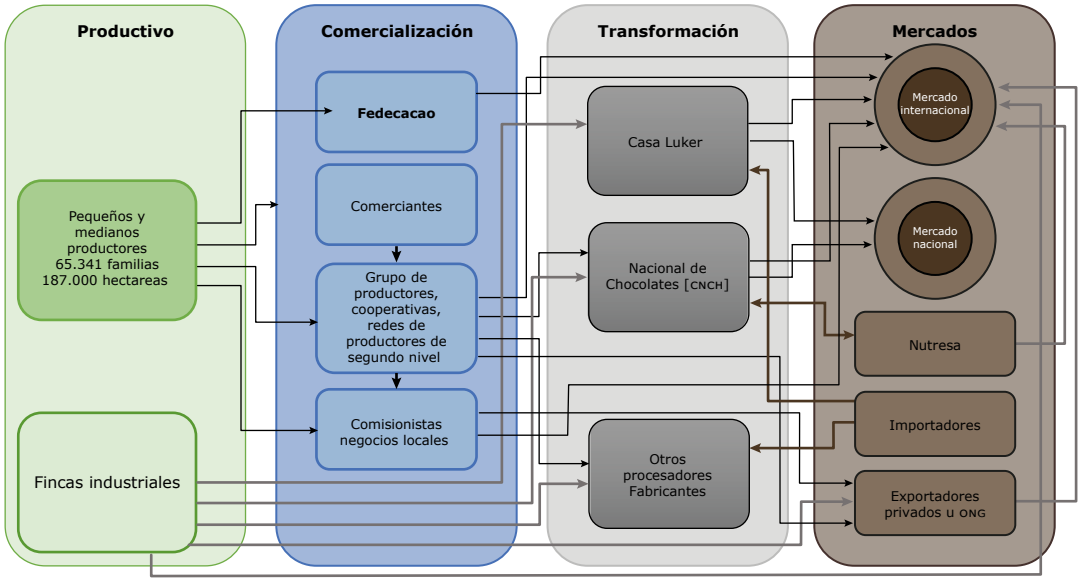


Figura 1.

Estructura de la cadena del cacao-chocolate.

Fuente: Elaboración propia con base en Abbott et al. (2019)

Tabla 1. Representantes de la cadena productiva del cacao-chocolate

Sector	Representantes
Público	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT)
Investigación	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)
Privado	Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) Cooperativa Multiactiva de Cacaoteros del Departamento de Arauca (Coopcacao) Asociación de Cacaocultores del Tolima (Asocatol) Compañía Nacional de Chocolates Casa Luker Colombina Chocolate Gironés Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) Representantes de los comités regionales

Fuente: MADR (2021)

Se espera que para el año 2024 Colombia alcance una producción de mínimo 150.000 t de grano de cacao seco para cumplir con los requisitos de los mercados nacionales e internacionales. Con esto también se busca brindar estabilidad a los diferentes eslabones de la cadena y sostenibilidad en los ámbitos social, económico y ambiental. A su vez, el Gobierno nacional espera posicionar el cacao colombiano como materia prima para las industrias de los países exportadores de productos elaborados y granos especiales sin procesar. Se ha definido un plan decenal de desarrollo cacaotero para el periodo 2013-2024, el cual contempla la ejecución de estrategias en las siguientes áreas: 1) producción y transferencia, 2) investigación e innovación, 3) desarrollo de mercados y 4) asuntos institucionales.

CAPÍTULO 2.

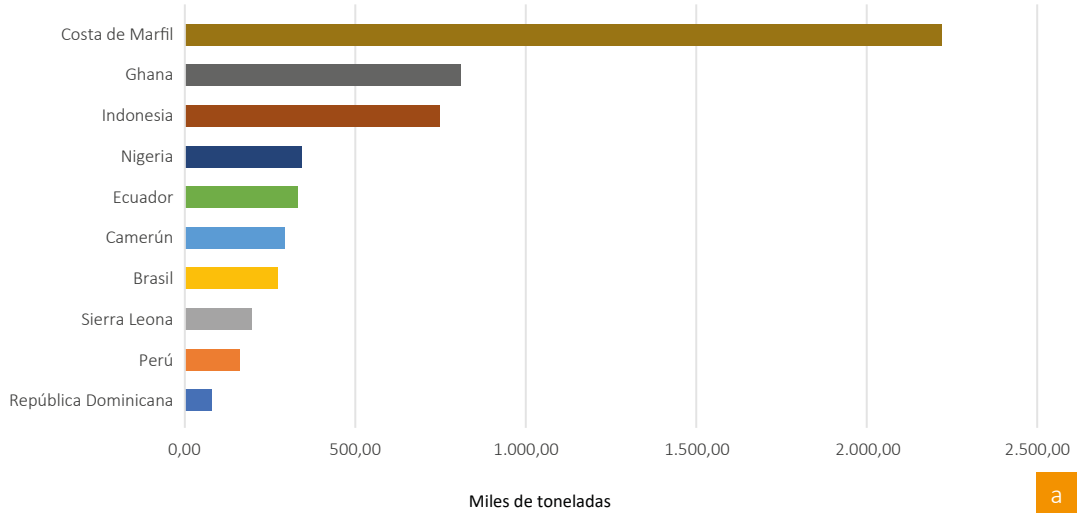
Situación mundial del cacao

En 2020, existían en el mundo aproximadamente 12,32 millones de ha de cacao, de las cuales 7,74 millones se encontraban en África occidental, 1,83 millones en Asia y Oceanía y 1,86 millones en Latinoamérica y el Caribe (LAC). En esta última región, Brasil tenía la mayor área, con 588.501 ha, equivalentes al 31,67%, lo siguen Ecuador y Colombia, con 527.347 y 188.371 ha, respectivamente, correspondientes al 28,38% y el 10,14% (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

Producción

En el año cacaotero 2019-2020, la producción mundial fue de 4,73 millones de toneladas (t), y se estima que aumentará 491.000 t en el año 2020-2021. África es la región que más aporta a la producción mundial de grano de cacao seco (74,9%), seguida de América Latina (19,1%) Asia y Oceanía con un (6,0%) (International Cocoa Organization [ICCO], 2022a). Costa de Marfil es el primer país productor de cacao, con 2,20 millones de t (38,21% de la producción mundial); seguido por Ghana, con 800.000 t (13,90%) e Indonesia, con 739.483 t (12,85%) (figura 2a) (FAO, 2022).

Ecuador, además de ser el primer productor de Latinoamérica es el quinto en el mundo, con 327.903 t equivalentes al 5,70% de la producción mundial y al 32,89% de la producción de grano de cacao seco en la región. El séptimo y el noveno lugar en todo el mundo, o el segundo y el tercero en la región, lo ocupan Brasil y Perú, con 269.731 y 160.289 t, respectivamente, correspondientes al 4,69% y el 2,78% de la producción mundial y al 27,05% y el 16,08% de producción regional. En 2020, Colombia ocupaba el undécimo lugar mundial y el quinto en Latinoamérica, con 1,10% de la producción mundial y 6,36% de la producción regional (figura 2) (FAO, 2022).



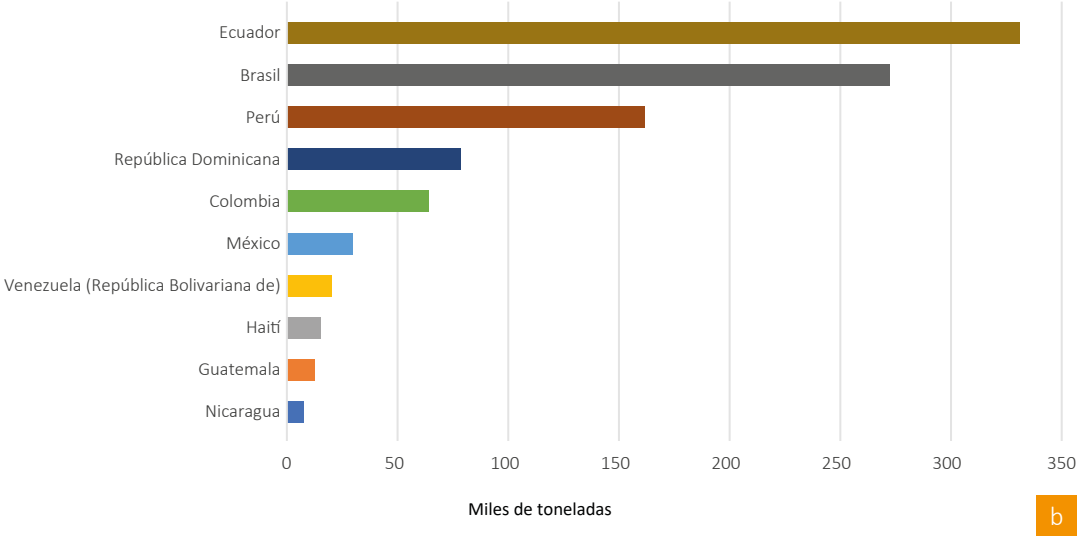


Figura 2.

Producción de grano de cacao seco de los diez principales países productores (2020). a. Mundial; b. Regional (LAC).

Fuente: Elaboración propia con base en Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2022)

Moliendas

Para el año cacaotero 2019-2020, se presentó una disminución del 1% en las moliendas mundiales de granos de cacao seco con respecto a años anteriores (ICCO, 2022d). Para este mismo año, se reportó una producción cercana a 4,37 millones de t y un excedente de 18.000 t. Para el año cacaotero 2020-2021 se estima un incremento en la producción de grano de cacao seco de 491.000 t (ICCO, 2022a), con un incremento de las moliendas de 253.000 t (ICCO, 2022b) y un excedente de 215.000 t (ICCO, 2022d). Se estima que América tendrá el mayor incremento de las moliendas, con 81.000 t adicionales en comparación al año anterior (ICCO, 2022b). En lo que respecta a las proyecciones para la campaña 2021-2022, se estima un leve incremento de 127.000 t de las moliendas (2,6%) (ICCO, 2022b), mientras que en la producción mundial de grano de cacao seco se espera una disminución de 271.000 t (ICCO, 2022a), con lo cual se tendría un déficit de 181.000 t (figura 3) (ICCO, 2022b).

Los incrementos de la producción y las moliendas en el año cacaotero 2016-2017 influyeron en el precio internacional, que bajó durante el periodo 2017-2019 y en promedio fue de USD 2.221,2 por t. Los precios internacionales de 2017 fueron los más bajos de los últimos años. Desde febrero de 2018 se viene presentando un leve incremento del precio del grano. El precio promedio entre enero de 2018 y marzo de 2021 fue de USD 2.360 por t, con los precios más altos en febrero de 2020 (USD 2.716,2 por t) (figura 4). En cuanto a inventarios, se presentó un incremento aproximado de 36.000 t entre 2017-2018 y 2018-2019, ya que se pasó de 1.723.000 a 1.759.000 t de grano seco (figura 3) (ICCO, 2022d). Este leve incremento de los inventarios durante este año cacaotero provocó un leve aumento de los precios desde marzo 2018 hasta marzo de 2020, los cuales oscilaron entre USD 2.134,2 y USD 2.716,2 por t (figura 4) (ICCO, 2022c). Si bien se presentó un incremento en los inventarios entre el periodo 2019-2020 y 2020-2021 (figura 3) (ICCO, 2022d), este no se vio reflejado en el precio del cacao, ya que desde noviembre de 2020 hasta diciembre de 2021 los precios han oscilado entre USD 2.349 y USD 2.568 por t (figura 4) (ICCO, 2022c).

El comportamiento del precio internacional incidió en el precio del grano seco en Colombia, el cual presentó sus registros más altos entre septiembre de 2015 y octubre de 2016, con un promedio de COP 8.068 por kg, y cayó a partir del mes de noviembre de 2016 hasta llegar a COP 4.718 por kg en

febrero de 2018 (figura 4). Al igual que el precio internacional, el nacional se recuperó a partir de ese momento hasta alcanzar su registro más alto de los últimos dos años en noviembre de 2021, cuando fue de COP 8.173 por kg (MADR, 2022).

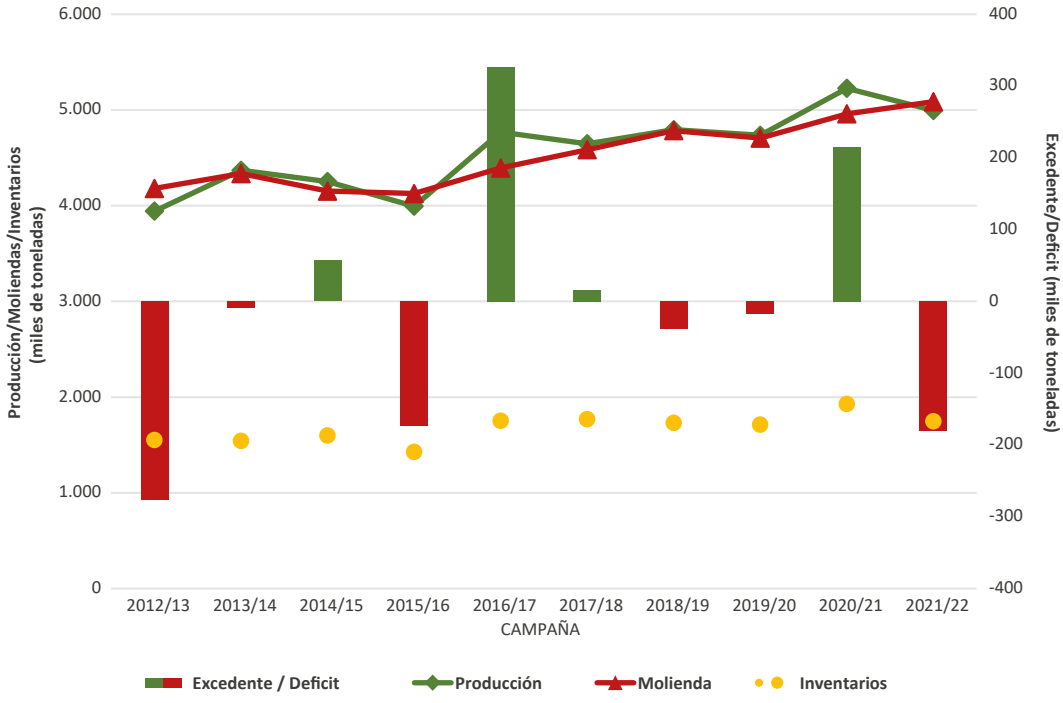


Figura 3.

Producción, moliendas y existencias mundiales de grano de cacao seco de los últimos diez años.

Fuente: Elaboración propia con base en International Cocoa Organization [ICCO] (2022d)

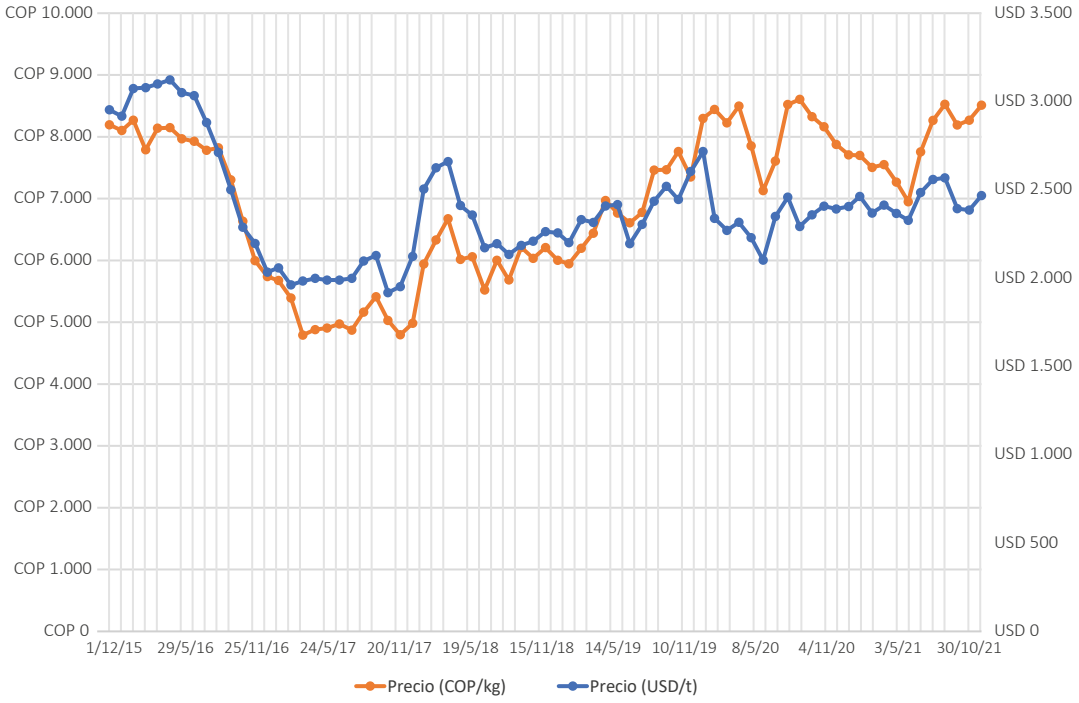


Figura 4.

Comportamiento del precio mensual nacional e internacional del grano seco de cacao entre enero de 2016 y diciembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en ICCO (2022c; 2022d) y MADR (2022)



CAPÍTULO 3.

Situación nacional del cacao

Al finalizar el año 2020, Colombia tenía un área aproximada de 189.185 ha establecidas con el cultivo de cacao. Para 2020 se estimó que el país llegó a las 194.428 ha, lo que equivale a un incremento de 2,77%, mismo porcentaje del crecimiento promedio anual de los últimos años. El departamento de Santander tiene un aproximado de 59.711 ha sembradas con cacao, área que corresponde al 41% del área sembrada de todo el país (figura 5) (MADR, 2021).

Producción

En los últimos años, la producción de grano de cacao seco en el país registró un incremento, ya que pasó de 46.700 t en 2013 a 69.101 t en 2021, lo que significó un aumento de 22.401 t. El departamento de Santander es el principal productor del país, con una participación del 41% en el total de la producción nacional (figuras 6 y 7), correspondiente a 28.107 t. Otros departamentos con mayor producción son Arauca, Antioquia, Tolima y Huila con participaciones en la producción de 11,42%, 9,64%, 5,83% y 5,08%, respectivamente (figura 6). En conjunto, estos cinco departamentos producen el 72,54% del grano de cacao seco en el país (Fedecacao, 2022). Los rendimientos se mantienen en un promedio de 450 kg/ha pese a las nuevas áreas establecidas con materiales clonados (MADR, 2021).

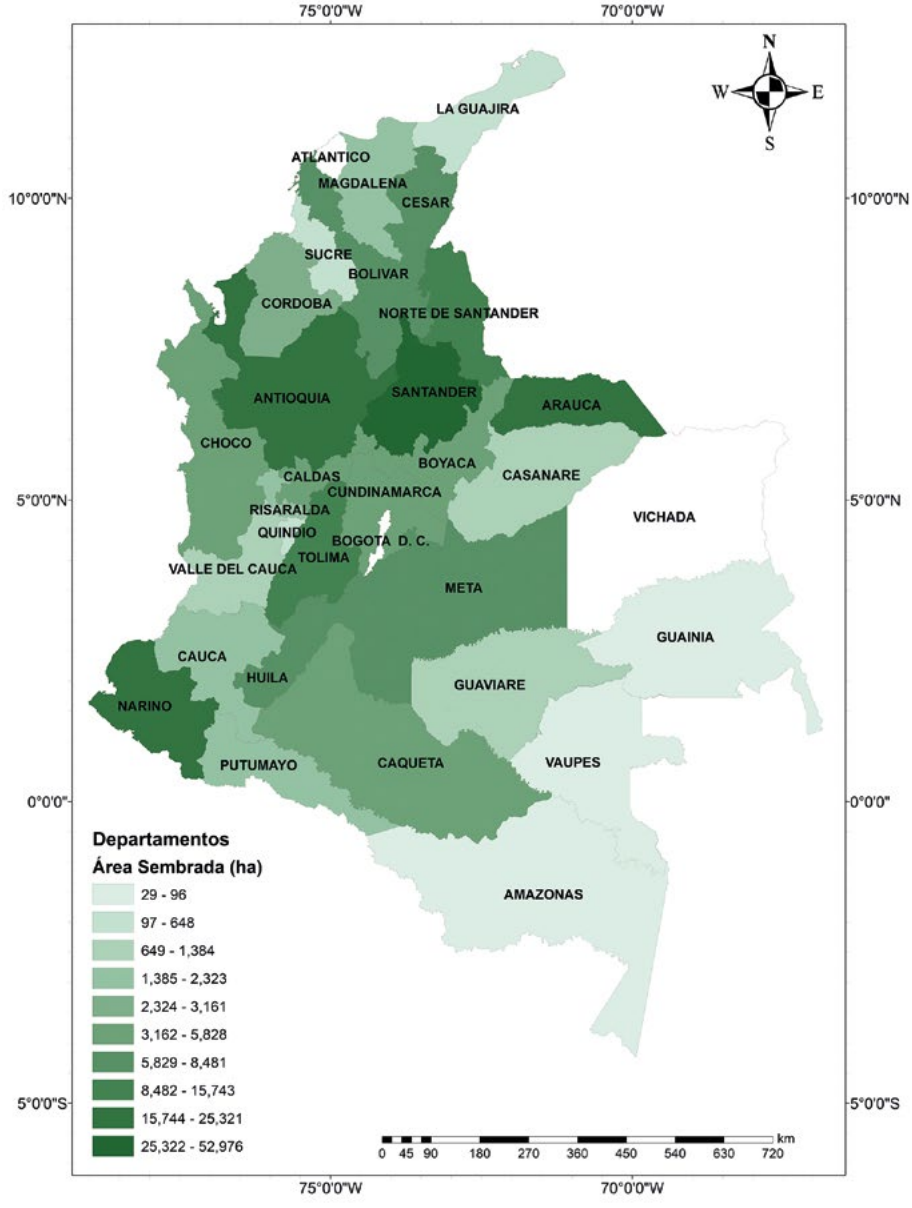


Figura 5.

Área de cacao sembrada por departamento en 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2022)

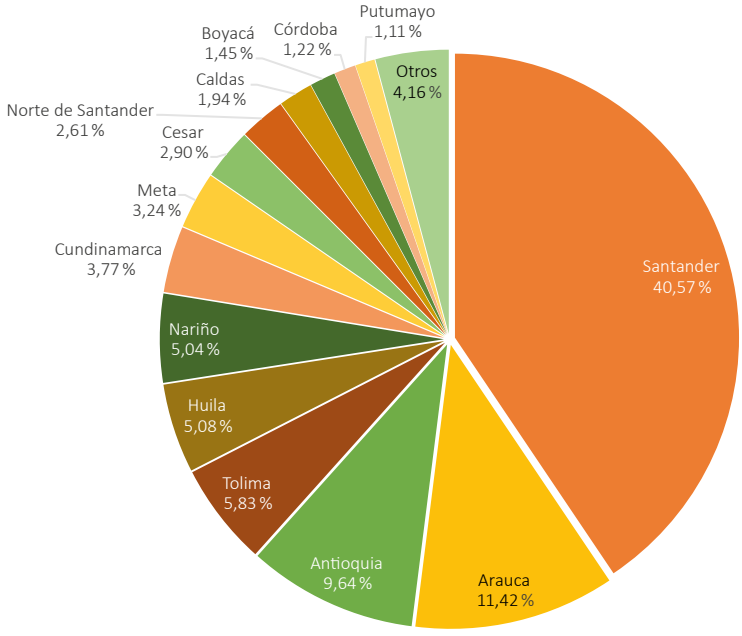


Figura 6.

Participación en la producción nacional de granos de cacao seco (%) de los principales departamentos productores de Colombia, 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2022)

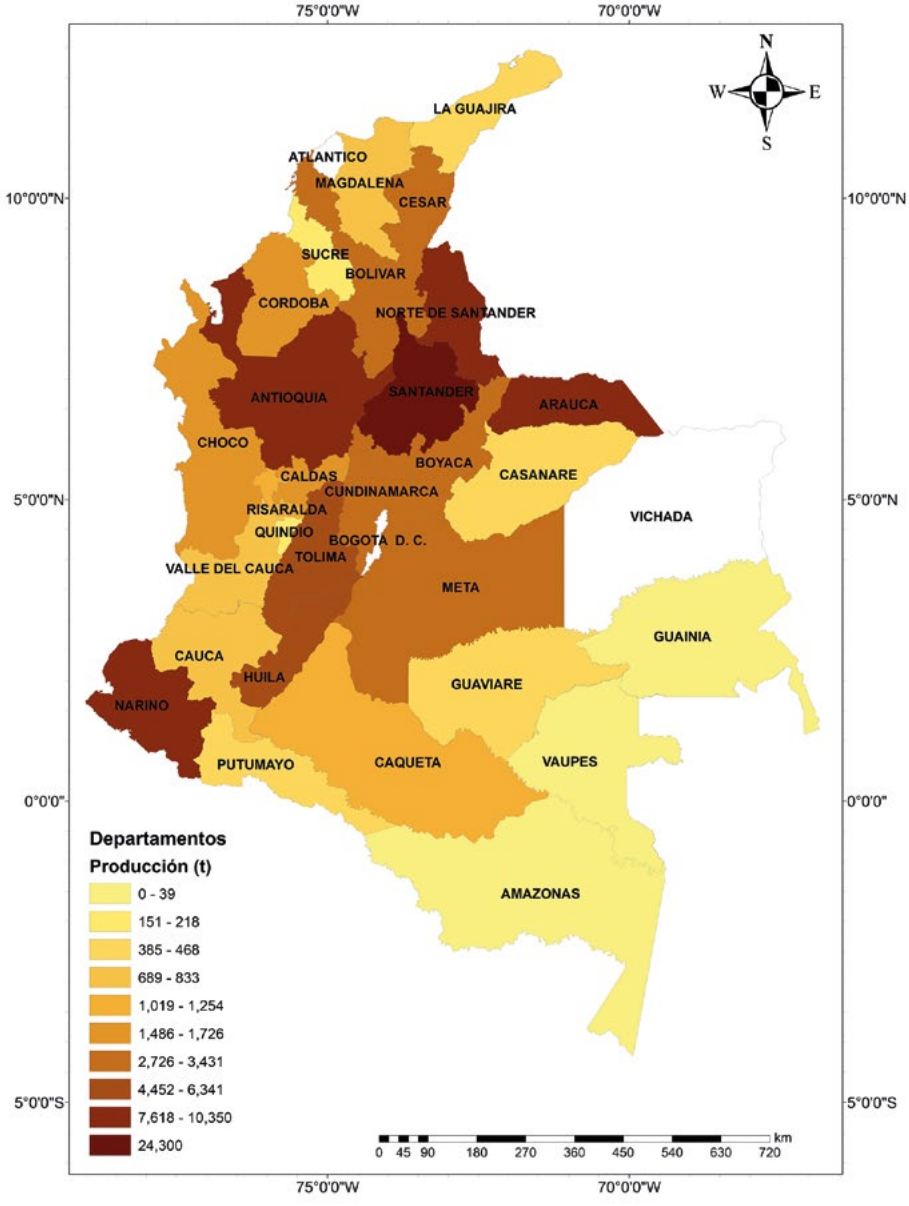


Figura 7.

Producción de cacao por departamentos en 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2022)

Comercio internacional

El aumento de la producción en Colombia, especialmente entre 2015 y 2017, ha reducido la cantidad de grano de cacao seco importado. Se pasó de importar 6.688 t en 2014 a solo 180 t en 2020. Con estos incrementos en la producción, el país aumentó 3.130 t la exportación de grano de cacao entre los años 2014 y 2020, pues pasó de exportar 8.018 a 11.148 t (figura 8). Esto indica que en el país se exporta el 17,57% del grano producido. Dentro de los destinos más frecuentes del cacao nacional se encuentra México. Sin embargo, en 2020 se registraron exportaciones a Italia, Bélgica, Holanda, Argentina, Estados Unidos y Malasia, entre otros. Este incremento de las exportaciones se atribuye al posicionamiento que ha venido logrando el grano colombiano como cacao fino por sus características de aroma y sabor (MADR, 2021).

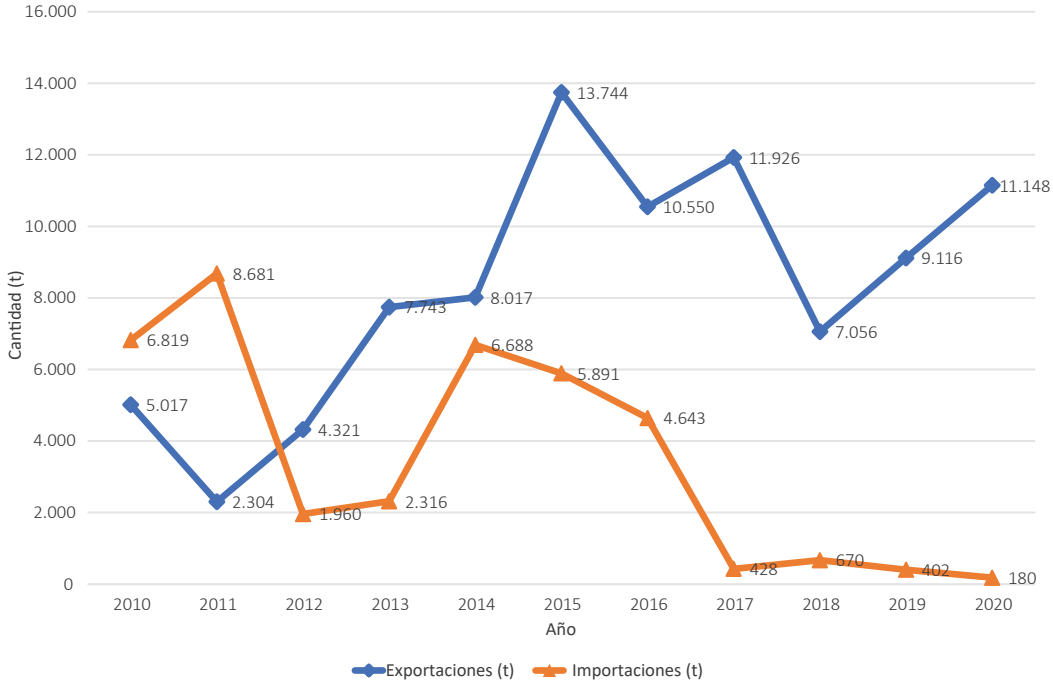


Figura 8.

Importaciones y exportaciones de granos de cacao seco realizadas en Colombia, periodo 2010-2020.

Fuente: MADR (2021)



CAPÍTULO 4.

Descripción de la producción en Santander

El 41% de la producción nacional de grano de cacao seco se cultiva en 59.711 ha de Santander (Fedecacao, 2022). En orden de importancia, los municipios del departamento con mayor participación en cuanto a producción y área sembrada son: 1) San Vicente de Chucurí, 2) El Carmen de Chucurí, 3) Rionegro, 4) Landázuri y 5) Cimitarra (figura 9). Estos municipios se localizan en la vertiente occidental de la cordillera Oriental, en la subregión Montaña Santandereana, y recorren el departamento de norte a sur bordeando el río Magdalena (Mantilla et al., 2000). De los cinco, se destacan los municipios San Vicente de Chucurí y El Carmen de Chucurí, los cuales concentran el 48,7% de la producción del departamento.

Características naturales de la zona productora de cacao en Santander

La zona cacaotera de Santander se ubica principalmente en la región Montaña Santandereana. Esta región se extiende de norte a sur y se caracteriza por un predominio del clima cálido húmedo que favorece el desarrollo del cultivo. Sin embargo, el departamento presenta diferentes características climáticas y edáficas, las cuales se presentan a continuación.

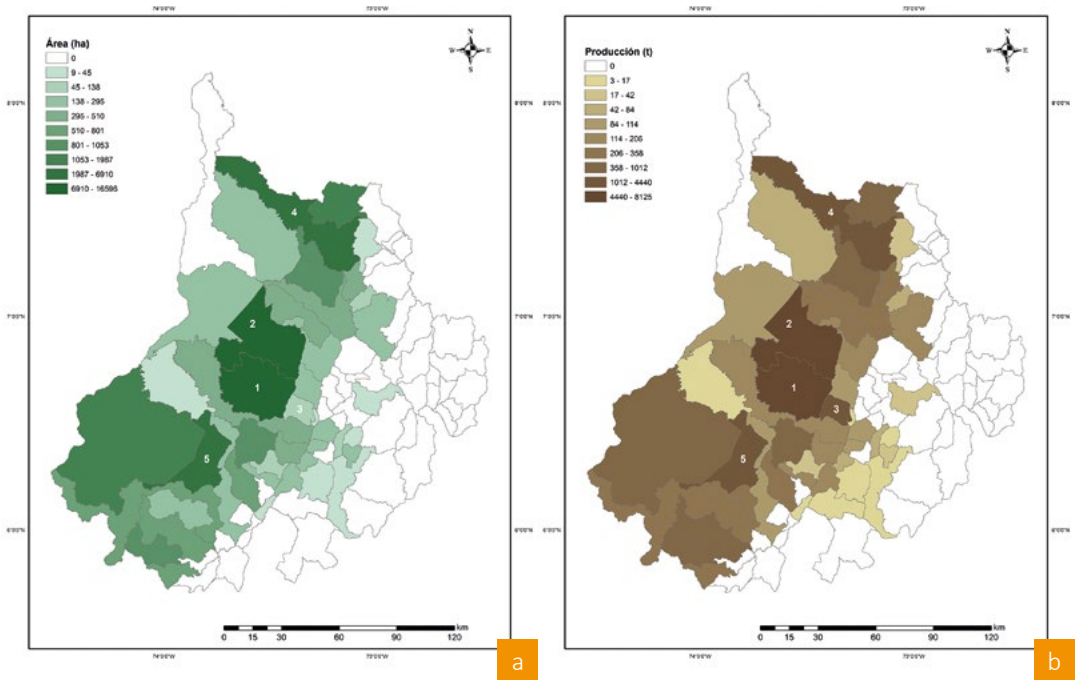


Figura 9.

Los cinco principales municipios cacaoteros del departamento de Santander, 2020. a. Área sembrada en ha; b. Producción en t.

Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2022)

Clima

La zona presenta un régimen de lluvias bimodal, con valores de precipitación anuales de 1.600 a 2.500 mm, un promedio mensual de 80 mm y temperaturas de 23 a 28 °C, estas condiciones permiten tener una producción constante. La humedad relativa oscila entre 75 y 80% y el brillo solar entre 1.400 y 1.800 horas anuales (Mantilla et al., 2000). De acuerdo con el clima de la subregión Montaña Santandereana, se ha estructurado el cronograma de actividades para el cultivo de cacao que se presenta a continuación. Este se encuentra ajustado al régimen bimodal de precipitación del departamento, así como a sus condiciones de brillo solar y humedad relativa (figura 10):

1. En los meses de diciembre, enero y febrero se remueven los frutos enfermos con frecuencia quincenal. La floración puede ser escasa en enero y febrero dado que estos meses son los más secos del año.
2. Las prácticas de manejo para la formación de la primera cosecha o *mitaca* del año empiezan con las precipitaciones de finales de marzo e inicios de abril. En esta época se podan los árboles para su mantenimiento y, posteriormente, entre la segunda quincena de abril y la primera semana de mayo se hace la fertilización. Con la poda de mantenimiento se hace también el control de la escoba de bruja. Entre mayo y abril se debe realizar el manejo de las especies de sombrío que componen el sistema agroforestal en el que se encuentra el cacao. Con estas prácticas se favorece la floración de los árboles de cacao y el cuajamiento de los frutos.
3. Entre marzo y noviembre se remueven los frutos enfermos con una frecuencia semanal.
4. Los picos de floración de este primer ciclo de cosecha se presentan entre mayo y agosto. La cosecha de los frutos de cacao inicia a finales de abril y se prolonga hasta junio.
5. Las prácticas de manejo para la formación de la segunda cosecha o cosecha principal se inician con las precipitaciones de agosto. En ese mes se lleva a cabo otra poda de mantenimiento de los árboles de cacao, la cual debe ser suave comparada con la del primer ciclo. Con esta poda también se hace un control de la escoba de bruja. Posteriormente, entre finales de agosto y principios de septiembre, se fertilizan los árboles de cacao. Entre septiembre y octubre se recomienda realizar un manejo de las especies de sombrío. Con estas prácticas se favorece la floración de los árboles de cacao y el cuajamiento de los frutos.
6. Los picos de floración de este segundo ciclo de cosecha se presentan entre octubre y enero. La cosecha de los frutos inicia en noviembre y se extiende hasta el mes de enero del siguiente año.

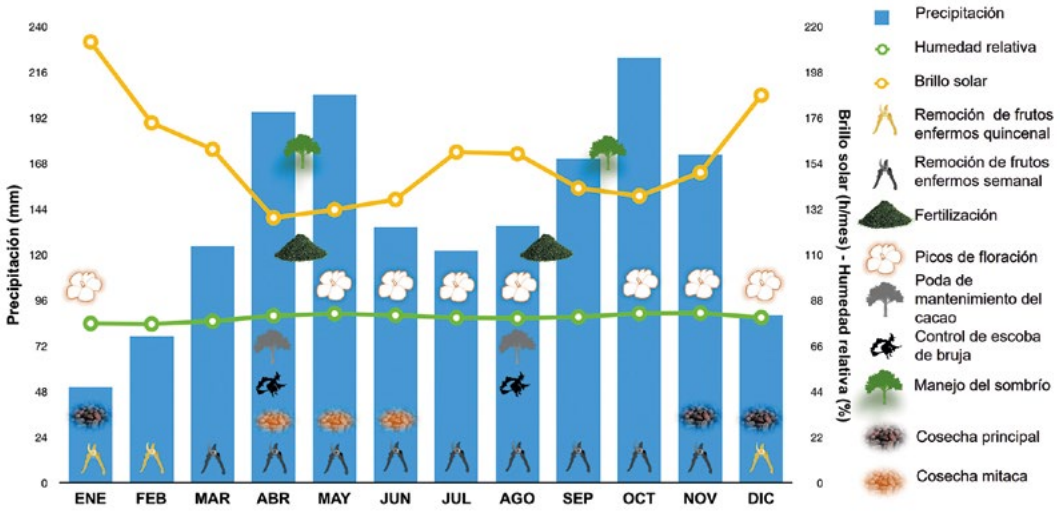


Figura 10.

Cronograma de prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustado a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Santander.

Fuente: Elaboración propia con base en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2012)

Zonas agroecológicas

El área cacaotera de Santander se localiza en zonas agroecológicas identificadas como Kv y Ku (Mantilla et al., 2000). La zona Kv corresponde a tierras de cordillera con relieve ligeramente escarpado y pendientes mayores al 50%. La zona Ku equivale a tierras de cordillera y piedemonte con relieve de quebrado a fuertemente quebrado y pendientes de 25 a 50% (Méndez et al., 1997).

Los suelos se derivan de materiales heterogéneos, presentan baja evolución (Tropepts, Orthents) (figura 11a), están bien drenados, son entre superficiales y moderadamente profundos y susceptibles a la erosión (figura 11b). Con respecto al contenido de nutrientes, se estima que el 60% es extremadamente ácido (pH menor de 5,5), el 40% de moderado a ligeramente ácido (pH 5,5 a 6,5) y el 65% tiene contenidos muy bajos de fósforo y potasio (valores inferiores a 15 ppm y 0,15 meq/100 g de suelo,

respectivamente) o de calcio y magnesio. En cuanto a la materia orgánica, el 51% tiene contenidos altos (>3,0%), el 30% contenidos medios (de 2,0% a 2,6%) y el 19% contenidos bajos (<1,9%) (Mantilla et al., 2000).

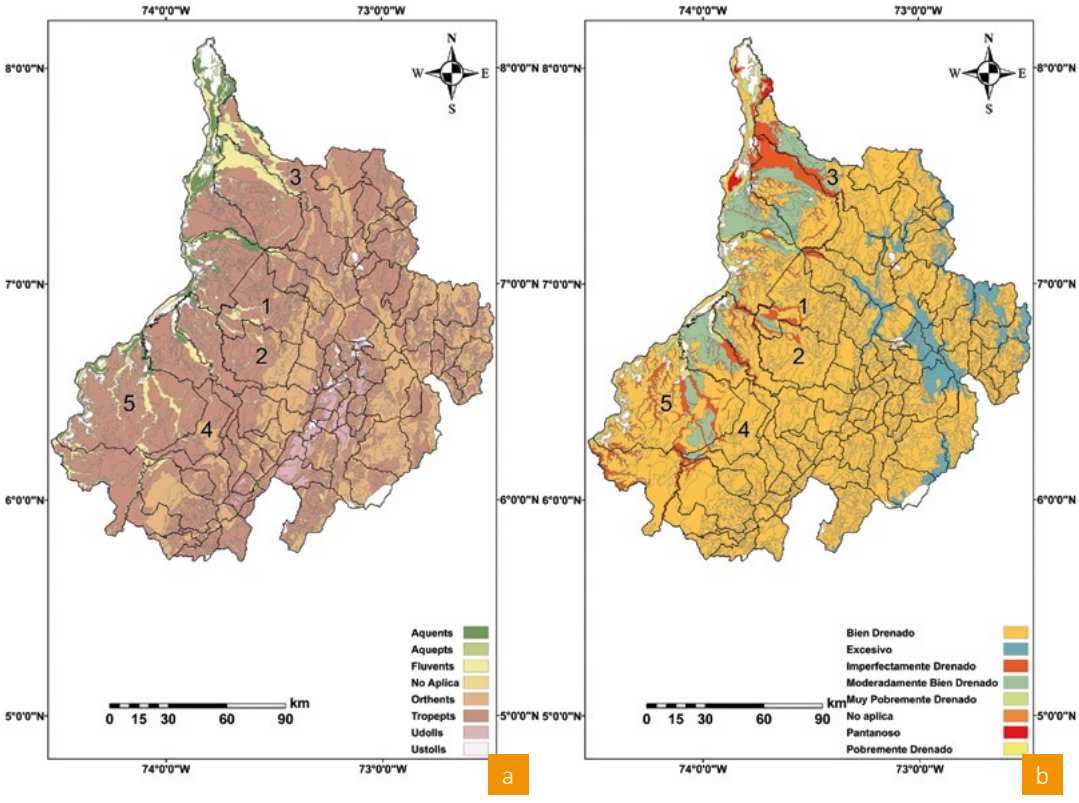


Figura 11.

Mapa de suelos del departamento de Santander. a. Clasificación taxonómica; b. Drenaje.

Fuente: Elaboración propia con base en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2020)

Características socioeconómicas

En Santander, aproximadamente 18.000 familias dependen económicamente del cultivo de cacao. En su mayoría, son pequeños agricultores con un promedio de 4,8 ha. Predominan las áreas de 10 a 15 ha y la tenencia de propiedad de los predios (tabla 2). La participación de mano de obra familiar es alta para

el manejo de la plantación. Su dinámica de producción está diversificada, pero tienen como eje principal la producción del grano de cacao. Entre los sistemas de producción que contribuyen a esta dinámica y reportan ingresos se encuentran la ganadería en pequeña escala de ganado bovino y especies menores y los cultivos transitorios de pancoger.

Tabla 2. Caracterización socioeconómica del departamento de Santander

Tipología del productor	Predominan los pequeños y medianos productores con amplia tradición cacaotera, economía campesina, escasos recursos económicos e infraestructura para producir cacao.
Tamaño de los predios cacaoteros	El área promedio de un cultivo o predio cacaotero es de 16,1 ha. De estos predios, el 76% tienen un área inferior a 20 ha, el 17% de 20 a 50 ha y tan solo el 6,5% supera las 50 ha.
Tamaño de las explotaciones	El tamaño promedio de una explotación cacaotera es de 4,8 ha. De estos predios, el 67,1% tiene un área de 3 a 10 ha y tan solo el 10,3% supera las 10 ha.
Forma de tenencia	La administración del 77,3% de los predios cacaoteros se da por tenencia del cultivo. El 23% restante se maneja bajo la forma de administración delegada.
Edad de las plantaciones	Alrededor del 70% del área de cultivo de cacao corresponde a plantaciones de más de 20 años de antigüedad, con predominio de 15 a 25 años. Estas plantaciones viejas se encuentran principalmente en los municipios de Landázuri, Rionegro y San Vicente.

Fuente: Fedecacao (2022)

CAPÍTULO 5.

Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao

Theobroma cacao L. es un árbol perenne que requiere condiciones cálidas y húmedas para su desarrollo y no resiste periodos prolongados de sequía. Según sus requerimientos edafoclimáticos, las áreas cultivo se clasifican como aptas o no aptas, lo cual permite la toma de decisiones tanto para la siembra de plantaciones nuevas como para el adecuado desarrollo de las plantas y la producción de granos. Asimismo, con esta información se definen las prácticas que se van a implementar para el mantenimiento y el buen desarrollo de las plantaciones.

Altitud

El rango altitudinal óptimo para el cultivo del cacao es de 0 a 1.200 m s. n. m. Las regiones clasificadas como sumamente aptas (A1) para el cultivo se localizan en alturas de 400 a 800 m s. n. m. Existen también regiones moderadamente aptas (A2), con alturas de 0 a 400 m s. n. m. y de 800 a 1000 m s. n. m.; marginalmente aptas (A3), de 1.000 a 1.200 m s. n. m.; y no aptas (N), con alturas superiores a 1.200 m s. n. m. En esta última región, el nitrógeno y la temperatura son bajos, lo cual incide negativamente en la productividad de las plantaciones, pero en ella existen excepciones, con microclimas especiales que permiten la explotación cacaotera (tabla 4) (García et al., 2007).

Relieve

El cacao se debe cultivar idealmente en pendientes con inclinaciones inferiores al 50%. Inclinaciones superiores dificultan el establecimiento del cultivo y prácticas como la poda, manejo fitosanitario, fertilización y

cosecha. Pendientes muy pronunciadas presentan alto riesgo de erosión durante el primer año del cultivo de cacao, puesto que en estos casos el suelo se encuentra casi desnudo (tabla 3) (García et al., 2007).

Temperatura

En Colombia, el régimen ideal de temperatura para el cultivo de cacao es de 18 a 32 °C. Las regiones sumamente aptas (A1) tienen un rango de 24 a 28 °C, las moderadamente aptas (A2) un rango de 20 a 30 °C; las marginalmente aptas (A3) de 18 a 32 °C, y las no aptas (N), donde es difícil el desarrollo del cultivo, tienen temperaturas menores a 18 °C o mayores a 32 °C (García et al., 2007).

Las temperaturas óptimas para la fotosíntesis en *T. cacao* oscilan entre 31 y 33 °C, lo cual favorece el incremento de la conductancia estomática y la transpiración. Ahora bien, con temperaturas por encima de 34 °C y por debajo de 20 °C, estos factores disminuyen, situación que repercute en la productividad de la planta (Lahive et al., 2021). Así pues, para obtener una productividad adecuada la temperatura media anual y la temperatura media mínima diaria no deben ser inferiores a 22 °C y 15 °C, respectivamente (Carr & Lockwood, 2011).

Las zonas con variaciones de temperatura mayores a 9 °C en un mismo día dificultan la polinización y formación de frutos, con un efecto negativo en la producción. Por esta razón el cultivo se debe establecer en áreas con variaciones inferiores. La floración también disminuye con temperaturas inferiores a 25 °C (García et al., 2007) o mayores a 38 °C, mientras que temperaturas menores a 15 °C afectan el funcionamiento fisiológico de la planta (tabla 3) (Fedecacao, 2015).

Radiación solar

Se estima que, en Colombia, los dos primeros años de desarrollo del cultivo deben tener una radiación solar de 300 a 400 µmol/m^2/s y de 700 a 800 µmol/m^2/s después de que inicia su etapa productiva, es decir, niveles de 30% de luz o que oscilen entre 50 y 70% de sombra. Después del tercer

año, se debe tener entre 60 y 70% de luz y 30 y 40% de sombra (Agudelo et al., 2018). Estas son las condiciones de regiones clasificadas como sumamente aptas (A1), moderadamente aptas (A2) y marginalmente aptas (A3). Las zonas no aptas (N) pueden localizarse en altitudes superiores a los 1.200 m s. n. m., ya que presentan temperaturas muy bajas para el cultivo y, en ocasiones, alta nubosidad (tabla 3) (García et al., 2007).

La planta de cacao es umbrófila, es decir, ha sido cultivada en condiciones de sotobosque y no tolera condiciones de alta radiación, ya que estas alteran todos los procesos fenológicos y fisiológicos que permiten su crecimiento y desarrollo y la formación de la cosecha. Por tal razón, con el fin de reducir la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (µmol/m^2/s) que llega durante el día (Mejía & Argüello, 2005), se recomienda establecer el cultivo con especies permanentes que provean niveles de sombrío adecuado a las plantas. Sin embargo, los niveles de sombrío en el cultivo pueden variar con el estado de desarrollo de la planta. En las primeras etapas de desarrollo se requieren niveles del 70% de sombra, requerimiento que baja gradualmente hasta llegar al 30% en la etapa productiva (Nair, 2021). De acuerdo con lo anterior, las plantas de cacao en etapa de vivero requieren un nivel de sombrío de hasta 75%.

La sombra reduce la fotosíntesis, la transpiración, el metabolismo y el crecimiento de las plantas. Bajo estas condiciones, se reduce también la demanda de nutrientes del suelo, lo cual permite la adaptación de la planta de cacao y la siembra en suelos de baja fertilidad. El establecimiento de cultivos de cacao a libre exposición puede tener un efecto negativo sobre la actividad fotosintética dada la sensibilidad de la especie y su tendencia a la fotoinhibición, por lo cual, se recomienda sembrar en combinación con especies que provean sombrío al cultivo (Boyer, 1971). En comparación con cultivos establecidos a plena exposición solar, la floración y la fructificación pueden aumentar significativamente bajo una sombra moderada (Mejía & Argüello, 2005).

Las plantas de cacao de los grupos Criollo, Forastero y Trinitario se saturan bajo densidades de flujo fotónico de 400 a 600 µmol/m^2/s, que equivalen a intensidades de 25 a 30% de la radiación máxima en un día despejado (Balasimha et al., 1991; Barrera, 2006; Vespa, 2008). Entre mayor sea la asimilación de CO_2 en la planta, mayores serán las tasas fotosintéticas, la clorofila, los niveles de nitrógeno y las proteínas presentes en las hojas.

Algunas investigaciones muestran resultados de fotosíntesis con valores de 4,3 y 5,6 µmoles CO_2 m^{-2} s^{-1} de acuerdo con el manejo de la copa, las ramas y las hojas en genotipos de cacao colombiano. (Agudelo et al., 2018).

Dependiendo de las especies que se utilizan como sombrío permanente, la intensidad de la sombra es de especial importancia, ya que altera factores del microclima, la fertilidad del suelo y la tasa de incorporación de la hojarasca al sistema. Dentro de los factores del microclima influenciados por esta condición se encuentran la temperatura, la humedad relativa, la evapotranspiración y la disponibilidad de agua en el suelo. La suma de estos factores afecta tanto el crecimiento como la producción de la plantación (Beer et al., 1997). Por su parte, el material vegetal de vivero se debe sembrar bajo sombra parcial, pues contiene más clorofila, factor que contribuye al incremento de las tasas de asimilación de CO_2 (Tezara et al., 2009).

Vientos

Los vientos constituyen uno de los diferentes factores que interfieren en el desarrollo de las plantas. De todas sus partes, las flores y hojas jóvenes son las más susceptibles a verse afectadas por el estrés mecánico causado por el viento. Sin embargo, cuando se presentan velocidades entre 2,5 y 4,5 m/s por más de 3 horas, la planta entera puede sufrir daños mecánicos debido al constante movimiento. El estrés generado provoca la caída de las flores y la reducción en la tasa fotosintética de las hojas, pues afecta directamente la conductancia estomática, la transpiración y la eficiencia del uso de agua. De ahí que los vientos con velocidades altas y frecuentes afecten la productividad de las plantaciones de cacao (Reis et al., 2018). Por ende, no se recomienda el establecimiento de plantaciones de cacao en zonas con vientos frecuentes y sin barreras rompe vientos. Para evitar los daños ya mencionados se recomienda establecer las plantaciones en zonas donde la velocidad máxima sea 2,5 m/s (Alvim, 1987).

Precipitaciones

Las precipitaciones también pueden afectar la productividad del cacao (Lahive et al., 2021). En Colombia, el régimen de precipitación de las

zonas con cultivos de cacao oscila entre 1.200 y 3.800 mm/año. Estas se pueden clasificar por su aptitud para el cultivo como: sumamente aptas (A1) (zonas donde las precipitaciones varían entre 1.800 y 2.600 mm/año); moderadamente aptas (A2) (zonas donde las precipitaciones varían entre 1.200 y 3.800 mm/año); marginalmente aptas (A3) (zonas donde las precipitaciones varían entre 1.500 y 3.800 mm/año) y no aptas (N) (zonas donde las precipitaciones son menores a 1.200 o mayores a 3.800 mm/año) (tabla 3) (García et al., 2007).

Cabe destacar que las precipitaciones inferiores a 1.200 mm/año no proveen la cantidad de agua que demanda la planta de cacao para la evapotranspiración, situación que resulta en déficit hídrico y en la reducción del crecimiento y la productividad. Bajo estas condiciones, se tendría que suministrar agua regularmente para mantener el crecimiento de la planta. Sin embargo, más que la cantidad total de la precipitación total anual, se considera que la distribución de las precipitaciones tiene mayor importancia (Lahive et al., 2021).

Periodos secos prolongados mayores a tres meses consecutivos y con precipitaciones inferiores a 100 mm/mes, afectan el crecimiento y la productividad del cacao. La susceptibilidad de los árboles varía de acuerdo con su edad, así, las plantas jóvenes son más susceptibles, ya que no pueden sobrevivir a estas condiciones de estrés. El déficit hídrico en las plantas de cacao reduce el crecimiento y el área foliar, lo cual repercute en la formación de hojas pequeñas, la disminución de la fotosíntesis, la supresión de la emisión de lanzamientos foliares, la reducción de la floración y, en casos extremos, la muerte de árboles (Lahive et al., 2021).

Por otro lado, las precipitaciones mayores a los 3.000 mm/año con distribución regular pueden predisponer a las plantas al ataque de patógenos como *Phytophthora* sp. (Nair, 2021). Asimismo, las inundaciones tienen un efecto negativo en la fotosíntesis y la conductancia estomática; además, si la inundación persiste, conlleva la reducción del crecimiento foliar, tallos y raíces y a cambios en la relación raíces/brotes vegetativos (Lahive et al., 2021).

Por lo general, las condiciones en las zonas no aptas ocasionan desórdenes fisiológicos que afectan el desarrollo normal de las plantas por déficit o

exceso de agua (García et al., 2007). Y es que, además de la precipitación anual, existe otro parámetro a considerar relacionado con la distribución e intensidad de las lluvias durante el año, siendo más adecuado cultivar en zonas donde la distribución de las lluvias sea anual (Nair, 2021).

Desde el punto de vista fisiológico, la planta de cacao es sensible a los cambios bruscos de precipitación: responde a los contrastes marcados entre periodos secos y periodos de alta precipitación con una alta floración y formación y llenado de mazorcas (Alvim, 1975). En periodos de menor precipitación disminuye la cantidad de flores y, por lo tanto, el porcentaje de fructificación y producción efectiva (Urueta et al., 2017). Además, la hoja no es muy tolerante a la sequía y muere cuando pierde entre 17% y 25% de agua por estrés hídrico (Alvim, 1987).

Los parámetros de las precipitaciones y el contraste marcado entre periodos secos y periodos de alta precipitación se presentan en los principales municipios productores de Santander: presentan dos ciclos productivos en el año, lo cual asegura la formación de dos picos de cosecha. La primera (de traviesa) se da en los meses de junio y agosto, y la segunda (cosecha principal) entre noviembre y enero del siguiente año (tabla 3). Adicionalmente, se obtienen mazorcas en menor proporción durante todo el año, las cuales deben ser recolectadas quincenalmente cuando alcanzan su madurez fisiológica (cambian de color de verde a amarillo y de rojo a naranja). Asimismo, la producción de mazorcas depende de las variedades que se cultivan, en alta o baja proporción, lo cual beneficia el flujo de caja.

En las zonas de menor precipitación se puede cultivar cacao siempre y cuando se disponga de agua para diseñar e implementar sistemas de riego. Con estos sistemas, los terrenos se pueden convertir en zonas aptas para el cultivo. Al momento de la siembra es necesario garantizar el suministro de agua, de lo contrario, se corre el riesgo de fomentar problemas fitosanitarios cuyo manejo aumenta los costos de producción y la rentabilidad del cultivo.

Humedad relativa

La humedad relativa está correlacionada positivamente con la conductancia estomática y la fotosíntesis (Lahive et al., 2021), ya que favorece la apertura estomática y así permite el ingreso de CO_2 para que la planta complete su metabolismo. Humedades relativas muy bajas causan estrés en la planta y el cierre parcial de estomas, lo cual disminuye la fotosíntesis y, por ende, la producción de frutos. Cuando los estomas están cerrados no tienen un control eficiente sobre la pérdida de agua, probablemente debido a la alta transpiración cuticular. Sin embargo, algunos genotipos de cacao son tolerantes a la baja humedad relativa (Almeida & Valle, 2007). De cualquier manera, en zonas secas como las de los valles interandinos secos, el cultivo de cacao requiere la implementación de sistemas de riego (MADR & Fedecacao, 2013) para favorecer el buen desarrollo de las plantas y garantizar la producción.

Requerimiento edáfico

El suelo es un recurso natural no renovable cuyas características físicas, químicas y biológicas dependen de la topografía, el clima de la región y de las sustancias que lo componen (minerales, materia orgánica, macro y microorganismos, agua y aire). La interacción de factores como el clima y la topografía con el manejo agronómico facilita el desarrollo del sistema radical de la planta e influye en la formación y disponibilidad de nutrientes esenciales, indispensables para el crecimiento y desarrollo de la planta, así como para la productividad de las plantaciones.

Entre los factores limitantes del desarrollo del sistema radical en profundidad, sobresalen los horizontes compactados (duripán o fragipán), que forman capas muy cementadas en condiciones secas, y frágiles con tendencia a la ruptura en condiciones de humedad. El Instituto Geográfico Agustin Codazi (IGAC) considera que duripán es un horizonte subsuperficial con sílice y apariencia cementada que, en ocasiones, se presenta con el horizonte petrocálcico (un horizonte endurecido que no se separa con el agua y, por lo tanto, limita el ingreso de las raíces) (IGAC, 2021).

Estos suelos tienen un elevado contenido de arcilla, una alta densidad aparente (DA) y un bajo contenido de materia orgánica (MO) y, por esta razón, se colapsan cuando están secos y se fracturan cuando están húmedos. En el cultivo de cacao otras de las limitantes para la siembra y producción son la disponibilidad de agua y nutrientes minerales, los suelos ácidos y la dificultad para realizar mecanización (León et al., 2019).

El cultivo de cacao requiere de suelos con buenas propiedades físicas y químicas, que sean profundos para garantizar tanto el crecimiento y el desarrollo del sistema radical como su exploración en profundidad. Deben tener una buena disponibilidad de nutrientes para facilitar la buena nutrición de la planta y el crecimiento adecuado del cultivo. Los contenidos texturales (arcilla, limo y arena) deben tener un adecuado porcentaje de distribución para mejorar el ingreso y la circulación del aire y el agua a través de la matriz, lo cual mejora la estructura y la retención de humedad y por ende la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La planta de cacao no es muy exigente en cuanto al tipo de suelo. Se adapta a una gran variedad, desde los arenosos hasta los relativamente arcillosos, aunque los suelos francos, bien aireados y profundos, son los más adecuados para el desarrollo del cultivo. Deben evitarse los suelos demasiado arcillosos, ya que limitan el desarrollo del sistema radical en profundidad y la adecuada distribución del aire a través de su perfil. Los suelos con un alto grado de saturación de humedad en invierno y de resequedad en verano afectan el crecimiento de las plantas y favorecen la aparición de determinadas enfermedades radiculares. Los muy compactados bloquean el crecimiento radicular (en ellos se restringe el volumen de suelo que puede explorarse), afectan la circulación de aire y agua y no brindan espacio poroso, todo lo cual reduce la capacidad de la planta de absorber nutrientes.

Por lo anterior, la selección del lote para el establecimiento de un cultivo de cacao altamente productivo requiere un análisis previo del suelo en profundidad, mediante la evaluación de algunas propiedades físicas producto de la interacción entre minerales (arcilla, limo y arena), agua y aire. Asimismo, es importante tener en cuenta el clima donde se evalúan la

lluvia, las temperaturas máximas y mínimas, la humedad, el uso del suelo y la variedad que se desea incluir. (Barrezueta, 2019). Esta interacción es la que facilita la penetración, el anclaje y el sostenimiento del sistema radical de las plantas y la que define el grado de porosidad, el cual a su vez determina la capacidad de almacenamiento, distribución y drenaje del agua, y la circulación del aire. Las cualidades del suelo son las que determinan la actividad biológica de los macro y microorganismos responsables de la mineralización de la MO y de la formación de los nutrimentos que el cultivo requiere para su desarrollo. Es imprescindible, por tanto, conocer el estado del suelo antes de acondicionarlo para establecer un sistema productivo de cacao.

La textura ideal de un suelo para cultivo es de 30% de arcilla, 50% de arena y 20% de limo. La profundidad, sin embargo, es el factor considerado más importante en el momento de analizar las propiedades del suelo. El suelo debe permitir que las raíces alcancen por lo menos un metro de profundidad, ya que deben crecer libres de limitaciones. No existe una correlación significativa entre productividad del cacao, presencia de piedras y color de los horizontes del suelo. El agua disponible, el oxígeno y el crecimiento de las plantas son aspectos que se ven afectados por las altas densidades de siembra, la compactación, la presencia de roca continua, la sedimentación o el drenaje deficiente (Snoeck et al., 2016).

Tabla 3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao

Factores de diagnóstico	Unidades	Clasificación por factores			
		Sumamente apto	Moderadamente apto	Marginalmente apto	No apto
		A1	A2	A3	N
Altitud	m s. n. m.	800-400	0-400	1.000-1.200	>1.200
			800-1.000		
	Pendiente	<25	25-50	50-75	>75
Régimen de temperatura	Temperatura media mensual (°C)	24-28	28-30	30-32	<18 y >32
			24-20	20-18	
	Máxima y mínima (°C)	38 y <9			
Brillo solar	µmol/m²/s	En los dos primeros años se requieren niveles bajos de radiación solar (de 300 a 400 µmol/m²/s o de 700 a 800 µmol/m²/s).			Alta nubosidad
	%	En los dos primeros años la planta necesita 30% de luz y 70% de sombra. Después del tercer año, requiere 70% de luz y 30% de sombra.			
Vientos	Velocidad (m/seg)	1-2	3	4	>5
Humedad disponible (humedad total)	Precipitación anual (mm)	1.800-2.600	1.200-3.800	1.500-3.800	<1.200
					>3.800

Fuente: García et al. (2005); García et al. (2007); Mejía & Argüello (2000)

CAPÍTULO 6.

Taxonomía y material genético

La especie *Theobroma cacao* L. pertenece a la familia Malvaceae y es utilizada industrialmente para la producción de manteca y cacao en polvo. La mayor parte de las poblaciones silvestres de esta especie provienen de la región del Alto Amazonas, la cual se extiende desde el nacimiento del río Marañón en Perú y las fronteras entre Perú, Colombia y Brasil, donde desembocan en los ríos Marañón y Amazonas importantes cuencas hidrográficas de Perú, Ecuador, Colombia y Brasil. La diversidad genética de las poblaciones de cacao se asocia a las principales cuencas hidrográficas de esta región (Zhang & Motilal, 2016), así como a las de las regiones del Bajo Amazonas, Orinoco y Guyanas, donde se encuentran poblaciones del grupo forastero (Motamayor et al., 2002).

Según las características morfológicas, el cacao se divide en tres grupos: criollo, forastero y trinitario (este último, producto del cruce entre el cacao criollo y el forastero). En Colombia, predominan los grupos criollo y trinitario, caracterizados por producir granos de alta calidad en cuanto a sabor y aroma. En la actualidad, gracias al avance de la biología molecular, se han diferenciado otros grupos genéticos asociados a esta especie pero, aun así, la clasificación morfogenética de los tres grupos es predominante.

Descripción taxonómica

El cacao (*T. cacao*) es una planta que se encuentra de manera natural en la Amazonía, zona considerada centro de origen del cacao criollo y forastero por la alta diversidad morfológica que se encuentra allí (Cuatrecasas, 1964; Motamayor & Lanaud, 2002). La clasificación taxonómica del cacao fue hecha por Carl Linnæus y se publicó en *Species Plantarum* en 1753. Posteriormente, en 1862, Bentham y Hooker clasificaron la especie dentro de la familia

Sterculiaceae, la cual pertenece al orden Malvales (Batista, 2009). Finalmente, en 1999 se clasificó como especie de la familia Malvaceae, perteneciente al orden Malvales (tabla 4) (Alverson et al., 1999).

Tabla 4. Taxonomía del cacao

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Familia	Malvaceae
Genero	Theobroma
Especie	*Theobroma cacao* L.

Fuente: EcuRed (2019)

Materiales genéticos

Para establecer un cultivo de cacao, es muy importante utilizar un buen material genético ya que con él se aseguran altos rendimientos productivos, tolerancia a enfermedades y calidad del grano. La propagación asexual es la más empleada en la multiplicación de plantas de cacao. Se lleva a cabo mediante el uso de varetas porta-yemas para conservar la identidad genética del material vegetal (Quiroz & Mestanza, 2012; Compañía Nacional de Chocolates, Interconexión Eléctrica [ISA] & Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] 2014). En la actualidad, Colombia cuenta con tecnologías apropiadas de propagación asexual basadas en el uso de injertos en vivero o en campo, con las cuales se realizan nuevas siembras y procesos de rehabilitación/renovación de plantaciones con baja productividad.

En 1960, el Departamento de Investigación Agropecuaria estableció el Banco de Germoplasma, en Palmira, Valle del Cauca. En 1964, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) inició la introducción de materiales genéticos con las siglas ICS (Imperial College Selection), TSH (Trinidad Selection Hybrids), EET (Estación Experimental Tropical), UF (United Fruit), IMC (Iquitos Marañón Collection) y PA (Parinari), provenientes de Trinidad, Ecuador, Costa Rica y Perú, los cuales fueron la base de la semilla híbrida. A partir de 1969, el ICA empezó a reunir colecciones nacionales bajo las siglas ABC (Arboleda, Buriticá, Correa), EBC (Expedición Botánica al Caquetá) y CR (Criollo). En 1991, el ICA estableció el banco nacional de germoplasma en

el Centro de Investigación La Suiza y en él se instalaron 105 materiales genéticos, los cuales fueron la base para el fomento del cultivo por medio de la propagación vegetativa (Argüello et al., 1999).

Sin embargo, dada la existencia de materiales genéticos regionales con buen comportamiento en campo, a partir de 1999 la investigación en Colombia se enfocó en la selección participativa de variedades de cacao, y como resultado se identificaron materiales genéticos regionales, asignando la sigla SCC (Selección Colombia Corpoica) (Argüello et al., 1999). Posteriormente, Fedecacao y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), en la actualidad AGROSAVIA, realizaron evaluaciones *in situ* y seleccionaron materiales promisorios, a lo que denominaron con las siglas FEAR (Fedecacao Arauquita), FSA (Fedecacao Saravena), FLE (Fedecacao Lebrija), FEC (Fedecacao El Carmen), FSV (Fedecacao San Vicente) y TCS (Theobroma Corpoica La Suiza). Esta selección involucró la evaluación del comportamiento y puesta a punto de genotipos de cacao con características agronómicas sobresalientes, con alto potencial productivo, tolerancia a enfermedades y calidad del grano. Como parte de la consolidación del sector cacaotero, en 2014 AGROSAVIA obtuvo los registros ICA 1552 y 1553 para la comercialización de dos variedades denominadas Theobroma Corpoica La Suiza, TCS 01 y TCS 06, destinadas a la región Andina, subregión Montaña Santandereana (figura 12).



Figura 12.

Variedades liberadas por AGROSAVIA en 2014 (TCS 01 y TCS 06) y 2017 (TCS 13 y TCS 19).

Foto. Genaro Andrés Agudelo Castañeda

En diciembre de 2014, Fedecacao lanzó ocho variedades denominadas FEAR 5, FEC 2, FLE 2, FLE 3, FSA 12, FSA 13, FSV 41 y FTA 2 con los registros ICA 10478, 10480, 10482, 10484, 10488, 10494, 10497 y 10500, respectivamente. Posteriormente, en 2017, AGROSAVIA amplió la disponibilidad de variedades para el departamento al obtener los registros ICA 8328 y 8330 para dos nuevos materiales genéticos, TCS 13 y TCS 19, recomendados para las subregiones Montaña Santandereana y Magdalena Medio. Asimismo, Fedecacao aumentó la disponibilidad de variedades con registro ICA 15823 para el FSV 155. Para el año 2021, la Compañía Nacional de Chocolates obtuvo el registro ICA para dos variedades: 81657 para la variedad CNCH 12 y 81658 para la variedad CNCH 13. Estas se recomiendan para 13 regiones, entre las que se encuentran Santander, Distrito del Zulia y Magdalena. Estas quince variedades con registro ICA están a disposición de los productores de Santander para siembras nuevas o para rehabilitación de plantaciones improductivas.

Propagación del material genético

La propagación asexual mediante injertos se emplea para mantener la identidad genética de los materiales en las plantaciones nuevas de cacao. Las varetas porta yemas (figura 13a) provenientes de clones altamente productivos se injertan en patrones (figura 13b), que son materiales genéticos producidos mediante semilla sexual (Compañía Nacional de Chocolates, ISA & PNUD, 2014). Este es un método común de propagación del cacao, con el que se combinan las características de los dos parentales, la copa y el patrón (figura 13c) (Susilo et al., 2005), y con el que se acorta el tiempo entre floración y fructificación. Además, con el injerto en árboles maduros se puede llegar a duplicar la producción (Kouassi et al., 2018).

Dos de las técnicas de injertación más utilizadas por los viveristas en el proceso de multiplicación de plantas de cacao son las del parche y la púa terminal (figuras 14a y 14b). En campo se utilizan técnicas como la del injerto de aproximación, denominada coloquialmente *injertación pechito con pechito* (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012). En procesos de rehabilitación de plantaciones por cambio de copa se suele utilizar el injerto lateral en tronco, llamado *injerto malayo* (figura 14c), el cual se está manejando en todo el territorio nacional.



Figura 13.

Método de propagación asexual del cacao mediante injertos. a. Rama porta yema; b. Patrón de propagación de material de cacao; c. Plántula injertada.

Fotos: Manuel Bello Gáfaro, Fabián Boada Espinosa y Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Gracias a las técnicas de injertación, se fomentó el uso de materiales introducidos, conocidos como *universales*. El empleo de estos últimos se incrementó a partir del año 2000, con la modernización de la cacaocultura, y su propósito fue el de aumentar las producciones y homogenizar las plantaciones en campo, para tener un mejor aprovechamiento y manejo (ICA, 2012).



Figura 14.

Plántulas de *T. cacao* con injertación. a. Injerto de parche; b. Púa terminal; c. Injerto malayo.

Fotos: Manuel Bello Gáfaro, Fabián Boada Espinosa y Orlando Güiza Pérez

Materiales genéticos utilizados para la producción de patrones

En la producción de plantas en vivero, el material vegetal llamado *patronaje* es el que conforma el sistema radical. Está constituido por una raíz principal que sirve de pivote, raíces secundarias y pelos absorbentes (cercanos a la superficie del suelo). Este material proporciona buen anclaje al árbol y permite el transporte de agua y nutrientes minerales desde el suelo a la parte aérea de la planta, con características indispensables para la permanencia del cultivo, como tolerancia a la acidez, aluminio y a enfermedades causadas por hongos del suelo (Palencia et al., 2007). Además, ayuda a superar problemas adversos relacionados con el medio en donde crece y prolonga la vida útil de la copa productiva. Los materiales genéticos más empleados y recomendados para patronaje en la producción masiva de plantas de cacao son IMC 67, PA 46, PA 121, PA 150, Pound 7, Pound 12, EET 399, EET 400, SPA 9 y CAU 39.

La selección de este material para la producción de patrones depende de los genotipos disponibles en los jardines clonales. Los estudios demuestran que el IMC 67, seguido del PA 46 y el PA 121 (figura 15) tienen un mejor desarrollo, además de presentar mayor grado de adaptación a diferentes condiciones de estrés y suelos con pH ácido y, por ende, mayor resistencia a enfermedades como *Phytophthora* sp. y *Ceratocystis* sp. (Palencia et al., 2007).

En la generación de material de patronaje para la producción de plantas en vivero, las mazorcas se deben cosechar con madurez fisiológica optima. Con esto se logra que el embrión se desarrolle una vez retirado el mucílago que la recubre (figura 16). La semilla germina en un máximo de cinco días después de la extracción del grano, por tratarse de una semilla recalcitrante todo esto se debe tener en cuenta para evitar malformaciones en la raíz durante la fase inicial de desarrollo de la planta.

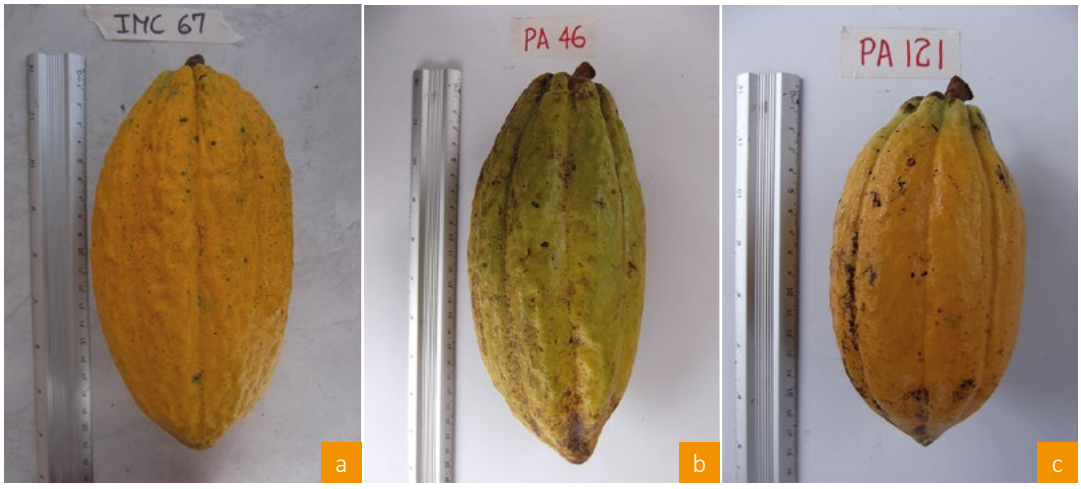


Figura 15.

Variedades de material vegetal empleadas como patronaje en la propagación vegetativa del cacao. a. IMC 67; b. PA 46; c. PA 121.

Fotos: Eliana Báez Daza



Figura 16.

Semilla de cacao adecuada para la obtención de patrones, pregerminada para la siembra en sustrato.

Foto: Manuel Bello Gáfaro

El desarrollo del patronaje en vivero tiene una duración de 60 a 80 días. Pasado este tiempo se realiza el proceso de injertación. Para ello es necesario utilizar ramas o varetas porta yemas, las cuales se seleccionan previamente de acuerdo con la disponibilidad de materiales genéticos recomendados (Echeverri, 2006). Las yemas utilizadas en el proceso de injertación deben tener una edad similar al patrón, es decir, entre 60 y 80 días desde la elongación o crecimiento de la rama. Estas yemas deben proceder de jardines clonales registrados ante el ICA con el fin de asegurar tanto la identidad como la calidad física, sanitaria y fisiológica del material vegetal, con una trazabilidad del material producido. Finalmente, entre 60 y 90 días después de la injertación en vivero se obtiene una planta compuesta, apta para la siembra en campo, con buenas características físicas, fisiológicas y sanitarias (figura 17).



Figura 17.

Material vegetal de cacao apto para establecimiento definitivo en campo.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Material genético utilizado como copas productivas

Los materiales genéticos de cacao conocidos como *clones* se seleccionan según características como producción, tamaño del fruto y grano, calidad sensorial, adaptación al ambiente y tolerancia a enfermedades (ICA, 2015). Un clon es una planta injertada proveniente de un material uniforme, que se ha propagado por medios vegetativos (propagación asexual). Cuando se siembra en condiciones agroecológicas óptimas, tiene un comportamiento excelente en cuanto a crecimiento, desarrollo, producción y calidad.

La selección del material genético de las copas productivas debe hacerse según las recomendaciones de los técnicos y de acuerdo con factores como el clima y la interacción con el ambiente. Dado que las plantaciones de cacao son cultivos perennes, su éxito o fracaso dependen del material de siembra. Por lo anterior, los productores de cacao deben adquirir las plantas injertadas en viveros de confianza y con registro ICA. Los viveros o huertos básicos para la producción y comercialización de material vegetal deben contar con registro ICA para su funcionamiento, de modo que deben cumplir con la reglamentación consignada en las resoluciones 0780006 (ICA, 2020) y 3168 (ICA, 2015) en las que se indica que el material vegetal y la semilla de jardines clonales deben estar plenamente identificados, con un manejo agronómico que garantice un material biológico joven, vigoroso y sano. Así se garantiza la pureza y trazabilidad del material de siembra utilizado por los productores.

Es fundamental conocer las características productivas de las variedades, como índice de grano, índice de mazorca y rendimiento, ya que con esto se asegura en cierta medida el éxito del cultivo. Además, se deben tener en cuenta características como compatibilidad, para garantizar una mayor producción de frutos. El material autoincompatible se debe acompañar en los surcos con un material que aporte polen, con el fin de facilitar el cuajamiento de los frutos.

Cuando se establece un cultivo en zonas bajas y húmedas, es importante seleccionar variedades tolerantes a enfermedades limitantes. En Santander, las variedades recomendadas por Corpoica (2015) son el TCS 06 y el TCS 19,

las cuales tienen tolerancia a moniliasis (*Moniliophthora roreri*). Fedecacao recomienda el FEC 2 (el cual cuenta con esta misma condición), pues sus pérdidas por ataque del patógeno son escasas. En la tabla 5 se exponen las características productivas más importantes de las variedades universales y nacionales con registro ICA, adaptados y recomendados por las entidades de investigación de cacao para cultivar en el departamento.

Tabla 5. Principales características productivas de las variedades de cacao recomendados para Santander

Material genético	Color fruto	Índice de grano	Índice de mazorca	Rendimiento (kg/árbol)	Compatibilidad
TCS 01	Rojo	3,0	10	3,3	AC
TCS 06	Rojo	2,0	12	2,0	AI
TCS 13	Rojo naranja	1,8	14	1,5	AC
TCS 19	Rojo naranja	1,6	16	1,8	AC
CNCH 12	Verde rojizo	1,5	16	2,5	AC
CNCH13	Verde ligero	1,6	12	2,0	AC
FSA 12	Verde rojizo ligero	1,3	18	1,5	AI
FSA 13	Verde rojizo ligero	1,3	24	1,8	AI
FEAR 5	Rojo intermedio	1,6	17	1,6	AC
FLE 2	Verde rojizo ligero	2,0	13	1,6	AI
FLE 3	Rojo intermedio	1,6	17	1,8	AI
FSV 41	Rojo intenso	2,1	13	1,9	AC
FEC 2	Rojo intenso	1,6	16	1,8	AI
FTA 2	Rojo intermedio	1,8	15	1,3	AC
FSV 155	Verde intermedio	1,6	18	1,3	AC
CCN 51	Rojo intermedio	1,6	15	1,4	AC
ICS 1	Rojo intenso	1,7	17	1,1	AC
ICS 60	Verde intermedio	2,3	13	1,0	AI
ICS 95	Rojo intenso	1,4	20	0,9	AC
EET 8	Violeta	2,2	13	1,2	AI

Fuente: Agudelo et al. (2017), Quintana et al. (2018); Nacional de Chocolates (2021).

Los materiales de la serie TCS liberados por AGROSAVIA tienen características muy importantes, como precocidad en el inicio de la etapa productiva (producen a los 18 meses de establecidos en campo). Estas variedades presentan estabilidad fenotípica en cuanto a sus variables agronómicas, y por ende tienen rendimientos estables en las diferentes condiciones de las subregiones Montaña Santandereana y Magdalena Medio. La estabilidad de un material se traduce en un buen rendimiento en el sitio donde se establece y desarrolla el cultivo (Agudelo et al., 2017).

Algunas características de las variedades pueden cambiar como, por ejemplo, la coloración de los frutos. A menudo, esta característica varía debido a condiciones como la disponibilidad de luz y agua y a factores como características del suelo, altitud y competencia con plantas vecinas. Sin embargo, en condiciones normales, se mantiene la coloración propia del material genético (figura 18). Otras características como índice de grano, número de granos por mazorca e índice de mazorca varían según el clima, disponibilidad de agua, fertilidad natural del suelo y manejo agronómico (incluida la fertilización).

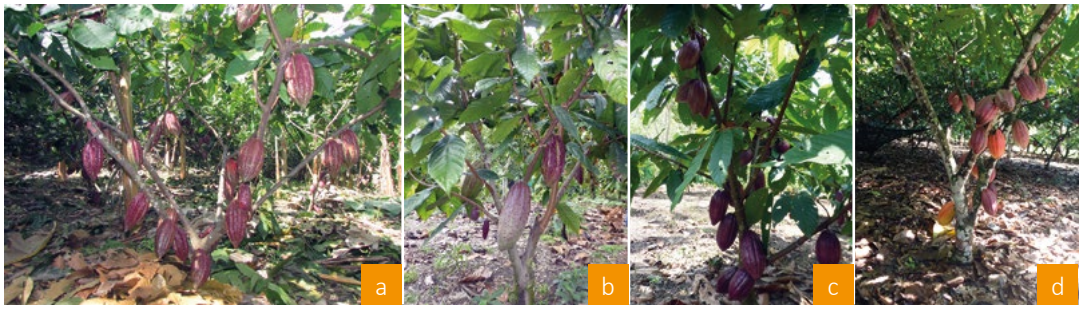


Figura 18.

Variedades de cacao liberados por AGROSAVIA para las subregiones Montaña Santandereana y Magdalena Medio (Santander). a. TCS 01; b. TCS 06; c. TCS 13; d. TCS 19.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Compatibilidad sexual

La polinización en cacao es cruzada y se da por medio externo. Los polinizadores de la especie son, principalmente, insectos del género *Forcipomyia*, aunque también existen métodos para realizar polinización artificial (controlada o dirigida). La compatibilidad de un material genético depende de si la flor de cacao (figura 19) acepta o rechaza su propio polen, lo cual define si es autocompatible (AC) o autoincompatible (AI). La compatibilidad también se da entre materiales distintos y, en tal caso, las variedades pueden ser intercompatibles (IC) o interincompatibles (II). La autocompatibilidad o la intercompatibilidad se definen por el número de flores con cuajamiento efectivo (Fedecacao & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2008).



Figura 19.

Flores de *T. cacao* con edad para su fecundación.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

La serie TCS de AGROSAVIA contiene tres materiales autocompatibles (TCS 01, TCS 13 y TCS 19) y un material autoincompatible (TCS 06). Dada la incompatibilidad del TCS 06, para su siembra y obtener los rendimientos deseados, este material se debe establecer en surcos intercalados con TCS 01 o TCS 19 (figura 20). El TCS 13, aunque autocompatible, tiene una eficacia de autofecundación del 35%. Por esto, para mejorar su rendimiento, debe establecerse acompañado con el TCS 19. Los materiales TCS 01 y TCS 19 se

pueden establecer solos en franjas homogéneas (figura 21a y 21b), ya que el nivel de eficiencia de la autofecundación es superior al 70% (tabla 6). De los ocho materiales liberados por Fedecacao, son autocompatibles el FTA 12, el FEAR 5 y el FSV 41 (Fedecacao, 2017).

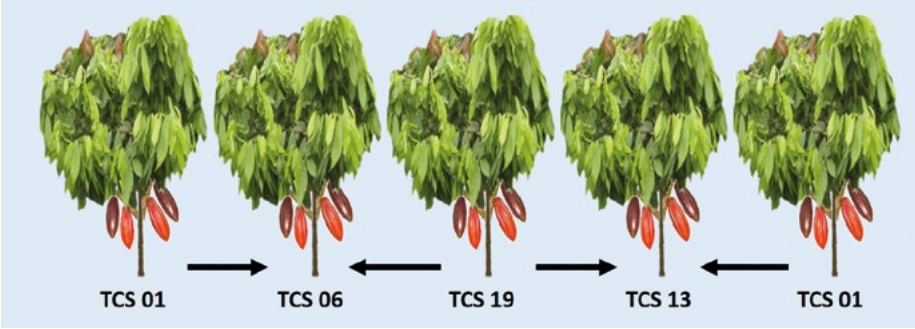


Figura 20.

Modelo de siembra de materiales de la serie TCS liberados en combinación.

Fuente: Elaboración propia

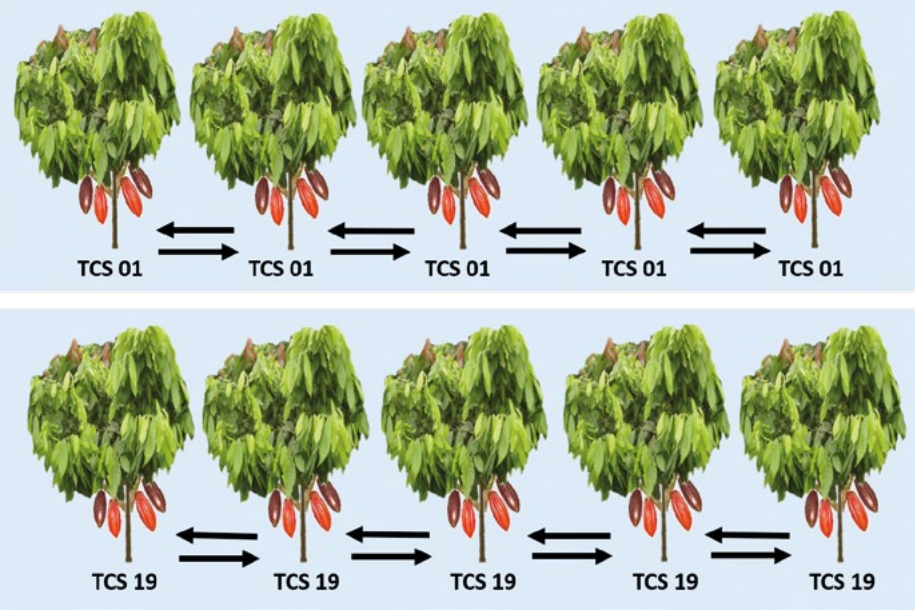


Figura 21.

Modelo de siembra por franjas de materiales autocompatibles liberados por AGROSAVIA con alto porcentaje de fecundación. a. TCS 01; b. TCS 19.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Matriz de compatibilidad entre materiales genéticos de AGROSAVIA

Padre ♂ \ Madre ♀	Clon	TCS 01	TCS 06	TCS 13	TCS 19
	TCS 01	AC*	IC*	IC	II
	TCS 06	II	AI	II	IC
	TCS 13	II	IC	AC	II
	TCS 19	IC	IC*	IC	AC*

AC	Autocompatible	IC	Intercompatible
AC*	Autocompatible >70%	IC*	Intercompatible >70%
AI	Autoincompatible	II	Interincompatible

Fuente: Elaboración propia

Colombia cuenta con una tecnología de producción masiva de plantas basada en el empleo de materiales universales y regionales obtenidos a partir de procesos de injertación. De igual manera, está en capacidad de dar recomendaciones tecnológicas y prácticas de manejo agronómico para el cultivo. Por lo anterior, es importante conocer la compatibilidad de variedades a establecer con el fin de aumentar la capacidad productiva de la plantación. Los clones universales y de Fedecacao se deben establecer de acuerdo con la matriz de compatibilidad realizada a partir de los estudios de Fedecacao, según la cual los clones autoincompatibles se deben establecer en compañía de clones que aporten polen viable (tabla 7).

Tabla 7. Matriz de compatibilidad entre materiales universales y de Fedecacao

Padre ♂	Clon		Madre ♀																									
			ICS					TSH			EET		CCN	IMC	FLE		SCC	CAU		FEC	FSV		FTA	FEAR	FSA		
			1	6	39	60	95	565	792	812	8	96	51	67	2	3	61	39	43	2	41	155	2	5	11	12	13
	ICS	1	95						★				■				■	★						■		★	
		6		50								★			★	★	■	■	★				■				
		39			3	■				★	■	■	■	■	■		■	■	■		■					■	
		60		■	■	3	■	■		★	■		■	■	■		■	■	■		■						★
		95				★	85			■			■	■	■	★			■					■		■	
	TSH	565		★	★	★	★	3		★	★		★										■		★	■	■
		792				★			0			■	■				■	★									
		812		★						60		★			★		★										
	EET	8		★	■	■	★	★	★	★	20		■	■	■		■	★		■		■	■				
		96		★			★			★		70	★		★	★	★		★		★			★			★
	CCN	51		★	★	★		★	★	★			63		★	★		★	★					★			
	IMC	67	★		★	★	★	★	★	★				0	★	■			■		★				■	■	■
	FLE	2			■	■	★	★	★	★	■	★	★		15		■		★	■		★					
		3		★	★	★	★		★		★	★		■		3											
	SCC	61	★		■	■			★	★	■	★			■		3										
	CAU	39	■		★	■			★	★	★			★				0								★	
		43		★	★						★	★	■					★	20						■		
	FEC	2	■					■	■	■	★	■			■						■		■				
	FSV	41												★							54						
		155																				44					
	FTA	2		■				■	■	■									★				45		★		★
	FEAR	5			■							★	■											55	■	★	★
	FSA	11																					★		15	■	■
		12			■	■	■				★	★						■					■		■	5	■
		13					★				■			■									★			■	5

	Intercompatible (≥30% y ≤70%)	■	Autocompatible (≥30%)
★	Intercompatible (≥70%)	■	Autoincompatible (<30%)
■	Interincompatible (<30%)		Por definir

Fuente: Fedecacao (2017, 2019b)

Para nuevos cultivos de cacao, AGROSAVIA recomienda emplear las variedades especiales en modelos de siembra de sistemas agroforestales con maderas finas tropicales (figura 22). El sistema agroforestal debe estar compuesto por una especie perenne como sombrío permanente (árboles maderables) y de plátano, maíz, yuca o especies semejantes como sombrío transitorio (AGROSAVIA, 2022). Esta combinación de especies permanentes y transitorias en un mismo espacio durante las fases de establecimiento y producción permite mejorar el aprovechamiento del suelo, obtener productos de consumo y tener ingresos en el corto, mediano y largo plazo. Además, con estos sistemas es posible incrementar las producciones y homogenizar la calidad del grano.



Figura 22.

Clones de cacao especiales TCS de AGROSAVIA, sembrados ordenadamente en sistemas agroforestales de maderas finas tropicales.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

CAPÍTULO 7.

Manejo agronómico

Los pequeños productores de economía campesina cultivan 90.000 ha de cacao con sombríos inadecuados de especies arbóreas como guamos (*Inga* sp.) y búcaros (*Erythrina* sp.), entre otros. Son árboles dispuestos sin criterios técnicos, lo cual ocasiona daños a las plantaciones por exceso o deficiencia de sombrío, y se traduce en bajo aprovechamiento económico e incremento de costos y problemas fitosanitarios. La producción de cacao está definida por el uso de híbridos de edad avanzada, con densidades de siembra inadecuadas y gran número de árboles improductivos, lo cual es sinónimo de bajos ingresos (Palencia, 2005).

La modernización del área cacaotera en los últimos años ha brindado la oportunidad de impulsar las siembras con variedades de AGROSAVIA (TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19), Fedecacao (FSV 41, FEC 2, entre otros) y la Compañía Nacional de Chocolates (CNCH 12 y CNCH 13). Asimismo, ha permitido incorporar modelos agroforestales con sombríos permanentes utilizando maderables categorizados como finos tropicales en acompañamiento con otras especies de periodo corto que generan ingresos adicionales para el productor en su fase de establecimiento. Las inversiones por beneficiario con este cambio disminuyen en un 10% (según valoración del establecimiento y el mantenimiento de los tres primeros años del cultivo), ya que los nuevos materiales presentan un alto grado de tolerancia a las principales enfermedades y esto disminuye los costos por manejo fitosanitario.

Con el objeto de desarrollar una cacaocultura moderna y eficiente en términos de competitividad y sostenibilidad, tanto en el ámbito económico como en el ecológico, es necesario implementar cultivos con sistemas agroforestales que permitan un equilibrio social y ambiental en las zonas rurales aptas. Esto es posible gracias a las características agronómicas del cultivo, a su amplio rango de adaptación y a su capacidad para crecer en asocio con otras especies.

Los sistemas agroforestales proporcionan una estrategia para incrementar la productividad de los agricultores cacaoteros. Este incremento se consigue sembrando especies maderables de alto valor económico o sustituyendo con ellas especies maderables que no ofrecen mayor rentabilidad en los sistemas de cacao establecidos. Por esto, AGROSAVIA y otras instituciones como Fedecacao han implementado la asociación del cacao con maderas de alto valor económico en muchas de las nuevas plantaciones de Santander. El tipo de sombrío utilizado en estos casos, el abarco (*Cariniana pyriformis*), mantiene una actividad fisiológica adecuada, lo que influye en la producción de los genotipos de cacao (Agudelo et al., 2018).

Los sistemas de producción sostenibles desde el punto de vista económico, biofísico y social son el camino más adecuado y la estrategia más acertada para reducir la presión sobre los bosques primarios y su consecuente detrimento. Además de ser una alternativa para solucionar los problemas de deforestación y de deterioro y desertización de los suelos, estos sistemas ayudan a evitar la degradación del ecosistema ya que preservan la biodiversidad y contribuyen a sostener e incrementar la seguridad alimentaria (Mejía & Palencia, 2004).

Actualmente, en el mundo se están desarrollando sistemas agroforestales con modelos espaciales que, a diferencia de los utilizados en la agricultura convencional, optimizan el empleo de los insumos agrícolas. Estos nuevos sistemas incluyen aplicaciones y labores de cultivo acordes con la característica intrínseca de cada zona y proporcionan a cada planta lo que requiere en la cantidad y el momento adecuados para mejorar la producción (Palencia, 2005; Rojas et al., 2017).

En estos sistemas de producción se establecen los diferentes cultivos de manera secuencial y cronológica y se intercalan los cultivos permanentes, los anuales y los de especies arbóreas. En ellos, la siembra de cada especie se hace de manera semiintensiva y en ella se tienen en cuenta los requerimientos fisiológicos de cada una para lograr el máximo beneficio económico (Aranzazu, 2003).

La implementación de siembras de cacao bajo sistemas agroforestales presenta ventajas productivas y de sostenibilidad (Álvarez et al., 2012). El uso de árboles como sombrío presta un servicio ecosistémico e incide

directamente en la fotosíntesis, el crecimiento y la producción de las plantas de cacao. A continuación, se describen algunos de los efectos de este tipo de sistemas:

- Modifican el régimen de luz en términos de calidad y cantidad, así como la temperatura, la humedad y el movimiento del aire dentro de la plantación (Almeida & Valle, 2007; Zuidema et al., 2005).
- Según el manejo de la sombra, influencian positiva o negativamente la dinámica de la población de plagas y la incidencia de enfermedades tanto en el cacao como en las especies acompañantes (Schroth et al., 2000).
- Contribuyen a mantener la fertilidad del suelo mediante la disponibilidad significativa de materia orgánica y el ciclaje de nutrientes (Hartemink, 2005; Rojas et al., 2017). Esta contribución a la fertilidad del suelo se considera muy importante, ya que, en los cultivos de cacao tradicionales, la fertilización es una práctica agronómica poco frecuente.
- Un sistema agroforestal con especies arbóreas acompañantes produce bienes como madera, leña, frutos, resinas, medicamentos, entre otros. También genera servicios ecosistémicos y culturales como conservación de la biodiversidad, el agua y el suelo, y secuestro de carbono. Con estos servicios, los sistemas agroforestales con cacao contribuyen a mitigar el cambio climático y a su vez a mejorar los ingresos de los agricultores (Schroth & Harvey, 2007).

Sistemas agroforestales con cacao

El sistema agroforestal se debe establecer con una rigurosa planificación. Los terrenos planos se preparan con trazos de norte a sur, dado que el recorrido del sol se da de oriente a occidente dentro de la plantación, y los árboles sembrados como cultivos permanentes sirvan de sombra para el cultivo. En los lugares con pendientes fuertes, que son la mayoría en las zonas cacaoteras de Santander, los surcos se trazan en la misma dirección de las curvas de nivel, con el fin de disminuir el impacto en los suelos. En estos lugares, a menudo también se utiliza la orientación norte-sur para reducir el impacto de la luz en las plantaciones, ya que se trata de regiones con alta exposición solar (figura 23).



Figura 23.

Sistema agroforestal de maderas finas con cacao. a. Establecimiento; b. Desarrollo de forestales en doble surco; c. Modelo SAF con cacao recomendado por AGROSAVIA; d. Calle del doble surco de forestales del modelo agroforestal con cacao.

Fotos: Orlando Guiza Pérez, Jairo Rojas Molina y Eliana Báez Daza

El establecimiento del cultivo de cacao bajo sistema agroforestal se puede dividir en dos fases. En la primera, se establecen los sombríos permanentes, los sombríos transitorios y los cultivos de pancoger. Con los cultivos transitorios y de pancoger (plátano, maíz, fríjol, ahuyama y habichuela, entre otros) se aprovecha el espacio entre surcos. Estos cultivos contribuyen a la reducción de las malezas y generan un ingreso extra para los productores. Lo aconsejable es emplear cultivos que no generen competencia con el cacao o que sirvan de hospederos de enfermedades. Por tal razón, en muchas zonas no se recomienda el uso de la yuca como cultivo intercalado, ya que esta se asocia como hospedero de *Rosellinia* sp. El cronograma de siembra de cada especie se define con base en su ciclo vegetativo y según

el régimen de precipitaciones. Asimismo, el manejo agronómico se realiza de manera individual de acuerdo con los requerimientos de cada especie. En la segunda fase, se realiza la siembra del cacao, una vez que los cultivos ya establecidos provean un 60% de sombrío.

Sombríos productivos

AGROSAVIA recomienda el sistema agroforestal de cacao con abarco (*Cariniana pyriformis*), el cual ha resultado exitoso para la región de Santander. El asocio de cacao con especies productivas debe generar un ingreso al agricultor y aumentar la productividad del terreno. Se deben cambiar especies usadas tradicionalmente como nauno (*Albizia guachapele*), samán (*Albizia saman*), nogales (*Cordia alliodora*, *Cordia gerascanthus*) o realizar una selección de aquellas que tengan un valor económico y cuyas características sean adecuadas para proporcionar sombra.

Sombrío permanente

Los sombríos permanentes se establecen mínimo seis meses antes de la siembra del cacao. Protegen al cultivo de la radiación solar intensa y del viento excesivo y constituyen una fuente de ingresos para el productor. Es importante que las especies utilizadas no compitan con el cacao; deben proporcionar sombra difusa, presentar crecimiento alto y ser comercializables y de hoja de descomposición rápida o mediana (no caducifolios).

En el modelo desarrollado por AGROSAVIA, el cacao es sembrado en doble surco forestal, y el sombrío permanente se establece en dirección norte-sur, en terrenos pendientes que exigen tener en cuenta las curvas a nivel. Estos surcos dobles se siembran a una distancia de 16 m entre ellos y de 4 x 4 m entre las plantas (figura 25) con el fin de dejar espacio para la siembra de los cultivos de sombrío transitorio, pancoger y los cinco surcos de cacao. Las plantas de cacao se distribuyen en cuatro o cinco surcos, dependiendo de la radiación solar y se establecen en tresbolillo de 3×3 m (AGROSAVIA, 2021). El tresbolillo es la siembra de las plantas en triángulo, tal como se muestra en la figura 25. Con estas medidas se obtienen una densidad de siembra

de aproximadamente 900 plantas de cacao y 250 árboles de abarco en una hectárea, lo cual da una adecuada densidad de cultivo y genera ingresos en el largo plazo (Palencia, 2005; Rojas et al., 2017).

La especie maderable debe tener libertad de crecimiento y formar troncos rectos, no bifurcados, por lo menos hasta los 6 m de altura, para mejorar la calidad de la madera. Los sombríos permanentes, una vez hayan cumplido un año de sembrados (cuando los árboles superen los 4 m), se someten a podas de realce para conformar el dosel de sombra. El manejo del microambiente se debe realizar mediante podas periódicas para evitar el sombrío excesivo y suministrar abono verde al suelo.

Sombrío transitorio

Este tipo de cultivo se establece con el fin de proteger a las plántulas de cacao en sus primeras fases, obtener flujo de caja, control de malezas y proporcionar sombra rápida. Por lo general, las especies utilizadas son de fácil aprovechamiento, tanto para el consumo por parte del productor como para su comercialización.

Las especies más utilizadas como sombra transitoria son plátano (*Musa paradisiaca*), banano (*Musa* sp.), yuca (*Manihot esculenta*), entre otras (AGROSAVIA, 2021).

Cultivos de cobertura

Se siembran cultivos de pancoger en el momento de preparar el terreno para la siembra del cacao. Con estos cultivos se aprovecha el terreno y se obtiene flujo de caja. Cuando se establecen leguminosas, se aportan nutrientes al cultivo y se controlan las malezas. Estos cultivos se siembran en las calles o los surcos, en los terrenos de ladera, y también contribuyen a amortiguar el impacto de la erosión.

De acuerdo con, las especies más comunes en estos arreglos son maíz (*Zea mays*), fríjol (*Phaseolus vulgaris*), tomate (*Lycopersicum esculentum*), ahuyama (*Cucurbita máxima*), patilla (*Citrullus vulgaris*), melón (*Cucumis melo*), habichuela (*Phaseolus* sp.) y pimentón (*Piper cumanense*) (Palencia, 2005; AGROSAVIA, 2021).

Establecimiento del cultivo

Una vez seleccionado el diseño o arreglo agroforestal, se debe hacer una preparación del terreno para evitar problemas en las etapas de establecimiento y producción. A continuación, se presentan los pasos que se deben seguir antes, durante y después de la siembra del material vegetal.

Selección del terreno

El éxito del cultivo de cacao depende de la selección previa del terreno. Para esto, se debe considerar, principalmente, la calidad del suelo. Así pues, debe hacerse un análisis fisicoquímico y evaluar factores como el ambiente, la roca madre, las precipitaciones, la temperatura, las prácticas agronómicas implementadas y, en cierta medida, las variedades sembradas con anterioridad, procedimientos que pueden complementarse con estudios de los perfiles del suelo (Snoeck et al., 2016).

Adecuación del terreno

Una vez seleccionado el terreno, se debe adecuar para la instalación del cultivo. En muchos casos existen árboles improductivos o enfermos, con los que se puede hacer un entresaque para que no afecten el desarrollo del cultivo. Dado que el cultivo es amigable con el medio ambiente, se deben dejar aquellos árboles que no perjudiquen la plantación, ya que brindan un sombrío adecuado y no compiten con el cacao. Estos árboles enriquecen la biodiversidad del sistema (Angarita, 2009).

Trazo de la plantación

El trazado consiste en marcar con estacas los sitios donde se van a establecer las especies del sistema agroforestales (figura 24a), tanto las que brindan sombrío permanente como las transitorias y el mismo cacao. De acuerdo con Angarita (2009), el método más utilizado en Santander es el del triángulo porque se adapta mejor a la topografía de las zonas cacaoteras (figura 24b), caracterizadas por las pendientes pronunciadas. El método del triángulo permite un manejo adecuado del suelo y disminuye la escorrentía y por ende la erosión.



Figura 24.

Trazado del lote para siembra de especies de sistema agroforestal con cacao. a. Estaquillado; b. Trazado en tresbolillo.

Fotos: Eliana Báez Daza

Las plantas de cacao se siembran en triángulo o tresbolillo. De esta manera aumenta el número de plantas por hectárea (15% más comparado con la siembra en cuadro) y se asegura una mejor distribución de las copas en el espacio aéreo. La disposición en triángulo, además de optimizar el uso del terreno, disminuye la escorrentía y el grado de susceptibilidad a la erosión del suelo en terrenos de mayor pendiente (Aranzazu, 2003), aunque también puede utilizarse en lotes planos (Angarita, 2009) (figura 25).

Este tipo de diseño (doble surco con dirección norte-sur) y la distribución de la siembra de acuerdo con el movimiento del sol, asegura un mejor aprovechamiento de la luz y hace que todas las especies involucradas en el sistema se beneficien. Además, tener todas las especies ordenadas ahorra tiempo y mano de obra, ya que las labores se pueden ejecutar de modo sistemático, siguiendo la disposición en hileras de las especies. En las plantaciones tradicionales, por el contrario, todos los materiales están dispersos y no obedecen a un arreglo establecido (Palencia, 2005; Rojas et al., 2017).

Los sombríos transitorios (plátano, banano, papaya o yuca) cuya distancia de siembra es de 3×3 m (figura 25), se siembran en el espacio de 16 m que separa el doble surco de maderables. Estas distancias permiten el establecimiento de cinco a seis surcos de cultivo transitorio de acuerdo con los arreglos definidos (Palencia, 2005; Angarita, 2009).

Los clones de cacao se siembran a distancias de 3×3 m entre los surcos del sombrío transitorio (figura 25b), con lo cual se obtiene una densidad de siembra de 900 plantas de cacao/ha que puede aumentar a 950 plantas/ha si se hace el trazado en tresbolillo. Como se dijo anteriormente, los cultivos transitorios o de pancoger pueden ser de ahuyama, fríjol, maíz, habichuela, entre otros (Palencia, 2005; Angarita, 2009), y se distribuyen de acuerdo con la conveniencia del productor.

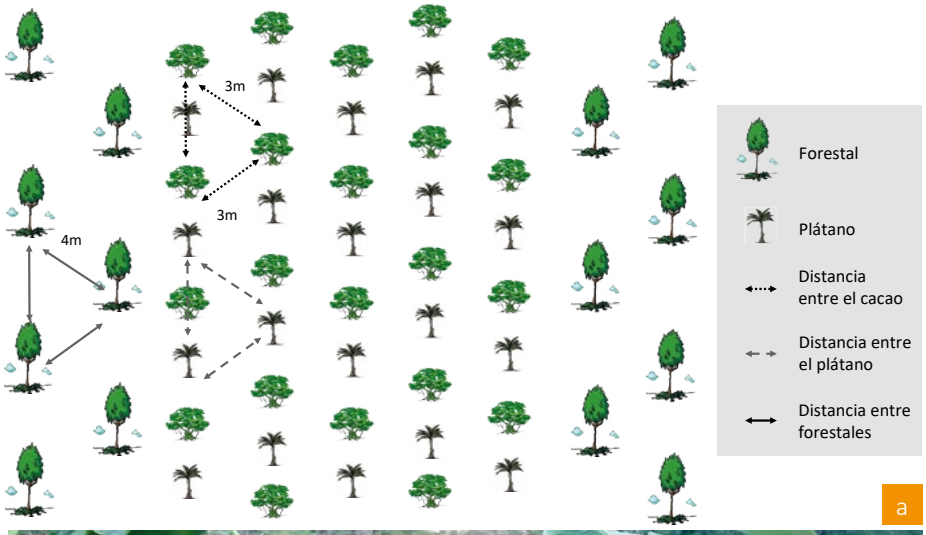




Figura 25.

Disposición del sistema agroforestal de cacao. a. Diagrama con cacao en tresbolillo y sombrío permanente (forestal); b. Sombrío transitorio en tresbolillo (plátano).

Foto: Eliana Báez Daza. Fuente: Elaboración propia

Ahoyado

Después de marcar los sitios donde se va a sembrar la planta y con el objetivo de preparar física y químicamente el área donde se desarrollarán las raíces, se procede, con la suficiente anticipación (un mes aproximadamente), con la apertura de huecos de 40×40×40 cm. Es conveniente agregar al suelo de la capa superficial 1 kg de abono orgánico mezclado con 100 g de cal dolomita para facilitar la penetración de las raíces y asegurar permeabilidad y aireación.

Siembra

Por lo general, la siembra se debe realizar cuando empieza la temporada de lluvias. En las regiones cacaoteras de Santander, se presenta un régimen de precipitación bimodal, por lo cual hay dos épocas marcadas de lluvias, de marzo a junio y de septiembre a noviembre, esto en épocas normales, cuando no se presentan fenómenos como los del Niño o la Niña. Antes de sembrar, se deben verificar las condiciones de las plantas, tales como el tamaño ideal y las condiciones de la bolsa. Así, la planta debe tener las medidas recomendadas (30 cm de alto X 15 cm de ancho) y estar sin defectos (rasgada o podrida). Estas imperfecciones ayudan a determinar si el desarrollo en vivero no supera los 7 meses desde la siembra de la semilla.

De igual manera, se debe asegurar que la planta no tenga deformaciones radiculares, denominadas comúnmente por los productores “cuello de ganso” o “cola de marrano”. También se debe verificar el estado de las hojas verdaderas (las cuales deben tener un tono verde mate fuerte) y la incidencia de enfermedades, plagas y heridas diferentes a las realizadas en la injertación (Agudelo et al., 2021). Al momento de realizar el trasplante, la planta se ubica en el centro del hueco de modo que sobresalga del suelo. La orientación del injerto depende del terreno: en sitios planos, se ubica hacia el occidente, y en lugares inclinados, en dirección a la pendiente. Se debe apisonar bien el terreno para que no se presenten encharcamientos que perjudiquen el material y ocasionen su muerte.

Después de la siembra, se repican los alrededores del sitio para ablandar el suelo, asegurar una buena penetración de las raíces y evitar el efecto de matera (compactación de las paredes del hueco). Se debe hacer una

fertilización con materia orgánica, previa a la aplicación de cal dolomita en el terreno. Es aconsejable dejar residuos de malezas para mejorar la infiltración y evitar salpicaduras de las aguas lluvias (Aranzazu, 2003; Palencia, 2005).

Fertilización del sistema agroforestal con cacao

La sostenibilidad y la competitividad del sistema agroforestal dependen de los rendimientos, manifestados en la cantidad de grano seco producido por ha con un mínimo de costos, lo cual implica un manejo agronómico adecuado y frecuente por parte del productor. Para aumentar la producción, es indispensable implementar un manejo agronómico integrado que, además de la fertilización, incluya un control de plantas arvenses, controles fitosanitarios y manejo de sombríos.

La toma de nutrientes por parte de la planta de cacao se incrementa con la edad, pero la velocidad difiere según la sustancia. Por ejemplo, la absorción de nitrógeno (N) se incrementa en las primeras etapas de desarrollo, sobre todo en la fase activa del crecimiento vegetal, pero disminuye después del quinto año cuando empieza la fase productiva. Por el contrario, la absorción de potasio (K) y magnesio (Mg) se incrementa a partir del décimo año. Por lo general, independientemente de las condiciones medioambientales y los efectos del suelo, los requerimientos del cacao son menores en la plántula que en la planta adulta o que en el décimo año, cuando alcanza el máximo de producción (Snoeck et al., 2016).

Seis meses después del establecimiento en campo, se aplica una fertilización orgánica acompañada de fertilización química de acuerdo con los requerimientos nutricionales del suelo y el cultivo. Finalizado el primer año, se recomienda fertilizar nuevamente el cultivo.

La dosis de cal recomendada se debe aplicar anualmente al inicio de la época de lluvias, en forma de corona si el terreno es plano o en forma de media corona si el terreno es pendiente. Las cantidades de fertilizante se deben suministrar anualmente o fraccionadas en dos aplicaciones, en forma de corona o media corona, dos o tres semanas después de aplicada la cal dolomita (cal magnesio). No se recomienda mezclar la cal con los abonos.

Manejo de malezas

En las primeras fases del sistema agroforestal, se debe mantener libre de malezas la zona circundante de la planta, denominada *plato*. Para no ocasionar daños mecánicos en el tallo y las raíces de la planta, la labor de plateo se debe llevar a cabo de forma manual. En épocas secas acentuadas, con reducida precipitación y altas temperaturas durante el día, la zona del plato se debe cubrir con residuos vegetales producto del control de malezas o plantas arvenses.

El manejo de las malezas debe ser constante, por lo que se recomienda realizarlo de forma trimestral: bien sea mecánica o manualmente (plato de las plantas) utilizando guadaña o machete. Por ningún motivo debe usarse el azadón, ya que este ocasiona graves daños al sistema radical y acelera el proceso de erosión del suelo en terrenos pendientes. El adecuado establecimiento de sombríos transitorios y cultivos de coberturas permite reducir al mínimo la incidencia de las malezas, en especial si las plantas de cacao han recibido un manejo adecuado y si las copas de los árboles están cerradas sobre las calles, ya que la sombra es el mejor control natural de malezas.

Nutrición

Las plantas de cacao se desarrollan mejor en suelos con pH de 5,5 a 6,5. Las propiedades químicas de estos suelos son determinantes, ya que el desarrollo y el crecimiento del material vegetal de cacao dependen de la disponibilidad de nutrientes. Dado que la planta absorbe nutrientes durante todo el año, los suelos cacaoteros tienen baja disponibilidad de elementos nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio, elementos secundarios y menores). Esta baja disponibilidad reduce la capacidad productiva del suelo, tiene repercusiones negativas en el rendimiento del cultivo y se acentúa durante las etapas de floración y formación de la mazorca.

Entre el 20% y el 50% de los suelos cacaoteros tienen un bajo contenido de materia orgánica (>3%), principal fuente natural de nitrógeno, y el porcentaje restante tiene de <2,0% a 2,9%. Por ende, la planta requiere de aplicaciones periódicas de nitrógeno, ya sea orgánico o de síntesis, en la fase de vivero y durante todo el ciclo productivo. También se debe considerar

la acidez del suelo, la cual se asocia a problemas de baja disponibilidad de calcio (<1 cmol/kg), magnesio (<3 cmol/kg), potasio (<0,15 cmol/kg) y fósforo (<15 ppm). La acidez del suelo también está asociada al bajo rendimiento en kg/ha del grano de cacao seco, lo cual afecta el consumo interno y la exportación al mercado internacional. Dependiendo de los resultados del análisis de suelo y el requerimiento nutricional del cultivo, es importante aportar nutrientes al mismo. Una adecuada fertilización no solo es indispensable para que la planta lleve a cabo sus funciones vitales, sino también para que exprese su potencial genético en términos de productividad y calidad.

Se considera que un suelo es fértil cuando tiene la capacidad de suministrar todos los nutrientes que necesitan las plantas en la cantidad, la forma y el momento adecuados. Un suelo ideal para el cultivo de cacao es el que proporciona adecuadamente aquellos nutrientes indispensables para su rentabilidad, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), en las cantidades adecuadas (MO >3%, K >0,40 cmol/kg, P >0,30 mg/kg, Mg >3,0 cmol/kg, y Ca 5,0 cmol/kg). Los cultivos de cacao en suelos con niveles inferiores a los referidos requieren aplicaciones adicionales de fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos.

La nutrición se puede definir como el suministro de los compuestos químicos que la planta requiere para su crecimiento y metabolismo, es decir, para su normal desarrollo. Un elemento se considera un nutriente esencial cuando en su ausencia o deficiencia la planta no puede completar su ciclo vital (la escasez de un determinado nutriente se llama *deficiencia específica*), y cuando dicho elemento se encuentra implicado directamente en la nutrición de la planta (por ejemplo, los metabolitos esenciales en una reacción enzimática). Según estos criterios, actualmente se considera que las plantas requieren 18 elementos esenciales, todos los cuales son indispensables para el desempeño de las funciones vitales.

De estos 18 elementos esenciales, tres de ellos, hidrógeno (H), carbono (C) y oxígeno (O), son tomados del agua o del CO_2 de la atmósfera y por ende no es necesario suministrarlos. Los otros quince elementos son tomados del suelo, y de estos, la planta requiere en grandes cantidades el N, P, K, S, Ca y Mg, razón por la cual estos seis se denominan *macronutrientes* o *elementos primarios*. De los nueve elementos restantes, el hierro (Fe), manganeso

(Mn), molibdeno (Mo), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn) son los más utilizados por la planta en muy pequeñas cantidades, por lo cual se denominan *micronutrientes* o *elementos secundarios* (tabla 8).

Tabla 8. Elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas

Elementos esenciales para todas las plantas			Elementos esenciales para algunas plantas
Extraídos en cantidades relativamente grandes		Extraídos en cantidades relativamente pequeñas	
Tomado del agua o del aire como CO_2	Tomados de los sólidos del suelo	Tomados de los sólidos del suelo	
Carbono (C)	Nitrógeno (N)	Hierro (Fe)	Cloro (Cl)
	Fósforo (P)	Manganeso (Mn)	
Hidrógeno (H)	Potasio (K)	Molibdeno (Mo)	Sodio (Na)
	Calcio (Ca)	Boro (B)	
Oxígeno (O)	Magnesio (Mg)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)
	Azufre (S)	Zinc (Zn)	

Fuente: Mehra & Farago (1994)

Al considerar la nutrición del cultivo se deben tener en cuenta factores como la interacción entre los nutrientes, su asimilación mediante el sistema radical y su transporte hasta las células de las hojas. También se deben considerar factores como la humedad del suelo y las condiciones fisiológicas de la planta. En las hojas tienen lugar los diferentes procesos metabólicos que permiten la síntesis y conversión de estos elementos esenciales en azúcares, carbohidratos, grasas y proteínas, los cuales se requieren para el crecimiento, desarrollo y producción de la cosecha de granos de cacao seco.

Un estudio de León et al. (2019), que relaciona el estado nutricional de los suelos cacaoteros con su productividad, identifica los valores óptimos para cultivar el cacao y tener una productividad adecuada. La tabla 9 se refieren los valores óptimos de los nutrientes presentes en el suelo.

Tabla 9. Niveles mínimos de las condiciones químicas de los suelos para el desarrollo de proyectos productivos de cacao en Colombia

Acidez (pH)	Materia orgánica (MO)	Fósforo (P)	Aluminio (Al)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)	CICE*	Saturación			
								Al	Ca	Mg	K
	%	µg/g	cmol/kg					%			
5,0	3,0	12	<1,5	4,0	1,0	0,2	6,0	<20	>60	>20	>5

***** Capacidad de intercambio catiónico efectivo
Fuente: León et al. (2019)

De los anteriores valores se concluye la importancia de determinar tanto la disponibilidad de los elementos principales, secundarios y menores del suelo, como el requerimiento y la respuesta de la planta a la disponibilidad de estos en forma de abonos orgánicos o de fertilizantes de síntesis química. El suministro de abonos y fertilizantes es la forma más común de alimentar la planta y es una estrategia para desarrollar cultivares sanos, vigorosos altamente productivos. Su aplicación y dosificación debe responder a un plan de fertilidad diseñado por un técnico y debe obedecer a análisis de laboratorio de las propiedades químicas del suelo.

La agricultura familiar en sistemas agroforestales con cacao

La agricultura familiar se define como una práctica de carácter agrícola en la que los productores dependen de la mano de obra familiar. Las explotaciones realizadas en el marco de esta práctica son limitadas y dan cuenta de una serie de dificultades relacionadas con el acceso a los recursos (financieros, de capital humano, de infraestructura). Adicionalmente, los ingresos derivan principalmente de la finca (Nehring et al., 2017).

Por lo anterior, los sistemas de producción que amplifiquen y potencialicen las condiciones limitadas de los productores cacaoteros son bienvenidos para mejorar la calidad de vida de los agricultores. Por ejemplo, si bien en los sistemas agroforestales sembrados con cacao este último es su principal producto, alrededor suyo se obtienen productos adicionales —como los alimentos básicos locales de excelente calidad nutricional— que se

comercializan en los mercados locales (Notaro et al. 2020). Se debe destacar que entre mayor sea la complejidad del sistema agroforestal mayores serán los beneficios.

El enfoque de cultivos intercalados en sistemas agroforestales asociados al cacao es una tecnología propuesta recientemente para aumentar la eficiencia del uso de la tierra en las producciones de cacao (Bai et al., 2016). De hecho, según la hipótesis de los sistemas agroforestales, la asociación de diferentes especies proporciona complementariedad en el uso de los recursos, además de servicios ecosistémicos, lo que puede generar beneficios directos en la productividad (Hatfield & Dold, 2019). Además, la posibilidad de mantener modelos de producción más diversos biológicamente trae consigo una serie de ventajas en cuanto a beneficios ecológicos, tales como la preservación de la fauna y, posiblemente, un mejor balance en la emisión de CO_2 debido al menor uso de fertilizantes (Koko et al., 2013).

Sin embargo, factores como la presión del desarrollo urbano, el desarrollo de otros cultivos comerciales, la caída de los precios del cacao y el desinterés de las nuevas generaciones han impactado negativamente la producción de cacao en México, especialmente en el estado de Tabasco (Zequeira et al., 2021). Este fenómeno también se presenta en otras regiones cacaoteras de América Latina. En consecuencia, se han presentado alternativas, como el uso de cultivos intercalados dentro del sistema de producción que producen bienes adicionales para el consumo y la venta en los mercados locales, lo cual aumenta la eficiencia del uso de la tierra (Somarriba & López, 2018).

Para probar la utilización de cultivos transitorios en el proceso de establecimiento de sistemas agroforestales con cacao se realizó una evaluación con dos cultivos que tradicionalmente se siembran: maíz amarillo y fríjol calima. Ambos forman parte del sistema de agricultura familiar y le permiten al productor tener flujo de caja mientras se establece el cultivo de cacao y las especies maderables llegan a su turno óptimo de corte. Para ello, se establecieron 5 diseños de siembra con diferentes números de plantas de estos cultivos transitorios. Estos diseños fueron:

1. Solo maíz con 15.625 plantas (T1).
2. Solo fríjol con 62.500 (T2).
3. Fríjol con 25.000 plantas y maíz con 15.625 plantas (T3).

4. Fríjol con 43.000 plantas junto a 8.000 plantas de maíz (T4).
5. Fríjol con 18.000 plantas junto a maíz con 13.000 plantas (T5).

Para estos cultivos se analizaron variables vegetativas y productivas con el objetivo de evaluar la importancia de cultivos intercalados dentro del área de establecimiento de los sistemas agroforestales y hacer un uso más eficiente de la tierra. En la tabla 10 y la figura 28 se muestra que en el maíz ICA V 109 las mejores producciones tuvieron lugar cuando se estableció en monocultivo (T1) (2.180 kg) y con las mismas densidades de siembra pero asociado a una densidad menor de fríjol (T3) (2.058 kg). Para el caso del fríjol, los mejores tratamientos fueron el monocultivo (T2) (1.139 kg) y el diseño con mayor densidad de siembra de fríjol en relación al maíz (T4) (810 kg) (tabla 11 y figura 27).

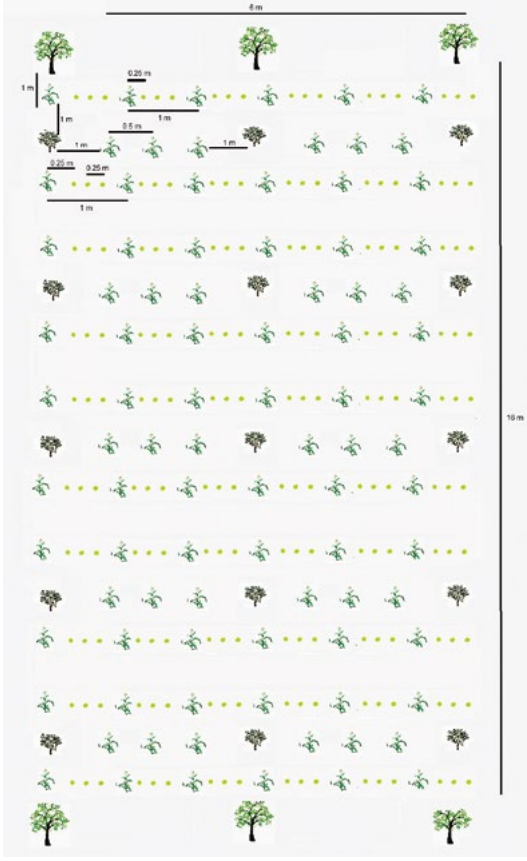


Figura 26.

Diseño de siembra de los cultivos intercalados de maíz y fríjol en un sistema agroforestal con cacao en Rionegro, Santander.

Tabla 10. Variables productivas de maíz ICA V 109 en ensayos de distancias de siembra de maíz y fríjol intercalados. Rionegro, Santander, Centro de Investigación La Suiza

Diseño	con el Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (mm)	Peso mazorca con amero (g)	Peso mazorca sin amero (g)	Número de granos por mazorca	Producción por planta (g)	Producción por mazorca (g)	Producción por ha (kg)
1	13,78	4,22	161,03	143,85	335,97	139,52	104,51	2179,89
3	14,66	4,17	144,72	132,85	333,17	131,72	103,65	2057,96
4	12,49	4,13	148,1	130,05	288,7	114,22	89,81	927,95
5	11,81	4,16	122,58	109,7	250,07	97,07	77,81	1213,35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Variables productivas de fríjol calima en ensayos de distancias de siembra de maíz y fríjol intercalados. Rionegro, Santander, Centro de Investigación La Suiza

Diseño	No de Vainas	No Semillas/ planta	Producción por planta (g)	Producción por ha (kg)
2	11,53±5,96	34,97±19,19	18,23±10,03	1139,12
3	8,6±3,64	24,2±12,7	12,66±6,61	316,48
4	12,6±8,76	35,47±27,47	18,52±14,36	810,07
5	9,93±5,46	28,13±17,73	14,67±9,25	274,99

Fuente: Elaboración propia

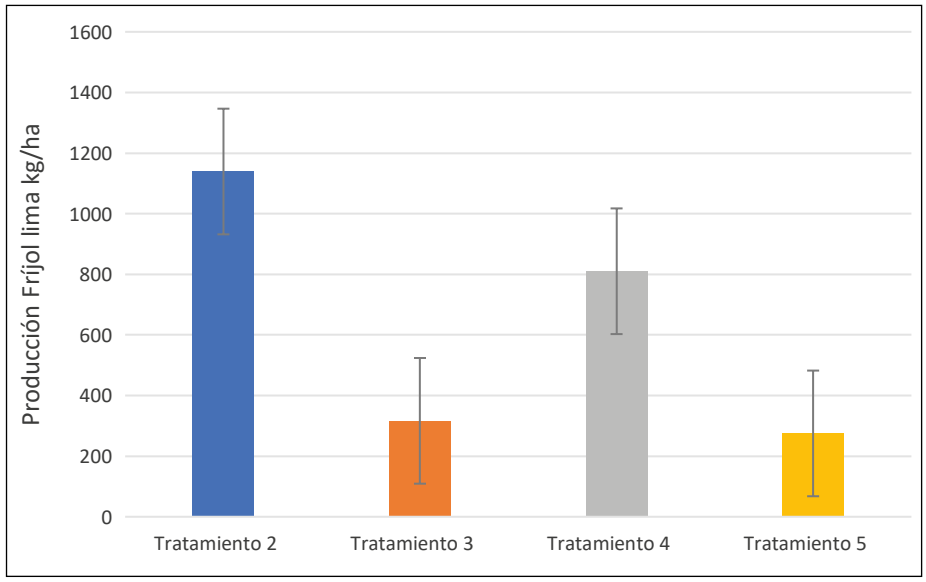


Figura 27.

Producción de fríjol calima en el ensayo de cultivos intercalados maíz-fríjol en el Centro de Investigación La Suiza.

Fuente: Elaboración propia

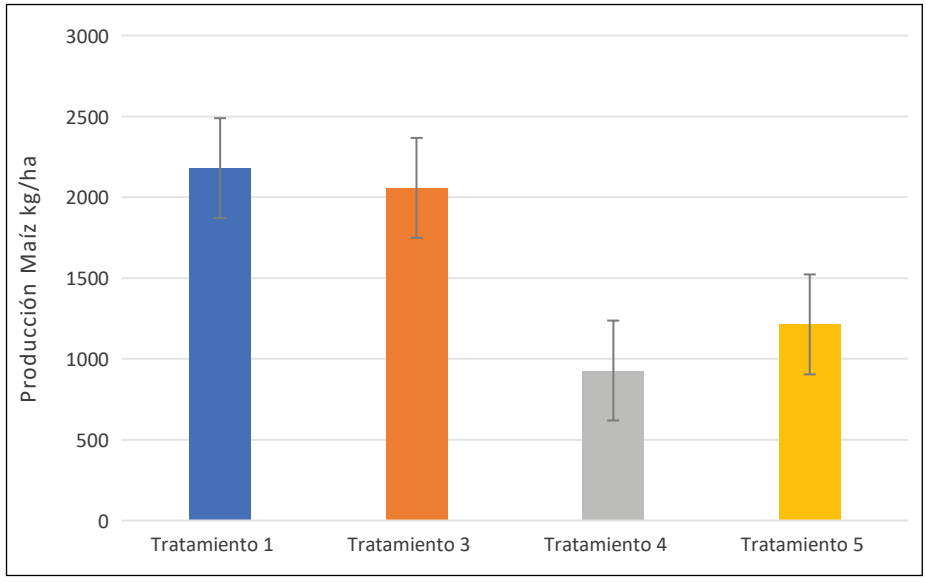


Figura 28.

Producción de ICA V-109 en el ensayo de cultivos intercalados maíz-fríjol en el Centro de Investigación La Suiza.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en los diseños se extrapolaron a una hectárea al igual que los costos de producción y se realizó un ejercicio económico, en el cual el cultivo de maíz tenía 2 ciclos de producción al año y el fríjol 3, con una duración de 3 años en el SAF de cacao.

El nivel de producción se estimó para cada diseño considerando el número de plantas sembradas y se estableció como supuesto que cada ciclo de producción era similar.

Tabla 12. Niveles de producción de maíz y fríjol por ciclo de producción

Diseño	Kg/ha de maíz por ciclo	Kg/ha de fríjol por ciclo
T1	2.180	
T2		1.139
T3	2.058	316
T4	928	810
T5	1.213	275

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación de los ingresos se consideraron los precios del año 2020 del fríjol y el maíz. De acuerdo con la información de Corabastos, el fríjol estaba a $5.400 por kg y el maíz a $1.420 por kg. Teniendo en cuenta la información anterior se estimaron los ingresos por diseño y los costos.

Tabla 13. Estimación de ingresos y costos para maíz y fríjol por ciclo de producción

Diseño	Ingresos por ciclo	Costos por ciclo
T1	$ 3.095.440	$ 2.300.400
T2	$ 6.151.244	$ 5.466.320
T3	$ 4.631.263	$ 3.989.120
T4	$ 5.692.068	$ 4.733.120
T5	$ 3.207.835	$ 3.301.300

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el 60% de los costos de producción en T3 corresponden al cultivo del fríjol. Para el caso de T4 y T5, el 70 y 50%, respectivamente, corresponden al fríjol, pues este último requiere más insumos que el

maíz. Los indicadores económicos utilizados para evaluar estos diseños son valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y relación costo-beneficio. Para estas estimaciones el Departamento Nacional de Planeación ha estimado el 9% como tasa social de descuento para los proyectos (Piraquive et al., 2018).

Tabla 14. Análisis económico de los diseños establecidos

	Tratamientos				
Indicadores	T1	T2	T3	T4	T5 VPN
VPN	$ 2.637.739	$ 1.156.813	-$ 88.215	$ 3.542.463	-$ 2.226.559
TIR	35%	13%	8%	22%	-5%
VAN (costos)	$ 11.248.153	$ 35.721.412	$ 23.443.068	$ 28.594.049	$ 18.857.802
VPN (ingresos)	$ 13.885.892	$ 36.878.225	$ 23.354.853	$ 32.136.513	$ 16.631.242
Costo/Beneficio	$ 1,23	$ 1,03	$ 1,00	$ 1,12	$ 0,88

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los indicadores económicos (tabla 14), se puede identificar que, si el productor quiere establecer solo fríjol o maíz, lo más recomendable es sembrar maíz dado que los costos de producción son más bajos que los del fríjol. Por cada peso invertido en el cultivo de maíz se reciben $1,23, en cambio, en el cultivo del fríjol solo obtienen $1,03 por cada peso invertido. En caso de sembrar juntos fríjol y maíz, el diseño recomendado es el del T4, en el cual se siembran 43.000 plantas de fríjol y 8.000 de maíz y se obtiene un VPN positivo, una TIR > tasa interna de oportunidad (TIO) de 9% y, por cada peso invertido, $1,12. Finalmente, los mejores diseños de acuerdo con los indicadores económicos son: T1 > T4 > T2.



Figura 29.

Sistema agroforestal con cacao intercalado con siembra de fríjol en Rionegro, Santander.

Foto: Laura Dayana Escobar



Figura 30.

Sistema agroforestal con cacao intercalado con siembra de maíz en Rionegro, Santander.

Foto: Laura Dayana Escobar

Sustratos esenciales para la producción de clones de cacao en etapa de vivero

Entre los aspectos más importantes que deben considerarse en el momento de establecer un vivero de cacao se encuentran el tipo y la calidad del sustrato a utilizar en el llenado de bolsas para la siembra y germinación de la semilla. Este sustrato es el principal factor de éxito o fracaso en la producción de plántulas en vivero. Por ello, hay que adecuar el sustrato utilizando tierra (60%), arena o un acondicionador físico como cascarilla de arroz (20%) y materia orgánica (Lombricompost) (20%), el cual no debe contener patógenos ni tener un pH inferior a 5,5 (de lo contrario, aplicar cal como correctivo) (Agudelo et al., 2021).

Esta mezcla proporciona soporte físico, protege y estimula el desarrollo del sistema radicular, retiene humedad, favorece el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera, y constituye el depósito de nutrientes de la plántula en sus primeros estados de desarrollo fenológico. El sustrato se puede enriquecer con la adición de microorganismos como las micorrizas, *Trichoderma* sp. o la bacteria *Rhizobium* sp. (Martínez, 2006).

Para la preparación del sustrato se debe emplear suelo franco, con buenos contenidos de arcilla, arena y limo. Es importante evitar suelos con propiedades indeseables de baja fertilidad, retención de humedad, adherencia y compactación. El suelo se debe tamizar bien para eliminar materiales extraños que afecten el crecimiento del sistema radical de la planta, tales como gravas, gravilla, tallos y raíces grandes. La materia orgánica que se emplee se debe compostar y mineralizar, con el fin de evitar la presencia de microorganismos patógenos y metales pesados. Por esto, se recomienda utilizar lombricompost o cualquier fertilizante orgánico que incluya en su producción un proceso de fermentación aeróbica. En la tabla 15 se presentan las propiedades físicas y químicas óptimas de un sustrato.

Se emplea arena de río, preferiblemente lavada y tamizada, con partículas de 0,5 a 2 mm de diámetro. El contenido de partículas medias (0,25 a 0,50 mm) y finas (0,05 a 0,25 mm) debe corresponder a una pequeña parte de toda la cantidad del sustrato, ya que se puede cementar con las partículas del suelo. La compactación del suelo provoca daños en su estructura y afecta su

grado de porosidad y compactación, con consecuencias impredecibles para el desarrollo y el crecimiento del sistema radicular de la plántula (Alvarado & Solano, 2002). Se considera un buen sustrato el que combina buena aireación con alta capacidad de retención de agua, buen drenaje, buen contenido de nutrientes, ausencia de agentes patógenos y fácil manejo. Por lo tanto, el sustrato debe tener al menos las siguientes características:

- *Mullido y permeable:* evita el encharcamiento y permite que las raíces respiren y se puedan desarrollar adecuadamente.
- *Capacidad de retención de agua:* conserva la humedad adecuada para incentivar el desarrollo de las raíces y mejorar la disponibilidad de nutrientes.
- *Estructura estable:* permite la distribución uniforme de nutrientes, lo cual facilita un desarrollo normal de la planta, y a su vez evita que el sustrato se descomponga o se apelmace.
- *Capacidad para almacenar e intercambiar nutrientes:* permite que las raíces tengan buena y constante disponibilidad de nutrientes.
- *Ausencia de patógenos y semillas de malezas:* reduce la competencia de plantas arvenses y las pérdidas por ataque de patógenos.
- *Grado de acidez adecuado (pH ligeramente ácido):* sus valores óptimos son de 5,5 a 6,5. Con ellos se evitan síntomas por deficiencias de N, K^{+1}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, por B con pH <5,0, o por bloqueo de la disponibilidad de Fe, P, Mn, Zn y Cu (Alvarado & Solano, 2002). Todos estos elementos son fundamentales para que la planta lleve a cabo procesos fisiológicos determinantes para su crecimiento, desarrollo y defensa natural contra insectos-plaga y microorganismos patógenos.
- *Con pH ajustado:* el pH del sustrato se corrige mediante la aplicación de cal dolomita o azufre. Para 1 m^3 de sustrato se recomienda emplear 1 kg de cal, con lo cual se alcanza un pH de 0,3 a 0,5 unidades/m^3. Los sustratos de origen orgánico presentan un alto poder de compensación de las variaciones de pH (Alvarado & Solano, 2002).
- *Materiales adecuados:* un buen sustrato está conformado por 50% de buen suelo, 25% de materia orgánica (preferiblemente lombricompost) y 25% de arena, para que tenga condiciones físicas, químicas y biológicas que aseguren el desarrollo y el crecimiento óptimo del sistema radicular de la planta, ya que, en vivero, este sistema crece en un volumen de tierra inferior al espacio que ocupará definitivamente en campo.

- *Desinfectado:* con el fin de evitar la presencia de microorganismos patógenos, nematodos y semillas de arvenses en la tierra (cernida) que forma parte del sustrato, se recomienda desinfectar este último mediante un proceso de solarización. Este proceso consiste en extender una capa de 20 a 30 cm de suelo húmedo, cubrirla con plástico negro calibre 6, mantenerla tapada de 30 a 45 días y luego mezclarla con los otros componentes del sustrato (Martínez, 2006).

Tabla 15. Propiedades físicas y químicas de un sustrato ideal para el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao en vivero

Parámetro	Unidad	Valor
Propiedades físicas del sustrato		
Textura del suelo	Franco o franco-arenoso	
Arena (tamaño de partícula)	mm	0,25-0,50
Densidad aparente	g/m^3	Menor a 0,75
Densidad real	g/m^3	1,45-2,65
Espacio poroso total en volumen	%	85
Capacidad de aireación	% en volumen	20-30
Agua fácilmente disponible	% en volumen	20-30
Agua de reserva	% en volumen	04-10
Capacidad de retención de agua	mL/L de sustrato	600-1.000
Capacidad de retención de agua	%	55-70
Propiedades químicas del sustrato		
pH		5,5-6,5
Materia orgánica	% en volumen	20-50
Capacidad de intercambio de cationes (CIC) ideal	meq/100 g de suelo	6-15
Conductividad Eléctrica (CE) apropiada para la mayoría de las plantas	mS/cm a 20 °C	2-3,5

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2022); Martínez & Roca (2011); Alvarado & Solano (2002)

Para la siembra de la semilla en vivero, se recomienda utilizar bolsas de polietileno con capacidad de 3 kg de sustrato. Cada bolsa debe tener 4 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto, con un espesor de 1 pulgada a cada lado del fuelle o, en su defecto, 7 pulgadas por 12 pulgadas sin fuelle. La bolsa se llena hasta la mitad y, a continuación, sobre una base plana y sólida, se oprime el sustrato con los dedos y se le dan golpes suaves con el fin

de eliminar los espacios de aire que quedan en su interior. Posteriormente, se llena la bolsa completamente y se repite el procedimiento de repisado hasta dejar el sustrato a un centímetro del borde superior de la bolsa.

Se recomienda realizar la siembra para patronaje con semillas de variedades IMC 67, PA 46, CAU 39 y PA 121, las cuales son tolerantes patógenos como *Ceratosystis* sp., organismo que afecta la raíz de la planta de cacao (Agudelo, et al., 2021).

Requerimientos nutricionales de las plántulas de cacao en vivero

En condiciones de vivero, las plántulas de cacao a veces presentan síntomas de deficiencias de elementos nutricionales como N, P, K, Ca, Mg, Fe y B, entre otros. Esto se debe a la utilización de sustratos de baja fertilidad o con desbalance en sus componentes, consecuencia de no hacer análisis químicos de laboratorio ni diseñar planes de fertilidad ajustados a los requerimientos.

Propiedades químicas del suelo para plantaciones de cacao

La fertilización es una práctica fundamental para obtener plantas sanas, vigorosas y productivas. Es importante hacer previamente un análisis de laboratorio de las propiedades químicas del suelo. Con este análisis se puede elaborar un plan de fertilización ajustado a los requerimientos de la etapa fisiológica de la planta y a la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Según Castilla et al. (2011), los suelos cacaoteros de Colombia tienen un pH promedio de 5,2, valor que se considera fuertemente ácido. Además, el 40% de estos suelos tienen altos contenidos de aluminio (Al), y el 76% presentan bajos contenidos de materia orgánica, lo cual se refleja tanto en la disponibilidad de nutrientes como en la baja producción del cultivo. De

igual forma, se evidencia que el 49% de los suelos presenta deficiencias de fósforo debido al grado de acidez, y el 85% tiene deficiencia de potasio, elemento que es uno de los más requeridos por el cultivo. En estas condiciones de baja fertilidad, los rendimientos de las plantaciones no pueden superar los 500 kg/ha (León et al. 2019).

Un plan de manejo de fertilidad del cultivo de cacao debe basarse en los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio de propiedades químicas del suelo, como pH o acidez intercambiable (Al + H), presencia de aluminio (Al), presencia de elementos mayores (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y azufre), presencia de elementos menores (hierro, cobre, manganeso, zinc y boro), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE). El análisis de suelos asegura la inversión del agricultor, ya que le permite conocer la cantidad exacta de fertilizante que necesita para obtener una excelente producción.

Análisis de suelos

Al tomar las muestras se deben excluir las áreas no representativas o aquellas zonas cercanas a instalaciones agrícolas (bodegas, módulos de compost, vivero, biofábricas, entre otras) y pecuarias (bebederos, saladeros, galpones, establos); a infraestructura (viviendas de la finca, talleres, parqueaderos, bodegas); a orillas de caminos, acequias, quebradas y ríos; a lotes recién fertilizados y a los que se les hayan aplicado enmiendas orgánicas (lombricompost y bovinaza), correctivos de acidez (cal agrícola, cal dolomita, óxido de calcio, yeso, tierra de diatomeas) o que estén recién quemados y a áreas pantanosas (Cuesta & Villaneda, 2005).

Un buen análisis de suelos requiere tener en cuenta lo siguiente: 1) tomar correctamente una muestra compuesta por varias submuestras tomadas al azar en todo el lote, 2) un laboratorio confiable y debidamente certificado, 3) un método eficiente de análisis químico, 4) una correlación entre los contenidos del suelo y las respuestas de los cultivos a los nutrientes aplicados, 5) diferentes clases y contenidos de nutrientes, 6) ensayos de fertilización, y 7) establecimiento de niveles de fertilización.

AGROSAVIA cuenta con Acreditación ISO/IEC 17025 (AGROSAVIA, 2022a) en los principales parámetros de suelo. De modo que, en convenio con Servientrega, permite al agricultor realizar el envío de muestras de suelo para realizar análisis químicos, físicos, de metales pesados, de elementos solubles y de salinidad. Para dicho fin, debe enviarse una bolsa con la muestra que incluya los datos principales del predio (tabla 16). Si en el municipio no hay un Servientrega que tenga convenio con AGROSAVIA, las muestras deben ser empacadas en una bolsa etiquetada tipo ziploc con los datos descritos en la tabla 16.

El muestreo de suelo para análisis químico se debe realizar considerando los siguientes pasos:

1. Verificar el tipo de terreno donde se va a extraer la muestra de suelo (relieve, color, textura, etc.).
2. Seleccionar los sitios del terreno donde se van a tomar las muestras de suelo. Se recomienda recorrerlo en forma de Z o zigzag, con un submuestreo de 20-30. En cada sitio seleccionado para la submuestra, se debe eliminar la cobertura vegetal de la superficie. Enseguida, se abre un hoyo entre 40 y 60 cm de profundidad debido a que es cultivo permanente (figura 31). En una de sus paredes, se toma una tajada del perfil de tierra de 3 a 5 cm de gruesa y del ancho de la pala, mediante un corte que se extienda hasta el fondo del hueco.
3. La submuestra se saca sin desintegrarla, para luego tomar de su centro una porción cuadrada de 10 × 10 cm, mediante el corte y eliminación de todos sus extremos con un elemento cortante (machete o cuchillo) seco y limpio.
4. La submuestra seleccionada se deposita en un balde limpio y seco. Esta operación se repite en distintos sitios del lote. Es importante usar guantes para mezclar, desmenuzar o triturar las submuestras o todo el suelo colectado y depositar el material en el balde. A continuación, se extrae el material vegetal (hojas, flores, frutos, tallos, rocas o piedras).
5. La muestra debe ser depositada en la bolsa de seguridad con un peso aproximado de 1 kg y ser traslada al lugar de recepción para el análisis (AGROSAVIA, 2022a).



Figura 31.

Apertura de hoyo (40-60 cm) para extracción de la submuestra.

Foto: Eliana Baez Daza

En plantaciones nuevas, el muestreo de suelo se hace antes de sembrar los sombríos transitorios (plátano, maíz) y permanentes (maderables, frutales), preferiblemente al inicio del periodo de lluvias. Esto permite hacer una aplicación y una incorporación oportuna de las enmiendas orgánicas y de los correctivos de acidez. Tales aplicaciones se hacen en mitad del periodo de precipitaciones, para que los sombríos se puedan sembrar unos dos meses antes de finalizar el invierno. Las muestras de suelo se deben tomar de manera periódica (cada dos años en plantaciones ya establecidas) con el fin de elaborar el plan de fertilización adecuado de acuerdo con los requerimientos nutricionales.

Tabla 16. Principales datos a tener en cuenta para el envío al laboratorio de química de suelos

Identificación de la muestra y tipo de analisis	Datos suministrados por el solicitante
Nombre de la muestra	
Tipo de análisis (pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), elementos mayores (N, P, K, Ca, Mg y S) y menores (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Al) y acidez intercambiable.	
Tipo de cultivo	
Departamento	
Municipio	
Vereda	
Finca	
Propietario	
Altura de la finca (m s. n. m.)	
Profundidad de toma de la muestra (cm)	
Topografía de la finca (plana, ondulada, pendiente)	
Drenaje de la finca (bueno, regular, malo)	
Tipo de riego (aspersión, goteo, manguera, inundación, etc.)	
Fertilizantes aplicados recientemente	
Producción del cultivo (buena, regular, mala)	

Fuente: Elaboración propia

Solicitud de análisis

Antes de solicitar un análisis de caracterización de suelos, es importante consultar la terminología usada por el laboratorio que prestará el servicio. Así se podrá contar con la información debida sobre fertilidad del suelo, indispensable para establecer o mantener el cultivo. El análisis de caracterización que se hace en el laboratorio de suelos de AGROSAVIA especifica en sus resultados la siguiente información: textura, pH, materia orgánica, fósforo disponible, cationes intercambiables (Ca, K, Mg y Al), capacidad de intercambio de cationes (CIC), elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn, B) y azufre. Se debe contar con la asistencia técnica de un ingeniero agrónomo, un ingeniero agrícola, un ingeniero agroforestal o un profesional especializado en edafología, para interpretar los resultados del análisis y con base en ellos obtener recomendaciones de fertilización.

Interpretación del análisis de suelos

El análisis de suelos suministra las bases para establecer las dosis de los correctivos de acidez (cal) y de los abonos orgánicos y los fertilizantes que requiere el desarrollo o la producción de la plantación. Las recomendaciones sobre correctivos y fertilizantes que deben aplicarse se extraen de tablas diseñadas especialmente para las regiones (Van Raij, 2011). Las tablas que se utilizan en el caso colombiano permiten determinar el nivel de nutrientes que requiere el suelo para mejorar su fertilidad (tabla 17).

Tabla 17. Valores para la interpretación de la fertilidad de suelos cacaoteros de Colombia

Clasificación	Resultados del análisis de suelos		
	Materia orgánica (MO) (%)	Fósforo (P) (ppm)	Potasio (K) (meq/100 g)
Bajo	<2	<15	<0,25
Medio	2 a 3	15-30	0,25-0,45

Fuente: ICA (1992)

Interpretación del pH o grado de acidez del suelo (reacción del suelo)

Esta interpretación se hace en el laboratorio con un potenciómetro y con ella se puede conocer el grado de acidez o alcalinidad de un suelo. El pH se interpreta de la siguiente manera (tabla 18) (Arévalo de Gauggel & Castellano, 2009):

- pH <5,5: Posible fitotoxicidad por aluminio y manganeso. Limitada disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- pH 5,5-7,0: Rango adecuado para el cultivo de cacao. Alta disponibilidad de nutrientes, que permite un buen desarrollo de la plantación.
- pH 7,4-8,0: Suelo medianamente alcalino, considerado alto para fines agronómicos. Los suelos con este rango de pH pueden presentar deficiencias de elementos como fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc.
- pH >8,0: Suelos fuertemente alcalinos. Pueden presentar escasa disponibilidad de calcio y magnesio y exceso de sodio, lo cual es tóxico para la planta.

Tabla 18. Rango para la interpretación del pH o grado de acidez de los suelos agrícolas

Rango	Interpretación
<4,4	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Moderadamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-8,0	Medianamente alcalino
8,5-9,0	Fuertemente alcalino
>10	Extremadamente alcalino

Fuente: Arévalo de Gauggel & Castellano (2009)

El pH del suelo es el parámetro de mayor efecto sobre la fertilización, por lo cual es un buen predictor de los rendimientos del cacao (Snoeck et al., 2016). El rango de pH óptimo para el cacao es de 5,7 a 6,5. Aunque existen reportes de tolerancia del cacao a suelos ácidos, por lo general un pH por debajo de este rango tiene un efecto perjudicial sobre la disponibilidad de los nutrientes. Puede generar toxicidad por aluminio (Snoeck et al., 2016), cuando el pH es inferior a 5,5. Esta toxicidad conduce a una baja disponibilidad de fosforo, dado que los iones Al^{+3} tienden a acumularse en las raíces e inhiben la absorción y translocación del P y el Ca hacia la parte aérea de la planta (Snoeck et al., 2016). También se puede afectar la absorción de otros nutrientes y reducir el crecimiento de las raíces (tabla 19).

Nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio son móviles en el floema, pero cuando su suministro es limitado, el tejido joven lo toma de las hojas viejas, las cuales muestran deficiencias de estos iones (figura 32), en contraste con las hojas jóvenes, que exhiben altas concentraciones. Por su parte, elementos como calcio, manganeso, hierro y boro son relativamente inmóviles en el floema debido a que no son translocados hacia los tejidos jóvenes cuando disminuye su suministro. Por lo tanto, los síntomas de sus deficiencias se aprecian en las hojas jóvenes, en contraste con el tejido maduro, que presenta altas concentraciones (Barbazán, 1998).

Nutrientes como azufre, cobre y zinc tienen movilidad variable, dado que permanecen en el tejido viejo cuando el suministro disminuye, pero se pueden mover rápidamente durante la senescencia de la planta. Cuando se presentan deficiencias, estos nutrientes se translocan muy lentamente del tejido viejo al joven y en este último se manifiestan los síntomas característicos de su escasez. Por lo tanto, se requiere de mucha experiencia para poder distinguir y diferenciar entre el síntoma visual de una deficiencia nutricional y el efecto o daño causado por una enfermedad, por insectos-plaga, por senescencia del tejido o por mala práctica de manejo del cultivo (Barbazán, 1998).

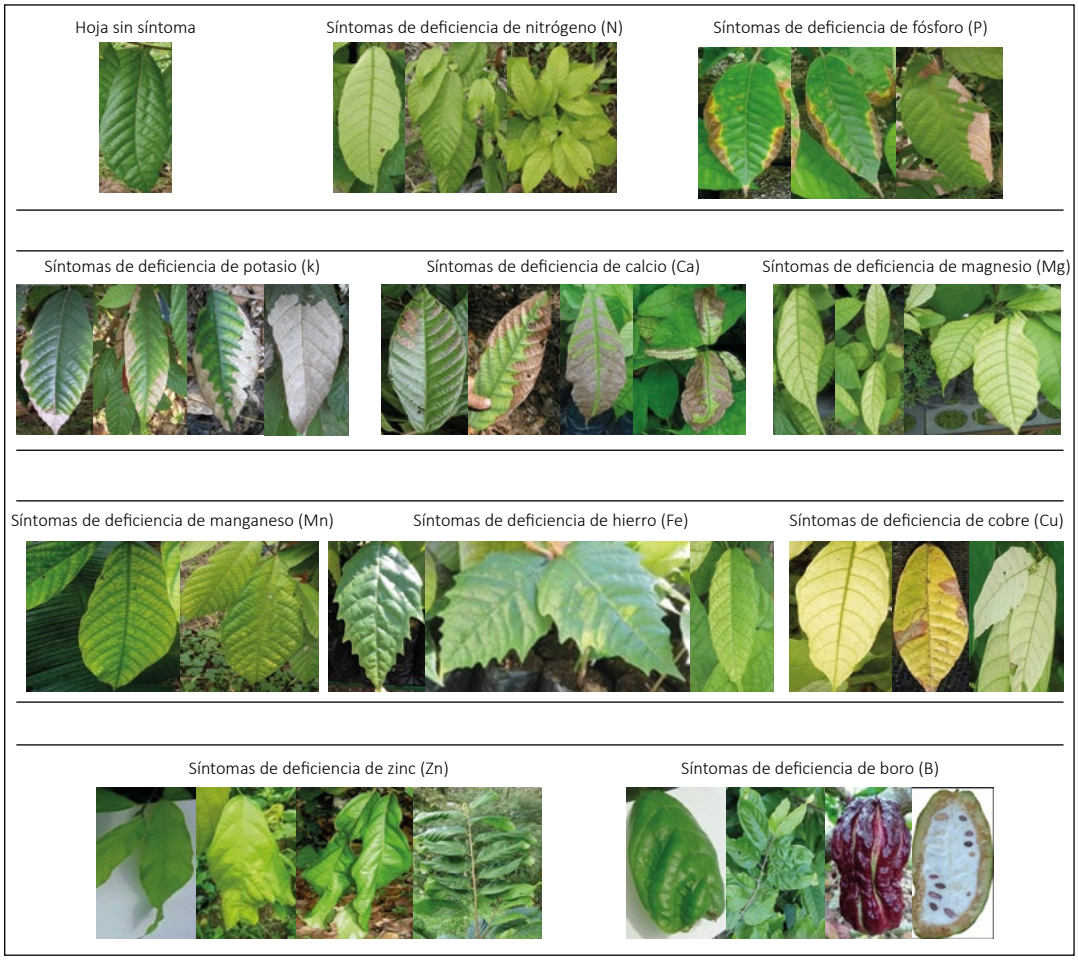


Figura 32.

Principales deficiencias de nutrientes (N, P , K, Ca, Mg, Mn, S, Fe, Cu, Zn, B) en tejido vegetal del cultivo de cacao.

Fotos: Gersain Antonio Rengifo Estrada

Tabla 19. Rangos óptimos de disponibilidad de nutrientes en suelos de acuerdo con el grado de acidez

Nutriente	pH óptimo del suelo	Otros factores que aumentan o disminuyen la disponibilidad
Nitrógeno (N)	6-8	Presencia de bacterias aumenta disponibilidad.
		Aireación del suelo mejora disponibilidad.
		Temperatura del suelo disminuye la disponibilidad.
		Alta humedad reduce disponibilidad.
		Presencia de materia orgánica aumenta disponibilidad.
Fósforo (P)	6,5-7,5	Al disminuye la disponibilidad.
		Ca, dependiendo del tipo de fertilizante, puede formar compuestos no asimilables.
		Presencia de microorganismos aumenta la disponbilidad.
		Presencia de materia orgánica aumenta disponibilidad.
		Humedad del suelo mejora disponibilidad
		Mayor cantidad de arcillas de tipo 2:1 aumenta disponibilidad.
Calcio (Ca)	>7	Precipitación pluvial excesiva disminuye disponibilidad.
		Lixiviación disminuye disponibilidad.
		Exceso de magnesio disminuye disponibilidad.
Magnesio (Mg)	7-8,5	Aireación del suelo mejora disponibilidad.
		Exceso de calcio disminuye disponibilidad.
		Exceso de potasio disminuye disponibilidad.
Boro (B)	5-7	Sequía disminuye disponibilidad.
		Exceso de cal disminuye disponibilidad.
		Suelos arenosos disminuye disponibilidad.
		Exceso de potasio disminuye disponibilidad.
		Exceso de Cu, Fe y Zn disminuye disponibilidad.
Hierro (Fe)	<6	Alto contenido de cal disminuye disponibilidad.
		Niveles altos de Mg, Cu y Zn disminuyen disponibilidad.
		Niveles elevados de nitratos y fosfatos disminuyen disponibilidad.
Zinc (Zn)	5-7	Exceso de fosfato disminuyen disponibilidad.
		Contenido de materia orgánica aumentan disponibilidad.
		Presencia de microorganismos aumentan disponibilidad.
Azufre (S)	>6	Presencia de microorganismos aumentan disponibilidad.
		Puede lavarse en suelos arenosos

Fuente: Adaptado de Lora (2001)

Fertilización en la etapa productiva de la plantación

La fertilización del cultivo se justifica cuando los factores ambientales y tecnológicos satisfacen la demanda de la planta. Las recomendaciones de abonos orgánicos y de fertilizantes de síntesis química, por más ajustadas al requerimiento del cultivo y a los resultados del análisis de suelos, no resuelven otros problemas derivados del manejo de insectos plaga, enfermedades, prácticas de renovación del cultivo, podas, desyerbes y de las características, cualidades y prácticas de conservación de la plantación. Tampoco solucionan los problemas que se desprenden de la época y de la forma de aplicar los fertilizantes, los abonos y las enmiendas para corregir el grado de acidez del suelo.

Amores (2008) reporta incrementos en la producción de hasta el doble o el triple cuando se implementan estrategias de mejoramiento tecnológico. Estas estrategias incluyen el uso de variedades mejoradas, el suministro de agua, las podas sanitarias y planes de fertilización ajustados a la demanda del cultivo. Aunque en la etapa productiva, las plantas de cacao necesitan una mayor cantidad de todos los elementos nutricionales, el elemento de mayor demanda es el potasio, seguido del nitrógeno, el calcio, el fósforo, el magnesio y el azufre. Las dosis de estos nutrientes se deben aplicar de forma fraccionada, de tres a cuatro veces al año (tabla 20).

Tabla 20. Absorción de nutrientes según la etapa de desarrollo

Fase	Edad (meses)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
		kg/ha						
Vivero	3-6	2,4	0,6	2,4	2,3	1,1	0,04	0,01
Establecimiento	28	136	14	151	113	47	3,9	0,5
Inicio de producción	39	212	23	321	140	71	7,1	0,9
Producción	50-87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

Fuente: Thong (1980), citado por Souza Júnior et al. (2018)

La mayor parte de los suelos de la zona cacaotera de Santander no tienen capacidad de suministrar los nutrientes en las cantidades requeridas por las plantas. Por ende, para no bajar el nivel de fertilidad ni agotar las reservas

de nutrientes, estos se deben reintegrar al suelo mediante una aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes de síntesis química ajustada a los requerimientos de las plantas y a las pérdidas por extracción (tabla 21). Por medio del ciclaje de nutrientes, parte de los nutrientes empleados por la planta retornan al suelo mediante la descomposición de hojas, tallos, flores, frutos y los residuos de poda y cacota.

Tabla 21. Contenido nutricional en partes vegetativas de la planta de cacao

Parte vegetal analizada	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	kg/ha						g/ha				
Almendra	15,80	7,30	8,90	3,60	3,70	1,20	50,30	16,80	17,60	33,80	20,60
Cacota	9,10	2,50	39,40	8,70	4,30	1,50	32,50	8,80	58,70	35,90	28,80
Cascarilla	0,40	0,10	0,70	0,20	0,10	0,00	3,50	0,40	0,40	0,70	0,90
Total	25,30	9,90	49,0	12,50	8,10	2,70	86,30	26,00	76,70	70,40	50,30

Fuente: Amores (2008)

La extracción de nutrientes en el cacao varía mucho según los materiales genéticos (Rosas et al., 2019; Souza Júnior et al., 2018; Puentes et al., 2014) y entre las distintas localidades (Souza Júnior et al., 2018). El ensayo efectuado por Puentes et al. (2014) en Miranda (Cauca), en el que se evaluaron cuatro materiales, mostró una respuesta diferenciada a la fertilización y distintos niveles de extracción de nutrientes (tabla 22), lo cual sugiere que cada variedad necesita una fertilización específica.

Tabla 22. Extracción de nutrientes (kg/t de grano seco) en clones de cacao con aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio

Clon	N	P	K
CCN 51	21,88	4,72	11,11
ICS 95	23,57	6,00	15,95
TSH 565	20,60	5,01	10,76
ICS 39	23,10	4,95	13,58

Fuente: Puentes (2014)

Un aspecto fundamental del manejo agronómico del cacao está relacionado tanto con la calidad nutricional del suelo como con los requerimientos nutricionales del cultivo. Pese a su relevancia, en Colombia existen pocos estudios de investigación sobre la interacción entre condiciones edáficas y

demandas nutricionales del cultivo que permitan generar recomendaciones dirigidas a aumentar la productividad. La falta de tecnificación se refleja en la ausencia de labores culturales como aplicación de abonos orgánicos, correctivos de acidez y fertilizantes de síntesis química; manejo fitosanitario de insectos-plaga y enfermedades; siembras; renovación o rehabilitación con clones mejorados en plantaciones improductivas (en el 99% de las fincas) (Espinal et al., 2005). En la actualidad, se estima que el 15% de las plantaciones se han establecido con clones seleccionados por producción, tolerancia o resistencia fitosanitaria (Fedecacao, 2008).

Recomendaciones para la aplicación del fertilizante o abono

Para una alta producción en cacao se requiere una buena nutrición de la planta. A continuación, se sugieren ciertos aspectos básicos que deben tenerse en cuenta en la fertilización.

Siembras nuevas

Antes de realizar la siembra, se cavan hoyos de 40 × 40 × 40 cm (de hondo, ancho y largo) y se deposita la mezcla de abono y cal (200 g de cal dolomita). Se deben dejar abiertos durante mínimo un mes para que estas sustancias mineralicen el suelo y se realice el proceso de corrección de acidez. Pasado el mes, se procede a sembrar y la tierra extraída de los primeros 20 cm (horizonte rico en nutrientes), se debe mezclar con mínimo 1 kg de abono orgánico bien compostado (compost, lombricompost).

Cultivos ya establecidos

Para la aplicación de fertilizantes al cultivo, se debe tener en cuenta que la mayor concentración de raíces es superficiales, finas y se encuentran generalmente en la zona de goteo del perímetro de la copa. El borde

externo de esta área se encuentra a una distancia del tallo de 0,50 a 1,50 m, dependiendo del estado de crecimiento y desarrollo de la planta, y es en este espacio donde se deben aplicar los fertilizantes.

En lotes de topografía plana o ligeramente ondulada, se recomienda aplicar los fertilizantes de síntesis química, los abonos orgánicos y las enmiendas de acidez en forma de corona alrededor del tallo, cerca de la zona de goteo de las ramas de la planta. En suelos de ladera, las aplicaciones se deben hacer en forma de media corona, en la parte superior de la pendiente. Los abonos se aplican debajo de la copa y alrededor de la planta después de retirar la hojarasca, la cual se utiliza posteriormente para tapar el producto.

Épocas de aplicación

El éxito de la fertilización depende de la época en la que se aplique (invierno o verano), del tipo de fertilizantes (edáfico o foliar), abonos y enmiendas utilizadas, y de que el programa se haga efectivo justo en el momento de mayor demanda del nutriente del cultivo. Algunas propiedades físicas del suelo, como textura, densidad aparente, porosidad y grado de compactación limitan la disponibilidad de nutrientes para la planta. La fertilización también se ve limitada cuando el suelo es arenoso, cuando tiene mayor cantidad de macroporos, ya que esto lo hace permeable en exceso, sobre todo en condiciones de alta precipitación, y favorece la pérdida del fertilizante por lavado y lixiviación. Este tipo de suelos se corrigen dosificando las cantidades de fertilizantes y aplicando materia orgánica. Los suelos arcillosos, debido a su mayor cantidad de microporos, retienen agua en invierno, y en verano se endurecen y se agrietan, con lo cual quiebran los pelos radiculares y dificultan la absorción de nutrientes. Un buen suelo es el que tiene una textura franca, el que es permeable y cuenta con un buen drenaje, pero también el que tiene poder de retención de agua, todo lo cual garantiza la buena nutrición de la planta de cacao.

La edad del cultivo debe tenerse en cuenta para elegir el momento de fertilizar, la recomendación es suministrar los productos según los requerimientos nutricionales de las distintas fases del cultivo, que son las siguientes: a) trasplante, b) crecimiento del cultivo e inicio de la floración (18 meses después de la siembra), c) establecimiento de la plantación

(empieza unos 28 meses después de la siembra), d) inicio de la producción (39 meses después de la siembra), y d) plena producción (empieza de 50 a 87 meses después de la siembra) (tabla 20).

Las épocas de poda también deben considerarse ya que estas se llevan a cabo a principios del invierno y si no se cuenta con un sistema de riego, la fertilización debe hacerse un mes después. Con esto se busca que los fertilizantes encuentren una buena condición de humedad en el suelo aumentando la asimilación de nutrientes. Así, además, se incentivan los procesos fisiológicos responsables del crecimiento, el desarrollo vegetativo y la floración, que preparan al árbol para expresar su máximo potencial productivo. Las dosis para cacaotales en producción deben dosificarse en dos o tres aplicaciones anuales y ajustarse a temporadas de lluvia, en el primero y el segundo semestre de acuerdo con las recomendaciones técnicas de análisis de suelo.

A manera de guía para la fertilización, la tabla 23 indica los síntomas de la planta de acuerdo con las deficiencias nutricionales.

Tabla 23. Síntomas de deficiencias nutricionales en la planta de cacao

Síntoma principal	Síntomas específicos	Elemento
Clorosis general de las hojas	Color verde pálido y clorosis en hojas nuevas y viejas, reducción del tamaño de hojas y planta, hojas gruesas y duras, necrosis desde la extremidad del limbo en casos extremos.	Nitrógeno
Clorosis hojas nuevas	Clorosis en hojas nuevas, reducción de tamaño y ancho de las hojas, muchas veces nervadura más pálida que el limbo (síntoma muy raro en condiciones de campo).	Azufre
Clorosis hojas nuevas	Clorosis solamente en hojas nuevas, color amarillo vivo con nervaduras verdes, blanqueamiento completo en casos avanzados.	Hierro
Clorosis hojas viejas	Clorosis en hojas viejas, generalmente acompañada de necrosis que forma islas de tejidos muertos entre las nervaduras, algunas veces se produce necrosis marginal.	Magnesio
Clorosis internerval	Clorosis en hojas nuevas limitada por una faja situada entre las nervaduras, con coloración normal en nervaduras y sitios adyacentes.	Manganeso
Clorosis marginal en hojas viejas	Necrosis estrictamente marginal, principalmente en hojas viejas. Clorosis marginal de duración efímera consecuencia de la necrosis, con división nítida entre el tejido necrótico y el vivo, característica que distingue esta deficiencia de la quema marginal por falta de agua (deficiencia común en suelos ácidos).	Potasio

(continúa)

(continuación tabla 23)

Síntoma principal	Síntomas específicos	Elemento
Necrosis en hojas viejas	Necrosis en hojas más nuevas que forma grandes islas entre las nervaduras, dispuestas simétricamente a lo largo de la nervadura central, con caída prematura de hojas, aunque esto último raramente se observa en condiciones de campo.	Calcio
Hojas nuevas con reducción de tamaño	Hojas nuevas de tamaño reducido con una acentuada curvatura convexa debida al aparente empuje de la nervadura central, que forman una verdadera espiral. Limbo endurecido y quebradizo y necrosis terminal en hojas más viejas.	Boro
Hojas nuevas onduladas	Hojas nuevas con distorsiones muy estrechas en relación con la longitud, márgenes frecuentemente onduladas y limbo muchas veces en forma de hoz.	Zinc

Fuente: Adaptado de Chepote et al. (2013)

CAPÍTULO 8.

Manejo fitosanitario

En el mundo, un amplio rango de plagas y enfermedades afectan el cultivo de cacao. Se estima que causan entre el 30% y el 40% de pérdidas de la producción global (ICCO, 2018). En 2016, esto significó una pérdida aproximada de 2,33 millones a 2,98 millones de t de grano seco. Sin embargo, son las enfermedades el factor biótico más importante y limitante, comparado con el daño generado por el ataque de insectos-plaga y vertebrados (Ploetz, 2016).

En Colombia, las enfermedades responsables del mayor daño son la monilia y la escoba de bruja, causadas por los hongos *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* respectivamente. Otras enfermedades causantes de serios problemas son la mazorca negra (*Phytophthora* sp.), las llagas radicales (*Rosellinia* sp.) y el mal del machete (*Ceratocystis* sp.). El insecto-plaga conocido como carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) también tiene un efecto importante en la producción (tabla 24).

Tabla 24. Principales problemas sanitarios del cultivo de cacao en Colombia

Nombre del problema sanitario	Nombre científico del agente causal	Pérdida potencial de la producción (%)
Monilia	*Moniliophthora roreri*	40-100
Escoba de bruja	*Moniliophthora perniciosa*	30
Mazorca negra	*Phytophthora* sp.	10
Llagas radicales	*Rosellinia* sp.	-
Mal del machete	*Ceratocystis* sp.	-
Carmenta negra	*Carmenta foraseminis*	-

Fuente: Jaimes & Aranzazu (2010)

Monilia

La monilia, enfermedad causada por *Moniliophthora roreri*, se encuentra dentro de los principales desafíos para la cacaocultura en Colombia. *M. roreri* es un hongo hemibiotrófico especializado en los frutos, y afecta todos sus estados de desarrollo. Sin embargo, la susceptibilidad de los frutos es inversamente proporcional a la edad, es decir, son más susceptibles los frutos más jóvenes (Merchán, 1981; Jaimes & Aranzazu, 2010). Éste patógeno se considera dos veces más destructivo que *Phytopthora* sp. y de más difícil control que *Moniliophthora perniciosa*. El potencial de daño de esta enfermedad es enorme, puede causar perdidas entre el 25% a 100% de la producción. El nivel de daño depende del manejo agronómico y sanitario de la plantación, los materiales genéticos establecidos y las condiciones ambientes (Jaimes et al., 2019).

Síntomas y signos

Una vez penetra en el fruto, el hongo se desarrolla en el interior de las células del parénquima cortical. En frutos de cacao menores a 60 días, forma protuberancias o deformaciones del tejido vegetal conocidas como *gibas* (figuras 33a y 33b) y, en frutos mayores a 60 días, da lugar a puntos aceitosos dispersos o concentrados en el tejido externo (figura 33c). Estos primeros síntomas, sin embargo, no siempre son observables. Si se practica un corte en la corteza de los frutos con puntos aceitosos, se encontrarán áreas necróticas de intensidad variable (figura 33d) (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Otro posible síntoma, previo a la necrosis externa, es la maduración irregular y prematura de los frutos, con islas verdes (figuras 33e y 33f) o amarillas en la superficie (figura 33g). La necrosis externa se presenta en estados avanzados de la infección en forma de manchas oscuras e irregulares, de color chocolate o castaño oscuro (figura 33h), que se dispersan gradualmente hasta cubrir todo el tejido (figura 33i). Los frutos con infecciones avanzadas presentan áreas necrosada restringidas y deprimidas. Cuando se practican cortes transversales en los frutos enfermos, se observa en el interior una pudrición acuosa, de consistencia gelatinosa, a menudo con granos desorganizados y de difícil remoción (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Los primeros signos serios de la enfermedad se presentan de tres a siete días después de la aparición de la mancha, en forma de un micelio blanco o crema que cubre gradualmente el área necrosada. Posteriormente, se forma una masa densa polvorienta, de color crema o ceniza, que está constituida por esporas de *M. roreri* y que va adquiriendo un color café (figura 33j). Cabe aclarar que los frutos de cacao atacados por *M. roreri* presentan síntomas variables, que dependen de la edad del fruto y del material vegetal (Jaimes & Aranzazu, 2010). Por esto, los frutos afectados por monilia con ausencia de esporulación difícilmente se pueden diferenciar de los frutos atacados por *Moniliophthora perniciosa* (Evans, 1981).

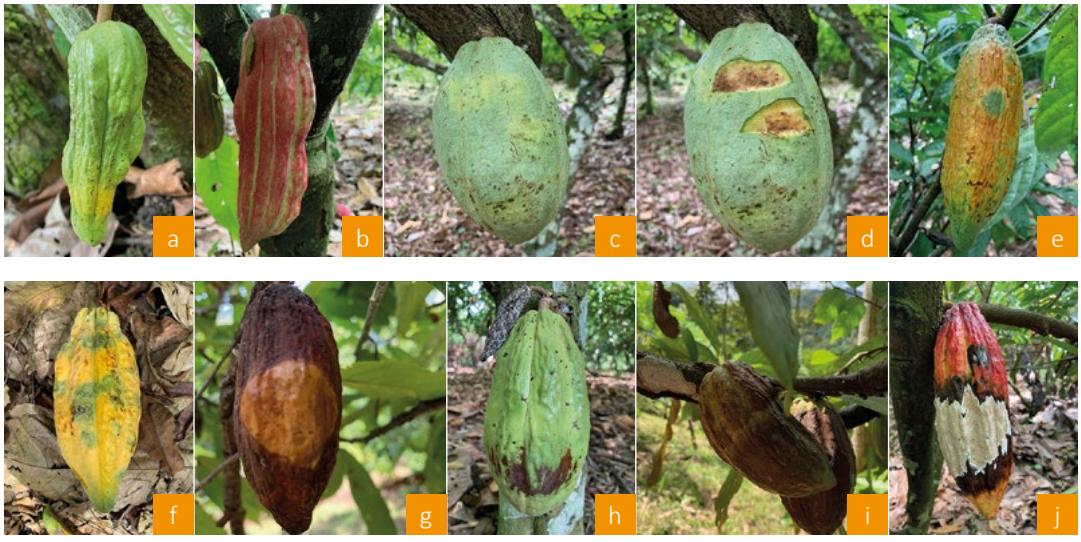


Figura 33.

Síntomas y signos de monilia. a. Gibas en material rojo; b. Gibas en material verde; c. Puntos aceitosos; d. Puntos necróticos internos; e. Isla amarilla en fruto verde; f. Islas verdes en fruto maduro; g., Isla amarilla; h. Inicio de configuración de la mancha; i. Mancha extendida en la mayor parte del fruto; j. Micelio blanco y masa densa con esporas color café sobre el área necrosada.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Ciclo de la enfermedad

El clima y la cantidad de esporas de *M. roreri* determinan la duración del ciclo de la monilia. Los periodos críticos para la incidencia de la enfermedad se encuentran asociados a la época de mayor cuajamiento de frutos. El ciclo inicia en la época seca o periodos del día con humedades relativas bajas que presentan condiciones para que se presente una mayor dispersión de esporas. La infección empieza en las condiciones de alta humedad relativa que se presentan en horas de la noche y el periodo de rocío. Sin embargo, un factor adicional que favorece el desarrollo de la enfermedad son las lluvias, que en Santander se presentan durante todo el año, lo cual crea condiciones favorables para que la enfermedad se desarrolle en cualquier época. Los primeros síntomas de la monilia (gibas o puntos aceitosos) se presentan 22 días después de la infección y las manchas se presentan entre 50 a 70 días después de la infección. El micelio se forma sobre la mancha tres o cuatro días después de que esta se desarrolla. En Santander, el ciclo de la enfermedad en materiales susceptibles tiene una duración de 55 a 65 días y en materiales resistentes de 65 a 81 días (figura 34) (Jaimes & Aránzazu, 2010).

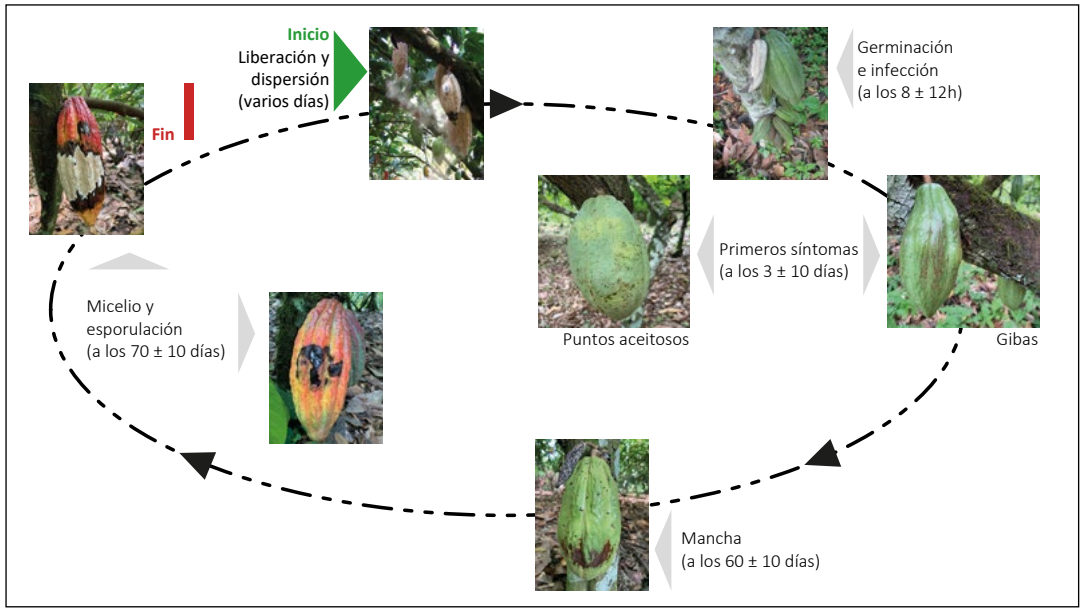


Figura 34.

Ciclo de la monilia.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez. Fuente: Elaboración propia

Control de la monilia

Comúnmente, la medida de control adoptada por los cacaocultores es la remoción de las fuentes primarias del inóculo. Esta práctica consiste en retirar los frutos con síntomas tempranos de manera previa al desarrollo de la mancha o la necrosis del tejido con una frecuencia semanal en época de fructificación. En épocas de baja fructificación (que se presentan en el periodo seco de mayor duración en el año) se pueden realizar remociones con frecuencia quincenal (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Sin embargo, la definición de las estrategias de manejo de la monilia debe hacerse desde la selección de los materiales genéticos e, incluso, desde el diseño del sistema agroforestal. En condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad, como zonas bajas del lote y terrenos próximos a cuerpos de agua donde la humedad relativa sea mayor a 80%, se deben establecer materiales resistentes a la enfermedad. Entre los materiales genéticos de cacao con resistencia a la monilia que cuentan con registro ICA se tienen el FEC 2 y el TCS 06. También se pueden seleccionar materiales con tolerancia como el TCS 19.

En cuanto al diseño del sistema agroforestal, se deben establecer plantaciones con distribuciones homogéneas, con una densidad y distribución adecuadas, de tal forma que permitan la entrada de aire a la plantación y, por ende, la reducción de la humedad relativa. Por tal motivo, los profesionales y científicos de AGROSAVIA recomiendan establecer el diseño agroforestal con cacao y abarco (figura 25).

Para un desarrollo adecuado de la plantación, se debe realizar un buen manejo agronómico. La poda, tanto de los árboles de sombrío como de los árboles de cacao, es la primera práctica a realizar dentro del ciclo productivo. Dado que en Santander se tienen dos ciclos productivos asociados a la distribución bimodal de las precipitaciones, esta práctica se debe realizar mínimo dos veces al año, hacia el final de las épocas secas. Así, la primera poda y la de mayor intensidad debe hacerse entre febrero y marzo y la segunda poda de mantenimiento entre julio y agosto (figura 10).

Con la poda de los árboles de sombrío se debe mantener un nivel de sombrío de 50% en plantaciones jóvenes hasta los 4 años y, posteriormente, se debe reducir a un nivel de sombrío de 25%. Esta poda de sombríos también permite la regulación de la temperatura y humedad relativa dentro de la plantación. Con la poda de los árboles de cacao, se debe reducir el autosombreamiento y mantener una altura de las plantas de cacao que no supere los 3,5 m. Seguido a la poda de los árboles de sombrío y los arboles de cacao y con el inicio de las precipitaciones, se debe fertilizar el cultivo de acuerdo con los requerimientos nutricionales para mantener una buena productividad. Esta práctica favorecerá la formación de frutos.

Durante el periodo de mayor cuajamiento y desarrollo de frutos y con una frecuencia semanal, se deben remover frutos enfermos con síntomas tempranos (figura 10). Esto, con el fin de evitar que los frutos lleguen a mancha y rápidamente se esporulen, ya que la dispersión de las esporas contribuye al desarrollo de nuevos ciclos de la enfermedad. La correcta implementación de la remoción de frutos enfermos con síntomas tempranos ayuda a reducir la cantidad de inóculo en la plantación. En el periodo de final de cosecha y el periodo seco, la remoción de frutos enfermos se puede realizar con una frecuencia quincenal. En Santander, estas épocas se presentan entre junio y agosto y entre noviembre y enero, aunque los meses pueden variar (figura 10).

La remoción de frutos enfermos es una práctica que se debe realizar en las primeras horas del día, ya que la humedad relativa alta (mayor a 90%) reduce la velocidad de dispersión de las esporas en la plantación. Los frutos removidos se deben dejar en el suelo y cubrir con la hojarasca para facilitar los procesos de descomposición del tejido enfermo. En el caso de plantaciones donde se presente la enfermedad por primera vez, los frutos deben retirarse y enterrarse. En el caso de plantaciones con alta incidencia y difícil control de la enfermedad, una vez que se realice el diagnóstico de la plantación se debe proceder al cambio de copas de los árboles.

En cultivos empresariales o con baja disponibilidad de mano de obra donde se requiera ampliar las frecuencias de remoción de frutos, el manejo de la monilia se puede complementar con aspersiones de oxicloruro de cobre, en dosis de 2 a 3 kg/ha del producto comercial y con una frecuencia de

tres semanas durante tres meses. Es importante mencionar que al ser un producto protectante, su control es preventivo, por lo cual su uso se debe iniciar en la época de mayor floración y cuajamiento de frutos.

Escoba de bruja

La escoba de bruja, al igual que la monilia, causan pérdidas en la producción de cacao mayores al 30%, las cuales ascienden a 100% cuando se hace un manejo inadecuado de la plantación y el clima favorece el desarrollo de la enfermedad. La enfermedad en cuestión es causada por el hongo hemibiotrófico *Moniliophthora perniciosa* y ataca tejidos de la planta con crecimiento activo como yemas terminales y laterales, cojines florales y frutos de cacao. Aunque con las podas se puede controlar, una alta incidencia de la enfermedad compromete la productividad de la planta, ya que el patógeno influye sobre la distribución de los nutrientes en sus tejidos y bajo ataques severos puede causar la muerte de estos árboles. Para su control se deben implementar las mejores estrategias de manejo agronómico y sanitario de las plantaciones, así como el uso de materiales con resistencia a la enfermedad en condiciones ambientales que propicien su desarrollo (Jaimes et al., 2022).

Síntomas y signos

Una vez *M. perniciosa* penetra los tejidos vegetales en crecimiento activo o meristemáticos, tales como lanzamientos y cojines foliares, se presentan síntomas como superbrotación o engrosamiento. Los síntomas en ramas y brotes se caracterizan por hinchazones acompañadas de pequeños brotes próximos unos de otros, con hojas grandes curvadas y retorcidas (figura 35b). Estos síntomas son los que dan la apariencia de escoba de bruja, de la cual proviene el nombre de la enfermedad (Jaimes & Aránzazu, 2010). Las escobas se presentan en formas y tamaños variables, y pueden duplicar o triplicar el tamaño de una rama sana (figura 35a) (Sodré, 2017).



Figura 35.

Síntomas de escoba verde (previos a la necrosis del tejido) ocasionados por *M. perniciosa*. a. En ramas laterales; b. En brotes terminales.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

En los cojines florales infectados también se forman tejidos con apariencia de escobas, así como flores anormales (figura 36a). En las escobas en cojín pueden formarse frutos, los cuales son partenocárpicos y en ocasiones tienen forma de zanahoria o chirimoya (figura 36b).

Los frutos son susceptibles a la infección del patógeno en cualquier etapa de desarrollo. Los frutos infectados en edad temprana detienen su crecimiento y presentan muerte del tejido (necrosis). Los frutos de uno a cuatro meses de edad se deforman y se hinchan y en ocasiones también presentan manchas o áreas necróticas, por lo general de un color más oscuro que las causadas por la monilia. La necrosis de los frutos termina en una pudrición acuosa y con pérdida total de los granos de cacao. Los frutos infectados de más de cuatro meses experimentan una pérdida parcial de los granos (Meinhardt et al., 2008; Jaimes & Aranzazu, 2010).

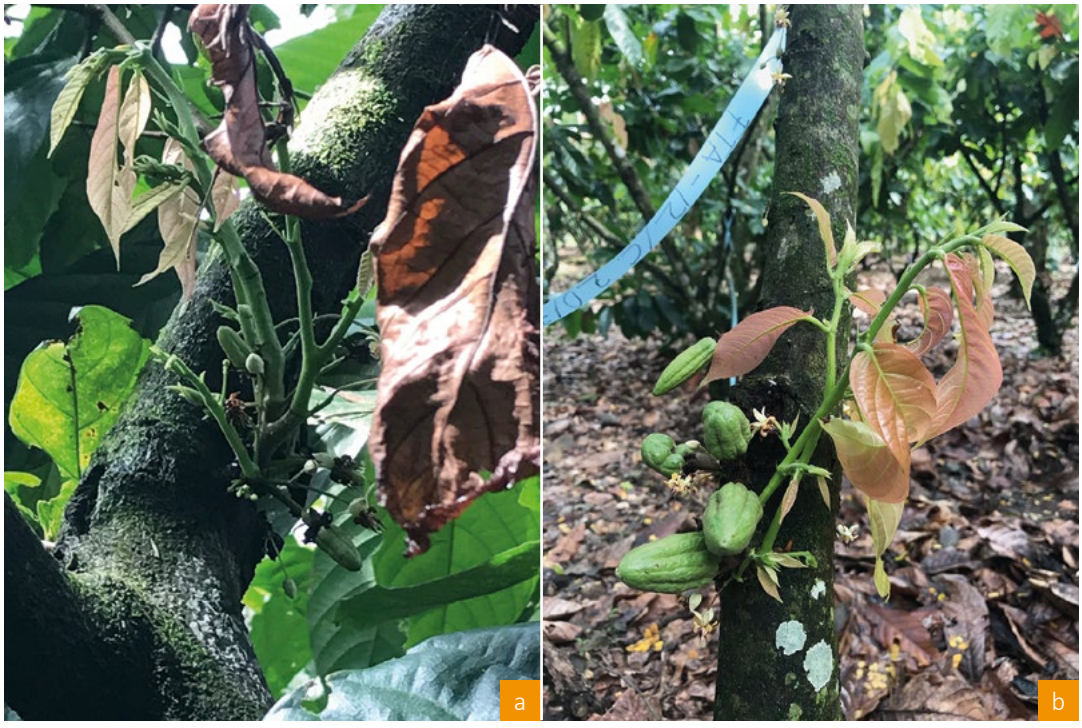


Figura 36.

Síntoma de escoba de bruja en cojín floral. a. Con frutos partenocárpicos; b. Sin frutos.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Ciclo de la enfermedad

El ciclo de la escoba de bruja está ligado a la fenología de la planta de cacao. La aparición de la infección suele coincidir con el inicio de los lanzamientos foliares, que en Santander por lo general tiene dos picos, al empezar las precipitaciones de marzo-abril y las de septiembre-octubre, si bien a veces esto presenta variaciones. Aunque los procesos de floración y fructificación también son estacionales, las flores y frutos se pueden observar durante casi todo el año, por lo cual la enfermedad prácticamente se torna continua (Sodré, 2017).

Los síntomas de escoba verde (previos a la necrosis del tejido) en promedio se presentan de cinco a doce semanas después de ocurrida la infección. La duración de esta fase de la enfermedad depende del vigor de la planta y la agresividad del patógeno. Cuando aparece la necrosis del tejido, síntoma

denominado *escoba seca*, viene un periodo de dormancia o suspensión de la actividad del patógeno, que puede extenderse de cuatro a 66 semanas y que antecede a la etapa de producción de los basidiocarpos (Sodré, 2017). En Santander, el ciclo total de la escoba de bruja se da en 25 semanas en promedio (figura 37). La producción de los basidiocarpos requiere una alternancia de días lluviosos y secos (figura 38), condición que suele darse al finalizar el periodo seco y empezar el de lluvias (Jaimes & Aranzazu, 2010).

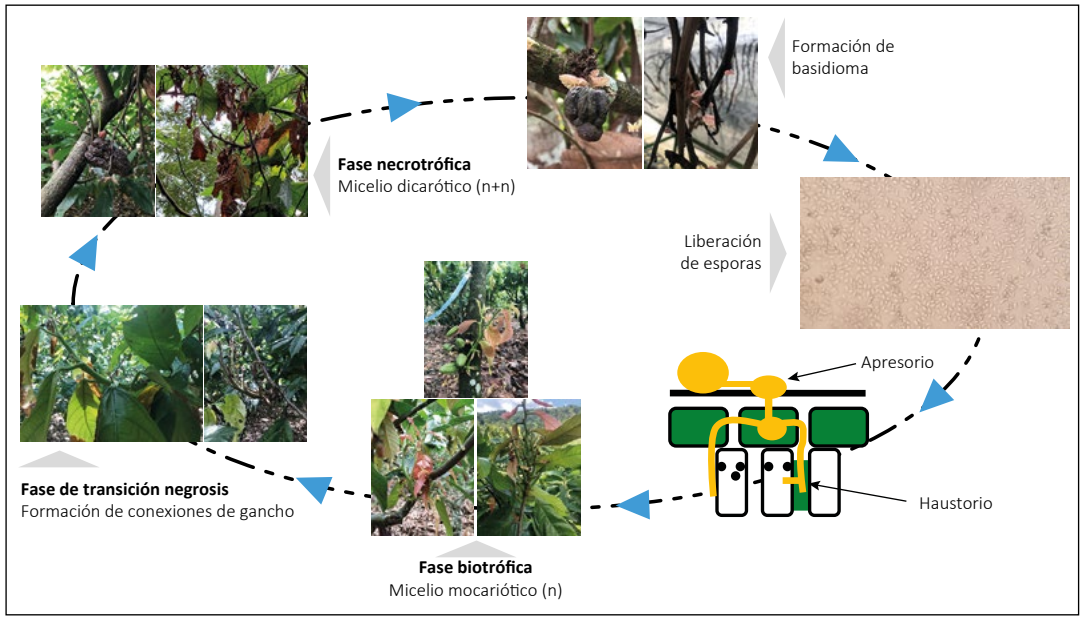


Figura 37.

Ciclo de la escoba de bruja.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suaréz. **Fuente**: Elaboración propia con base en Teixeira et al. (2015)



Figura 38.

Formación de basidiocarpos de *M. perniciosa* sobre tejido enfermo necrosado de plantas de cacao.

Foto: Yeirme Yaneth Jaimes Suaréz

Control de la escoba de bruja

La medida de control más eficiente para el manejo de la escoba de bruja son las podas al final de los periodos secos realizadas antes del inicio de las precipitaciones. Con las condiciones climáticas de Santander, esta práctica se debe implementar en las dos épocas del año descritas previamente para el control de la monilia. Con esta práctica se remueve el tejido necrótico y se corta el ciclo de la enfermedad. Junto con las podas, también se deben eliminar las escobas secas de las yemas laterales, cojines florales y frutos enfermos. El material retirado se debe trozar y dejar sobre el suelo para su descomposición.

Sin embargo, el éxito en el control de la escoba de bruja depende también de la selección del material vegetal de siembra, para la cual se debe considerar

si las condiciones ambientales favorecen el desarrollo de la enfermedad. En el caso de que las condiciones favorezcan al patógeno, se deben seleccionar materiales vegetales con resistencia o tolerancia a la enfermedad.

Por otra parte, la plantación debe establecerse con base en un diseño de siembra adecuado en el sistema agroforestal que permita regular las condiciones de ambiente con un buen manejo de los doseles de los árboles del sistema. Para favorecer el adecuado desarrollo de la plantación, se debe efectuar un manejo agronómico correcto. Con el fin de facilitar su manejo, las podas ayudan a regular la altura de las plantas, de tal forma que no sobrepasen los 3,5 m de altura.

En zonas con condiciones favorables para la enfermedad, además de seleccionar genotipos con resistencia o tolerancia, se pueden aplicar las distancias de siembra entre los árboles de cacao y los forestales. En el caso de plantaciones con alta afectación de la enfermedad, se debe realizar un diagnóstico de los árboles y seleccionar los más susceptibles para proceder al cambio de las copas con materiales resistentes a la escoba de bruja.

Mazorca negra

La mazorca negra o pudrición parda, nombre común dado a la pudrición de frutos de cacao causada por especies del género *Phytophthora*, es la enfermedad que causa mayores pérdidas de producción de cacao por su distribución a nivel mundial. *Phytophthora* sp. también ataca ramas y troncos, causando *cánceres* o pudrición del tejido, con lo cual pueden llevar al debilitamiento y muerte de los árboles (Ploetz, 2016). En Colombia, la especie predominante que ataca a los frutos del cacao es *Phytophthora palmivora*. Para el control de esta enfermedad es importante tener claro que las especies del género *Phytophthora* pertenecen al reino Chromista, al filo Pseudofungi y a la clase Oomycota. Los patógenos del género *Phytophthora* se diferencian de los hongos verdaderos por varias características, entre las cuales se destacan su pared celular, compuesta por β-glucano, celulosa, hidroxiprolina y ausencia de quitina. El ergosterol no es un esterol importante en la composición de su membrana plasmática. Esta última característica hace que los oomicetos sean insensibles a los

fungicidas inhibidores de la formación de esteroles de grupos químicos como el de los triazoles. Por ende, fungicidas con moléculas de este grupo químico no controlan a las especies del género *Phytophthora*.

En Colombia, la mazorca negra no causa pérdidas importantes en plantaciones híbridas de cacao. Sin embargo, con la modernización de los cultivos y el establecimiento de materiales clonales se han incrementado las pérdidas ocasionadas por *P. palmivora*. Los materiales vegetales de cacao más susceptibles son el CCN 51 y algunos de la serie ICS. Esta enfermedad afecta diferentes tejidos de las plantas, incluso las raíces, que se pueden convertir en un reservorio del patógeno (Ploetz, 2016).

Síntomas y signos

En frutos, los primeros síntomas de la mazorca negra se presentan como pequeñas lesiones o manchas sobre los tejidos externos (figura 39). Estas manchas se desarrollan rápidamente y adquieren un color castaño oscuro, característico de la enfermedad. La mancha se puede observar sobre cualquier lugar del fruto. Tiene bordes definidos y puede llegar a cubrir todo el fruto cuando se deja por más de diez días sobre el árbol (figura 39) (Sodré, 2017).

Los signos de la mazorca negra aparecen sobre la superficie del fruto de tres a cinco días después de observados los primeros síntomas (Sodré, 2017). Los síntomas de *P. palmivora* se caracterizan por la aparición de esporangios y un micelio pulverulento blanco. Este patógeno ataca frutos en cualquier estado de desarrollo. En frutos pequeños, los síntomas se pueden confundir con los del fenómeno de los frutos marchitos o *cherelle wilt*, el cual se atribuye a un desorden fisiológico de las plantas de cacao.

Aunque el daño interno es total, los granos quedan sueltos y no presentan olor fétido, por lo cual algunos productores los benefician en la cosecha. Sin embargo, esta práctica afecta la calidad organoléptica y sensorial del grano de cacao.



Figura 39.

Síntomas de mazorca negra en fruto de cacao.

Foto: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

En tronco y ramas, los cánceres aparecen sobre la corteza y se componen de lesiones necróticas oscuras que por lo general tienen exudados (figura 40a). Si se retira la corteza, se observan en el interior lesiones de color salmón o púrpura (figura 40b).



Figura 40.

Síntomas de mazorca negra en tronco. a. Externos; b. Internos.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Ciclo de la enfermedad

Los propágulos de *Phytophthora* sp. que sobreviven en suelo, cojines florales, residuos de cacotas de cosechas previas, raíces y frutos momificados constituyen la fuente primaria de la enfermedad. Entre las condiciones predisponentes para el inicio de la epidemia se encuentran las temperaturas inferiores a 21 °C, una humedad relativa mayor al 85% y las precipitaciones. Los primeros síntomas de mazorca negra pueden observarse aproximadamente 30 horas después de la infección. La necrosis total del fruto sucede entre diez y catorce días después de la infección. Sin embargo, el micelio blanco puede aparecer sobre la mancha de tres a cinco días después de aparecidos los síntomas primarios (figura 41).

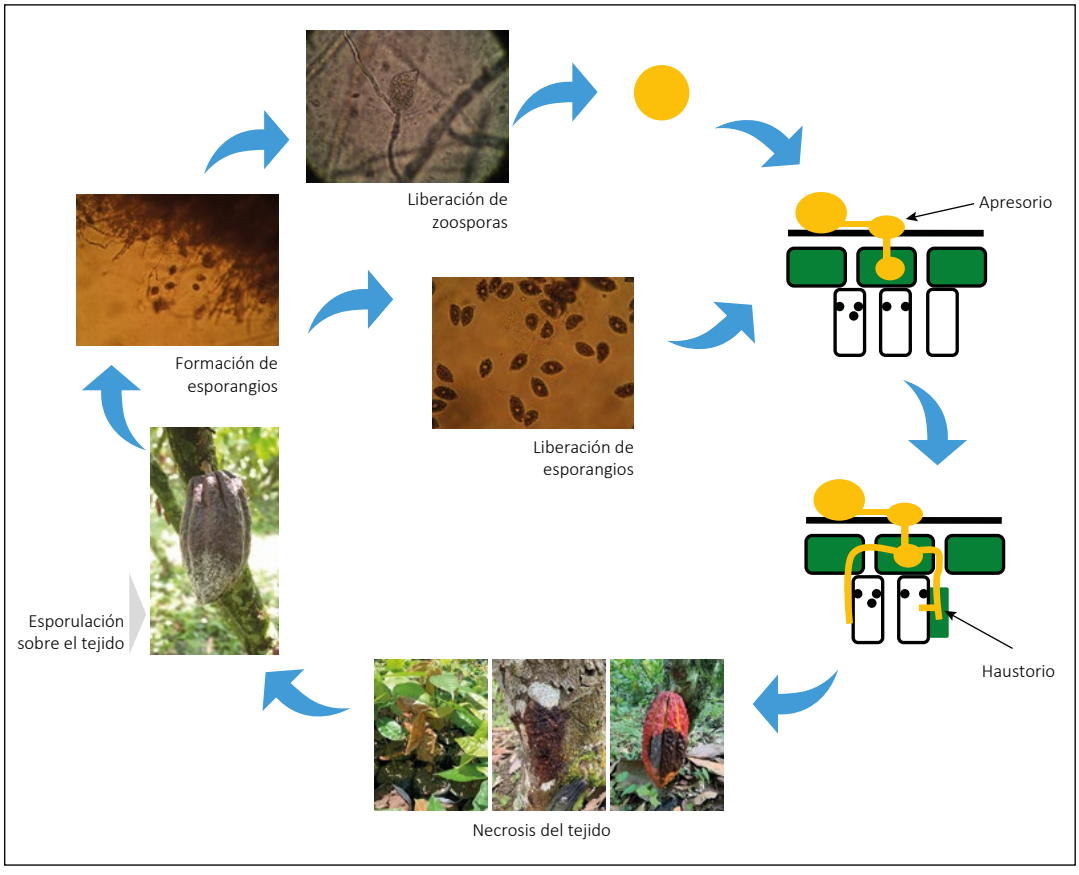


Figura 41.

Ciclo de la mazorca negra.

Fotos: Donald Adrian Galvis Neira, Silvia Juliana Flores y Yeirme Yaneth Jaimes Suárez.
Fuente: Adaptado de Akrofi (2015)

Control de la mazorca negra

La primera medida de control de la enfermedad se toma en el momento de establecer el cultivo de cacao. Debe emplearse como patronaje material vegetal con tolerancia a la enfermedad. Entre los materiales con reporte de resistencia moderada se encuentran IMC 67, PA 46 y P7 (Turnbull & Hadley, 2022). En caso de no disponer de ninguna de estas variedades, una opción es seleccionar árboles con buen desarrollo, fruto verde y características fenotípicas similares a las de IMC 67, PA 46 y P7. Otra opción es emplear materiales de origen amazónico como SCA 6 y 12, los cuales también se reportan como resistentes a *P. palmivora* (Turnbull & Hadley, 2022).

Otro criterio para considerar en la etapa de propagación del material vegetal es la altura del injerto. La inserción del tronco con el injerto desde donde se origina la copa productiva debe tener una altura mínima de 50 cm con respecto al suelo. Con esto se previenen cánceres en tronco y ramas, especialmente en materiales susceptibles como CCN51, así como el ataque a los frutos. También, se deben regular el microambiente dentro de las plantaciones de cacao, para esto se debe hacer las podas oportunamente, lo cual permite regular el nivel de sombra en la plantación. En el caso de terrenos con encharcamientos frecuentes, se deben adecuar canales de drenaje que permitan regular la humedad en la plantación (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Por otra parte, se debe evitar causar heridas con herramientas cortopunzantes durante las labores agrícolas rutinarias para el manejo de la plantación de cacao. Toda herida causada se debe cicatrizar cubriendo las heridas con pasta bordelesa o con vinilo tipo 1 suplementado con fungicidas protectantes como el oxicloruro de cobre. Esta práctica también se debe realizar sobre árboles de cacao rehabilitados (Jaimes & Aranzazu, 2010).

En el caso de presentarse incidencia de la mazorca negra en la plantación, los frutos enfermos se deben eliminar y depositarlos en sitios retirados de las plantas de cacao. Esta práctica evitará que por escorrentía se disperse el patógeno. Se recomienda que el material enfermo se trate con cal viva, o con biocontroladores como *Trichoderma* sp. (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Al terminar cada ciclo de cosecha, revisar cuello, tronco y ramas. En caso de observar síntomas de cáncer, retirar el tejido enfermo sin tocar el cambium de la planta. Una vez expuestos los tejidos internos, se prepara una pasta con vinilo y fungicidas sistémicos como metalaxil o fosetil-aluminio y se aplica sobre la herida. Este proceso se debe repetir durante dos meses, cada 21 días (figura 42). Si la enfermedad está muy avanzada, se deben eliminar y retirar del lote los árboles afectados (Jaimes & Aranzazu, 2010).



Figura 42.

Procedimiento para el manejo de cánceres causados por *Phytophthora* sp. en árboles de cacao. a. Descubrimiento del tejido enfermo para su tratamiento; b. Eliminación de tejido enfermo; c. Cubrimiento con vinilo tipo 1 suplementado con fungicida protectante en el área afectada, una vez eliminado el tejido enfermo; d. Tejido de cacao tratado para el control de cánceres.

Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales

Mal del machete

Esta enfermedad, causada por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, ocasiona marchitez y muerte de los árboles de cacao. Las prácticas agrícolas que predisponen al mal de machete son la poda, la limpieza del suelo, el deschuponado y la cosecha. En todos estos casos, su incidencia se debe al uso de herramienta que no ha sido desinfectada después de las labores de cultivo (por medio de las herramientas se transportan estructuras del patógeno desde las plantas enfermas hasta las sanas). La enfermedad también se asocia a condiciones adversas que debilitan la planta, como periodos secos o de elevada precipitación (Sodré, 2017). Además de la herramienta, los insectos del género *Xyleborus* son vectores de esta enfermedad (son vehículos del inoculo del agente causal de la enfermedad).

Síntomas y signos

La marchitez es el síntoma más característico. Las hojas de una parte o del total de la copa se tornan cloróticas o amarillas en los inicios de la enfermedad (figura 43a). A medida que pierden turgencia, quedan colgadas en posición vertical, se enrollan, se secan y permanecen adheridas por varias semanas (figura 43b), aun cuando el árbol en apariencia haya muerto (figura 43c) (Sodré, 2017).

El tejido leñoso de un árbol de cacao enfermo presenta lesiones necróticas deprimidas en forma de chancro o cáncer. Este síntoma es el resultado de la penetración del hongo en las heridas que se abren durante las podas, la limpieza del suelo, el deschuponado y la cosecha. Los cánceres a menudo aparecen entre el cuello y la bifurcación u horqueta del tronco principal. Por lo general, esta área adquiere una coloración más oscura y puede presentar exudados de color rojo. El tejido interno toma una coloración castaño-rojiza, en ocasiones púrpura, que se extiende en varias direcciones desde el punto de penetración (Sodré, 2017).

La intensidad de color del tejido enfermo y del que circunda la lesión disminuye en dirección a los tejidos sanos (figura 43d). Normalmente, estos cambios de coloración vienen acompañados de estrías. Los coleópteros del género *Xyleborus* suelen asociarse a la enfermedad y se consideran un aspecto

muy relevante para el diagnóstico. Los insectos penetran y construyen galerías en el tejido enfermo (figura 43e), con lo cual liberan aserrín hacia el exterior (polvo de la madera). Esta característica es muy importante para la identificación de la enfermedad en campo (figura 43f) (Sodré, 2017).

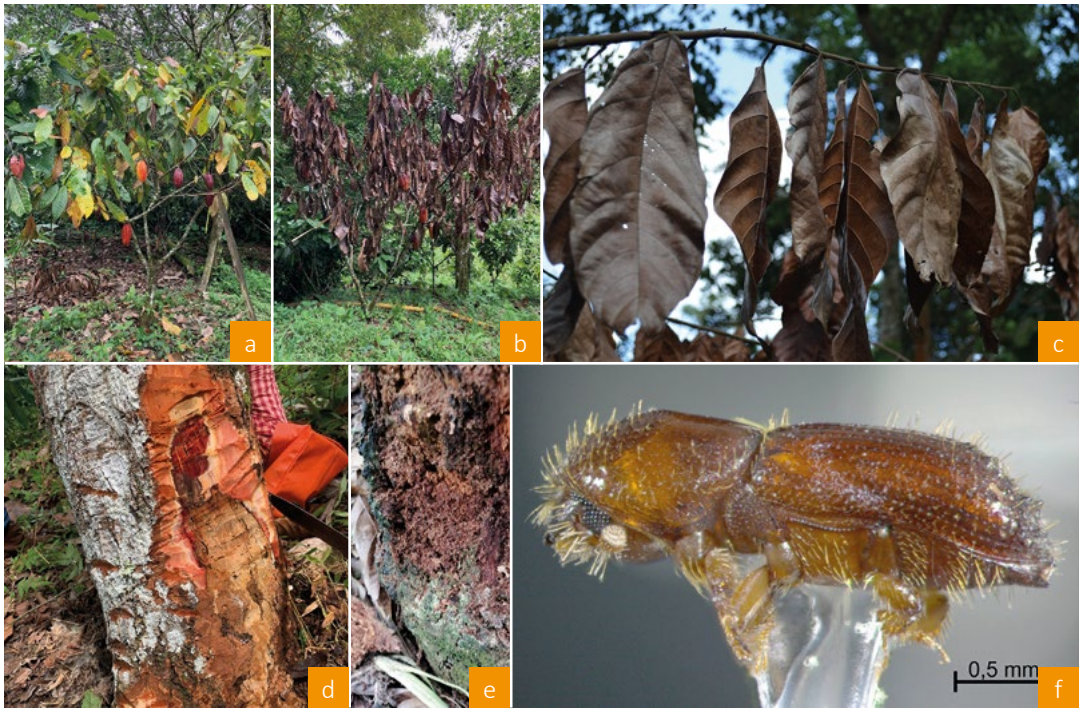


Figura 43.

Síntomas de clorosis ocasionada por el mal de machete. a. Marchitez; b. Hojas adheridas en ángulo de 90º; c. Cáncer; d. Aserrín; e. Árbol de cacao con mal de machete; f. Insecto *Xyleborus ferrugineus*, asociado al mal de machete.

Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales, Yeirme Yaneth Jaimes Suárez y José Mauricio Montes Rodríguez

Ciclo de la enfermedad

Ceratocystis fimbriata sobrevive sobre tejidos de plantas enfermas, lo cuales, junto con el suelo contaminado por esporas diseminadas a través del aserrín que se genera por la actividad de *Xyleborus* spp., son las principales fuentes del inóculo. La diseminación de la enfermedad se da por el contacto entre tejidos sanos y enfermos y a través de insectos vectores del género *Xyleborus* spp. que transportan esporas adheridas a su exoesqueleto, así como en su sistema digestivo. La enfermedad también

puede diseminarse a través de las herramientas empleadas para las labores de mantenimiento y cosecha del cultivo, razón por lo cual recibe el nombre de "mal de machete" (Paladines et al., 2022).

La infección del tejido de las plantas de cacao inicia en heridas, principalmente, donde *C. fimbriata* empieza a colonizar el tejido vegetal a través de los vasos del xilema e invade las células a nivel inter e intracelular y las afecta de forma transversal. En los tejidos afectados por el patógeno se presenta una decoloración de los haces vasculares y, cuando el patógeno obstruye las células del parénquima, se evidencian los primeros síntomas de clorosis o marchitamiento de las hojas. Pasados 10 a 30 días desde la aparición de los primeros síntomas, se puede presentar la muerte súbita de los árboles, sobre los cuales *C. fimbriata* sigue colonizando los tejidos hasta 15 a 18 meses después (Paladines et al., 2022).

Control del mal del machete

Al igual que con la mazorca negra, la primera medida contra el mal del machete es la selección del material vegetal de patronaje. El material recomendado es IMC 67, el cual se encuentra reportado como resistente a la enfermedad (Turnbull & Hadley, 2022). En caso de no disponer de esta variedad, se puede acudir a materiales de origen amazónico como SCA 12, que son resistentes o moderadamente resistentes (Turnbull & Hadley, 2022).

Otra práctica de gran relevancia y que debe incorporarse a las labores culturales cotidianas del cultivo es el lavado de la herramienta con detergente, para retirar partículas o residuos vegetales adheridos. Posteriormente, la herramienta limpia se desinfecta con la inmersión en una solución de formol o hipoclorito de sodio al 0,1% durante cinco minutos. Esta práctica se debe realizar antes y después de las labores culturales en las que se requiere la herramienta.

Previo a las prácticas de poda, limpieza del suelo, deschuponado y cosecha, así como a la rehabilitación de la plantación, se debe hacer una inspección del lote con el fin de identificar plantas enfermas. Como medida preventiva, posterior a las prácticas donde se produzcan heridas, se debe realizar la cicatrización con pasta bordelesa o un vinilo adicionado con un fungicida

preventivo de contacto como el oxicloruro de cobre. Cuando se identifica una planta con el mal del machete se debe eliminar del lote. Los tejidos enfermos se deben asperjar con insecticida y en seguida incinerar.

Llaga estrellada

Esta enfermedad es causada por el hongo *Rosellinia pepo,* habitante natural del suelo (Aranzazu, 1997). Se presenta con mayor frecuencia en suelos muy ácidos y húmedos, ricos en materia orgánica. También se asocia a suelos con bajos contenidos de fosfatos. Entre las condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad se encuentran el contenido de materia orgánica y el pH del suelo, aunque el manejo de la plantación también es un factor determinante para su desarrollo (Flood et al., 2016).

Síntomas y signos

La enfermedad se identifica por los síntomas que aparecen en la parte área de las plantas. Estos síntomas se caracterizan por un amarillamiento o clorosis generalizada (figura 44a) y el posterior secado de todas las hojas, las cuales permanecen adheridas aun cuando el árbol haya muerto. En ocasiones, las plantas enfermas siguen emitiendo brotes en el tronco, pero con hojas pequeñas y amarillas. El árbol de cacao muere cuando el patógeno coloniza el cuello (figura 44b) (Sodré, 2017). Los frutos tienden a madurar prematuramente, no tienen semillas y si quedan en el árbol, se ennegrecen y se secan. Con frecuencia aparecen parches o sectores en la plantación, que se extienden en un patrón circular a las plantas vecinas, ya que la enfermedad se propaga mediante el contacto de las raíces (figura 44c) (Flood et al., 2016).

En las raíces, la enfermedad se identifica por el micelio de *Rosellinia pepo*, formado por hebras de color ceniza oscuro, las cuales se extienden hasta el cuello y se tornan de color negro con márgenes más claras a medida que la enfermedad avanza (Sodré, 2017). Al levantar la corteza de las raíces, se observan cordones miceliales o rizomorfos en forma de abanicos o de estrella (figura 44b) (Flood et al., 2016). Cuando el micelio se fusiona,

forma una masa carbonácea de superficie lanosa. En condiciones de alta humedad del suelo, el micelio del hongo se puede observar directamente en el piso, adherido a las raíces del cacao (Sodré, 2017).



Figura 44.

Árbol de cacao con clorosis generalizada ocasionada por la enfermedad de la llaga estrellada. a. Árbol con síntomas de llaga estrellada; b. Síntoma en cuello de plantas afectadas; c. Raíces colonizadas con rizomorfos o abanicos.

Fotos: Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales, Yeirme Yaneth Jaimes Suárez y Donald Adrián Galvis Neira

Ciclo de la enfermedad

El mecanismo de dispersión de *R. pepo* es el contacto entre raíces sanas y enfermas o el contacto entre raíces sanas y el micelio que crece sobre la materia orgánica del suelo. En plantaciones jóvenes, la pudrición de las raíces se da de forma generalizada, al tiempo con la clorosis y la marchitez. En árboles de cacao viejos, al parecer la enfermedad progresa de forma más lenta (Sodré, 2017).

Control de la llaga estrellada

Las medidas de control se ejecutan en tres pasos. En el primero, el árbol o los árboles enfermos se aíslan en trincheras de 30 a 40 cm de profundidad, evitando el contacto de las raíces enfermas con las sanas de los árboles vecinos. En el segundo paso, se eliminan y queman las plantas enfermas y se practican cortes profundos en el cuello de las raíces, con el fin de aplicar

un herbicida y matar el tejido que permanece en el suelo. Finalmente, en el tercer paso, se aplica cal viva en el suelo para aumentar el pH y se deja en reposo (Flood et al., 2016).

La recomendación para saber si el suelo se ha recuperado y se puede sembrar cacao de nuevo es sembrar, a los seis meses de eliminadas las plantas y tratado el terreno, un cultivo susceptible al ataque de *R. pepo*, como el de fríjol, para que sirva de indicador de la presencia o no del patógeno. En caso de que las plantas indicadoras no mueran, se puede proceder a la siembra de las nuevas plantas de cacao, y en caso contrario, el suelo se deja en reposo por otro periodo igual o mayor a seis meses y posteriormente se repite la evaluación de la sanidad del suelo mediante la siembra de nuevas plantas indicadoras.

Otros problemas fitosanitarios del cultivo de cacao en Santander

No se tienen datos estadísticos ni estimaciones de pérdidas causadas por insectos plaga. Si embargo, cabe considerar la importancia de las especies del género *Monalonion* y de los barrenadores del fruto que indicen en Santander, ya que una alta infestación de estos animales puede causar pérdidas considerables de producción.

Insectos plaga del género *Monalonion*

El adulto del género *Monalonion* puede llegar a medir 7 mm de largo. El macho tiene antenas negras, cabeza y tórax de color amarillo-anaranjado, manchas amarillas y parte del abdomen rojizo (figura 45b). Las ninfas son blandas, de color anaranjado con franjas rojizas y su tamaño varía de acuerdo con el instar. Los adultos tienen una longevidad de 17 a 21 días (Sodré, 2017).

Los adultos y ninfas del género *Monalonion* atacan brotes y frutos de cacao y de estos últimos extraen la savia del endocarpio (Vargas et al., 2005). En ataques severos, se presentan síntomas con apariencia de quemaduras, ya

que el insecto seca los brotes y las hojas. En los frutos, se forman vejigas o pústulas, producto de las toxinas que excreta el insecto cuando se alimenta (figura 45a). Entre los factores que favorecen el ataque y la permanencia del insecto-plaga, se encuentran la formación de brotes y frutos nuevos, las altas humedades relativas, los gradientes de temperatura cercanos a 8 °C y las plantaciones sin sombrío (Sodré, 2017). Sin embargo, plantaciones con sombra excesiva también pueden presentar ataques severos (Vargas et al., 2005).

Para el control, se sugiere hacer un monitoreo, en especial durante la época de lanzamiento foliar y mayor formación de frutos. Para esto, el cacaotal se puede subdividir en cuadrantes uniformes de cuatro ha. Los cuadrantes se determinan de acuerdo con las condiciones de sombrío y edad, y en cada uno se toman 20 plantas y se examinan cinco frutos por planta. La incidencia de la plaga se reduce cuando existe un sombrío adecuado. En casos de ataques severos, se pueden realizar aspersiones con malatión al 0,6% o deltametrina al 0,2% en los focos, con intervalos de 21 días. Una vez verificada la reducción de la población, se debe suspender el uso de los insecticidas (Sodré, 2017).



Figura 45.

Insecto-plaga del género *Monalonion* y daño que ocasiona. a. Daño en fruto de cacao; b. Adulto de *Monalonion* sp.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez y Eliana Báez Daza

Perforadores de fruto

Entre los perforadores de fruto, los de los géneros *Gymnandrosoma* (figura 46) y *Stenoma* son los que tienen mayor incidencia en el departamento de Santander. Las larvas del género *Stenoma* abren galerías en los frutos de cacao y las protegen con sus excrementos e hilos de seda (figura 47). Las altas temperatura, las bajas precipitaciones y un sombrío deficiente son algunos de los factores que predisponen la plantación al ataque de estos insectos-plaga (Sodré, 2017).

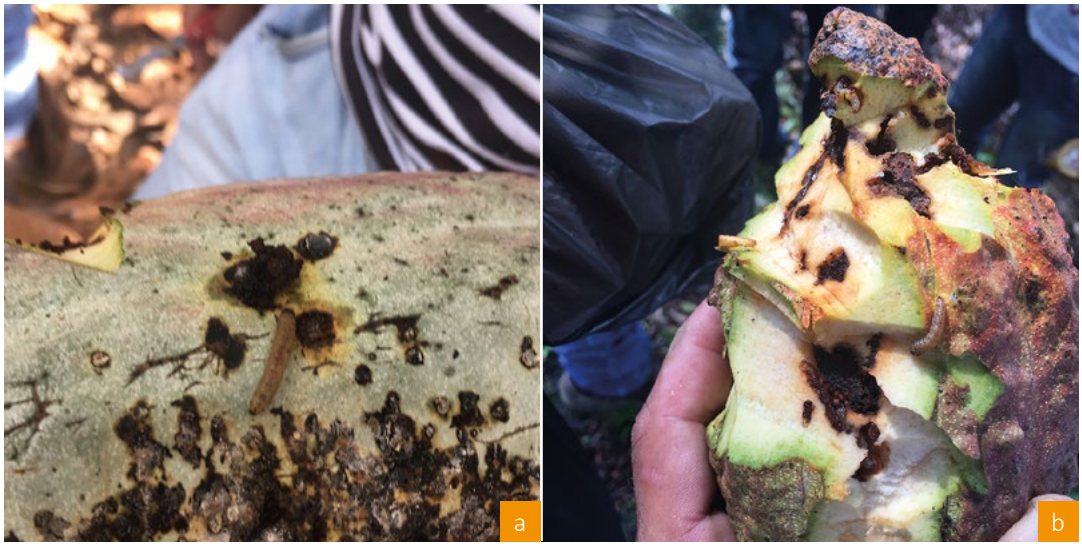


Figura 46.

Daño ocasionado por larva del género *Gymnandrosoma* en frutos de cacao. a. Excretas y larva de *Gymnandrosoma* sp. en fruto de cacao; b. Desarrollo del daño interno en frutos de cacao.

Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales



Figura 47.

Daño ocasionado por larva del género *Stenoma* en frutos de cacao. a. Excretas de *Stenoma* sp. sobre fruto de cacao; b. Daño interno en fruto de cacao realizado por larvas de *Stenoma* sp.

Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales

Los perforadores se manejan mediante un monitoreo de los frutos de cacao, para detectar excrementos, larvas o adultos. Lo aconsejable para reducir su incidencia es corregir el sombrío. En caso de altas infestaciones del género *Stenoma*, se recomienda realizar aspersiones alternadas de malatión al 0,6% y deltametrina al 0,25%. Una vez verificada la reducción de la población de la plaga, se debe suspender el uso de los insecticidas (Sodré, 2017).

CAPÍTULO 9.

Modernización de plantaciones improductivas

El cultivo de cacao en Colombia se ve afectado por la utilización de materiales incompatibles, parcelas envejecidas, conservación de híbridos, enfermedades limitantes y control cultural deficiente, factores que repercuten en las bajas producciones (Mejía & Palencia, 2004; Sánchez et al., 2019). La mayoría de las plantaciones de cacao de Santander se componen de híbridos de baja productividad cultivados en condiciones que propician el desarrollo de enfermedades como la monilia y la escoba de bruja. Esta situación se traduce en bajos rendimientos, inferiores a los 400 kg de grano seco por hectárea. Con el fin de mejorar estos sistemas de producción, se pueden hacer intervenciones de rehabilitación y renovación incorporando copas de variedades con altos rendimientos productivos, tolerancia a enfermedades y calidad sensorial que mejoren las características agronómicas, aumenten los rendimientos por área sembrada y conserven las características de calidad del cacao colombiano.

Renovación y rehabilitación de plantaciones

A medida que las plantaciones envejecen, se requiere una mayor intervención para mejorar o conservar los rendimientos productivos de grano de cacao seco por hectárea. El proceso para mejorar las plantaciones de cacao se puede realizar de dos maneras: 1) poner la plantación en buena condición, —tanto sanitaria como productivamente— mediante prácticas de manejo que contribuyan a la recuperación de la capacidad productiva del cultivo existente (proceso denominado rehabilitación) o 2) reemplazar los árboles viejos por nuevos sustituyendo la parte aérea o la copa mediante métodos de injertación lateral en tronco (proceso denominado renovación) (Palencia et al., 2006).

El tipo y el método de intervención más adecuado se define después de considerar aspectos sociales, económicos, institucionales, técnicos y ambientales en cada cultivo a intervenir. El primer paso, antes de realizar cualquier practica agronómica para la intervención de un cultivo improductivo, es diagnosticar la plantación, lo cual ayuda a definir los procedimientos técnicos adecuados a tener en cuenta durante los procesos de rehabilitación o renovación.

Diagnóstico de la plantación

El diagnóstico de la plantación consiste en la evaluación del estado de las plantas mediante la observación directa, a través de la cual se determina el estado de cada planta de acuerdo con su productividad y se observan los forestales existentes que proporcionan el sombrío al cultivo (Palencia et al., 2011). Inicialmente, se realiza un inventario de plantas de cacao en el área que se va a intervenir, donde se identifica el número de plantas productivas, el número de sitios o espacios libres para contabilizar las resiembras que se deben realizar y el tipo de sombrío y su condición.

Cada planta se debe clasificar en atención a su eficiencia productiva (excelente, buena, regular o improductiva) de acuerdo con las características de la tabla 25. Las plantas catalogadas como excelentes y buenas deben empezar el proceso de mantenimiento con prácticas culturales como la poda, que contribuye a la disminución de la altura, la eliminación de ramas improductivas, el deschuponado y el control fitosanitario. A las catalogadas como regulares e improductivas se les debe cambiar la copa mediante procesos de injertación (Palencia & Gómez 2007). Esta práctica de intervención para el cambio de copa es un proceso realizado por medio de injertación en campo en tronco grueso y es conocido como injertación tipo malayo (AGROSAVIA, 2020).

Las evaluaciones se llevan a cabo cada semestre, en los dos periodos del año productivo, justo antes de cada cosecha (tabla 25). Los árboles clasificados como “excelentes” se consideran árboles elite y deben cumplir con las siguientes características: índice de grano >1,5 g, índice de mazorca

<16, índice de frutos afectados por monilia <5%, y en lo posible deben ser autocompatibles. También se puede tener en cuenta el color de la semilla (Fedecacao, 2017).

Tabla 25. Clasificación a nivel de plantación híbrida y a nivel de árbol clonado para determinar grado de eficiencia productiva

Clasificación	Criterios de evaluación				Identificación
	General del cultivo	Cada árbol de forma individual			
	Rendimiento (kg/ha)	Número de frutos por año	Índice de grano	Índice de mazorca	
Excelente	>1.000	> 70	> 1,6	< 14	Sin marcación
Bueno	800 - 1.000	40 - 70	1,4 - 1,6	14 - 16	Cinta blanca
Regular	400 - 800	20 - 30	1,2 - 1,4	16 - 20	Cinta amarilla
Deficiente	<400	<20	<1,2	>20	Cinta roja

Fuente: Elaboración propia, ajustado a partir de Palencia & Gómez (2007)

La evaluación del lote también debe incluir un diagnóstico de los sombríos temporales o permanentes. Los árboles de sombrío se clasifican por especie, edad, estado y utilidad. Los forestales que presenten edad avanzada, deterioro y no son útiles se marcan con una X y pueden ser eliminados con el permiso de las corporaciones autónomas regionales o las entidades que regulan los permisos para el aprovechamiento forestal.

Adecuación de la parcela

A partir del diagnóstico de la parcela, se elabora un plano donde se identifique la disposición de los forestales existentes, las plantas de cacao en excelente estado, aquellas a las que se les deba hacer un injerto o cambio de copa, las que se deban eliminar por daño en la raíz y los espacios libres para la resiembra. Los residuos que se puedan generar se repican y se incorporan al *mulch* de la plantación para facilitar su descomposición; se recomienda aplicar picloram a las raíces que queden de los árboles eliminados como medida de prevención contra la *Rosellinia* sp.

Los árboles clasificados como excelentes o buenos (tabla 25) ingresan a un proceso de manejo agronómico eficiente que posibilita el desarrollo

de nuevos frutos por la activación de los cojines florales, la disminución de enfermedades, la efectividad en el manejo por la disminución en la altura y la mejora de la arquitectura de la planta, factores que le permiten al agricultor cosechar sin dificultades. Asimismo, es necesario realizar el análisis de suelos para iniciar procesos de fertilización efectiva de acuerdo con los requerimientos del cultivo en cada una de las etapas de desarrollo y las recomendaciones técnicas.

Los espacios vacíos o en blanco deben ser estaqueados para ahoyar y sembrar con material injertado y con variedades o genotipos seleccionados y recomendados. De igual manera, se puede sembrar patronaje para, posteriormente, injertar en campo a través de métodos de aproximación. Esta labor debe ir acompañada de la siembra de colinos de plátano o especies de sombrío transitorio con el fin de proveer el sombrío inicial que requieren las plantas (Palencia et al., 2011).

En lugares donde haya suficiente área libre, se puede sembrar maíz, el cual puede ser utilizado como alimento familiar o ingreso económico. Igualmente, es necesario revisar la disponibilidad de sombra permanente para el abarco; especie forestal asociada al cultivo de cacao que proporciona la sombra necesaria para el desarrollo eficiente del cultivo principal. Asimismo, estas siembras deben realizarse de manera ordenada con una perspectiva agroforestal (Agudelo et al., 2018).

Injertación de los árboles a rehabilitar

En la renovación de las plantas de cacao se debe considerar la ubicación y la pendiente del terreno. La injertación en terrenos inclinados se debe realizar por la parte de arriba de cada tronco con el fin de que el crecimiento del injerto esté orientado en el sentido de la pendiente. En terrenos planos, la injertación se realiza por el lado occidental de la planta sujeta a cambio de copa con el fin de evitar que la radiación solar incida directamente sobre el crecimiento del injerto.

Los árboles clasificados como “deficientes” se preparan para el cambio de copa utilizando la metodología de injertación lateral en tronco grueso,

comúnmente conocida como "injerto malayo" (figura 48), técnica que favorece el desarrollo de las yemas y el crecimiento rápido del injerto (Vásquez et al 2019).



Figura 48.

Injerto lateral en tronco realizado para la rehabilitación de plantaciones improductivas de cacao.

Fotos: Eliana Báez Daza

Inicialmente, es necesario realizar una limpieza de tronco, donde se eliminan los nudos o protuberancias que puedan impedir el amarre del injerto, el cual debe ser realizado a una altura de 40 cm desde el suelo. En este sitio se abre una ventana que permita el ingreso de la vareta porta yema, la cual debe tener una edad de 90 a 120 días (figura 49). Una vez colocada la vareta en la ventana realizada, se amarra con una cabuya o cordel elástico que permita sujetar firmemente la vareta portayemas al tronco del árbol injertado. Luego se cubre el injerto con plástico transparente para evitar la entrada de agua y bacterias que provocan la pudrición de las yemas.



Figura 49.

Inicio proceso de injertacion lateral. a. Apertura de ventana para ingreso de vareta; b. Amarre del injerto para evitar pérdida; c. Cubrir el injerto con plástico transparente para evitar entrada de agua.

Fotos: Eliana Báez Daza

Para realizar este proceso es necesario contar con personal técnico capacitado y el uso de herramientas desinfectadas para evitar la transmisión de enfermedades a través de los cortes realizados. En la figura 50 podemos observar una plantación improductiva con intervención de injertación lateral.



Figura 50.

Parcela improductiva con intervención de injerto malayo.

Foto: Genaro Andres Agudelo Castañeda

Posteriormente, a los 20 o 25 días, se verifica el prendimiento del injerto y se procede a realizar un destape parcial (ventaneo) (figura 51). Si las yemas están muy brotadas, pasados 30 días de la injertación se retira totalmente el plástico para facilitar el desarrollo de las ramas y las nuevas hojas.



Figura 51.

Destape de injerto para verificar prendimiento.

Foto: Eliana Báez Daza

El punto óptimo lo determinan la maduración de las hojas y la longitud de las ramas, que deben medir entre 40 y 50 cm. A partir de estos indicadores, se debe iniciar el proceso de eliminación gradual de la copa improductiva. Posteriormente, se realiza el corte final a ras de la rama principal del injerto en ángulo de 60° (figura 52), el cual debe cicatrizar para evitar la entrada de patógenos y plagas (AGROSAVIA, 2020).



Figura 52.

Corte final cicatrizado para evitar la entrada de patógenos y plagas.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

En las plantas no aptas para injertación, pero con un sistema radical en buen estado, se induce la formación del chupón basal. Posteriormente, se soquea a ras del suelo, se aplica pasta cicatrizante y se tapa con tierra. Posteriormente, se procede a injertar cuando el chupón tenga un desarrollo adecuado; además, se deben eliminar nuevos chupones que representen competencia. (Quiroz & Amores, 2002).

A partir de la culminación de las actividades mencionadas anteriormente se debe hacer un manejo agronómico eficiente en el que se incluyan prácticas adecuadas como podas de formación en las nuevas copas, podas de mantenimiento, control fitosanitario y fertilización. Esto asegura la recuperación de la productividad del cultivo rehabilitado o renovado durante un tiempo considerable (figura 53).



Figura 53.

Estado final de una parcela intervenida por con un proceso de rehabilitación, un manejo agronómico adecuado e introducción de nuevas copas productivas.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda



CAPÍTULO 10.

Cosecha y poscosecha del cacao

Colombia, junto con Ecuador, Venezuela y Perú, está catalogada como un productor de cacao fino de sabor y aroma. La ICCO clasifica su grano como de exquisito aroma y sabor, con características sensoriales que sobresalen por sus notas de frutales, florales, nueces y malta, que lo diferencian de los cacaos producidos en otros países (Fedecacao, 2019a). Para darle continuidad a estas características, es necesario que los cacaocultores adquieran el hábito de realizar procesos de manera limpia, reconozcan el estado de madurez óptimo del fruto e identifiquen los tiempos de fermentación y secado.

La cosecha y la poscosecha son las etapas más importantes en el propósito de obtener un cacao de calidad, con cualidades físicas, químicas y sensoriales óptimas para el consumidor y la industria. Para obtener cacao seco de calidad se requiere que durante el proceso de poscosecha cada una de las etapas cumpla con requerimientos esenciales, pues un mal procedimiento puede echar a perder todos los esfuerzos del cacaocultor. Estas etapas comienzan con la recolección y el partido de los frutos de cacao maduros y terminan con el proceso de secado (Proyecto de Mejoramiento de Ingresos y Empleo para Productores de Cacao en Honduras [Procacaho], 2017).

Recolección de frutos de cacao

La recolección se hace cuando el fruto o mazorca de cacao está maduro. El grado de madurez se determina por el color del fruto, el cual varía de acuerdo con el genotipo de cacao de la plantación. Los que son verdes en su estado inmaduro adquieren un color amarillo cuando están listos para la cosecha (figura 54b), y los que son rojos o púrpura se tornan naranjas o de color rojo claro (figura 54a) (De la Cruz et al., 2011).



Figura 54.

Colores de frutos de cacao según su madurez fisiológica. a. Los frutos púrpuras toman un color naranja cuando maduran; b. Los frutos verdes se ponen amarillos al madurar.

Fotos: Eliana Báez Daza

En el proceso de recolección de frutos maduros solo se deben cosechar aquellos con una madurez adecuada; se deben evitar los frutos pintones o sobre-madurados (figuras 55a y 55b). Recolectar frutos que no estén en condiciones óptimas de desarrollo y madurez altera el proceso de fermentación debido al bajo contenido de azúcares de su pulpa. De modo que, la calidad del grano seco es afectada y la presencia de granos pizarrosos incrementa. Los agricultores reconocen los frutos maduros porque producen un sonido hueco cuando los golpean con los entrenudos de los dedos y por el cambio en su coloración (Cáritas El Salvador & Catholic Relief Services [CRS], 2017).

Antes de la recolección, se debe realizar un muestreo para determinar los diferentes grados de desarrollo y asegurar que solo se cosechen los frutos con la madurez adecuada. La programación de la frecuencia y la cantidad



Figura 55.

Frutos de cacao no aptos para cosecha y poscosecha. a. Sobremadurado; b. Pintón.

Fotos: Eliana Báez Daza y Genaro Andrés Agudelo Castañeda

de frutos que se van a cosechar también depende de la capacidad de la infraestructura que tenga el productor para la fermentación y el secado. No se deben recoger bajos volúmenes ya que la cantidad de masa no sería la adecuada para la fermentación y se afectaría la calidad del grano (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). La cosecha se debe hacer con una frecuencia quincenal en picos de alta producción, y cada tres semanas en picos bajos. No se deben cosechar frutos con daños de insectos-plaga o enfermedades (Compañía Nacional de Chocolates, 2019). Los frutos se deben recolectar en sacos de cacao o canastillas para luego trasladarlos al sitio de beneficio.

La herramienta se debe desinfectar periódicamente durante la cosecha, lo cual se puede hacer con una solución de agua e hipoclorito de sodio (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Esta solución se prepara con 10 ml de hipoclorito por cada 10 l de agua y en ella se sumerge la herramienta, la cual se seca después con un paño limpio (Pérez, 2011). Se aconseja cortar los frutos maduros del árbol con tijeras de mano afiladas para no herir los tallos y evitar el ingreso de agentes patogénicos (Caballero et al., 2014). Es importante dejar una porción del pedúnculo adherida a la base del

tallo (figura 56), para que se desprenda posteriormente y el tallo cicatrice de manera correcta. Con esto no se daña el cojín floral y por ende no se perjudican las futuras producciones (Pérez, 2011).



Figura 56.

Cosecha de frutos de cacao con madurez óptima para su beneficio.

Foto: Eliana Báez Daza

Clasificación de frutos de cacao

Las mazorcas sanas cosechadas se deben separar de las enfermas y de las que tienen daños ocasionados por insectos u otros animales y se deben ubicar en un lugar limpio y seco (plástico o cemento) para evitar la contaminación (figura 57a). Es importante llevar a cabo esta actividad el mismo día de la cosecha o en las siguientes 48 horas (figura 57b) (Aguilar, 2017) (con un máximo de tres días) para evitar la sobre-maduración o

germinación, procesos que afectan la calidad del grano (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Los granos sanos son los únicos que deben ir al área de beneficio para obtener un producto final de buena calidad. Los granos germinados, enfermos o dañados, se deben descartar ya que son material contaminante (Procacaho, 2017).



Figura 57.

Selección de frutos de cacao cosechados. a. Los frutos de madurez óptima son los únicos que se destinan a producción; b. Los frutos con defectos deben ponerse aparte.

Fotos: Eliana Báez Daza

Partida de frutos y extracción de granos

Para manipular los frutos, las personas encargadas deben usar guantes o lavarse y desinfectarse las manos con el fin de evitar la contaminación de los granos. También es importante que, durante esta labor, se abstengan de usar relojes, anillos, pulseras y otros elementos, así como sustancias químicas contaminantes, como lociones, perfumes o maquillaje (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Estas medidas son importantes para obtener un producto inocuo y de excelente calidad que cumpla con los estándares de las buenas prácticas agrícolas (BPA).

La labor de partir los frutos o retirarles la corteza se lleva a cabo con un instrumento de madera (mazo) o un machete pequeño, el cual se utiliza de

forma invertida y fijado a una base o un tronco (figura 58a). Es importante evitar cortar u ocasionar daños físicos en los granos que deterioren la calidad del producto final o le den una mala presentación (Procacaho, 2017). El fruto se parte transversalmente (figura 58b), con lo cual no se daña el grano y se evita el ingreso de patógenos (Compañía Nacional de Chocolates, 2019).



Figura 58.

Labor de partir frutos de cacao. a. Corte de la corteza; b. Mazorca partida.

Fotos: Eliana Báez Daza

Luego de partir o quebrar los frutos, se procede a extraer los granos de cacao (figura 59a), procedimiento que se denomina *desengrullado* o *desgranada*. Para ello, los dedos se deslizan en el interior del fruto y a lo largo de la placenta, evitando desprender esta última o fragmentar la corteza con el fin de no afectar los procesos bioquímicos de la fermentación. Los granos extraídos se depositan en baldes o recipientes plásticos limpios para ser transportados al fermentador evitando el escurrimiento del mucílago, necesario en el proceso de fermentación (figura 59b). El tiempo entre el desengrullado y el traslado al fermentador no debe superar las seis horas (Cáritas El Salvador & CRS, 2017).

Los residuos de la cosecha son aprovechables, la cacota, por ejemplo, se puede emplear como materia prima para elaborar abono orgánico (figura 59c y 59d), el cual puede ser utilizado como fertilizante en la fase productiva. También es utilizado para alimentar a los animales o extraer pectinas (gelificantes, espesantes, etc.) (Ortiz & Álvarez, 2015).



Figura 59.

Extracción de granos de los frutos de cacao. a. Desengrullado; b. Disposición de los granos en recipientes plásticos; c. Disposición de cacota; d. Materia prima para elaborar abono.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda y Eliana Báez Daza

Fermentación de los granos de cacao

El proceso de fermentación se divide en dos etapas, la primera comprende la transformación de la glucosa (en esta etapa no se requiere del oxígeno para transformar el ácido pirúvico en alcohol etílico) y la segunda la oxidación (en la que el oxígeno oxida el etanol y lo convierte en ácido acético) (Teneda, 2016). Estas etapas permiten al grano desarrollar sus propiedades. La primera se lleva a cabo en las primeras 48 horas y consiste en una reacción bioquímica que reduce el amargo y la astringencia y da lugar a los precursores del aroma. En esta etapa, los azúcares del mucílago se convierten en alcoholes por acción de las levaduras, y la pulpa (el mismo mucílago) se descompone y libera agua y CO_2, aumentando la temperatura hasta los 45 °C. En la segunda etapa, la humedad disminuye, continúa

la fase de oxidación y se completa la formación del aroma y el sabor. El alcohol se transforma en ácido acético, el cual se encarga de formar los precursores del sabor a chocolate (Pérez, 2011; Contreras et al., 2004).

Después del traslado, la masa de los granos de cacao desengrullados y el mucílago se depositan uniformemente en los cajones de fermentación (figura 60a). La masa se tapa con hojas de plátano y sacos de fique o yute (figura 60b), para evitar que pierda temperatura en el proceso, se deja así de cuatro a siete días, según el material genético y las condiciones climáticas (especialmente temperatura y humedad relativa).



Figura 60.

Masa de granos de cacao con mucílago en los cajones de fermentación. a. Disposición de la masa de cacao en cajones tipo escalera; b. Tapado de masa para aumentar la temperatura en el cajón lineal.

Fotos: Eliana Báez Daza

Lo más recomendable es fermentar en cajones de madera ya que estos aíslan la masa de la temperatura externa y a su vez permiten un aumento homogéneo de la temperatura (se aconseja hacer un monitoreo de la temperatura) (figura 61).



Figura 61.

Verificación de temperatura en la masa de cacao.

Foto: Eliana Báez Daza

Los volteos consisten en el movimiento de la masa en fermentación con ayuda de instrumentos de madera (pala). Este proceso se realiza con el fin de cambiar la posición de los granos, es decir, que los granos de la parte inferior del cajón pasen a la parte superior y viceversa. El procedimiento permite incorporar aire a la masa y uniformizar la fermentación (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Asimismo, la realización de este proceso requiere de tiempo y temperatura específicos debido a que la masa se deja en reposo durante 48 horas y una vez supera los 30 °C, se voltea de manera sucesiva cada 24 o 48 horas hasta completar las 96 horas (figuras 62a y 62b). Se recomienda voltearla en total tres veces, a las 48, las 72 y las 96 horas (Cáritas El Salvador & CRS, 2017).



Figura 62.

Volteo de granos de cacao en fermentación. a. Volteos manuales con instrumentos de madera; b. Volteos en los que se hace traslado de cajón.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda y Lucero Rodríguez Silva

Durante la fermentación, tienen lugar procesos bioquímicos que llevan a la muerte del embrión, eliminan el mucílago adherido al grano y potencializan y desarrollan las características organolépticas de calidad propias del material genético.

A simple vista, el grano se hincha y su interior pasa de color violeta a marrón (figura 63). Estos cambios de apariencia indican que el proceso de fermentación se ha completado y se puede pasar al secado. Para saber si la fermentación terminó, se recomienda hacer pruebas de corte después de voltear la masa por tercera vez (figura 64).



Figura 63.

Corte de grano de cacao que permiten identificar el estado de fermentación por cambio en la coloración.

Foto: Eliana Báez Daza

Para una correcta fermentación, se recomienda no combinar el grano húmedo con granos de diferentes días de cosecha o estado de fermentación. De hacerlo se estarían mezclando granos bien fermentados con otros que no completaron el proceso o que están sobre-fermentados. Este es el motivo por el cual se recomienda la programación de las recolecciones de acuerdo con la infraestructura disponible.



Figura 64.

Prueba de corte de granos de cacao para determinar grado de fermentación.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Para una fermentación adecuada es necesario que los cajones estén aislados de contaminantes externos, por lo que se requiere que estén cubiertos. Esto permite que la temperatura se mantenga constante, que no presente variaciones drásticas (en especial durante la noche), y garantiza la homogeneidad y la completa fermentación del grano. Existen diferentes tipos de fermentadores. La dimensión o el tamaño varían de acuerdo con el área de cultivo que se va a cosechar y con la frecuencia de recolección. Los fermentadores más usados y recomendados para los productores de Santander son el cajón tipo escalera (figura 65a) y semi-escalera (figura 65b).

El tipo escalera se compone de tres cajones, los cuales están dispuestos, como su nombre lo indica, de manera escalonada. El primer día, para iniciar el proceso de fermentación, el grano se deposita en el cajón superior. Al hacer el primer volteo, se retira la tapa del cajón, con el fin de verter los granos sobre el cajón intermedio. Esto permite que el grano ubicado en la parte superior quede en el fondo y viceversa. En el siguiente volteo, el grano baja al tercer cajón, y luego, una vez cumplido el tiempo de fermentado, se saca la masa al área de secado. Este tipo de fermentador tiene la ventaja de que facilita el volteo del grano. Además, como la masa cambia de compartimento gradualmente, en los cajones superiores se pueden adelantar otras fermentaciones.

El cajón semi-escalera permite la fermentación de 300 kg de cacao húmedo, además, cuenta con tapas que protegen al cacao de elementos contaminantes durante el proceso. El primer volteo se realiza pasadas las primeras 48 horas, pasando del cajón 1 al 2 para permitir aireación; 24 horas después se realiza el siguiente volteo hasta llegar al cajón número 3 y completar la fermentación. Este proceso tiene una duración de 144 horas, aproximadamente, después de las cuales se verifica, por medio del corte del grano, la correcta fermentación (AGROSAVIA, 2022b).



Figura 65.

Cajones fermentadores de granos de cacao. a. tipo escalera; b. semi-escalera.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda y Jiner Niño Solano

El cajón doble o lineal también lo utilizan los productores de Santander. Tiene forma rectangular y su interior está dividido en 2 o 3 compartimentos (figura 66a). Para iniciar el proceso de fermentación, el grano se deposita en el primer compartimento. Transcurridas 48 horas, se voltea de manera que pase al segundo compartimiento y el que estaba inicialmente en la parte superior quede en el fondo. Este procedimiento se repite en los siguientes volteos y entre los diferentes compartimientos hasta completar el proceso de fermentación (figura 66b). El cajón doble o lineal tiene la ventaja de que es fácil de construir y de que la masa se puede voltear más veces de acuerdo con las temperaturas.



Figura 66.

Fermentador en cajón tipo doble o lineal para fermentación de granos de cacao. a. Cajones ; b. Volteos en cajones lineales.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

El barril o tambor rotatorio es otro tipo de fermentador cuya estructura es de madera (figura 67). Dentro de los beneficios se destaca la cantidad de espacio que ocupa, menor en comparación al de otros tipos de fermentadores. Antes bien, en estos barriles o tambores rotatorios se puede fermentar un volumen de aproximadamente 250 kg de cacao en baba. Internamente, cuenta con un eje de paletas internas que permite realizar los volteos con un menor esfuerzo (para hacer el giro solo se necesita una persona). Posee también una tapa que se puede abrir y cerrar para verificar el estado de la fermentación y así disminuir la contaminación por factores externos. De modo que, con este fermentador se obtiene un grano de calidad óptima y se facilita la labor de cargue y descargue del cacao (Teneda Llerena, 2016).



Figura 67.

Fermentador tipo barril rotatorio para fermentación de granos de cacao.

Foto: Gildardo Palencia

Secado de los granos de cacao

El secado tiene como objetivo disminuir el porcentaje de humedad del grano fermentado de 55 a 7%. Durante esta actividad continúan los procesos bioquímicos que permiten potencializar los precursores de sabor y aroma, necesarios para obtener cacao de calidad óptima. Estos procesos se realizan lentamente, pues para obtener un secado óptimo se requiere tiempo; si se acelera el proceso de secado, el grano retendrá humedad y el perfil sensorial obtendrá notas altas de acidez (Rodríguez, 2016). Este proceso se puede llevar a cabo de forma natural o artificial. El natural se hace mediante exposición directa al sol y es el método más empleado por los productores de Santander por su bajo costo (Nogales et al., 2006). Este tipo de secado requiere estructuras como paseras (figura 68a), casas elba (figura 68b), camillas de madera o carros corredizos. El proceso no debe realizarse sobre superficies contaminantes como el suelo de cemento, pavimento o tierra porque se puede contaminar el grano (figura 68c).



Figura 68.

Infraestructura para el secado natural de grano de cacao. a. Secador tipo pasera; b. Casa elba. c. Secado no adecuado sobre piso.

Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

El secado artificial es realizado en hornos o secadores rotatorios. Este método es recomendado en áreas donde la lluvia es frecuente y, por ende, donde no se puede secar el grano naturalmente (Liendo, 2005; Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Los secadores rotatorios utilizan el flujo de aire caliente (figura 69) (Liendo, 2005). En ellos, el calor es generado por la combustión de leña, carbón, diésel, gas o electricidad y las temperaturas pasan de 20 a 60 °C. Para ello, es necesario que la capa de cacao sea de máximo 5 cm de espesor y realizar volteos regulares con el fin de otorgar

aireación y lograr que el cacao tenga un secado uniforme (Nogales, 2011). El secado artificial también se puede hacer en hornos tipo Samoa, los cuales tienen una cámara central o de fuego de ladrillos de barro, sobre la cual se disponen bandejas de madera. En ambos tipos de secadores, el proceso debe ser lento para no afectar la calidad del grano (Nogales, 2011; Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Para el secador giratorio, se recomienda la aplicación de bajas temperaturas, en especial al inicio del proceso, para que el grano permanezca hinchado y la testa no se adhiera a la almendra.



Figura 69.

Secador artificial rotatorio con aire caliente.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Debido a que factores climáticos como alta nubosidad, aumento en la humedad relativa y precipitaciones, inciden en el proceso de secado, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (Murrieta & Palma, 2015):

1. Los dos primeros días se recomienda extender una capa de masa de cacao con 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, debido al exceso de radiación. La masa debe removerse con ayuda de un rastrillo varias veces al día, con sol en horas de la tarde preferiblemente.

2. A partir del tercer día, la capa de cacao debe tener un grosor de 3 a 4 cm y puede exponerse directamente al sol durante todo el tiempo por medio de movimientos periódicos durante el día realizados con un rastillo de madera.
3. El secado dura de 5 a 7 días, según la intensidad lumínica proporcionada por el sol. Para determinar si el proceso de secado está terminado, se frota un puñado de granos escuchando el sonido que estos producen (figura 70). Si suena un chasquido o un ruido de cascajo, significa que el grano tiene el porcentaje óptimo de humedad (no debe ser inferior a 7%).



Figura 70.

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

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

La humedad de los granos de cacao seco también se puede revisar mediante un equipo portátil (figura 71a), el cual es de fácil manejo en campo. Otros equipos como la balanza infrarroja permiten determinar los porcentajes de humedad en laboratorio (figura 71b).



Figura 71.

Equipos para determinar el porcentaje de humedad en los granos de cacao. a. Medidor portátil; b. Balanza de humedad.

Fotos: Eliana Báez Daza

A continuación, se describen las características de un grano de cacao bien fermentado y apto para su comercialización:

- Grano de estructura interna arriñonada, con espacios dentro de los cotiledones.
- Color externo café oscuro o canela.
- Color interno café marrón.
- Consistencia quebradiza y cáscara fácilmente desprendible.
- Olor a chocolate, agradable.
- Sabor medianamente amargo.

Limpieza y clasificación de granos de cacao

La fase limpieza y clasificación es fundamental para mantener la calidad del grano seco en el proceso de beneficio. Antes de la comercialización, se deben eliminar todas las impurezas y los granos con defectos físicos (mohosos, partidos y vanos o sin almendras) (figura 72). Esta actividad se puede realizar de forma manual o con ayuda de zarandas que comúnmente se manejan en la finca y que tienen perforaciones acordes con el tamaño del grano. El objetivo es ofrecer granos sanos, secos y de buena apariencia (Ávila et al., 2013).



Figura 72.
Granos de cacao mohoso.

Foto: Eliana Báez Daza

Empaque

El empaque de grano seco de cacao no se debe realizar antes de revisar el contenido de humedad, limpieza y clasificación, de tal forma que se empaquen granos de calidad en costales o sacos de fique. El tipo de empaque permiten la aireación del material y evita la aparición externa de

moho. Por lo tanto, los costales o sacos deben estar limpios y secos con el fin de evitar contaminaciones. Asimismo, deben usarse exclusivamente para el almacenamiento y el transporte de este producto alimenticio (figura 73). El grano de cacao empacado se transporta a los centros de acopio para su venta y comercialización (Fedecacao, 2017).



Figura 73.

Empaque en sacos de granos de cacao.

Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Requisitos físicos

La norma 1252 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) establece los requisitos físicos del grano seco en el país (tablas 26 y 27). Según esta normativa, el grano de cacao común destinado a comercialización se divide en premium, estándar y corriente. Los granos se evalúan teniendo en cuenta el tamaño del lote en sacos, lo cual

requiere tomar muestras parciales escogidas aleatoriamente que tienen un promedio de 100 granos (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2021).

Tabla 26. Requisitos físicos del grano de cacao seco

Requisitos	Premium/ Especial	Estándar	Corriente
Granos bien fermentados (número mínimo/100 granos)	70	65	55
Granos insuficientemente fermentados (número máximo/100 granos)	30	35	45
Contenido de humedad (% máximo)	7,0	7,5	7,5

Fuente: Adaptado de Icontec (2021)

Estos conceptos son muy importantes y deben ser tenidos en cuenta por el productor, ya que con ellos se asegura el éxito del negocio del cacao. Para mejorar el precio y garantizar la comercialización, no basta con producir el grano; también hay que ofrecer un producto de calidad y adecuadamente beneficiado.

Tabla 27. Características más importantes del grano de cacao de acuerdo con la tolerancia permitida

Requisitos	Premium/ Especial	Estándar	Corriente
Contenido de impurezas o materias extrañas en% máximo	0	0,3	0,5
Granos mohosos internos (número de granos/100 granos) máximo	1	3	5
Granos dañados por insectos o germinados (número de granos /100 granos) máximo	1	2	3
Granos sin fermentar (pizarrosos) (número de granos /100 granos)% máximo	1	3	5

Fuente: Adaptado de Icontec (2021)



CAPÍTULO 11.

Costos de producción

El éxito de las plantaciones nuevas de cacao se basa en la obtención de material vegetal de excelente calidad. Sin embargo, para la producción es importante tener en cuenta que el área del vivero se debe adecuar a los requisitos mínimos para cumplir con una entrega de plántulas de cacao de acuerdo con las condiciones y características óptimas que requiere la comercialización. Esta adecuación y su dotación requiere incurrir en costos que deben considerarse dentro de la planificación para el establecimiento de nuevas plantaciones.

Antes de establecer una plantación nueva de cacao bajo diseño de sistema agroforestal, el productor previamente se debe asesorar con un técnico para identificar los costos por hectárea en los que debe incurrir. Con esto, y con una asesoría técnica para la producción del material vegetal, se realiza una planificación financiera proyectada en el tiempo. A continuación, se detallan los principales rubros que deben considerarse para el establecimiento del vivero, la producción del material vegetal de cacao, el establecimiento de una plantación nueva bajo diseño agroforestal con maderas finas y su mantenimiento durante los primeros cinco años.

Costos de establecimiento de vivero y producción de material vegetal clonado de cacao

El costo de construcción, dotación y producción de un vivero de cacao con capacidad de producción de 15.000 plántulas tiene un costo aproximado de COP 18,5 millones. El costo de producir una plántula, COP 1.235 (tabla 28).

Tabla 28. Costos de construcción y dotación de vivero y producción de plántulas de cacao (precios de 2020)

Rubro	Valor $
Insumo	$ 9.513.140
Mano de Obra	$ 4.830.000
Herramienta	$ 107.000
Infraestructura	$ 1.840.000
Arriendo de espacio	$ 600.000
Perdidas (10%)	$ 1.629.014
Total	$ 18.519.154

Fuente: Elaboración propia

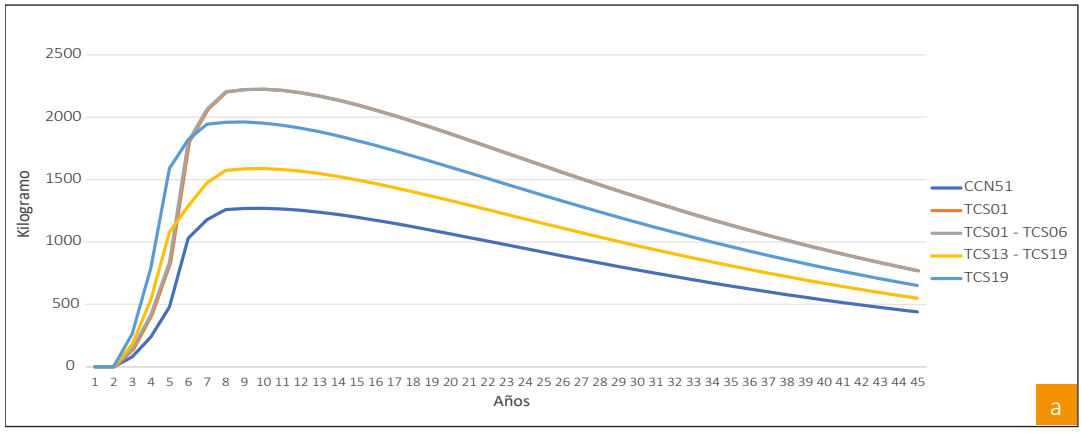
Costos de establecimiento del cultivo de cacao bajo arreglo agroforestal

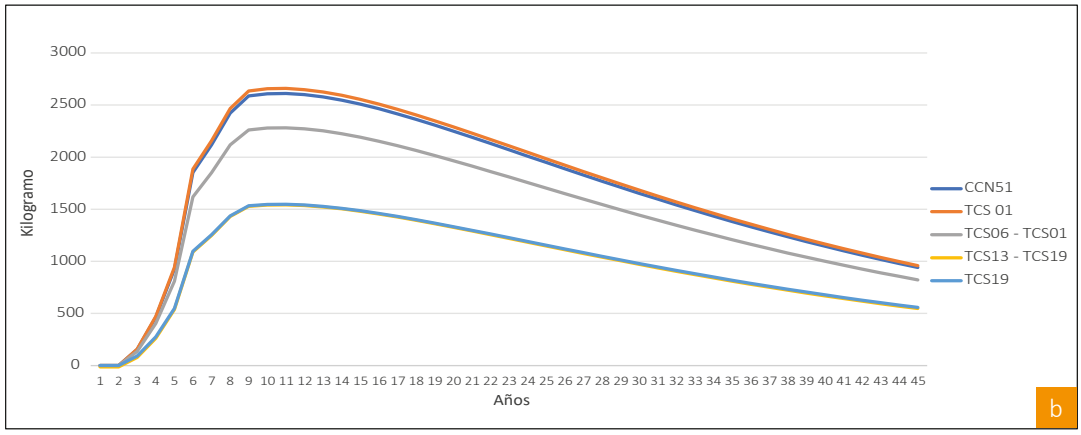
De acuerdo con datos recopilados en campo, el establecimiento de un sistema agroforestal de cacao demanda en el primer año la mayor inversión. Los costos en este primer año son de aproximadamente COP 9 millones en mano de obra y de COP 10 millones en materiales, suministros y unidad de beneficio, para un total de aproximadamente COP 19 millones, dado que se requiere adecuar el terreno, establecer los sombríos (temporales y permanentes), sembrar las plántulas de cacao e iniciar las labores de mantenimiento de la parcela. El mantenimiento de 1 ha de cultivo de cacao tiene un costo aproximado de COP 8 millones en el segundo año, COP 9 millones en el tercero.

En la construcción del flujo de caja del establecimiento de 1 ha de cacao con sistemas agroforestales, se incluyó el costo de rehabilitación amortizado en tres años (los años 11, 12 y 13), en los cuales la producción del cultivo de cacao es baja. El costo de rehabilitar 1 ha se estima aproximadamente en COP 6 millones. Estos costos están sujetos a variaciones como: el valor del jornal, que en este caso se estimó en COP 40.000; el tipo de unidad de beneficio que se establezca en la finca; los precios del material vegetal y la utilización de mano de obra familiar (que ayuda a reducir los costos de producción).

Teniendo en cuenta la información anterior, se pueden estimar los indicadores económicos del sistema de producción, para ello, el Departamento Nacional de Planeación ha fijado en 9% la tasa social de descuento para los proyectos (Piraquive et al, 2018). A partir de esto, se estimaron indicadores para evaluar la rentabilidad del establecimiento de 1 ha de cacao. Para este análisis se consideraron 3 escenarios, en los cuales se evaluó el comportamiento de 3 especies forestales (abarco, roble y terminalia) y 5 variedades de cacao (CCN 51, TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19). Sin embargo, se estimó un escenario en el que el TCS 06 se sembrara con TCS 01, TCS 13 y TCS 19. Asimismo, se plantearon los siguientes supuestos:

- Se considera que a partir del tercer año los costos de mantenimiento del SAF permanecen constantes.
- La rehabilitación efectuada lleva al cultivo al nivel máximo de producción amortizada en 3 años. Entonces se recupera el nivel de producción.
- Para la estimación de los niveles de producción se consideraron los niveles obtenidos de mazorca en los primeros 3 años y se realizó una proyección del comportamiento teniendo en cuenta la información proporcionada por la literatura.
- El cultivo de plátano se consideró como cultivo transitorio.
- El utilizado para el análisis de ingresos fue el precio promedio para 2021.
- Los costos fueron estimados con datos de AGROSAVIA de los años 2020 y 2021.
- Se estimaron los costos y los ingresos para una hectárea de cacao con 900 plantas de cacao y 300 plantas de especies forestales.





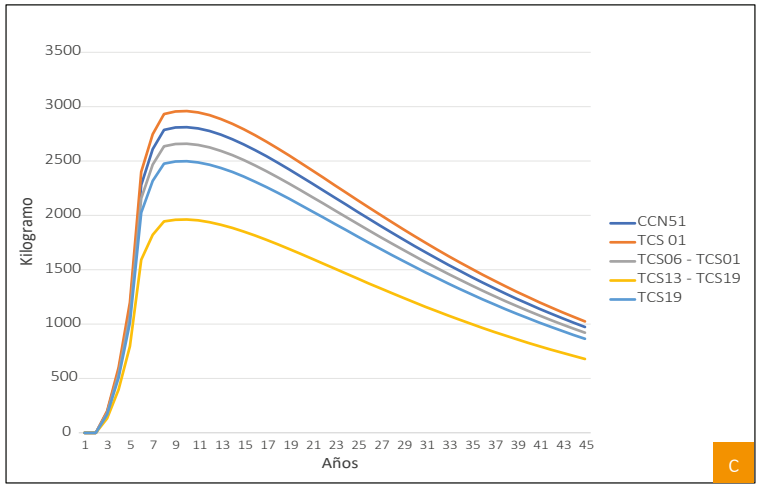


Figura 74.

Curvas de crecimiento de los clones de cacao en los arreglos forestales.
a. SAF - Abarco - Cacao; b. SAF - Terminalia - Cacao; c. SAF - Roble - Cacao.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Indicadores de flujo de caja para el establecimiento de una hectárea de cacao bajo arreglo agroforestal

CCN51	Abarco	Roble	Terminalia
VAN	$ 53.496.053,93	$ 64.123.021,79	$ 55.199.145,04
TIR	16,09%	26,22%	22,40%
VAN (costos)	$ 105.693.617,99	$ 105.531.347,61	$ 105.693.617,99
VAN (ingresos)	$ 159.189.671,91	$ 169.654.369,40	$ 160.892.763,03
Costo/Beneficio	$ 1,51	$ 1,61	$ 1,52
TCS 01	**Abarco**	**Roble**	**Terminalia**
VAN	$ 98.005.681,77	$ 71.335.153,18	$ 57.460.864,71
TIR	24%	28%	23%
VAN (costos)	$ 105.570.492,70	$ 105.570.492,70	$ 105.570.492,70
VAN (ingresos)	$ 203.576.174,47	$ 176.905.645,88	$ 163.031.357,40
Costo/Beneficio	$ 1,93	$ 1,68	$ 1,54
TCS 06 - TCS 01	**Abarco**	**Roble**	**Terminalia**
VAN	$ 98.077.696,73	$ 57.311.329,82	$ 40.551.578,02
TIR	24%	25%	19%
VAN (costos)	$ 105.570.492,70	$ 105.570.492,70	$ 105.570.492,70
VAN (ingresos)	$ 203.648.189,43	$ 162.881.822,51	$ 146.122.070,72
Costo/Beneficio	$ 1,93	$ 1,54	$ 1,38
TCS 13 - TCS 19	**Abarco**	**Roble**	**Terminalia**
VAN	$ 427.608.668,25	$ 149.319.392,81	$ 122.986.441,22
TIR	20%	16%	11%
VAN (costos)	$ 204.680.976,74	$ 204.680.976,74	$ 204.680.976,74
VAN (ingresos)	$ 632.289.644,99	$ 354.000.369,55	$ 327.667.417,95
Costo/Beneficio	$ 3,09	$ 1,73	$ 1,60
TCS 19	**Abarco**	**Roble**	**Terminalia**
VAN	$ 478.355.270,33	$ 212.928.046,06	$ 122.006.618,49
TIR	25%	22%	11%
VAN (costos)	$ 204.680.976,74	$ 204.680.976,74	$ 204.680.976,74
VAN (ingresos)	$ 683.036.247,07	$ 417.609.022,79	$ 326.687.595,22
Costo/Beneficio	$ 3,34	$ 2,04	$ 1,60

Fuente: Elaboración propia

La estimación financiera de los sistemas agroforestales con las diferentes especies evaluadas presenta resultados favorables para el productor. En el caso de las variedades TCS01, TCS06, TCS13 TCS19, los mejores resultados financieros obtenidos fueron con el abarco. Sin embargo, con las otras especies forestales también se obtuvieron buenos resultados. Cuando la variedad TCS01 se sembró sola en asocio con el abarco, por cada peso invertido se obtuvieron $1,93 de beneficio. Asimismo, cuando las variedades TCS06 y TCS01 se sembraron con abarco, por cada peso invertido se obtuvieron $1,93 de beneficio. Igualmente, cuando las variedades TCS13 y TCS19 se sembraron en asocio con abarco, por cada peso invertido se obtuvieron $3,09 de beneficio. Finalmente, cuando la variedad TCS19 se sembró sola con abarco, por cada peso invertido se obtuvieron $3,34 de beneficio. Comparando las variedades TCS, las más rentables financieramente fueron TCS13 y TCS19, sin embargo, el productor debe tener en cuenta las condiciones agroecológicas óptimas para el desarrollo productivo y lograr su máximo desempeño. En el caso de la variedad CCN51, esta presenta un valor más alto cuando se asocia con roble y tiene una relación costo-beneficio de $1,62, es decir, por cada peso invertido el productor recibe $1,62.

Finalmente, se puede evidenciar que el sistema agroforestal del cultivo de cacao es productivo, viable y rentable desde el punto de vista técnico y económico, sin embargo, se debe revisar muy bien el asocio entre la especie forestal y la variedad de cacao que se va a establecer, dado que, como se observa en la tabla 29, las diferentes asociaciones dieron buenos resultados pero, en últimas, la elección que haga el productor será determinante en sus ingresos.

Referencias

Abbott, P. C., Benjamin, T., Burniske, G., Croft, M., Fenton, M., Kelly, C., Lundyn, M. M., Rodriguez-Camayo, F., & Wilcox, M. (2019). *Análisis de la cadena productiva de cacao en Colombia*. USAID. https://www.purdue.edu/colombia/partnerships/cacaoforpeace/docs/2019FinalCacaoReport-Spanish.pdf

Agudelo, G.A., Cañar, D. Y., Pabón, M. S., Bello, M., & Hernández, 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

Agudelo, G. A., Cadena, J., Almanza, P. J., & Pinzón, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista de Ciencias Hortícolas, 12*(1), 223-232. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341

Agudelo, G. A., Palencia, G. E., Antolinez, E. Y., & Báez, E. Y. (2017). *Nuevas variedades de cacao TCS (Theobroma Corpoica La Suiza) 13 y 19*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11536/81592_67384.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aguilar, H. (2017). *Guía de buenas prácticas de poscosecha de cacao*. Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). http://www.fhia.org.hn/dowloads/cacao_pdfs/Guia_buenas_practicas_de_poscosecha_de_cacao.pdf

Akrofi, A. Y. (2015). Phytophthora megakarya: A review on its status as a pathogen on cacao in West Africa. African Crop Science Journal, 23(1), 67-87. file:///C:/Users/yjaimes/Downloads/113716-Article%20Text-317034-1-10-20150302.pdf

Almeida, A. A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology, 19*(4), 425-448. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202007000400011

Alvarado V., M., & Solano S., J. A. (2002). *Producción de sustratos para viveros: Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicional (Vifinex)*. República de China; Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (Oirsa). http://www.cropprotection.es/documentos/Compostaje/Sustratos-para-Viveros.pdf

Álvarez, F., Rojas, J., & Suárez, J. C. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 13*(2), 145-150. http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/249/252

Alverson, W. S., Whitlock, B. A., Nyffeler, R., Bayer, C., & Baum, D. A. (1999). Filogenia del núcleo de Malvales: evidencia de datos de secuencia ndhF. *American Journal of Botany, 86*(10), 1474-1486.

Alvim, P. (1975). *Ecophysiology of cacao*. Symposium of ecophysiology of tropical crops, Manaos, Brasil.

Alvim, P. (1987). Relaciones entre factores climáticos y producción de cacao. En *10ª International Cocoa Research Conference, Santo Domingo, República Dominicana* (pp. 34-42).

Amores, F. (2008). *Diferencias entre el cacao nacional y CCN-51 desde el punto de vista agronómico, físico, químico y organoléptico* [Ponencia]. En Seminario Internacional de cacao: avances de investigación, Floridablanca, Santander.

Angarita, D. D. (2009). *Manejo ecológico del cultivo de cacao*. Cooperativa Ecocacao.

Aranzazu, L. F. (2003). *Evaluación de híbridos y clones de cacao en rendimiento y calidad para la zona marginal baja cafetera bajo sistema agroforestal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Luker. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19272/44798_59753.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arévalo de Gauggel, G., & Castellano, M. (2009). *Manual fertilizantes y enmiendas.* Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas.pdf

Argüello, O., Mejía, L. A., Contreras, N., & Toloza, J. A. (1999). *Manual de caracterización morfoagronómica de clones élite de cacao* (*Theobroma cacao L.*) *en el nororiente colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4148/2/Clones%20elite%20de%20cacao.pdf

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

Bai, W.; Sun, Z.; Zheng, J.; Du, G.; Feng, L.; Cai, Q.; Yang, N.; Feng, C.; Zhang, Z.; Evers, J.B.; van der Werf, W.; Zhang, L. (2016). Mixing trees and crops increases land and water use efficiencies in a semi-arid area. *Agriculture Water Management*, *178*(1), 281–290. doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.007

Balasimha, D., Daniel, E. V., & Bhat, P. G. (1991). Influence of environmental factors on photosynthesis in cocoa trees. *Agricultural and Forest Meteorology, 55*(1-2), 15-21.

Barbazán, M. (1998). *Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes*. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay. http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/AnPlantas.pdf

Barrera, G. (2006). *Respuestas de la clorofila y la fotosíntesis al déficit hídrico y diferentes condiciones de luz en dos variedades de cacao* (Theobroma cacao *L.*) [Trabajo de grado, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela].

Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT, 14*(1), 155-166. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210

Batista, L. (2009). *El cultivo de cacao* [Guía técnica]. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF). http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf

Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1997). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems, 38*(1-3), 139-164.

Boyer, J. S. (1971) Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sunflower at low leaf water potentials and high light intensities. *Plant Physiology, 48*(5), 532-536. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC396901/

Caballero, J. F., Hernández, C., & Avendaño, C. H. (2014). *La fermentación y el secado al sol de granos de cacao* [Folleto técnico n.° 31]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). https://es.scribd.com/document/457532420/FERMENTACION-CACAO-1

Cáritas El Salvador, & Catholic Relief Services [CRS]. (2017). *Manual de post cosecha de cacao*. https://issuu.com/fcambray/docs/manual_post_cosecha_cacao

Carr, M. K. V., & 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

Carvajal, A. S., Jaimes, Y. Y., Guzmán, R. A., Ortiz, C. F., & Sandoval, J. S. (2022). Temporal dynamics of witches' broom disease (Moniliophthora perniciosa) in six cocoa clones with and without shading. *Journal of Plant Pathology*, *104*(1), 37-48. https://doi.org/10.1007/s42161-021-00963-6

Castilla, C. E., León, C. E., Rojas, J., & Gutiérrez, A. (2011). *Evaluación del potencial y el estado nutricional de los suelos cacaoteros de Colombia* [Ponencia]. Seminario Nacional de fertilización de suelos cacaoteros y remediación por contaminación, Bucaramanga, Santander.

Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Sáenz, Y., Kent, J., Vílchez, S. J., Villota, A., Martínez, C., & Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. Contribución de los sistemas agroforestales de cacao con el ingreso familiar y el consumo interno: mirando hacia la intensificación. *Agroforestry Systems*, *88*(6), 957-981.

Chepote, R. E., Sodré, G. A., Reis, E. L., Pacheco, R. G., Marrocos, P. C. L., & Valle, R. R. (2013). *Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacaueiro no sul da Bahia* [Boletim técnico n.° 203]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Cepec); Centro de Pesquisas do Cacau (Ceplac). https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/boletins-tecnicos-bahia/bt-203.pdf

Compañía Nacional de Chocolates. (2019). *Cosecha, beneficio y calidad del grano de cacao* (Theobroma cacao *L.*). https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla-Cosecha-Benef-Calidad-SEP-2019.pdf

Compañía Nacional de Chocolates, Interconexión Eléctrica S. A. E. S. P. [ISA] & Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2014). *Guía para el cultivo de cacao*. https://issuu.com/pnudcol/docs/cartilla-final

Contreras, C., Ortiz de Bertorelli, L., Graziani de Fariñas, L., & Parra, P. (2004). Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 54(2), 219-232. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000200006

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2022a). *Antes de sembrar el suelo debes analizar.* https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11556/Ver_documento_11556.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2022b). *Indicaciones de uso de una unidad modular de fermentación y secado de grano de cacao.* http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/234/218/1461-1?inline=1

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021). *Oferta Tecnológica: Modelo agroforestal de cacao con maderas finas tropicales*.https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0031-establecimiento-y-manejo-de-arreglos-agroforestales-con-cacao

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2020). *Oferta Tecnológica: Recomendación de uso de la técnica injerto malayo como practica de renovación de plantaciones improductivas de cacao* (Theobroma cacao). https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/0388-recomendacion-de-uso-de-la-tecnica-injerto-malayo/

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2015). *Clon de cacao TCS 06: Theobroma Corpoica La Suiza 06*. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34651

Cuatrecasas, J. (1964). Cacao and its allies, a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. In *Systematic plant studies* (Vol. 35, pp. 379-614). Smithsonian Institution Press. https://repository.si.edu/handle/10088/27110

Cuesta, P. A., & Villaneda, E. (2005). *El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://hdl.handle.net/20.500.12324/17334

De la Cruz, J., Vargas, M. A., & Del Ángel, O. A. (2011). *Cacao: operaciones poscosecha*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf

Echeverri, J. H. (2006). El injerto en la producción de cacao orgánico [Hoja técnica n.° 53]. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (78), 101-105. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6411/El%20injerto%20en%20la%20produccion%20de%20cacao%20organico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EcuRed. (2019). *Cacao*. https://www.ecured.cu/index.php?title=Cacao&oldid=3334679

Espinal G., C. F., Martínez, H. J., & Ortiz, L. (2005). *La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica: 1991-2005* [Documento de trabajo n.° 58]. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Observatorio Agrocadenas Colombia. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/5890/1/2005112145659_caracterizacion_cacao.pdf

Evans, H. C. (1981). Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora* (Monilia) *roreri*. *Phytopathological Papers* (24).

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2022). *Economía nacional*. https://www.fedecacao.com.co/economianacional

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2019a). *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]. (2019b). *Matriz - compatibilidad sexual de los clones más utilizados por Fedecacao.* https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_02B.pdf

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2017). *Compra de cacao en grano.*

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2015). *Guía técnica para el cultivo del cacao* (6ª ed.). LCB Ltda.

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao] & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2008). *Autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual de materiales de cacao*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2205/44149_56306.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Flood, J., ten Hoopen, G.M., Krauss, U., & Akrofi, A. (2016). Root-Infecting Fungi Attacking Theobroma cacao. In: Bailey, B., Meinhardt, L. (Eds.), *Cacao Diseases*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_14

García, R. G., Perdomo, A., Ortiz, Ó., Beltrán, P., & López, K. (2014). Characterization of the supply and value chains of Colombian cocoa. *Dyna, 81*(187), 30-40. https://www.academia.edu/11245927/Characterization_of_the_supply_and_value_chains_of_Colombian_cocoa

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]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

García Lozano, J., Romero Carrascal, M., & Ortiz, L. A. (2005). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao* [Informe final de proyecto]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189

Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in agronomy, 86*, 227-253.

Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. Frontiers in plant science, *10*(19), 103. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103

Hernández, H. E., Gutiérrez, I., Sánchez, J. R., Rodríguez, L., Gutiérrez, G. A., Suárez, 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

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cacao* (Theobroma cacao *L.*): *medidas para la temporada invernal*. https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). RESOLUCION No. 003168 (07/09/2015) Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto de mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones. https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). RESOLUCION No. 0780006 (25/11/2020) Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país. https://www.ica.gov.co/getattachment/56d15d28-b186-498e-bc07-7a6fcf65fb2c/2020R78006.aspx

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2021). *NTC 1252:2021. "Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad"*. https://tienda.icontec.org/gp-cacao-en-grano-especificaciones-y-requisitos-de-calidad-ntc1252-2021.html

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2012). *Promedios climatológicos (1971-2000 y 1981-2010)*. http://www.ideam.gov.co/documents/21021/553571/Promedios+Climatológicos++1981+-+2010.xlsx/f28d0b07-1208-4a46-8ccf-bddd70fb4128

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2021). Diccionario de términos Léxico Agroecológico. Disponible en: http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/DOCUMENTOS%20SGI%202021/GAG/PC-GAG-05/IN-GAG-PC05-06%20Diccionario%20del%20lexico%20agrologico.pdf

International Cocoa Organization [ICCO]. (2018). *Pests and diseases.* https://www.icco.org/pests-diseases/

International Cocoa Organization [ICCO]. (2022a). *Production of cocoa beans (thousand tonnes)*. February 2022: Quarterly bulletin of cocoa statistics, Vol. XLVIII, N° 1, Cocoa Year 2021/22. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLVIII-No.-1.pdf

International Cocoa Organization [ICCO]. (2022b). *Grindings of cocoa beans (thousand tonnes).* February 2022: Quarterly bulletin of cocoa statistics, Vol. XLVIII, N° 1, Cocoa Year 2021/22. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Grindings_QBCS-XLVIII-No.-1.pdf

International Cocoa Organization [ICCO]. (2022c). *ICCO monthly averages of daily prices*. https://www.icco.org/statistics/#

International Cocoa Organization [ICCO]. (2022d). *World Cocoa Bean Production, Grindings and Stocks*. February 2022: Quarterly bulletin of cocoa statistics, Vol. XLVIII, N° 1, Cocoa Year 2021/22. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Supply-Demand_QBCS-XLVIII-No.-1.pdf

Jaimes, Y., Gonzalez, C., Rojas, J., Rivera, J. J., Cilas, C., & Argout, X. (2022). Population structure of *Moniliophthora perniciosa* in the main cacao producing departments of Colombia. *Plant Disease*, *100*(12), https://doi.org/10.1094/PDIS-12-20-2679-RE

Jaimes, Y. Y., Ribeyre, F., Gonzalez, C., Rojas, J., Furtado, E. L., & Cilas, C. (2019). Factors affecting the dynamics of frosty pod rot in the main cocoa areas of Santander State, Colombia. Plant disease, *103*(7), 1665-1673. https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1761-RE

Jaimes, Y., & Aranzazu, F. (2010). *Manejo de las enfermedades del cacao* (Theobroma cacao *L.*) *en Colombia, con énfasis en monilia* (Moniliophthora roreri). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_04A.pdf

Koko, L. K., Snoeck, D., & Lekadou, T. T. (2013). Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*, *87*(1), 1043–1052 https://doi.org/10.1007/s10457-013-9619-8

Kouassi, K., N'Zi, J. C., Kahia, J. W., Diby, L., Kouassi, J. L., Yeboi, B. K., & Kouame, C. (2018). Comparison of grafting techniques and their effects on some growth parameters of ten elite cocoa clones (*Theobroma cacao* L.). *African Journal of Agricultural Research, 13*(41), 2249-2255. https://www.researchgate.net/publication/328530922_Comparison_of_Grafting_Techniques_and_their_Effects_on_some_Growth_Parameters_of_Ten_Elite_Cocoa_ClonesTheobroma_cacao_L

Lahive, F., Handley, L.R., & Hadley, P. (2021). Daymond, A.J. Climate Change Impacts on Cacao: Genotypic Variation in Responses of Mature Cacao to Elevated CO2 and Water Deficit. *Agronomy*, *11*(1), 818. https://doi.org/10.3390/agronomy11050818

León, C. E., Rojas, J., & Castilla, C. E. (2019). Physicochemical characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.) soils in Colombia: Are they adequate to improve productivity? [Características fisicoquímicas de los suelos con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia: ¿están adecuados para mejorar la productividad?]. *Agronomía Colombiana, 37*(1), 28. https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/70545/71351

Liendo, R. J. (2005). El secado del cacao. *Agronomía de la producción,* (5), 24-26.

Lora, R. (2001). Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. En F. Silva Mojica (Ed.), *Fertilidad de suelos: diagnóstico y control* (pp. 29-57). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4922/1/216.1.pdf

Mantilla, J., Argüello, A. L., & Méndez, H. (2000). *Caracterización y tipificación de los productores de cacao del departamento de Santander.* http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6355/1/150.pdf

Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En V. J. Flórez (Ed.), *Sustratos, manejo de clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 38-78). Unibiblos. https://www.researchgate.net/profile/Dolors_Roca/publication/237100771_Sustratos_para_el_cultivo_sin_suelo_Materiales_propiedades_y_manejo/links/0deec51b8657d36d7e000000/Sustratos-para-el-cultivo-sin-suelo-Materiales-propiedades-y-manejo.pdf

Mehra, A., & Farago, M. E. (1994). Metal ions and plant nutrition. En M. E. Farago (Ed.), *Plants and the chemical elements: Biochemistry, uptake, tolerance and toxicity* (pp. 31-66).

Meinhardt, L. W., Rincones, J., Bailey, B. A., Aime, M. C., Griffith, G. W., Zhang, D., & Pereira, G. A. (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://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/meinhardt2008.pdf

Mejía, L. A. & Argüello, O. (Comp.). (2005). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao: aspectos ecofisiológicos relacionados con el cultivo del cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwio17WYka-buAhWqd98KHcSpACAQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.agronet.gov.co%2Fbitstream%2F11348%2F3832%2F1%2F220.1.pdf&usg=AOvVaw2hPC4uCojKzzHJD4AjAxyo

Mejía, L. A., & Palencia, G. E. (2004). *Una aproximación a los sistemas agroforestales con cacao.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2152/42059_45165.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, L. A., & Argüello, O. (Comp.). (2000). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3832/1/220.1.pdf

Méndez, H., Argüello, A. L., Mantilla, J., Bobrek, J., Castro, H., Pabón, F. Á., Hernández, G., García, J., Vergel, L., & Araque, C. T. (1997). *Análisis de los sistemas agropecuarios del departamento de Norte de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/32551/39573_23497.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Merchán, V. M. (1981). Avances en la investigación de la moniliasis del cacao en Colombia. *El Cacaotero Colombiano* (16), 26-41. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21917/109933_4392.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2022). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales-EVA 2007-2019.* Agronet. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2021). Cadena De cacao https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2013). *Guía ambiental para el cultivo del cacao*. https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2002). Resolución 00041 de 2002 "*Por la cual se crea el Consejo Nacional Cacaotero".* http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2002/44721/r_magr_00041_2002.html

Montealegre, F. M., Molina, J. R., & Suárez, Y. J. (2021). Factores agronómicos y socioeconómicos que inciden en el rendimiento productivo del cultivo de cacao. Un estudio de cacao en Colombia. *FAVE: Sección Ciencias Agrarias*, *20*(2), 59-74. https://doi.org/10.14409/fa.v20i2.10625

Motamayor, J. C., & Lanaud, C. (2002). Molecular analysis of the origin and domestication of *Theobroma cacao* L. En V. R. Rao, A. H. D. Brown & M. Jackson (Eds.), *Managing plant genetic diversity:*

Proceedings of an international conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 12-16 June 2000 (pp. 77-87). https://www.researchgate.net/profile/Juan-C-Motamayor/publication/266866634_8_Molecular_Analysis_of_the_Origin_and_Domestication_of_Theobroma_cacao_L/links/554913730cf2ebfd8e3ad72e/8-Molecular-Analysis-of-the-Origin-and-Domestication-of-Theobroma-cacao-L.pdf

Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., López, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the mayas. *Heredity, 89*(5), 380-386. https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156

Murrieta, E., & Palma, H. (2015). *Manual de buenas prácticas de cosecha y poscosecha de cacao a nivel de producto: beneficio centralizado y secadora solar.* Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID]; Alianza Cacao Perú; Fondo de las Américas Perú. https://issuu.com/hugopalmamoscoso/docs/manual_postcosecha_de_cacao_-_final

Nacional de Chocolates (2021). Características de clones de cacao CNCH 12 y CNCH13. https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/03/PDF-CLONES-12-Y-13-copia.pdf

Nair, K.P. (2021) Cocoa (*Theobroma cacao* L.). En *Tree Crops*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7_5

Nehring, R., Miranda, A., & Howe, A. (2017). Making the case for Institutional Demand: Supporting smallholders through procurement and food assistance programmes. *Global Food Security*, *12*(1), 96-102. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.09.003

Nogales, J. (2011). *Poscosecha de cacao.* http://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html

Nogales, J., Graziani de Fariñas, L., & Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Tropical*, *56*(1), 5-20. http://ve.scielo.org/pdf/at/v56n1/art01.pdf

Notaro, M., Gary, C. & Deheuvels, O. (2020). Plant diversity and density in cocoa-based agroforestry systems: how farmers' income is affected in the Dominican Republic. *Agroforestry Systems*, *94*(3), 1071-1084. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00472-7

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Crops*. FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Ortiz, K., & Álvarez, 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 Centro de Museos Museo de Historia Natural, 19*(1), 65-84. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682015000100005&script=sci_abstract&tlng=es

Paladines, A., Moreira, A. A., Mieles, A. E., & Garcés, F. R. (2022). Avances en la comprensión de la interacción entre *Ceratocystis cacaofunesta* y *Xyleborus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en árboles de cacao. *Scientia Agropecuaria*, *13*(1), 43-52. https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.004

Pabón, M. G., Herrera, L. I., & Sepúlveda, W. S. (2016). Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios, 20*(38). https://www.redalyc.org/pdf/141/14146082001.pdf

Palencia, G.E., Rengifo G.A., Arguello A., Gómez R., Cadena J., Diaz N., Agudelo G.A., López J.G., Galvis I., Jaimes Y., & Jaramillo C. (2011). [Informe técnico final 1437]. *Evaluación de clones de cacao regionales de alto rendimiento bajo nuevos arreglos forestales con maderas finas tropicales en zonas productoras de Colombia*. Corpoica.

Palencia Calderón, G. E., Gómez Santos, R., Diaz Ariza, N. H., Contreras, N. & Tolosa, J. A. (2006). Rehabilitación de plantaciones de cacao. Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/20498

Palencia Calderón, G. E. (2005). *Establecimiento y manejo de sistemas agroforestales con cacao* [Manual técnico]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá). https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13532?show=full

Palencia C., G. E., Gómez S., R., & Mejía F., L. A. (2007). *Patrones para cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2222/42973_48680.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez, J. I., Rojas, J., & Zabala, A. F. (2021). Plant spacing assessment in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems in the Colombian Pacific region. Agronomía Colombiana, *39*(3). https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n3.90131

Pérez, M. Á. (2011). *Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacaos especiales*. Swiss Foundation for Technical Cooperation (Swisscontact). https://www.colombiamascompetitiva.com/wp-content/uploads/2018/10/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf

Pettersson, E. (2016). *Sustainability evaluations and development challenges of cacao farms: A minor field study in Huila, Colombia* [Bachelor Thesis Project, Örebro University]. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:954804/FULLTEXT01.pdf

Piraquive, G., Matamoros, M., Cespedes, E., & Rodríguez Chacón, J. (2018). *Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología de Harberger.* Departamento Nacional de Planeación.

Ploetz, R. (2016). The impact of diseases on cacao production: A global overview. In B. A. Bailey, & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao diseases* (pp. 33-59). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-24789-2_2

Proyecto de Mejoramiento de Ingresos y Empleo para Productores y Productoras de Cacao en Honduras [Procacaho]. (2017). *Actividades de poscosecha para lograr cacao de calidad* [Boletín infocacao n.° 14]. http://www.fhia.org.hn/dowloads/cacao_pdfs/infocacao/InfoCacao_No14_Sept_2017.pdf

Puentes, Y. J., Menjivar, J. C., Gómez, A., & Aranzazu, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica, 63*(2), 145-152. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/issue/view/3806

Quintana, L. F., García, A., & Moreno, E. (2018). Perfil sensorial de cuatro modelos de siembra de cacao en Colombia. *Entramado, 14*(2), 256-268. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/4756/4075

Quiroz, J., & Amores, F. (2002). Rehabilitación de plantaciones tradicionales de cacao en Ecuador. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica). http://hdl.handle.net/11554/6771

Quiroz, V. J., & Mestanza, V., S. (2012). *Injertación de cacao* [Boletín técnico n.° 148]. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Iniap); Gobernación Nacional de la República del Ecuador; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Cooperación Técnica Alemana (GIZ). http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Injertacion_de_cacao.pdf

Reis, G. S. M., Almeida, A. A. F. D., Mangabeira, P. A. O., Santos, I. C. D., Pirovani, C. P., & Ahnert, D. (2018). Mechanical stress caused by wind on leaves of Theobroma cacao: Photosynthetic, molecular, antioxidative and ultrastructural responses. *Plos one, 13*(6), e0198274. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198274

Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J., & Rehpani, C. (2017). *Estrategias país para la oferta de cacaos especiales: políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana*. Swisscontact Colombia Foundation. https://issuu.com/bocetos3/docs/cacaosespeciales1

Rodríguez, M. M. (2016). *Secado correcto del cacao: garantía de un buen sabor y aroma.* Viva el cacao nuestra ruta es Venezuela. https://vivaelcacao.com/cacao-bien-seco-es-mejor/

Rojas, M., J., Caicedo, V., & Jaimes, Y. (2017). Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander (Colombia). *Agronomía Colombiana, 35*(2), 182-189. http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v35n2/0120-9965-agc-35-02-00182.pdf

Rosas, G., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2019). Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 20*(1), 17-27. http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1247/558

Sánchez, V. H., Zambrano, J. L., & Iglesias, C. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. Plataforma multiagencia de cacao para América Latina y el Caribe: Cacao 2030-2050* (Fondo Semilla). http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382

Schroth, G., & Harvey, C. A. (2007). Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: An overview. *Biodiversity and Conservation, 16*(8), 2237-2244. https://www.researchgate.net/publication/225674579_Biodiversity_conservation_in_cocoa_production_landscapes_An_overview

Schroth, G., Krauss, U., Gasparotto, L., Duarte Aguilar, J. A., & Vohland, K. (2000). Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry systems, 50*(3), 199-241. http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Schrot2000PestAndDiseases.pdf

Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). Cacao nutrition and fertilization. In Eric Lichtfouse (Ed.), *Sustainable agriculture reviews* (pp. 155-202). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-26777-7_4

Sodré, G. A. (2017). *Cultivo do cacaueiro no estado da Bahia*. Centro de Pesquisas do Cacau (Ceplac); Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Cepec).

Somarriba, E., & López, A. (2018). Coffee and cocoa agroforestry systems: pathways to deforestation, reforestation, and tree cover change. The World Bank (Washington D.C.) USA. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9035

Souza Júnior, J. O., Sodré Andrade, G., & Lima Neves, J. C. (2018). Fertilidade do solo, correção da acidez e recomendação de adubação para o cacaueiro. En J. O. Souza Júnior (Ed.), *Cacau: cultivo, pesquisa e inovação* (pp. 333-377).

Suárez, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M., & Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *Plos One*, *13*(11), e0206149. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206149

Susilo, A. W., Sulastri, D., & Djatiwaloejo, S. (2005). Selection and estimation the genetic parameters of rootstock characteristics on cocoa seedling of half-sibs families. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), 21*(3). https://www.researchgate.net/publication/275276020_Selection_and_Estimation_the_Genetic_Parameters_of_Rootstock_Characteristics_on_Cocoa_Seedling_of_Half-sibs_Families

Teixeira, P. J. P. L., Thomazella, D. P. D. T., & Pereira, G. A. G. (2015). Time for chocolate: current understanding and new perspectives on cacao witches' broom disease research. PLoS Pathogens, 11(10), e1005130. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005130

Teneda Llerena, W. F. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao FC (Theobroma cacao L.): variedad nacional y variedad CCN51*. Universidad Internacional de Andalucía.

Tezara, W., Coronel, I., Urich, R., Marín, O., Jaimez, R., & Chacón, I. (2009). Plasticidad ecofisiológica de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes ambientes de Venezuela. En *Memorias III Latinoamericano y Caribeño de Estudiantes, São Lourenço-MG, Brasil*. http://ecologia.ib.usp.br/seb-ecologia/2009/resumos_professores/wilmer_tezara.pdf

Turnbull, C. J., & Hadley, P. (2022). International cocoa germplasm database (ICGD). [Online Database]. CRA Ltd./ICE Futures Europe/University of Reading. http://www.icgd.reading.ac.uk. Accessed 31 March 2022

Urueta, I.C., Leiva, E.I., & Ramirez, R. (2017). crecimiento y desarrollo del cultivo del cacao en bosque húmedo premontano (bh-PM) y bosque húmedo tropical (bh-T) influenciado por el fenómeno del niño. 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR) Lima, Perú. https://www.icco.org/?media_dl=2613

Van Raij, B. (2011). *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. International Plant Nutrition Institute.

Vargas, A., Somarriba, E. J., & Carballo, M. (2005). Dinámica poblacional del chinche (*Monalonion dissimulatum* Dist.) y daño de mazorcas en plantaciones orgánicas de cacao del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas,* (43-44), 72-76. https://www.researchgate.net/publication/324227528_Dinamica_poblacional_del_chinche_Monalonion_dissimulatum_Dist_y_dano_de_mazorcas_en_plantaciones_organicas_de_cacao

Vásquez, A. M., Grandett, L. M. Novoa, R., & Agudelo, G. A. (2019). *Validación de metodologías para la rehabilitación de plantaciones improductivas de cacao.* AGROSAVIA. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35554

Vespa, A. (2008). *Relaciones hídricas e intercambio gaseoso en* Theobroma cacao *en dos tipos de suelos* [Trabajo especial de grado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela].

Zabala, A., Fuentes, J., Castillo, J., & Roa-Ortiz, S. (2019). The importance of non-monetary cost in start-up and annual cacao (*Theobroma cacao* L.) production activities in Santander, Colombia. *Agronomía Colombiana*, *37*(1), 73-83. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.71681

Zequeira, C., Santiago, D., MacGregor, I., & Castillo, O. (2021). Tree diversity and composition in Mexican traditional smallholder cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, *95*(8), 1589-1602. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00673-z

Zhang, D., & Motilal, L. (2016). Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. En B. Bailey & L. Meinhardt (Eds). *Cacao Diseases*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_1

Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): Model presentation, validation and application. *Agricultural Systems, 84*(2), 195-225. https://www.researchgate.net/publication/222840002_A_physiological_production_model_for_cocoa_Theobroma_cacao_Model_presentation_validation_and_application

Impresión y encuadernación:
DGP Editores

Terminó de imprimirse en julio de 2022, en
Bogotá, D. C., Colombia

Santander es el primer productor de cacao en Colombia y con un rendimiento promedio de 600 kg/ha de cacao seco, superior a otros departamentos. Sin embargo, esos indicadores de productividad no le garantizan una rentabilidad, ni la sostenibilidad que permita que la producción de cacao sea aspiracional para todos los jóvenes rurales que emigran a la ciudad en búsqueda de alternativas productivas, ya que no hay una mejora en su calidad de vida. Estamos seguros de que productores juiciosos, dedicados y que aplican la tecnología disponible para el sector cacaotero tienen rendimientos superiores a los 1.500 kg/ha de cacao seco que hacen rentable el sistema productivo. Todo se hace utilizando las técnicas y los conocimientos adecuados que han aprendido a través de la experiencia y de las capacitaciones con las diferentes instituciones del sector, como Fedecacao y AGROSAVIA. Por ello, este modelo productivo les ofrece la oferta tecnológica disponible que se requiere para generar un cambio en el manejo de las plantaciones y dar respuesta a los desafíos que afronta la cacaocultura a nivel mundial. En los once capítulos de este documento podrá encontrar información útil para el manejo de cacaos finos de sabor y aroma bajo sistema agroforestal (SAF).

BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**
TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00** EXT. **1257 o 1274**
SKYPE: **biblioteca.agropecuaria**

www.agrosavia.co

ISBN: 978-958-740-552-1

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA
EDITORIAL