

Modelo productivo

para el cultivo de **cacao**
(*Theobroma cacao*) para el
departamento de Santander

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

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

Autores

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

Mosquera, Colombia, 2021

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander / Yeirme Yaneth Jaimes Suárez [y otros cuatro] – Mosquera (Colombia) : AGROSAVIA, 2021.

168 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye ilustraciones, gráficos, tablas
ISBN E-book: 978-958-740-464-7

1. *Theobroma cacao* 2. Propagación de plantas 3. Cosecha 4. Medidas fitosanitarias 5. Indicadores económicos 6. Santander (Colombia). I. Yeirme Yaneth Jaimes Suárez II. Genaro Andrés Agudelo III. Eliana Yadira Báez Daza IV. Gersain Antonio Rengifo Estrada V. Jairo Rojas Molina.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agropecuaria
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 "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.

Fecha de recepción: 26 de marzo de 2020
Fecha de evaluación: 24 de abril de 2020
Fecha de aceptación: 21 de septiembre de 2020

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, mayo 2021

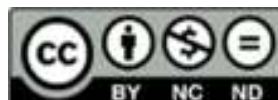
Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Edición: Diego Pérez Medina
Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieve

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

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>

Citación sugerida: Jaimes Suárez, Y. Y., Agudelo, G. A., Báez Daza, E. Y., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>

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



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

Contenido

Los autores	13
Introducción.....	16
Capítulo I	
Cadena productiva del cacao-chocolate	19
Capítulo II	
Situación mundial del cacao	21
Producción	21
Moliendas.....	23
Capítulo III	
Situación nacional del cacao	25
Producción	25
Comercio internacional.....	29
Capítulo IV	
Descripción de la producción en Santander.....	30
Características naturalesde la zona productora de cacao en Santander.....	30
Clima	31
Zonas agroecológicas.....	33
Características socioeconómicas	34
Capítulo V	
Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao.....	36
Altitud	36
Relieve	36
Temperatura.....	37
Radiación solar	37
Vientos	38
Precipitaciones	39
Humedad relativa	40
Requerimiento edáfico.....	40

Capítulo VI

Taxonomía y material genético 43

Descripción taxonómica.....	43
Materiales genéticos	44
Propagación del material genético.....	46
Materiales genéticos utilizados	47
para la producción de patrones.....	47
Material genético utilizado	50
como copas productivas	50
Compatibilidad sexual	54

Capítulo VII

Manejo agronómico 59

Sistemas agroforestales con cacao	61
Sombríos productivos	63
Sombrío permanente	63
Sombrío transitorio	64
Cultivos de cobertura	64
Establecimiento del cultivo	65
Selección del terreno	65
Adecuación del terreno	65
Trazo de la plantación	65
Ahoyado	69
Siembra	69
Manejo de malezas	71
Nutrición	71
Sustratos esenciales para la producción de clones de cacao en etapa de vivero..	74
Requerimientos nutricionales de las plántulas de cacao en vivero.....	77
Propiedades químicas del suelo para plantaciones de cacao.....	78
Análisis de suelos	79
Fertilización en la etapa productiva de la plantación	87
Recomendaciones para la aplicación el fertilizante o abono.....	89
Siembras nuevas	89
Cultivos ya establecidos	90
Épocas de aplicación	90

Capítulo VIII

Manejo fitosanitario 93

Monilia.....	94
Síntomas y signos	94
Ciclo de la enfermedad.....	97
Control de la monilia.....	98
Escoba de bruja	99
Síntomas y signos	99
Ciclo de la enfermedad.....	102
Control de la escoba de bruja	104
Mazorca negra	104
Síntomas y signos	105
Ciclo de la enfermedad.....	107
Control de la mazorca negra	108
Mal del machete.....	110
Síntomas y signos	111
Ciclo de la enfermedad.....	112
Control del mal del machete	113
Llaga estrellada.....	113
Síntomas y signos	114
Ciclo de la enfermedad.....	115
Control de la llaga estrellada.....	116
Otros problemas fitosanitarios del cultivo de cacao en Santander	116
Insectos plaga del género <i>Monalonion</i>	116
Perforadores de fruto	118

Capítulo IX

Modernización de plantaciones improductivas..... 120

Renovación y rehabilitación de plantaciones	120
Diagnóstico de la plantación	120
Adecuación de la parcela	121
Injertación de los árboles a rehabilitar	122

Capítulo X

Cosecha y poscosecha del cacao 123

Recolección de frutos de cacao	123
Clasificación de frutos de cacao	126
Partida de frutos y extracción de granos	127
Fermentación de los granos de cacao	129
Secado de los granos de cacao	136
Limpieza y clasificación de granos de cacao.....	140
Empaque	141
Requisitos físicos y químicos	142

Capítulo XI

Costos de producción..... 144

Costos de establecimiento de vivero y producción de material vegetal clonado de cacao (precios de 2017)	144
Costos de establecimiento del cultivo de cacao bajo arreglo agroforestal y de mantenimiento de los primeros cuatro años (precios de 2017).....	147

Referencias 152

Lista de figuras

Figura 1	Estructura de la cadena del cacao-chocolate	19
Figura 2	Producción de grano de cacao seco de los diez principales países productores (2020)	22
Figura 3	Comportamiento del precio mensual nacional e internacional del grano seco de cacao en los últimos cinco años	24
Figura 4	Área de cacao sembrada por departamento, 2019	26
Figura 5	Participación en la producción nacional de granos de cacao seco (%) de los principales departamentos productores de Colombia, 2019	27
Figura 6	Producción de cacao por departamentos, 2017.....	28
Figura 7	Importaciones y exportaciones de granos de cacao seco realizadas en Colombia, periodo 2010-2017.....	29
Figura 8	Los cinco principales municipios cacaoteros del departamento de Santander, 2017.....	31
Figura 9	Cronograma de prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustado a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Santander.....	33
Figura 10	Mapa de suelos del departamento de Santander	34
Figura 11	Material genético liberado por AGROSAVIA en 2014 (TCS 01 y TCS 06) y 2017 (TCS 13 y TCS 19)	45
Figura 12	Método de propagación asexual del cacao mediante injertos	46
Figura 13	Plántulas de <i>T. cacao</i> con injertación.....	47
Figura 14	Variedades de material vegetal empleadas como patronaje en la propagación vegetativa del cacao	48
Figura 15	Semilla de cacao adecuada para la obtención de patrones, pregerminada para la siembra en sustrato.....	49
Figura 16	Material vegetal de cacao apto para establecimiento definitivo en campo.....	50
Figura 17	Materiales genéticos de cacao liberados por AGROSAVIA para las subregiones Montaña Santandereana y Magdalena Medio (Santander)....	53
Figura 18	Flores de <i>T. cacao</i> con edad para su fecundación	54
Figura 19	Modelo de siembra de materiales de la serie TCS liberados en combinación.....	55
Figura 20	Modelo de siembra por franjas de materiales autocompatibles liberados por AGROSAVIA con alto porcentaje de fecundación	55

Figura 21	Clones de cacao especiales TCS de AGROSAVIA, sembrados ordenadamente en sistemas agroforestales de maderas finas tropicales.....	58
Figura 22	Sistema agroforestal de maderas finas con cacao	62
Figura 23	Trazado del lote para siembra de especies de sistema agroforestal con cacao	66
Figura 24	Disposición del sistema agroforestal de cacao	68
Figura 25	Síntomas foliares de deficiencias de nutrientes	85
Figura 26	Síntomas y signos de monilia	96
Figura 27	Ciclo de la monilia	97
Figura 28	Síntomas de escoba verde (previos a la necrosis del tejido) ocasionados por <i>M. perniciosa</i>	100
Figura 29	Síntoma de escoba de bruja en cojín floral.....	101
Figura 30	Ciclo de la escoba de bruja	103
Figura 31	Formación de basidiocarpos de <i>M. perniciosa</i> sobre tejido enfermo necrosado de planta de cacao	103
Figura 32	Síntomas de mazorca negra en fruto de cacao	106
Figura 33	Síntomas de mazorca negra en tronco	107
Figura 34	Ciclo de la mazorca negra	108
Figura 35	Procedimiento para el manejo de cánceres causados por <i>Phytophthora</i> sp. en árboles de cacao.....	110
Figura 36	Síntomas de clorosis ocasionada por el mal de machete.....	112
Figura 37	Árbol de cacao con clorosis generalizada ocasionada por la enfermedad de la llaga estrellada.....	115
Figura 38	Insecto-plaga del género <i>Monalonion</i> y daño que ocasiona.....	117
Figura 39	Daño ocasionado por larva del género <i>Gymnandrosoma</i> en frutos de cacao	118
Figura 40	Daño ocasionado por larva del género <i>Stenoma</i> en frutos de cacao .	119
Figura 41	Colores de frutos de cacao según su madurez fisiológica.....	124
Figura 42	Frutos de cacao no aptos para cosecha y poscosecha	125
Figura 43	Cosecha de frutos de cacao con madurez óptima para su beneficio..	126
Figura 44	Selección de frutos de cacao cosechados	127
Figura 45	Labor de partir frutos de cacao	128
Figura 46	Extracción de granos de los frutos de cacao	129
Figura 47	Masa de granos de cacao con mucílago en los cajones de fermentación .	130
Figura 48	Monitoreo de temperatura de la masa de cacao.....	131
Figura 49	Volteo de granos de cacao en fermentación	131

Figura 50	Cortes de granos de cacao que permiten identificar el estado de fermentación por cambio en la coloración	133
Figura 51	Prueba de corte de granos de cacao para determinar grado de fermentación	134
Figura 52	Cajones tipo escalera para la fermentación de granos de cacao ...	135
Figura 53	Cajones tipo doble o lineal para fermentación de granos de cacao .	135
Figura 54	Cajón de tipo rotatorio para fermentación de granos de cacao	136
Figura 55	Infraestructura para el secado natural de grano de cacao	137
Figura 56	Secador artificial rotatorio con aire caliente.....	138
Figura 57	Prueba manual para determinar el contenido de humedad de los granos de cacao.....	139
Figura 58	Instrumentos para determinar el porcentaje de humedad de los granos de cacao.....	140
Figura 59	Granos de cacao mohoso	141
Figura 60	Empaque en sacos de granos de cacao.....	142

Lista de tablas

Tabla 1	Representantes de la cadena productiva del cacao-chocolate	20
Tabla 2	Producción, moliendas e inventarios mundiales de grano de cacao seco de los cinco últimos años cacaoteros	24
Tabla 3	Caracterización socioeconómica del departamento de Santander	35
Tabla 4	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao	42
Tabla 5	Taxonomía del cacao	44
Tabla 6	Principales características productivas de los materiales genéticos de cacao recomendados para Santander.....	52
Tabla 7	Matriz de compatibilidad entre materiales genéticos de AGROSAVIA....	56
Tabla 8	Matriz de compatibilidad entre materiales universales y de Fedecacao..	57
Tabla 9	Elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	73
Tabla 10	Niveles mínimos de las condiciones químicas de los suelos para el desarrollo de proyectos productivos de cacao en Colombia.....	74
Tabla 11	Propiedades físicas y químicas de un sustrato ideal para el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao en vivero	77
Tabla 12	Principales datos que debe llevar la etiqueta de las muestras que se envían al laboratorio de química de suelos.....	81
Tabla 13	Valores para la interpretación de la fertilidad de suelos cacaoteros de Colombia	82
Tabla 14	Rango para la interpretación del pH o grado de acidez de los suelos agrícolas.....	83
Tabla 15	Rangos óptimos de disponibilidad de nutrientes en suelos de acuerdo con el grado de acidez.....	86
Tabla 16	Estimado de cantidad de nutrientes absorbidos por la planta de cacao en diferentes etapas de desarrollo.....	87
Tabla 17	Principales nutrientes removidos por tonelada de semilla y de cacota de cacao	88
Tabla 18	Extracción de nutrientes (kg/1.000 kg de grano seco) en clones de cacao con aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio	88
Tabla 19	Síntomas de deficiencias nutricionales en la planta de cacao	92
Tabla 20	Principales problemas sanitarios del cultivo de cacao en Colombia....	93
Tabla 21	Clasificación a nivel de plantación híbrida y a nivel de árbol clonado para determinar grado de eficiencia productiva	121

Tabla 22	Requisitos físicos y químicos del grano de cacao.....	142
Tabla 23	Características más importantes del grano de cacao de acuerdo con la tolerancia permitida	143
Tabla 24	Costos de construcción y dotación de vivero y producción de plántulas de cacao (precios de 2017)	145
Tabla 25	Costos de inversión para el establecimiento de una hectárea de sistema agroforestal de cacao durante los primeros cuatro años.....	148

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 *M. 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 DazaCorreo: ebaez@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-1059-1604>

Ingeniera agrónoma, 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 recurso genético, en caracterización morfológica de materiales, en selección de materiales genéticos de cacao con requerimientos de producción, calidad y factores climáticos, en el manejo de cosecha y poscosecha de cacao, en modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales, y en el manejo productivo del cultivo de cacao bajo SAF. 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 Investigador Máster vinculado a la red de cacao y al Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro Santander.

Gersaín Antonio Rengifo EstradaCorreo: grengifo@agrosavia.coOrcid: <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) y 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 y sustentable 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 fertilidad, evaluación de metales pesados en suelos cacaoteros y determinación de servicios ecosistémicos de los SAF (biodiversidad y carbono entre otros).

Jairo Rojas MolinaCorreo: jrojas@agrosavia.coOrcid: <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), en el estado de Bahía, Brasil. Se ha desempeñado como profesor en las maestrías 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 publicado en indexadas sobre temas relacionados al cultivo de cacao.

Introducción

En la última década, el gobierno de Colombia ha realizado esfuerzos por aumentar sus áreas sembradas de cacao. Según datos de 2019, el país cuenta con cerca de 231.680 ha, distribuidas en 31 departamentos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2020). El cultivo genera 62.000 empleos directos y 93.000 indirectos y de él dependen más de 38.000 familias (MADR, 2018). El 77,4 % de la producción se concentra en los departamentos de Santander, Antioquia, Arauca, Huila, Tolima y Nariño. Santander es el principal productor, con 42,1 % (Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao], 2020), departamento en el que el cacao constituye un cultivo estratégico debido a su importancia socioeconómica (Plan de Desarrollo Departamental de Santander [PDDS], 2016).

En Colombia, el cultivo de cacao tiene una importancia socioeconómica significativa porque se cultiva en zonas de economía rural con altos niveles de pobreza y predominio de conflictos sociales. El 95 % de los cacaocultores son pequeños campesinos, que cultivan el producto en un área promedio de tres hectáreas y en zonas con limitaciones edáficas. Además, el cacao se siembra como alternativa a los cultivos con fines ilícitos (MADR, 2018). Tradicionalmente, el país no solo ha vendido el grano, sino que también lo ha consumido, ya que forma parte de la dieta campesina y urbana en una proporción mayor que el café (García-Cáceres et al., 2014). El marco socioeconómico en el que se desarrolla su cultivo corresponde a una economía campesina de pequeños y medianos productores. En esta economía predominan la mano de obra familiar y fincas diversificadas en las que el grano no siempre es el producto principal (Espinal G. et al., 2005; Pettersson, 2016).

El cacao, en su mayoría, se siembra asociado a especies maderables o frutales y su cultivo se considera una práctica agronómica ambientalmente amigable y sustentable en lo que respecta a biodiversidad, servicios ecosistémicos asociados, seguridad alimentaria y flujo de caja de los agricultores (Álvarez-Carrillo et al., 2012).

Se estima que en 2019 el área sembrada del país era de aproximadamente 183.947 ha, de las cuales 57.916 se encontraban en Santander. La producción aumentó de 36.118 t en 2009 a 59.665 en 2019 (Fedecacao, 2020), debido en gran medida al aumento del área sembrada. Los departamentos con mayor producción son, en su orden, Santander (42,1 %), Antioquia (8,8 %), Arauca (7,6 %), Huila (6,8 %), Tolima (6,6 %) y Nariño (5,5 %) (Fedecacao, 2020). La mayor parte de la producción proviene de materiales híbridos, aunque han crecido las áreas sembradas con materiales provenientes de programas de mejoramiento de entidades como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA (clones TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19), la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) (clones FTA 2, FSA 12, FSA 13, FEAR 5, FEC 2, FLE 2, FLE 3, FSV 41, FSV 155), la Compañía Nacional de Chocolates (clones CNCH 12 y 13) y Luker (clones Luker 40 y Luker 50), y las áreas sembradas con materiales llamados *universales*, como CCN 51, ICS 1, ICS 39, TSH 565, entre otros.

El cacao presenta ventajas frente a otras alternativas de cultivo debido a sus beneficios sociales, productivos y ambientales y a que su siembra se ha estimulado con el aumento del área de producción. Sin embargo, sus rendimientos son bajos (Pabón et al., 2016), cercanos a los 450 kg/ha en Colombia, lo que hace pensar que los productores no han adoptado la oferta tecnológica existente en la actualidad (MADR, 2019).

La cacaocultura en Santander presenta un estancamiento en su productividad. Pese a que produce cerca de 640 kg de cacao seco/ha, cifra muy superior al promedio nacional, el departamento no evidencia incrementos significativos que reflejen los diversos programas y proyectos que los gobiernos regional y nacional y Fedecacao han implementado para mejorar el sistema productivo en la región (Abbott et al., 2017).

Buena parte de este estancamiento se debe al bajo nivel de adopción de las tecnologías disponibles, lo cual está asociado a factores como el envejecimiento del productor cacaotero (su edad promedio supera los 50 años), su bajo nivel de escolaridad (Pabón et al. 2016), su poco acceso al crédito, y la volatilidad en el precio del cacao, que hace que los productores en muchos casos no inviertan

en las plantaciones. Estas condiciones disminuyen la competitividad del sector primario y le restan posicionamiento nacional e internacional al sector industrial (Espinal G. et al., 2005).

La baja adopción de tecnología deriva en malas prácticas de manejo en las plantaciones. Se utilizan variedades de baja productividad y susceptibles a enfermedades como monilia y escoba de bruja (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010). Además, la fertilización no se adopta como una práctica habitual para mejorar la productividad, no se realizan podas frecuentes y las densidades de siembra no son las adecuadas (en muchos casos se presentan menos de 600 árboles de cacao por hectárea). Todo esto, sumado al envejecimiento de los cultivos, hace que la productividad sea baja y que no exista una retribución económica para el productor.

La mayor parte de la producción de Santander se comercializa en grano, negocio que está liderado por compañías nacionales como Casa Luker y la Compañía Nacional de Chocolates y por algunas empresas regionales. Sin embargo, las tendencias internacionales apuntan a otros mercados, como por ejemplo el de los "cacaos especiales" (Ríos et al., 2017), que incluyen cacaos de orígenes únicos, cacaos diferenciados por toques organoléptico, cacaos orgánicos o cacaos certificados (Fairtrade, Agricultura Sostenible, UTZ o Rainforest Alliance). Mercados diferenciados como estos plantean la necesidad de un cambio para adoptar estándares de producción más rigurosos y alcanzar una mayor calidad en la transformación del producto.

El modelo productivo que se ofrece en el presente documento resulta importante dado el panorama descrito hasta aquí. El documento muestra la actualidad del sector cacaotero en Santander y brinda información sobre la oferta tecnológica que AGROSAVIA y otros actores han desarrollado para el departamento. El fin de esta oferta tecnológica es resolver las brechas tecnológicas y dar apoyo a los servicios de capacitación y asistencia técnica de las entidades que atienden a los productores, en aspectos sensibles de la productividad como obtención de material vegetal de calidad, manejo de enfermedades y plagas, establecimiento de plantaciones, procesos de beneficios y transformación del producto.

Capítulo I

Cadena productiva del cacao-chocolate

La cadena productiva del cacao-chocolate se creó mediante la firma, en octubre de 2002, del *Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena del cacao y su agroindustria* y la conformación del Consejo Nacional Cacaotero (MADR & IICA, 2001). Esta cadena productiva se divide en tres eslabones: el primario, donde se encuentra el productor; el secundario, que hace referencia a los comercializadores internos y externos del grano de cacao, y el terciario o industrial, en el que participan empresas procesadoras del grano y productoras de chocolate y confitería, así como la industria farmacéutica (figura 1) (Espinal G. et al., 2005).

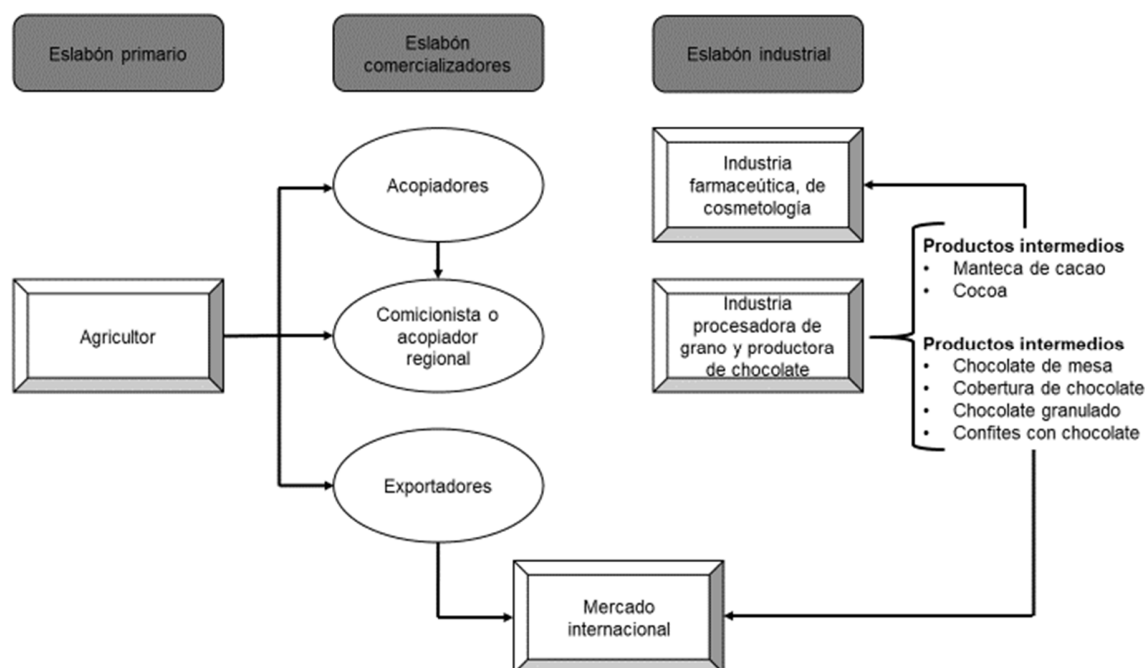


Figura 1. Estructura de la cadena del cacao-chocolate.

Fuente: Espinal G. et al. (2005)

Los principales actores de la cadena son los productores, acopiadores, exportadores y la industria. Sin embargo, existen otros actores acompañantes, representados por gremios y entidades del gobierno, como Fedecacao, AGROSAVIA, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT), la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), entre otros (Espinal G. et al., 2005). El Consejo Nacional Cacaotero está conformado por un representante de cada eslabón (tabla 1).

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

Eslabón	Representantes
Estado	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT)
Productores	Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) Cooperativa Ecocacao Asociación de Productores de Cacao Sur de Bolívar (Aprocasur)
Industria	Compañía Nacional de Chocolates Casa Luker Colombina S. A. Chocolate Girones
Apoyo	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI)

Fuente: Espinal G. et al. (2005)

Se espera que para el año 2024, Colombia alcance una producción de mínimo 150.000 toneladas de grano de cacao seco, para que dicha producción cumpla con los requisitos de los mercados nacionales e internacionales. Con esto también se busca brindar a los diferentes eslabones de la cadena sostenibilidad social, económica 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 para los países exportadores de 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 II

Situación mundial del cacao

En 2018, existían en el mundo aproximadamente 11,8 millones de hectáreas de cacao, de las cuales 7,24 millones se encontraban en África occidental, 1,93 millones en Asia y Oceanía y 1,84 millones en Latinoamérica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). En esta última región, Brasil tenía la mayor área, con 577.000 ha, equivalentes al 33,09 %. Lo seguían Ecuador y Perú, con 501.900 y 160.4000 ha respectivamente, correspondientes al 28,8 % y el 9,2 % del área sembrada en Latinoamérica. Colombia ocupaba el quinto lugar en la región con un área sembrada equivalente al 8,34 % (FAO, 2020).

Producción

En el año cacaotero 2018-2019, la producción mundial fue de 4,745 millones de toneladas, y se estima que aumentará 79.000 toneladas en el año 2019-2020. África es la región que más aporta a la producción mundial de grano de cacao seco (75,2 %), seguida de América Latina (17,7 %) y Asia y Oceanía (6,0 %) (International Cocoa Organization [ICCO], 2020a). Costa de Marfil es el primer país productor de cacao, con 1,96 millones de toneladas (37,4 % de la producción mundial); seguido por Ghana, con 947.600 toneladas (18,0 %), e Indonesia, con 593.800 toneladas (11,3 %) (figura 2) (FAO, 2020).

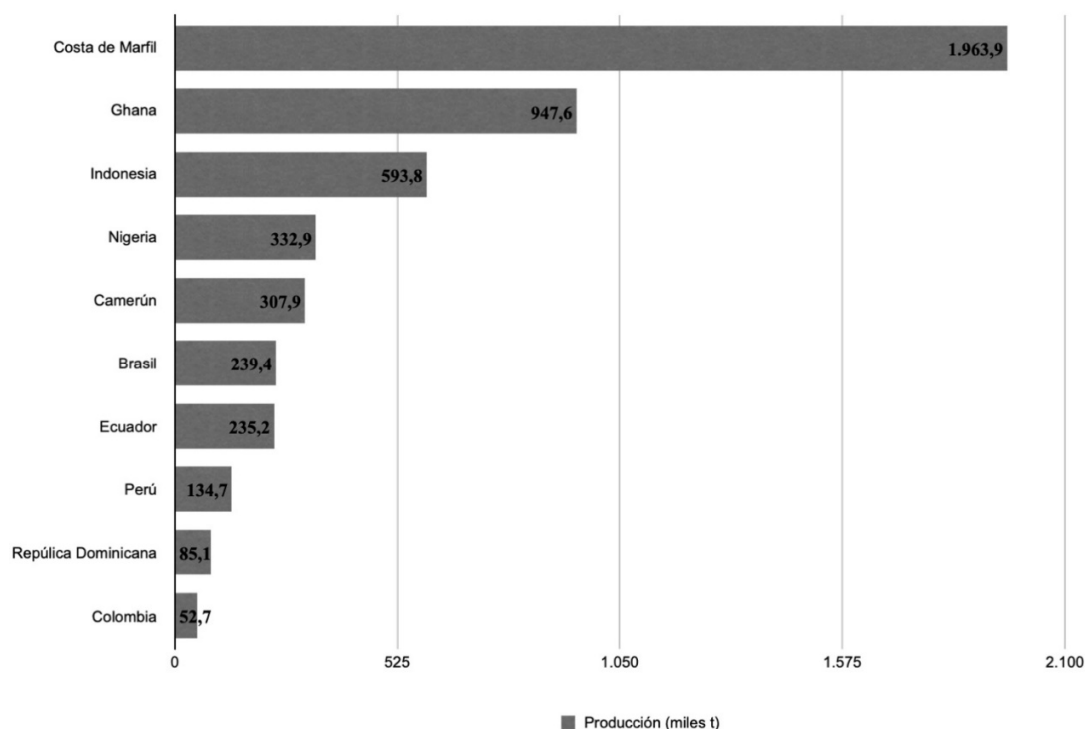


Figura 2. Producción de grano de cacao seco de los diez principales países productores (2020).

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2020)

Brasil, además de ser el primer productor de Latinoamérica, es el sexto a nivel global, con 239.400 toneladas, equivalentes al 4,6 % de la producción mundial y al 30,2 % de la producción de grano de cacao seco en la región. El séptimo y el octavo lugar a nivel mundial, o el segundo y el tercero a nivel regional, lo ocupan Ecuador y Perú, con 235.200 y 134.700 toneladas respectivamente, correspondientes al 4,5 % y el 2,6 % de la producción mundial y al 27,3 % y el 11,2 % de producción regional. En 2018, Colombia ocupaba el décimo lugar mundial y el quinto en Latinoamérica, con 1,0 % de la producción mundial y 7,4 % de la producción regional (figura 2) (FAO, 2020).

Moliendas

Para el año cacaotero 2018-2019, se estimó un crecimiento del 3,4 % de las moliendas mundiales de granos de cacao seco con respecto a años anteriores (tabla 2) (ICCO, 2020a). Ese mismo año las moliendas reportaron una producción de cerca de 4,8 millones de toneladas. Asia y Oceanía registraron el mayor crecimiento, con un incremento del 1,2 % (108.000 t), seguidas por África, con 0,2 %. Las moliendas de Europa y Latinoamérica sufrieron reducciones de 1,3 % y 0,3 %, respectivamente. En lo que respecta al año cacaotero 2019-2020, se estima un incremento de las moliendas de aproximadamente 4,86 millones de toneladas (1,2 %), y un ligero aumento de la producción mundial de grano de cacao seco (1,7 %) (ICCO, 2020a).

Los incrementos de la producción y las moliendas en el año cacaotero 2016-2017 repercutieron en el precio internacional, que bajó durante el periodo 2017-2019 y que en promedio fue de USD 2.221,2/t. Los precios internacionales de 2017 fueron los más bajos de los últimos diez 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 2020 fue de USD 2.343,4/t, con los precios más altos en enero y febrero de 2020 (USD 2.603,1 y USD 2.716,2 por tonelada, respectivamente) (figura 3) (ICCO, 2020b). En cuanto a inventarios, se presentó un incremento aproximado de 36.000 toneladas entre 2017-2018 y 2018-2019, ya que se pasó de 1.723.000 a 1.759.000 toneladas de grano seco (tabla 2). Este leve incremento de los inventarios durante el último 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 tonelada (figura 3).

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 8.082/t, y cayó a partir del mes de noviembre de 2016 hasta llegar a COP 4.718/t en febrero de 2018 (figura 3). 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 marzo de 2020, cuando fue de COP 8.394,8/t (MADR, 2020).

Tabla 2. Producción, molindas e inventarios mundiales de grano de cacao seco de los cinco últimos años cacaoteros

Año cacaotero	Producción	Molindas	Inventarios
	(miles de toneladas)		
2014-2015	4.248	4.154	1.597
2015-2016	4.031	4.141	1.447
2016-2017	4.739	4.396	1.726
2017-2018	4.645	4.568	1.723
2018-2019	4.745	4.805	1.759

Fuente: International Cocoa Organization (icco) (2020a)

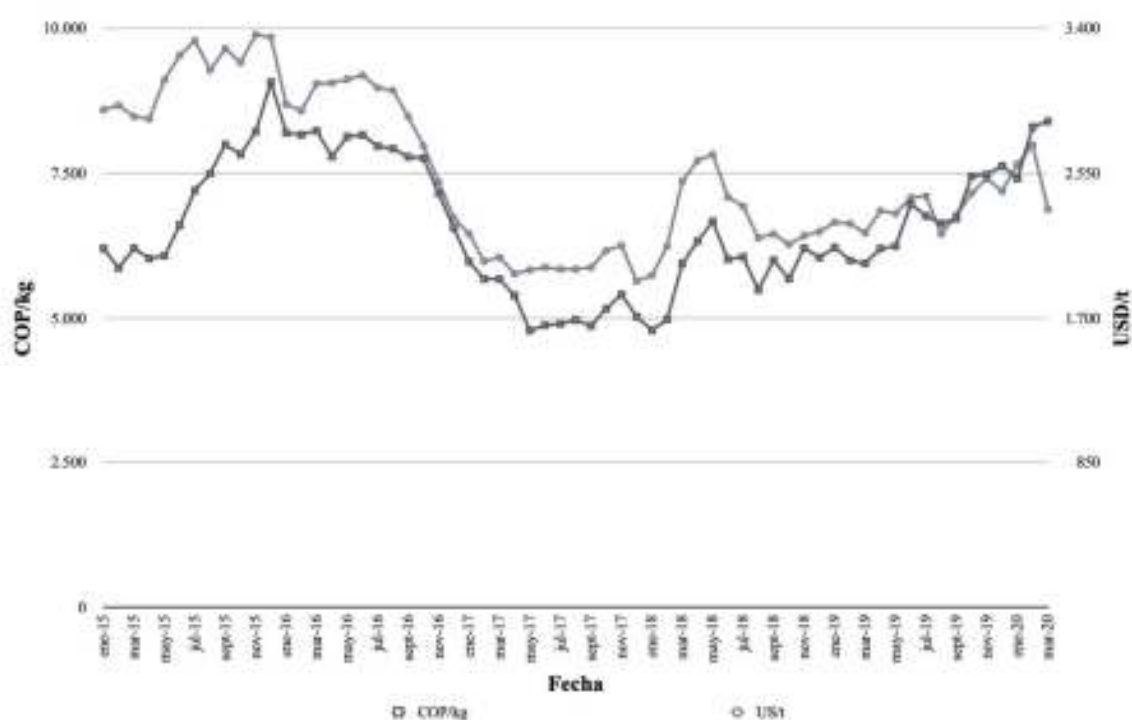


Figura 3. Comportamiento del precio mensual nacional e internacional del grano seco de cacao en los últimos cinco años.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de ICCO (2020b) y MADR (2020)

Capítulo III

Situación nacional del cacao

Al finalizar el año 2019, Colombia tenía un área aproximada de 183.500 hectáreas establecidas con el cultivo de cacao. Para 2020 se esperaba llegar a las 190.000 hectáreas, lo que equivale a un incremento de 3 %, porcentaje que es el mismo del crecimiento promedio anual de los últimos años. El departamento de Santander tiene un aproximado de 57.900 hectáreas sembradas de cacao, área que corresponde al 32% del área sembrada de todo el país (figura 4) (Fedecacao, 2020).

Producción

En los últimos años, la producción del grano de cacao seco en el país registró un incremento, ya que pasó de 46.700 toneladas en 2013 a 59.800 en 2019, lo que significó un aumento de 13.100 toneladas. El departamento de Santander es el principal productor del país, con una participación del 42 % en el total de la producción nacional (figuras 5 y 6), correspondiente a 25,100 toneladas (Fedecacao, 2020). Los departamentos que le siguen en importancia son Antioquia, Arauca, Huila y Tolima, con participaciones en la producción de 8,8 %, 7,6 %, 6,8 % y 6,6 % respectivamente (figura 5). En conjunto, estos cinco departamentos producen el 71,9 % del grano de cacao seco en el país. Los rendimientos se mantienen en un promedio de 450 kg/ha, pese a las nuevas áreas establecidas con materiales clonados (MADR, 2018).

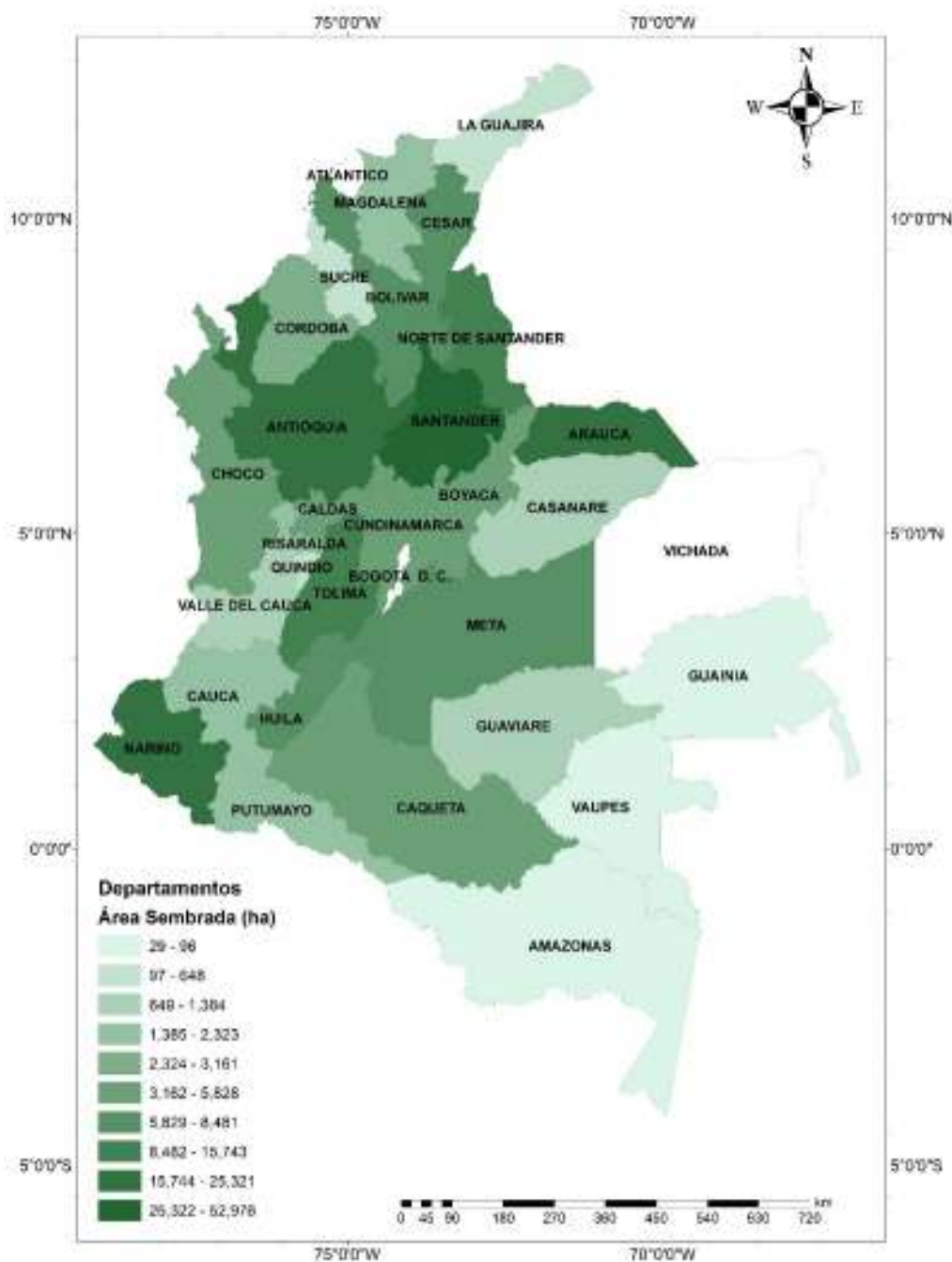


Figura 4. Área de cacao sembrada por departamento, 2019.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2020)

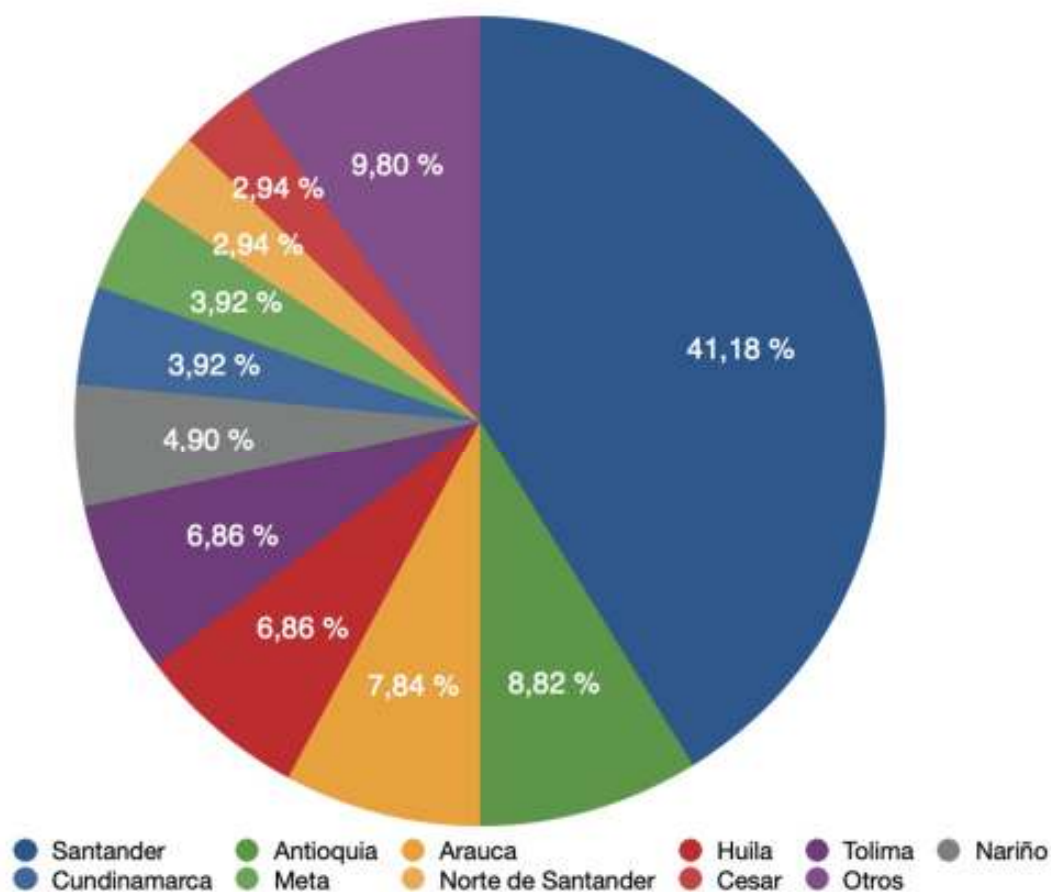


Figura 5. Participación en la producción nacional de granos de cacao seco (%) de los principales departamentos productores de Colombia, 2019.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2020)

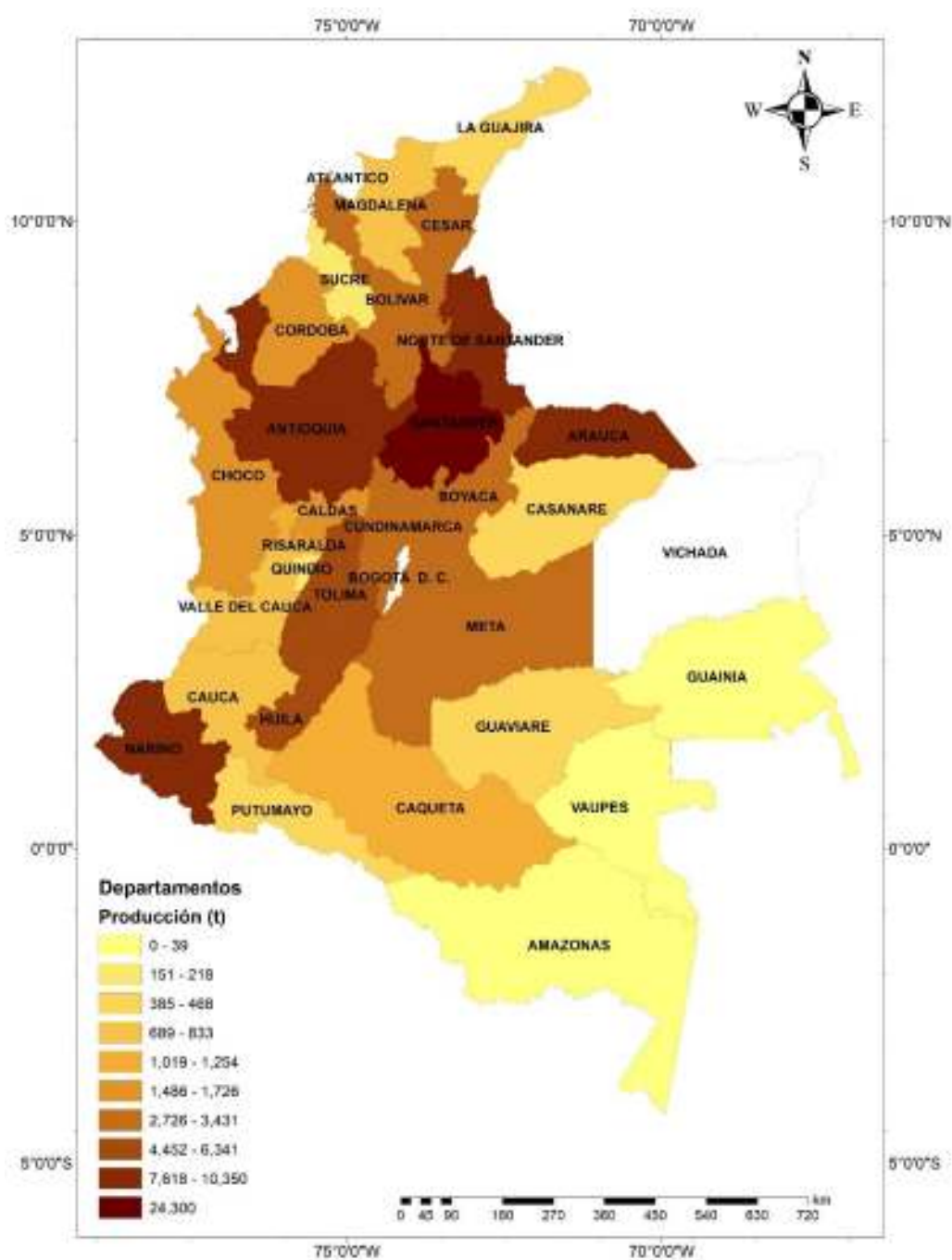


Figura 6. Producción de cacao por departamentos, 2017.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2020)

Comercio internacional

El aumento de la producción en Colombia, especialmente entre 2015 y 2017, ha permitido reducir la cantidad de grano de cacao seco importado para satisfacer los requerimientos de la industria local (figura 7). En este mismo periodo, se ha exportado entre el 18 % y el 25 % del grano producido en el país. Dentro de los destinos más frecuentes del cacao nacional se encuentran México y España. Sin embargo, en 2017, se registraron exportaciones a países como Holanda, Italia 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, 2018).

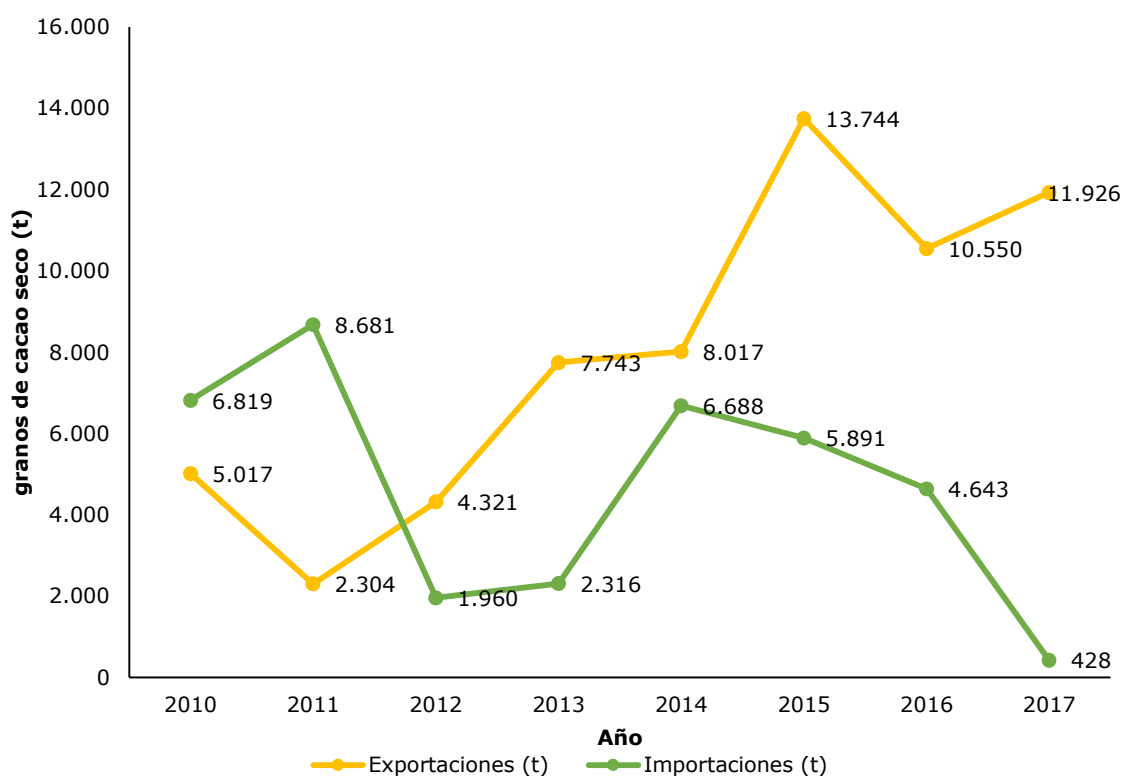


Figura 7. Importaciones y exportaciones de granos de cacao seco realizadas en Colombia, periodo 2010-2017.

Fuente: MADR (2018)

Capítulo IV

Descripción de la producción en Santander

El 41,2 % de la producción nacional de grano de cacao seco se cultiva en 57.900 hectáreas de Santander. En orden de importancia, los municipios del departamento con mayor participación en cuanto a producción y área sembrada son los siguientes: 1) San Vicente de Chucurí, 2) El Carmen de Chucurí, 3) Rionegro, 4) Landázuri y 5) Cimitarra (figura 8). 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 Blanco et al., 2000). De lo cinco, se destacan los municipios de 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.

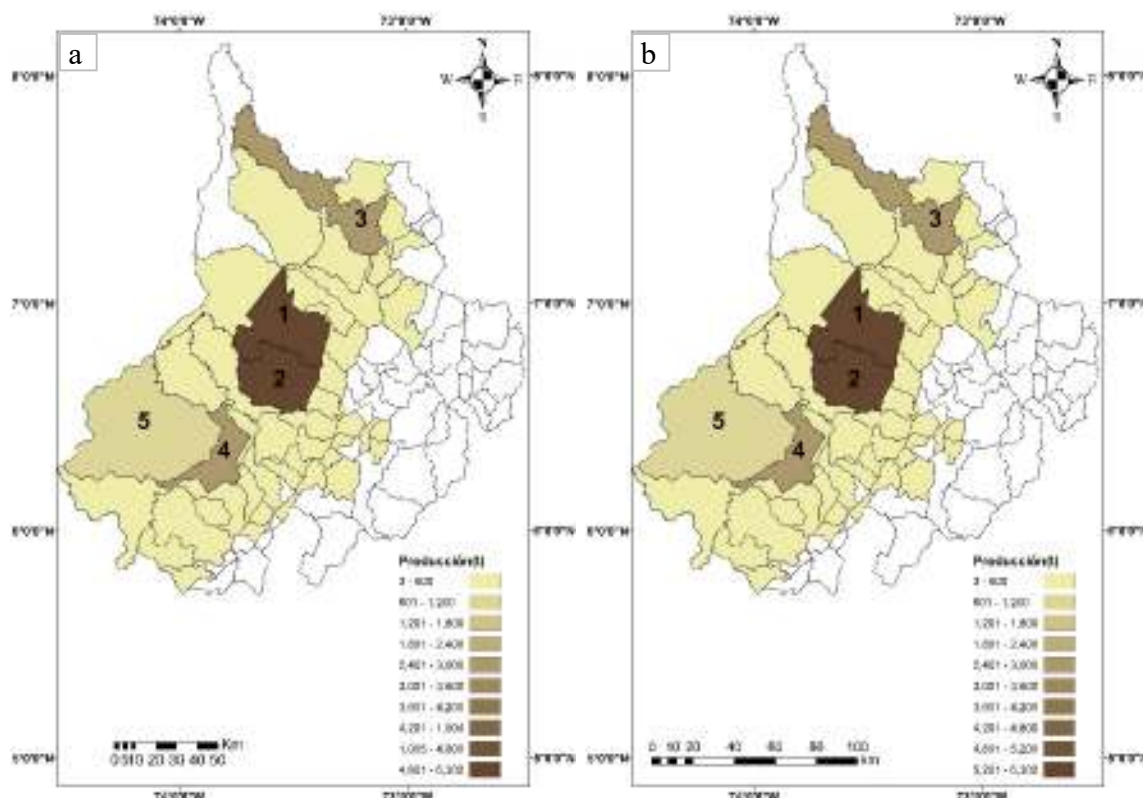


Figura 8. Los cinco principales municipios cacaoteros del departamento de Santander, 2017. a. Área sembrada en hectáreas; b. Producción en toneladas. Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2018)

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, condiciones que 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 Blanco et al., 2000). El cronograma de actividades para el cultivo de cacao que se presenta a continuación está ajustado al régimen bimodal de precipitación del departamento, así como a sus condiciones de brillo solar y humedad relativa (figura 9):

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 se 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 se inicia en noviembre y se extiende hasta el mes de enero del siguiente año.

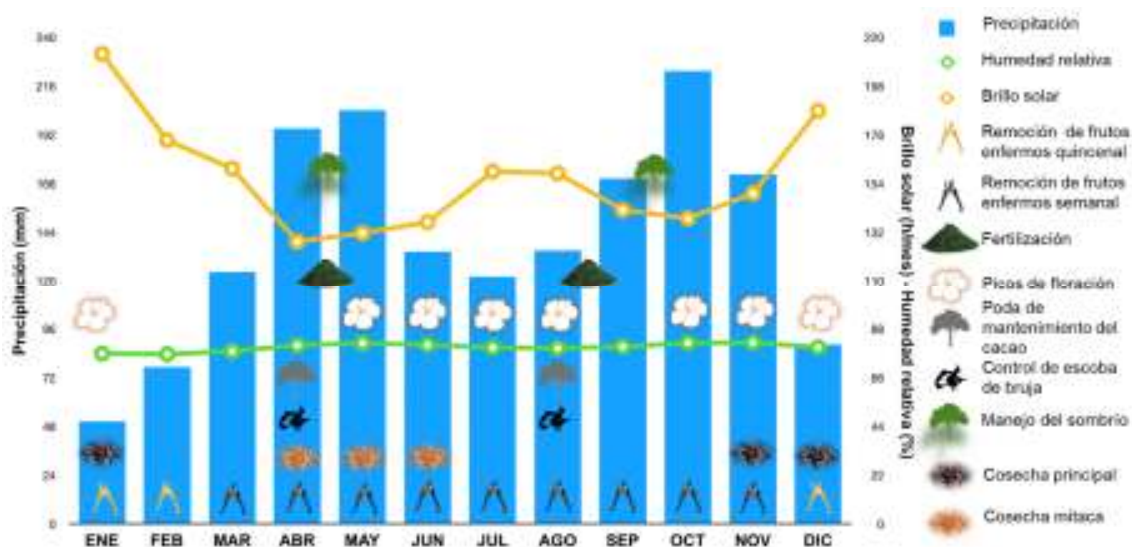


Figura 9. Cronograma de prácticas de manejo del cultivo del cacao ajustado a las condiciones de precipitación, humedad relativa y brillo solar del departamento de Santander.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de clima del 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 Blanco 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 Aldana et al., 1997).

Los suelos se derivan de materiales heterogéneos, presentan baja evolución (Tropepts, Orthents) (figura 10a), están bien drenados, son entre superficiales y moderadamente profundos y susceptibles a la erosión (figura 10b). 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 Blanco et al., 2000).

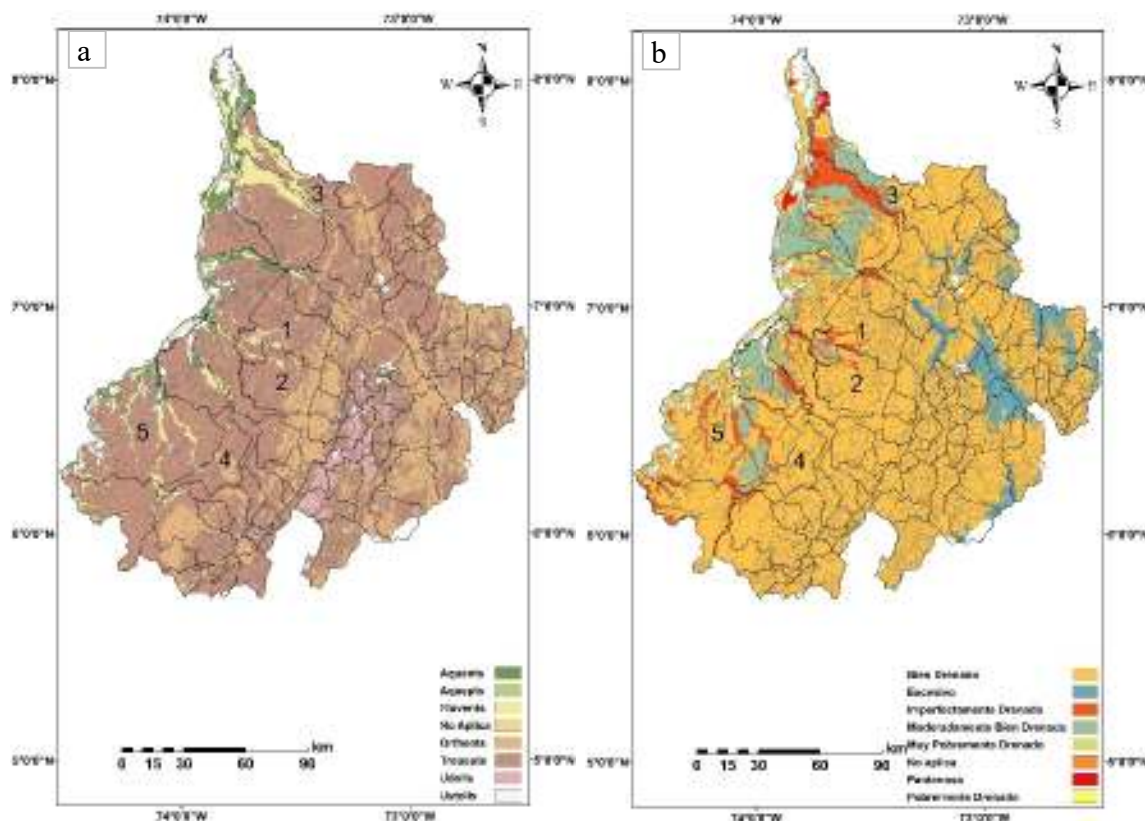


Figura 10. Mapa de suelos del departamento de Santander. a. Clasificación taxonómica; b. Drenaje.

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

Características socioeconómicas

En Santander, cerca de 18.000 familias dependen económicamente del cultivo de cacao. En su mayoría, son pequeños agricultores que en total trabajan un área promedio de 4,8 ha. Predominan las áreas de 10 a 15 ha y la tenencia de propiedad de los predios (tabla 3). La mano de obra familiar tiene una alta participación en 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 3. 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 (2020)

Capítulo V

Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao

Theobroma cacao es un árbol perenne que requiere condiciones calidas 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, la N, la temperatura baja mucho, 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 Lozano 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, el manejo fitosanitario, la fertilización y la cosecha. Pendientes muy pronunciadas presentan alto riesgo de erosión durante el primer año del cultivo de cacao, puesto que en tales casos el suelo se encuentra casi desnudo (tabla 4) (García Lozano 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 cultivar, tienen temperaturas menores a 18 °C o mayores a 32°C (García Lozano et al., 2007).

Las zonas con variaciones de temperatura mayores a 9 °C en un mismo día dificultan la polinización y formación de frutos, lo cual tienen efectos negativos en la producción, razón por la cual el cultivo debe establecerse en áreas con variaciones inferiores. La floración también se restringe en temperaturas inferiores a 25 °C (García Lozano et al., 2007) o mayores a 38 °C, mientras que temperaturas menores a 15 °C afectan el funcionamiento fisiológico de la planta (tabla 4) (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 mmol/m² y de 700 a 800 mmol/m², o 30 % de luz y 70 % de sombra. Después del tercer año, se debe tener 70 % de luz y 30 % de sombra. Estas son las condiciones de regiones clasificadas como sumamente aptas (A1), moderadamente aptas (A2) y marginalmente aptas (A3). Las zonas no aptas (N), dado que se encuentran por encima de los 1.200 m s. n. m., presentan una alta nubosidad (tabla 4) (García Lozano et al., 2007).

Como la planta de cacao es umbrófila, no tolera condiciones de plena exposición solar, 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, se recomienda establecer el cultivo bajo sombrío, con el fin de reducir la cantidad de radiación solar que llega durante el día (mmol/m²). En los primeros cuatro años del cultivo, las plantas requieren una luminosidad del 50 %, condición que favorece el buen desarrollo y a su vez limita el crecimiento de plantas arvenses. Posteriormente, la luminosidad del cultivo puede oscilar entre el 25 % y el 30 % (Mejía Flórez & Argüello Castellanos, 2005).

La sombra reduce la fotosíntesis, la transpiración, el metabolismo y el crecimiento. Bajo tales condiciones, se reduce también la demanda de nutrientes del suelo, lo cual permite la adaptación de la planta y la siembra en suelos de baja fertilidad. La exposición directa de la planta a los rayos del sol 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 árboles de sombra (Boyer, 1971). La floración y la fructificación son significativamente más abundantes bajo una sombra moderada que en condiciones de plena exposición solar (Mejía Flórez & Argüello Castellanos, 2005).

Las plantas de cacao de los grupos Criollo, Forastero y Trinitario se saturan bajo densidades de flujo fotónico de 400 a 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, que equivalen a intensidades de 25 a 30 % de la radiación máxima en un día despejado (Balasimha et al., 1991; Barrera, 2006; Vespa, 2008), en las que las tasas máximas de asimilación de CO_2 oscilan entre 6 y 7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Esto comprueba la necesidad de mantener la especie bajo sombra parcial tanto en etapa de crecimiento como en fase de producción (Mejía Flórez & Argüello Castellanos, 2005).

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 la sombra 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). El material vegetal de vivero, dado que tiene mayores contenidos de clorofila, aumentan las tasas de asimilación de CO_2 y se debe sembrar bajo sombra parcial (Tezara et al., 2009).

Vientos

Algunos investigadores sostienen que vientos mayores a 4m/s ocasionan deshidratación y desecación de las hojas y detienen la polinización de las flores. Aunque este efecto es mínimo cuando el cultivo está completamente desarrollado, debido a que los sombríos transitorios y permanentes actúan como barreras rompeviento, se produce algo de daño sobre todo en las plantas situadas al borde de los lotes (MADR & Fedecacaco, 2013). En plantaciones ya establecidas, la velocidad máxima recomendada es de 2,5 m/s, para evitar los daños ya mencionados (Alvim, 1987).

Precipitaciones

En Colombia, el régimen de precipitación para el cultivo de cacao debe ser de 1.200 a 3.800 mm/año. Según este parámetro, las zonas de aptitud para el cultivo se clasifican como sumamente aptas (A1), con precipitaciones de 1.800 a 2.600 mm/año; moderadamente aptas (A2), de 1.200 a 3.800 mm/año; marginalmente aptas (A3), de 1.500 a 3.800 mm/año; y no aptas (N), con precipitaciones menores a 1.200 o mayores a 3.800 mm/año. Las condiciones de las zonas no aptas ocasionan desordenes fisiológicos que afectan el desarrollo del cultivar, ya sea por falta o exceso de agua. (García Lozano et al., 2007). Se debe tener en cuenta, sin embargo, que la cantidad de agua aportada a la planta en forma de precipitación depende tanto de la distribución de las lluvias a lo largo del año como de su intensidad en la región (tabla 4).

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. Cuando se siembra sin tener garantizado el suministro de agua, se corre el riesgo de fomentar problemas fitosanitarios, cuyo manejo resulta más costoso que mantener el rendimiento y la rentabilidad de la planta.

En los principales municipios productores de Santander, debido al régimen bimodal de lluvias, los cacaocultores obtienen dos cosechas al año. La primera (de travesía) se da en los meses de junio y agosto, y la segunda (cosecha) entre noviembre y enero del siguiente año (tabla 4). Se obtienen también cosechas quincenales de mazorcas maduras (se recogen cuando cambian de color), con lo cual se dispone de ellas durante todo el tiempo, en alta o baja proporción, y se beneficia el flujo de caja.

La planta de cacao es sensible fisiológicamente a los cambios de precipitación, y responde a los contrastes marcados de verano e invierno con una alta floración, reproducción de flores, y formación y llenado de mazorcas (Alvim, 1975). La hoja no es muy tolerante a la sequía y muere cuando pierde de 17 a 25 % de agua por estrés hídrico (Alvim, 1987).

Humedad relativa

La apertura de los estomas de las hojas depende directamente de la humedad del aire. Los estomas se mantienen más abiertos bajo condiciones de alta humedad relativa. Cerrados no tienen un control eficiente sobre la pérdida de agua, probablemente debido a la alta transpiración cuticular. Sin embargo, algunos genotipos de cacao muestran resistencia 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 y 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 cosechas.

Entre los factores limitantes del desarrollo del sistema radical en profundidad, sobresalen los horizontes compactados (Duripanes o Fragipanes), que forman capas muy cementadas en condiciones secas, y frágiles con tendencia a la ruptura en condiciones de humedad. 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. Proviene de material volcánico sometido a procesos diagenéticos y pedogenéticos muy específicos que limitan la penetración de las raíces, reducen el paso del agua al subsuelo y provocan drenaje lateral, lo cual conduce a pérdidas de componentes minerales y ocasiona erosión. Los suelos Duripanes son compactados, cementados con sílice y completamente impermeables al agua y las raíces (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 1999).

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. 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 4. 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
	Pendiente		800-1.000		
Régimen de temperatura	Temperatura media mensual (°C)	24-28	25-50	50-75	> 75
			28-30	30-32	
	Máxima y mínima (°C)		24-20	20-18	< 18 y > 32
Brillo solar	mmol/m ²	En los dos primeros años se requieren niveles bajos de radiación solar (de 300 a 400 w/m ² o de 700 a 800 mmol/m ²). 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	2.600-3.200	3.200-3.800 1.500-1.200	< 1.200
			1.800-1.200		> 3.800

Fuente: García Lozano et al. (2005); García Lozano et al. (2007); Mejía Flórez y Palencia Calderón (2000)

Capítulo VI

Taxonomía y material genético

La especie *Theobroma cacao* L. pertenece a la familia Malvaceae y es la única fuente de la manteca y el polvo de cacao que se utilizan en la industria global. 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. Por lo cual, 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 Guayana, donde se encuentran poblaciones del grupo forastero (Motamayor et al., 2002).

Según las características morfogénicas, el cacao se divide en tres grupos: criollo, forastero y trinitario (este último originado del cruce entre cacaos criollos y forasteros). 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 morfogénica de los tres grupos mencionados arriba se sigue empleando.

Descripción taxonómica

El cacao (*Theobroma cacao* L.) 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 de las malvales (Batista, 2009). Finalmente, en 1999 se clasificó como especie de la familia Malvaceae, perteneciente al orden de las malvales (tabla 5) (Alverson et al., 1999).

Tabla 5. Taxonomía del cacao

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Familia	Malvaceae
Genero	Theobroma
Especie	<i>Theobroma cacao</i> 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 portayemas y con ella se conserva 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 establecen nuevas siembras o se rehabilitan plantaciones improductivas.

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 Maraño 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 Castellanos 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, a los cuales se les dio la sigla SCC (Selección Colombia Corpoica) (Argüello Castellanos 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 materiales genéticos de la serie Theobroma Corpoica La Suiza, denominados TCS 01 y TCS 06, destinados a la región Andina, subregión Montaña Santandereana (figura 11).



Foto: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 11. Material genético liberado por AGROSAVIA en 2014 (TCS 01 y TCS 06) y 2017 (TCS 13 y TCS 19).

En diciembre de 2014, Fedecacao lanzó ocho materiales genéticos, denominados 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. Con posterioridad, en 2017, AGROSAVIA amplió la disponibilidad de

genotipos 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 cultivares por medio del material genético FSV 155 con registro ICA 15823. Estas trece 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

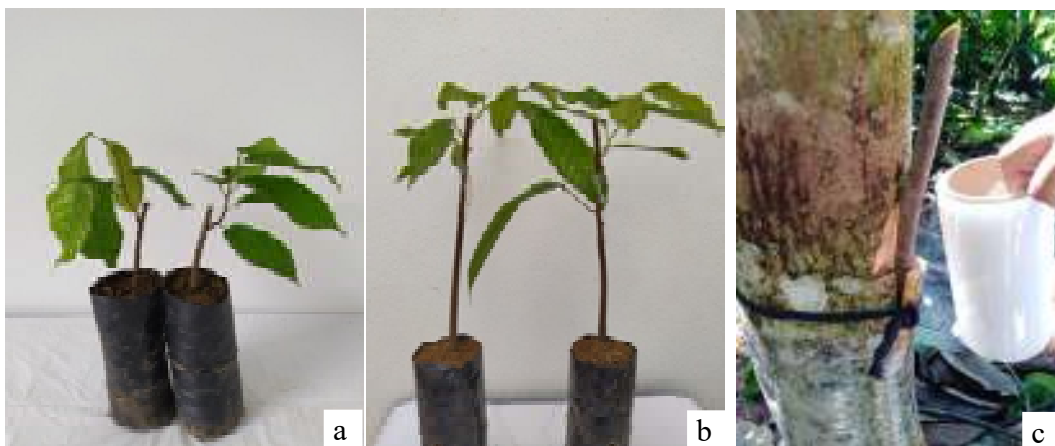
La propagación asexual mediante injertos se emplea para mantener la identidad genética de los materiales en las plantaciones nuevas de cacao (Compañía Nacional de Chocolates, ISA & PNUD, 2014). Las ramas portayemas (figura 12a) provenientes de clones altamente productivos se injertan en patrones (figura 12b), 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 12c) (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).



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

Figura 12. Método de propagación asexual del cacao mediante injertos. a. Rama portayema; b. Patrón de propagación de material de cacao; c. Plántula injertada.

Dos de las técnicas de injertación más utilizadas por los viveristas en el proceso de multiplicación de plantas de cacao son el de parche y el de púa terminal (figuras 13a y 13b). 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 13c), el cual se está utilizando en todo el territorio nacional. 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).



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

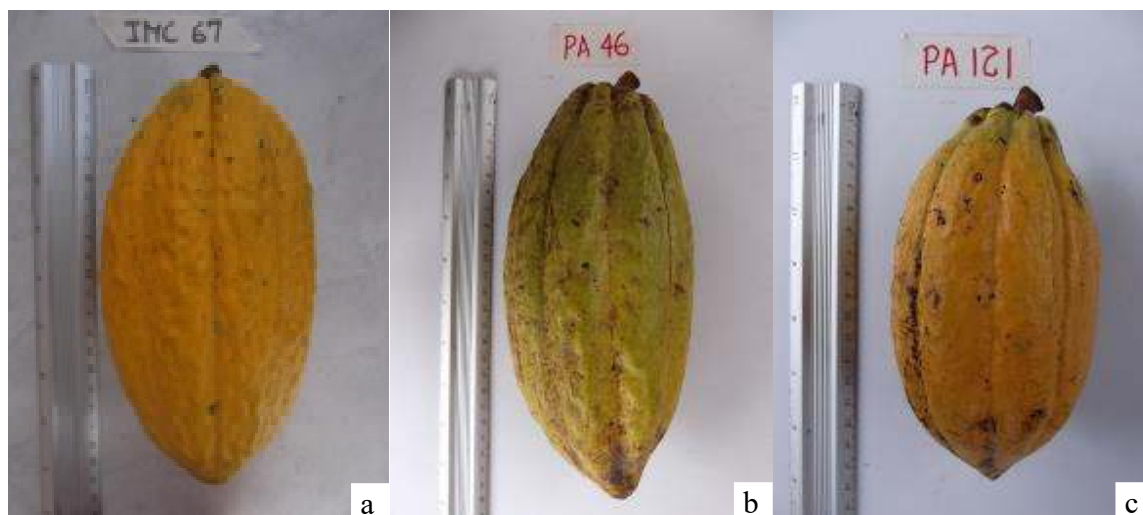
Figura 13. Plántulas de *T. cacao* con injertación. a. Injerto de parche; b. Púa terminal; c. Injerto malayo.

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 (cercaños 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. El material de patronaje, además de proporcionar anclaje, presenta características indispensables para la duración del cultivo, como tolerancia a la acidez, al aluminio y a enfermedades causadas por hongos del suelo (Palencia C. 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 14), tienen un mejor desarrollo, presentan mayor grado de adaptación a diferentes condiciones de estrés y a suelos con pH ácido, y ofrecen mayor resistencia a enfermedades como *Phytophthora* sp. y *Ceratocystis* sp. (Palencia C. et al., 2007).



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 14. Variedades de material vegetal empleadas como patronaje en la propagación vegetativa del cacao. a. IMC 67; b. PA 46; c. PA 121.

La semilla sexual del cacao es recalcitrante. En la generación de material de patronaje para la producción de plantas en vivero, los frutos se deben cosechar con madurez fisiológica. Con esto se logra que el embrión se desarrolle una vez

retirado el mucílago que la recubre (figura 15). La semilla germina en un máximo de cinco días después de la extracción del grano. Todo esto se debe tener en cuenta para evitar malformaciones en la raíz durante la fase inicial de desarrollo de la planta.



Foto: Manuel Bello Gáfaró

Figura 15. Semilla de cacao adecuada para la obtención de patrones, pregerminada para la siembra en sustrato.

Una vez el patrón desarrollado en vivero alcanza una edad de 60 a 80 días, se realiza el proceso de injertación. Para ello se utilizan ramas o varetas portayemas, las cuales se seleccionan previamente de acuerdo con la disponibilidad de materiales genéticos recomendados (Echeverri Rodríguez, 2006). Las yemas utilizadas en el proceso de injertación deben tener una edad similar al patrón, es decir, entre 60 a 80 días desde la elongación o crecimiento de la rama. Estas yemas deben provenir 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, y tener 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 16).



Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 16. Material vegetal de cacao apto para establecimiento definitivo en campo.

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, 2005). 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 jardines o huertos clonales deben cumplir con la reglamentación consignada en las resoluciones ICA 3434 de 2005 y 3168 de

2015, en las que se indica que el material vegetal y la semilla de jardines clonales deben estar plenamente identificados y deben contar con registro ICA para su funcionamiento. También se debe realizar un manejo agronómico que garantice un material biológico joven, vigoroso y sano. De esta manera se asegura la pureza y trazabilidad del material de siembra utilizado por los productores.

Es fundamental conocer las características sobresalientes de las copas productivas, 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 de los clones, 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 clones tolerantes a enfermedades limitantes. Los clones recomendados para el departamento de Santander, según Corpoica (2015), son el TCS 06 y el TCS 19, los cuales tienen baja afectación por moniliasis (*Moniliophthora roreri*). Fedecacao recomienda el FEC 2, que también tiene un alto grado de tolerancia y sus pérdidas por ataque del patógeno son escasas. En la tabla 6 se exponen las características productivas más importantes de los materiales genéticos universales y nacionales con registro ICA, adaptados y recomendados por las entidades de investigación de cacao para cultivar en el departamento de Santander.

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). Estos genotipos 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 Castañeda et al., 2017).

Tabla 6. Principales características productivas de los materiales genéticos 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
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 Castañeda et al. (2017) y Quintana Fuentes et al. (2018)

Algunas características de los materiales genéticos pueden variar, como por ejemplo la coloración de los frutos. A menudo, esta característica cambia debido a diferencias en 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 17). Otras características como índice de grano, números de granos por mazorca e índice de mazorca varían según el clima, la disponibilidad de agua, la fertilidad natural del suelo y el manejo agronómico (incluida la fertilización).



Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 17. Materiales genéticos 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.

Compatibilidad sexual

En el cacao, la polinización es cruzada y se da por medio externo. Es asistida principalmente por insectos del género *Forcipomyia*, aunque también puede ser dirigida por el hombre. La compatibilidad de un material genético depende de si la flor de cacao (figura 18) 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).



Fotos: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 18. Flores de *T. cacao* con edad para su fecundación.

La serie TCS de AGROSAVIA contiene tres materiales autocompatibles (TCS 01, TCS 13 y TCS 19) y un material autoincompatible (TCS 06). Este último se debe establecer por surcos al lado del TCS 01 o el TCS 19 para obtener los rendimientos esperados (figura 19). El TCS 13, aunque autocompatible, tiene una eficacia de autofecundación del 35 %. Por esto, para mejorar su rendimiento, se debe poner en surcos en compañía del TCS 19. Los materiales TCS 01 y el TCS 19 se pueden establecer solos en franjas homogéneas (figura 20a y 20b), ya que el nivel de eficiencia de la autofecundación es superior al 70 % (tabla 7). De los ocho materiales liberados por Fedecacao, son autocompatibles el FTA 12, el FEAR 5 y el FSV 41 (Fedecacao, 2017).

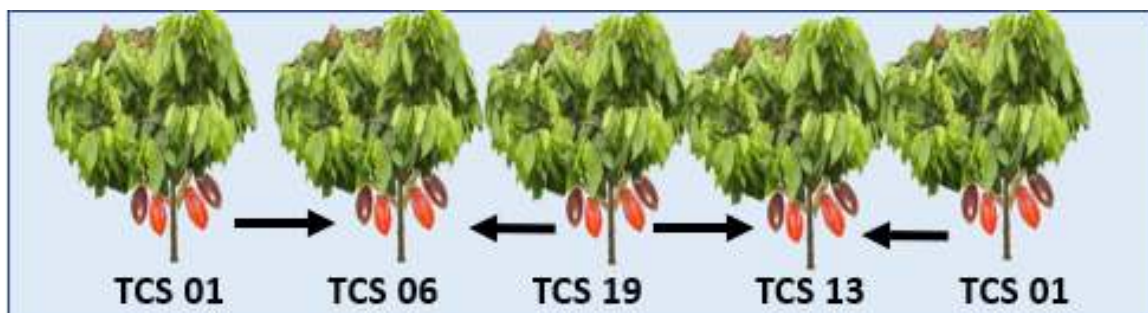


Figura 19. Modelo de siembra de materiales de la serie TCS liberados en combinación.

Fuente: Elaboración propia

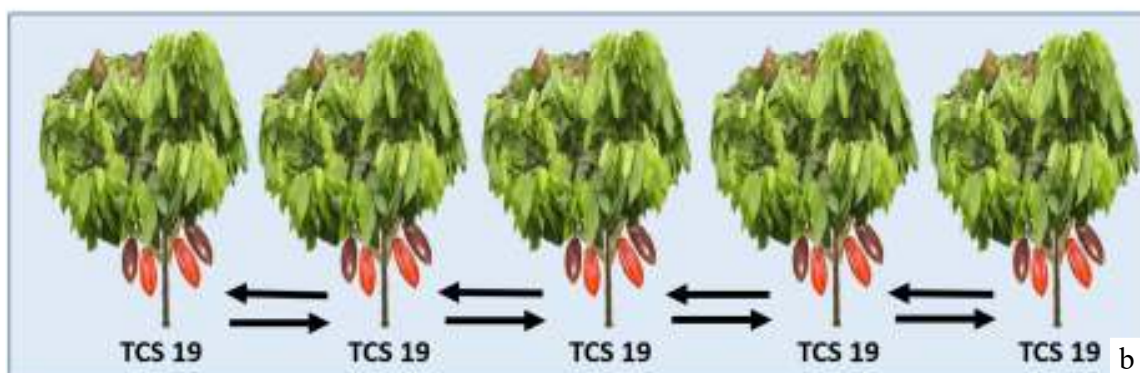
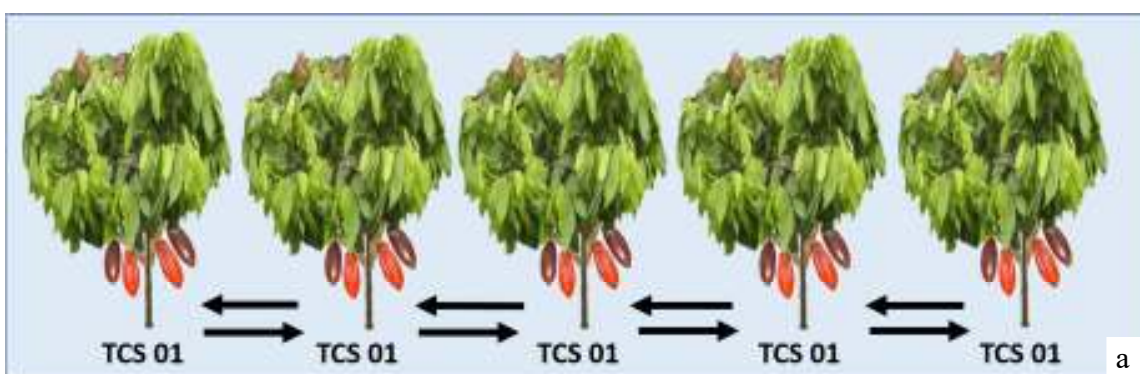


Figura 20. Modelo de siembra por franjas de materiales autocompatibles liberados por AGROSAVIA con alto porcentaje de fecundación. a. TCS 01; b. TCS 19.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Matriz de compatibilidad entre materiales genéticos de AGROSAVIA

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

AC	Autocompatible	IC	Intercompatible
ACá	Autocompatible > 70%	AIá	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 y de compatibilidad entre los diferentes materiales genéticos. Por lo anterior, es importante conocer la compatibilidad de los materiales que se van a utilizar para poder 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 8).

Tabla 8. Matriz de compatibilidad entre materiales universales y de Fedecacao

Padre ♂	Clon	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%)					Interincompatible (< 30%)														
		☐ Intercompatible (☐ 70%)					Autoincompatible (< 30%)					Por definir														

Fuente: Fedecacao (2017, 2019b)

Para nuevos cultivos de cacao, AGROSAVIA recomienda emplear los clones especiales en modelos de siembra de sistemas agroforestales con maderas finas tropicales (figura 21). El sistema agroforestal debe estar compuesto de una especie perenne como sombrío permanente (árboles maderables) y de plátano, maíz, yuca o especies semejantes como sombrío transitorio (Navarro Prado & Mendoza Alonso, 2006). 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.



Foto: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 21. Clones de cacao especiales TCS de AGROSAVIA, sembrados ordenadamente en sistemas agroforestales de maderas finas tropicales.

Capítulo VII

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 Calderón, 2005).

La modernización del área cacaotera en los últimos años ha brindado la oportunidad de impulsar las siembras con materiales clonados de AGROSAVIA (TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19) y Fedecacao (FSV 41, FEC 2, entre otros), y ha permitido incorporar modelos agroforestales con sombríos de maderables y otras especies que generan ingresos adicionales para el productor. 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 posiblemente 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. Es por esto que AGROSAVIA y otras instituciones como Fedecacao han implementado la asociación del cacao con maderas de alto valor en muchas de las nuevas plantaciones de Santander. El tipo de sombrío utilizado en estos casos, el abarco, mantiene una actividad fisiológica adecuada, lo que influye en la producción de los genotipos de cacao (Agudelo Castañeda 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 deterioro. 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 Flórez & Palencia Calderón, 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 Calderón, 2005; Rojas M. 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 semintensiva y en ella se tienen en cuenta los requerimientos fisiológicos de cada una para lograr el máximo beneficio económico (Aranzazu Hernández, 2003).

La implementación de siembras de cacao bajo sistemas agroforestales presenta ventajas productivas y de sostenibilidad (Álvarez-Castillo 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. Los siguientes son 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, influyen 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 reciclaje de nutrientes (Hartemink, 2005; Rojas M. 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 22).



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

Figura 22. 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.

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 (plátano, maíz, frijol, ahuyama y habichuela, entre otros), se aprovecha el espacio entre surcos. Estos cultivos contribuyen a reducir las malezas y generan un ingreso extra para los productores. Lo aconsejable es emplear cultivos que no generen competencia con el cacao o que no 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 den un 60 % de sombrío.

Sombríos productivos

Se aconseja asociar el cacao con especies productivas que den un ingreso al agricultor y aumenten la productividad del terreno. Se deben cambiar especies usadas tradicionalmente como nauno (*Albizia guachapele*), samán (*Albizia saman*), nogales (*Cordia alliodora*, *Cordia gerascanthus*), o de estas, seleccionar 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 el 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, que proporcionen sombra difusa, que tengan posibilidad de comercialización y que sean de crecimiento alto y de hoja de descomposición rápida o mediana.

Algunas especies que cumplen con estas características son guayacán (*Tabebuia* sp.), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), móncoro (*Cordia* sp.), teca (*Tectona grandis*), abarco (*Cariniana pyriformis*), caoba (*Swietenia macrophylla*), melina (*Gmelina arborea*), caucho (*Hevea brasiliensis*), entre otros. AGROSAVIA ha implementado el sistema agroforestal de cacao con abarco (*Cariniana pyriformis*), el cual ha resultado exitoso para la región de Santander. En este modelo se disponen los abarcos en doble surco, con distancias de 4 × 4 m entre árboles y de 15 a 18 m entre doble surco. Las plantas de cacao se distribuyen en cuatro o cinco surcos y se establecen en tresbolillo de 3 × 3 m. El tresbolillo es la siembra de las plantas en triángulo, tal como se muestra en las figuras 24a y 24b. Con estas medidas se obtienen 1.000 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.

Las especies maderables (teca, caoba, abarco) deben 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 el 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 hacer 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, reducir el 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 temporal son plátano (*Musa paradisiaca*), banano (*Musa* sp.), papaya (*Carica papaya*), yuca (*Manihot esculenta*), higuera (*Ricinus communis*), guandul (*Cajanus cajan*), maracuyá (*Passiflora edulis*), entre otras.

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 Palencia Calderón (2005), las especies más comunes en estos arreglos son maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), ahuyama (*Cucurbita máxima*), patilla (*Citrullus vulgaris*), melón (*Cucumis melo*), habichuela (*Phaseolus* sp.) y pimentón (*Piper cumanense*).

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

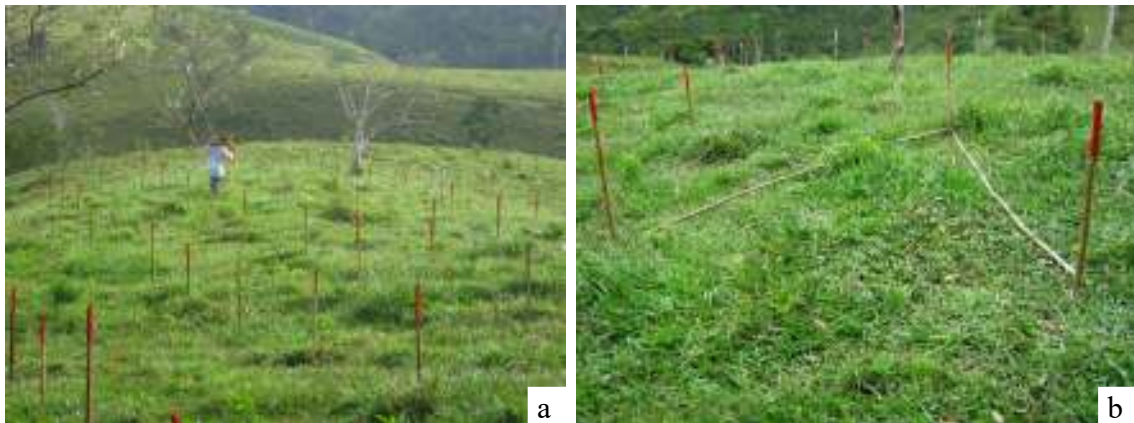
El éxito del cultivo de cacao depende de la previa selección del terreno. Principalmente, se debe considerar la calidad del suelo. Para ello, se hace un análisis fisicoquímico, el cual debe complementarse con estudios de los perfiles del suelo. Las características fisicoquímicas de un terreno, en un momento dado, son el resultado de una combinación de factores como el ambiente, la roca madre, las precipitaciones, la temperatura, las prácticas agronómicas implementadas y en cierta medida las variedades sembradas con anterioridad (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 sombrero adecuado y no compiten con el cacao. Estos árboles enriquecen la biodiversidad del sistema (Angarita-Millán, 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 23a), tanto las que brindan sombrero permanente como las transitorias y el mismo cacao. De acuerdo con Angarita-Millán (2009), el método más utilizado en Santander es el del triángulo porque se adapta mejor a la topografía de las zonas cacaoteras (figura 23b), caracterizadas por las pendientes pronunciadas. El método del triángulo permite un manejo adecuado del suelo y disminuye la escorrentía y por ende la erosión.



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 23. Trazado del lote para siembra de especies de sistema agroforestal con cacao. a. Estaquillado; b. Trazado en tresbolillo.

Las plantas de cacao se siembran en triángulo o tresbolillo. De esta manera cabe un mayor 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 erodabilidad del suelo en terrenos de mayor pendiente (Aranzazu Hernández, 2003), aunque también puede utilizarse en lotes planos (Angarita-Millán, 2009) (figura 24).

En el modelo de AGROSAVIA de doble surco, los sombríos permanentes se establecen en dirección norte-sur, y en terrenos pendientes exige tener en cuenta las curvas a nivel. Estos doble surcos se siembran a una distancia de 15 a 18 m y paralelos entre sí, con el fin de permitir los cultivos de sombrío transitorio, los de pancoger y posteriormente las cinco filas de cacao (Palencia Calderón, 2005; Rojas Molina et al., 2017).

Este tipo de diseño, con una distribución de siembra acorde 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 Calderón, 2005; Rojas Molina et al., 2017).

Las especies maderables se siembran en doble surco, con distancias de 4×4 m (figura 24). Las especies, como se mencionó arriba, pueden ser abarco, nogal cafetero, teca o melina, entre otras. Los dobles surcos de sombríos se siembran a una distancia de 15 a 18 m, para una densidad de maderables de 250 plantas/ha.

Los sombríos transitorios (plátano, banano, papaya, yuca), cuya distancia de siembra es de 3×3 m (figura 24), se siembran en el espacio de 15 a 18 m que separa cada pareja de surcos de maderables. Esto significa que, entre los callejones de los maderables, se establecen de cuatro a cinco surcos de cultivo transitorio, de acuerdo con los arreglos definidos (Palencia Calderón, 2005; Angarita-Millán, 2009).

Los clones de cacao se siembran a distancias de 3×3 m entre los surcos del sombrío transitorio (figura 24b), con lo cual se obtienen 1.100 plantas de cacao/ha, densidad que puede aumentar a 1.280 plantas/ha si se hace el trazado en tresbolillo. Como se dijo anteriormente, los cultivos transitorios o de pancoger pueden ser de ahuyama, frijol, maíz, habichuela, entre otros (Palencia Calderón, 2005; Angarita-Millán, 2009), y se distribuyen de acuerdo con la conveniencia del productor.

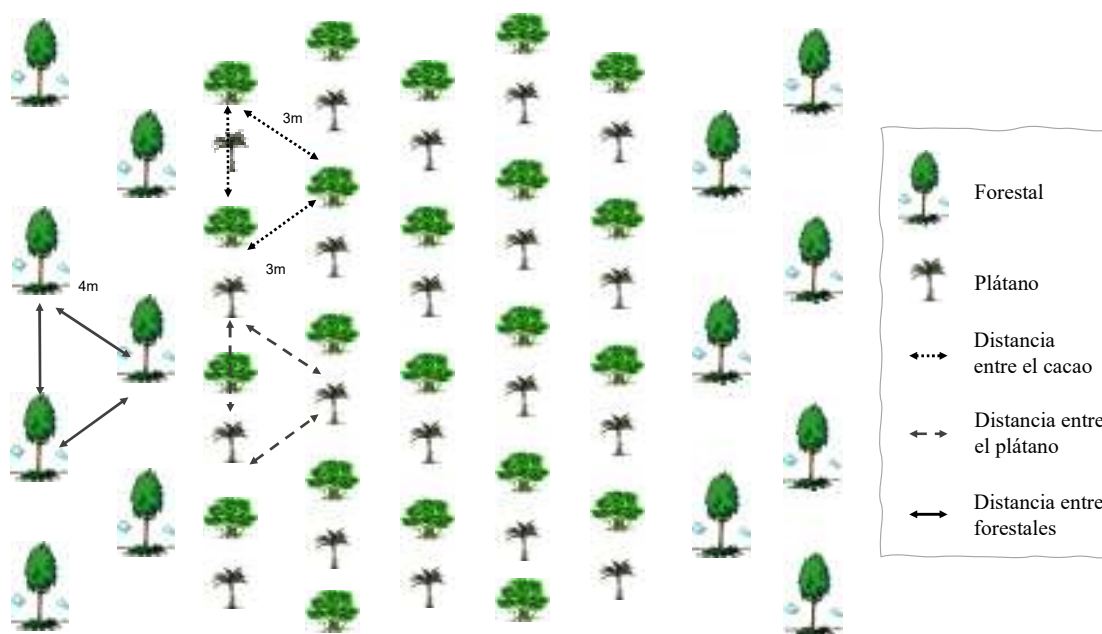


Foto: Eliana Báez Daza

Figura 24. Disposición del sistema agroforestal de cacao. a. Diagrama con cacao en tresbolillo y sombrío permanente (forestal); b. Sombrío transitorio en tresbolillo (plátano).

Fuente: Elaboración propia

Ahoyado

Después de marcar los sitios en donde se va a sembrar la planta, se procede, con la suficiente anticipación, a abrir huecos de 40 × 40 × 40 cm, con el objeto de preparar física y químicamente el área donde posteriormente se desarrollarán las raíces. 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. Para el trasplante, la planta se retira de la bolsa y se ubica en el centro del hoyo 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 provoquen 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 materia (compactación de las paredes del hoyo). 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 Hernández, 2003; Palencia Calderón, 2005).

Fertilización del sistema agroforestal con cacao

La sostenibilidad y la competitividad del sistema agroforestal dependen de que se obtengan altos rendimientos de grano seco por hectárea 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 toma 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 toma 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).

De acuerdo con Méndez Aldana (1990), en suelos moderadamente aptos, con mediana disponibilidad de nutrientes y problemas de acidez, se recomienda, antes del trasplante, mezclar el suelo de cada hueco con 100 a 200 g de cal dolomita (17 % de MgO y 32 % de CaO) y 1 kg de gallinaza (aporta 25 g de nitrógeno).

Seis meses después del trasplante, se aplica por planta 1 kg de gallinaza (equivalente a 25 g de nitrógeno), 50 g de superfosfato triple (equivalentes a 23 g de P_2O_5) y 100 g de cloruro de potasio (equivalentes a 60 g de K_2O) (Méndez Aldana, 1990).

Antes de aplicar los fertilizantes, se debe limpiar y repicar el suelo situado alrededor de las raíces laterales. Con el repicado, se favorece el desarrollo del sistema radicular y se inicia el proceso de formación de terrazas en el sitio que ocupa cada planta.

Finalizado el primer año, se aplican por planta, después del trasplante, 300 g de cal dolomita, 80 g de urea, 60 g de superfosfato triple y 100 g de cloruro de potasio (equivalentes, respectivamente, a 37 g de nitrógeno, 27 g de P_2O_5 y 60 g de K_2O). Las fuentes de nitrógeno y fósforo se pueden reemplazar por gallinaza, lombrinaza, purines o por cualquier otra sustancia de la que se conozcan los contenidos nutricionales

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, con cuatro o cinco desyerbes al año, y 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 alto 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. Es importante, por tanto, aportar los nutrientes que tienen niveles deficitarios en el suelo. 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 9).

Tabla 9. 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 y 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-Moreno 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 10 se refieren los valores óptimos de los nutrientes presentes en el suelo.

Tabla 10. 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-Moreno 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 y 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.

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 que se va 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. En la propagación de plántulas de cacao se debe contar con un sustrato compuesto de una mezcla de suelo, arena y materia orgánica en una proporción de 3:1:1 respectivamente. 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. (Ramírez 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 lombrinaza, gallinaza compostada, o cualquier material orgánico que incluya en su producción un proceso de fermentación aeróbica. En la tabla 11 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 V. & Solano S., 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 V. & Solano S., 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 m³ de sustrato se recomienda emplear 1 kg de cal, con lo cual se alcanza un pH de 0,3 a 0,5 unidades/m³. Los sustratos de origen orgánico presentan un alto poder de compensación de las variaciones de pH (Alvarado V. & Solano S., 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 (Ramírez Martínez, 2006).

Para la siembra de la semilla en vivero, se recomienda utilizar bolsas de polietileno con capacidad de 2,5 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.

Tabla 11. 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 (2002); Martínez y Roca (2011); Alvarado y Solano (2002)

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 desbalances en sus componentes, consecuencia de no hacer análisis químicos de laboratorio ni diseñar planes de fertilidad ajustados a los requerimientos. Con respecto a esto, es necesario tener en cuenta que las plántulas se deben fertilizar de forma edáfica o foliar. Experimentos desarrollados en el Centro de Investigación La Suiza permitieron concluir que, para estimular el crecimiento y el desarrollo de las plántulas de vivero en un menor tiempo, se deben realizar aplicaciones de urea en dosis de 100 g/20 L de agua a los 45 días, y de N, P y K en una relación

de 15-45-30 a los 75 días. También es necesario llevar a cabo fertilizaciones edáficas en dosis de 3 g de N, 9 g de P y 6 g de K. Estas dosis están recomendadas para plántulas que crecen en bolsas de 3 kg de sustrato.

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 cultivar. 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-Moreno et al. 2019).

Es importante identificar las propiedades químicas y físicas del lote para determinar si cumple con las mínimas condiciones para la siembra de cacao. Para esto, se toman de 20 a 30 submuestras por hectárea y se mezclan entre sí lo más homogéneamente posible, con lo cual se obtiene una muestra representativa de todo el lote de mínimo 1 kg de suelo. Las submuestras representan la variabilidad espacial y temporal de todas las propiedades presentes en una hectárea de suelo.

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.

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

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

1. Realizar un croquis a mano alzada del lote y delimitar las áreas por características edáficas homogéneas, con el fin de implementar prácticas de manejo y fertilización de manera independiente para cada área homogénea del suelo.
2. Para tomar las muestras, Cuesta Muñoz y Villaneda Vivas (2005) recomiendan emplear las siguientes herramientas según la disponibilidad y las condiciones de humedad del suelo: palas, palines, paladragas, barras, barretones o barrenos muestreadores (Holanes, Uhlandad Espiral). Para facilitar la toma de la muestra en suelos húmedos, se puede usar un barreno. La colecta y la mezcla de submuestras se hace con balde plástico y machete con funda. Cada muestra compuesta se debe empacar en bolsas plásticas debidamente rotuladas con marcador de tinta permanente o marbetes para su fácil identificación. El envío de las muestras al laboratorio para su análisis se debe realizar en cajas de cartón.
3. Seleccionar los sitios del terreno donde se van a tomar las muestras de suelo. Se recomienda recorrerlo en forma de X, W o zigzag. En cada sitio seleccionado para la submuestra, se limpia y se raspa la cobertura vegetal de la superficie con machete o palín. Enseguida, se abre un hoyo de 0 a 30

cm de profundidad (capa arable), en forma de V. En una de sus paredes, se toma una tajada del perfil de tierra de 3 a 5 cm de gruesa y del ancho del palín o de la pala, mediante un corte que se extienda hasta el fondo del hueco. 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 machete seco y limpio. La submuestra seleccionada se deposita en un balde limpio y seco. Esta operación se repite en distintos sitios del lote (de 10 a 20 sitios). Si se utiliza barreno, la muestra se toma directamente de la matriz del suelo a la profundidad indicada (Rengifo Estrada, 2015).

4. Al tomar las muestras, se deben excluir las áreas no representativas o aquellas zonas cercanas a instalaciones agrícolas (bodegas, módulos de compost, vivero, biofábrica, 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; a los que se les hayan aplicado enmiendas orgánicas (lombricompost, gallinaza, bovinaza), correctivos de acidez (cal agrícola, cal dolomita, óxido de calcio, yeso, tierra de diatomeas) o que estén recién quemados, o a áreas pantanosas (Cuesta Muñoz & Villaneda Vivas, 2005).
5. Con las manos cubiertas con guantes, se procede a mezclar, desmenuzar o triturar todas 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) y las rocas o piedras que por su diámetro y dureza no se pueden moler. De la tierra molida se recomienda tomar la muestra de 1 kg, la cual se pone a secar a la sombra en papel periódico sin tinta de tres a cinco días. Luego se empaca la muestra en doble bolsa plástica (limpia y seca) tipo ziploc, pegando previamente la etiqueta con todos los datos en la bolsa interna. Esta etiqueta debe indicar el nombre del propietario de la finca, el lote, su ubicación geográfica, el cultivo para la cual se requiere el resultado del análisis químico de laboratorio, entre otros datos (tabla 12). Finalmente, la muestra se envía por correo al laboratorio de preferencia, el cual puede ser el laboratorio de suelos del Centro de Investigación Tibaitatá, para que se hagan los análisis respectivos (Rengifo Estrada, 2015).

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 manejo del cultivo. 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. También se deben tomar muestras uno o dos años después de finalizada la cosecha y al inicio del periodo de lluvias, para ajustar las recomendaciones de fertilización al estado nutricional de la plantación.

Tabla 12. Principales datos que debe llevar la etiqueta de las muestras que se envían al laboratorio de química de suelos

Finca o entidad	Centro de Investigación La Suiza, AGROSAVIA
Tipo de análisis	Químico: 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
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 13).

Tabla 13. 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 14) (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 14. 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), la cual se presenta en suelos con un pH inferior a 5,5. Esta toxicidad conduce a una baja disponibilidad de fósforo, 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 15).

Nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio son móviles en el floema, pero cuando su suministro es limitado, el tejido joven los toma de las hojas viejas, las cuales muestran deficiencias de estos iones (figura 25), 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, lo cual contrasta 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).

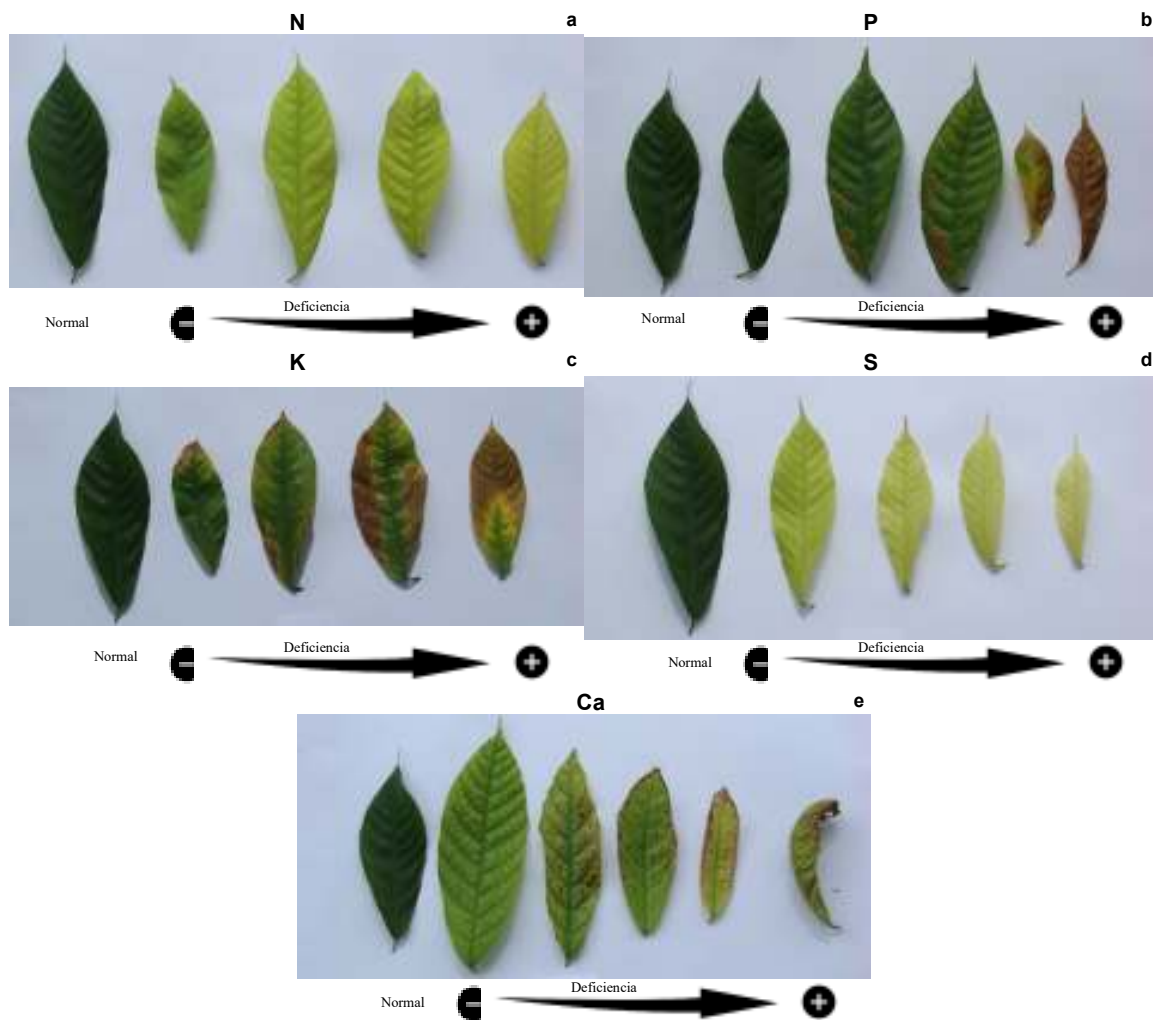


Figura 25. Síntomas foliares de deficiencias de nutrientes. a. De nitrógeno; b. De fósforo; c. De potasio; d. De azufre; e. De calcio.

Fuente: George Sodré y Paulo Marrocos, Centro de Pesquisas do Cacau (Ceplac) y Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Cepec) (Chepote et al., 2013)

Tabla 15. 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 disponibilidad.
		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 Silva (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 clones mejorados, el suministro de agua, las podas sanitarias y planes de fertilización ajustados a la demanda del cultivar. Aunque en la etapa productiva del cultivo, 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 16).

Tabla 16. Estimado de cantidad de nutrientes absorbidos por la planta de cacao en diferentes etapas de desarrollo

Fase	Edad	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
		kg/ha						
Vivero	5-12	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)

Aunque parte de los nutrientes empleados por la planta se devuelven al suelo mediante el ciclaje por la caída de hojas, tallos, flores, frutos y por la descomposición de residuos de poda y cacota, diversas cantidades de nutrientes

se pierden en cada cosecha con el retiro de las mazorcas con sus granos. A esto se suma que 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 17).

Tabla 17. Principales nutrientes removidos por tonelada de semilla y de cacota de cacao

Parte vegetal analizada	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	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 et al. (2008)

La extracción de nutrientes en el cacao varía mucho según los materiales genéticos (Rosas-Patiño et al., 2019; Souza Júnior et al., 2018; Puentes Páramo et al., 2014) y entre las distintas localidades (Souza Júnior et al., 2018). El ensayo efectuado por Puentes Páramo 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 18), lo cual sugiere que cada variedad necesita una fertilización específica.

Tabla 18. Extracción de nutrientes (kg/1.000 kg de grano seco) en clones de cacao con aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio

Clon	N	P	K
CCN51	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 Páramo (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

Las plántulas de siembras nuevas deben trasplantarse en hoyos de 40 × 40 × 40 cm (de hondo, ancho y largo). La tierra extraída de los primeros 20 cm corresponde al horizonte más rico en nutrientes y debe dejarse aparte para mezclarla con mínimo 1 kg de abono orgánico bien compostado (compost, lombricompost, gallinaza, caprinaza, o porquinza) y, en caso de suelos ácidos, con unos 200 g de cal dolomita. La mezcla resultante se deposita en el fondo del hoyo, y el resto de tierra, la de los últimos 20 cm, se reserva para el posterior llenado del hueco después de sembrar la planta. Sin embargo, antes de la siembra y el llenado final, el hoyo se debe dejar abierto durante mínimo un mes, con la mezcla de abono y cal en su interior, para que estas sustancias mineralicen el suelo y corrijan su acidez.

Cultivos ya establecidos

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. Las dosis recomendadas de fertilizante también se pueden incorporar al suelo, en hoyos de unos 5 cm de profundidad abiertos con un chuzo de madera y distribuidos en el área de influencia de la copa. Esta última forma de aplicación disminuye la pérdida de fertilizantes por evaporación y lavado y por arrastre en caso de lluvia, ya que el contacto directo con el suelo humedece más rápido el abono y permite que la planta lo aproveche en un menor tiempo.

Para la aplicación de fertilizantes al cultivo, se debe tener en cuenta que la mayor concentración de raíces finas de la planta se encuentra 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.

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 parten 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 16).

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 y sus nutrientes puedan ser asimilados más fácilmente por parte del sistema radical. 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.

A manera de guía para la fertilización, la tabla 19 indica los síntomas de la planta de acuerdo con las deficiencias nutricionales.

Tabla 19. 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
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 VIII

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 toneladas 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 20).

Tabla 20. Principales problemas sanitarios del cultivo de cacao en Colombia

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

Fuente: Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010)

Monilia

La monilia es la enfermedad más importante del cultivo de cacao, tanto en Colombia como en el departamento de Santander. Es considerada dos veces más destructiva que la mazorca negra y de más difícil control que la escoba de bruja (Ploetz, 2016). El agente causante es *Moniliophthora roreri*, un hongo especializado en los frutos. Aunque este patógeno afecta todos los estados de desarrollo de los frutos, la susceptibilidad de estos es inversamente proporcional a la edad, es decir, son más susceptibles los frutos más jóvenes (Merchán, 1981; Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010). El daño causado por *M. roreri* ocasiona pérdidas de 25 a 100 % de la producción, según del manejo agronómico del cultivo (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010).

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 26a y 26b), y en frutos mayores a 60 días, da lugar a puntos aceitosos dispersos o concentrados en el tejido externo (figura 26c). 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 26d) (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010).

Otro posible síntoma, previo a la necrosis externa, es la maduración irregular y prematura de los frutos, con islas verdes (figuras 26e y 26f) o amarillas en la superficie (figura 26g). 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 26h), que se dispersan gradualmente hasta cubrir todo el tejido (figura 26i). 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 Suárez & Aranzazu Hernández, 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 26j). 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 Suárez & Aranzazu Hernández, 2010). Es por esto que los frutos afectados por monilia con ausencia de esporulación difícilmente se pueden diferenciar de los frutos atacados por *Moniliophthora perniciosa* (Evans, 1981).

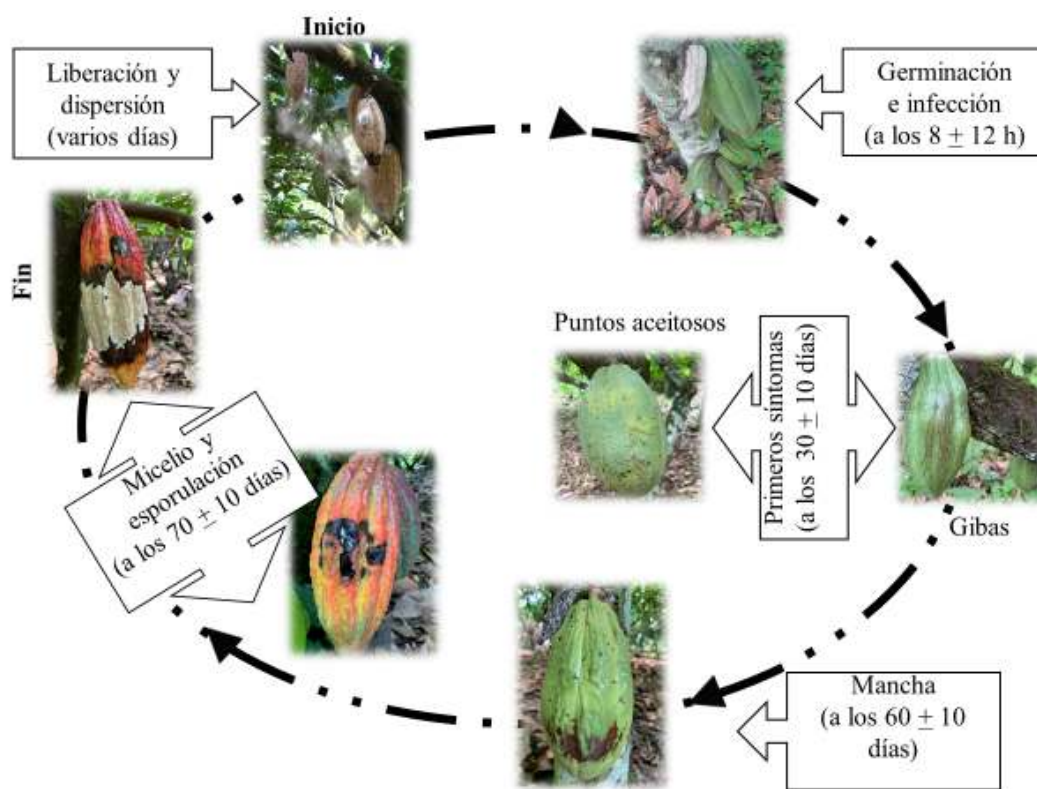


Fotos: Yeirne Yaneth Jaimes Suárez

Figura 26. 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.

Ciclo de la enfermedad

El clima y la cantidad de esporas de *M. roreri* determinan la duración del ciclo de la monilia. El ciclo inicia en la época seca con una mayor dispersión de esporas y la infección empieza en las condiciones de alta humedad relativa que se presentan en horas de la noche. 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 infección y la enfermedad se desarrollen en cualquier época. Los primeros síntomas de la monilia se presentan 22 días después de la infección y las manchas de 50 a 70 días después. El micelio se forma sobre la mancha (tejido necrótico) 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 27) (Jaimes Suárez & Aránzazu Hernández, 2010).



Fotos: Albert Sneyder Carvajal y
Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Figura 27. Ciclo de la monilia.

Fuente: Elaboración propia

Control de la monilia

La medida de control más adoptada por los cacaocultores es la remoción de las fuentes primarias del inóculo. Esta práctica consiste en retirar los frutos con síntomas previos al desarrollo de la mancha o la necrosis del tejido, con una frecuencia semanal en época de mayor formación de frutos. Según Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010), también se deben considerar las siguientes recomendaciones para el control exitoso de la monilia:

- Tener en cuenta el grado de susceptibilidad de los materiales clonales establecidos y hacer un correcto manejo agronómico del cultivo.
- Mantener una altura límite de las plantas de cacao de 3,5 m.
- Llevar a cabo mínimo dos podas de mantenimiento en el año, una en la primera época seca, entre febrero y marzo, y la otra en la segunda época seca, entre julio y agosto.
- Retirar los frutos enfermos, preferiblemente cuanto tengan los primeros síntomas o cuando presenten la mancha. Se debe evitar la aparición de frutos con esporulación para evitar que la infección se propague en el resto de la plantación.
- En épocas de mayor cuajamiento y desarrollo de los frutos, remover los que están enfermos con una frecuencia semanal. En Santander, estas épocas se presentan entre junio y agosto y entre noviembre y enero, aunque los meses pueden variar. La remoción se puede hacer con una frecuencia quincenal en los periodos de menor fructificación.
- Los frutos removidos se colocan en el suelo y en lo posible se deben cubrir con hojarasca para facilitar la descomposición del tejido enfermo.
- En plantaciones jóvenes o adultas donde se presente la enfermedad por primera vez, los frutos deben retirarse y enterrarse.
- En zonas o lotes con altas condiciones de humedad relativa, tales como las zonas bajas del Magdalena Medio, se deben utilizar clones tolerantes a la enfermedad con sus respectivos diseños de siembra. Otra alternativa para sitios con estas condiciones es aumentar la distancia de siembra entre árboles.
- En cultivos empresariales o con baja disponibilidad de mano de obra, el manejo de la monilia se puede complementar con aspersiones de oxiclورو de cobre, en dosis de 2 a 3 kg/ha del producto comercial y una frecuencia de tres semanas durante tres meses. Este control se debe iniciar en la época de mayor floración y cuajamiento de frutos.
- En plantaciones híbridas, con alta incidencia de monilia, se debe cambiar copas mediante rehabilitación.

Escoba de bruja

La escoba de bruja es considerada la enfermedad más importante del cacao después de la monilia. Su alta incidencia puede causar pérdidas del 30 % al 90 % de la producción. La escoba de bruja es causada por el hongo hemibiotrófico *Moniliophthora perniciosa*. El patógeno y la enfermedad están presentes en los países productores de cacao de Suramérica, así como en Panamá (al este del canal), Santa Lucía, San Vicente y Trinidad y Tobago.

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 28b). Estos síntomas son los que dan la apariencia de escoba de bruja, de la cual proviene el nombre de la enfermedad (Jaimes Suárez & Aránzazu Hernández, 2010). Las escobas se presentan en formas y tamaños variables, y pueden duplicar o triplicar el tamaño de una rama sana (figura 28a) (Sodré, 2017).



Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Figura 28. Síntomas de escoba verde (previos a la necrosis del tejido) ocasionados por *M. perniciosus*. a. En ramas laterales; b. En brotes terminales.

En los cojines florales infectados también se forman tejidos con apariencia de escobas, así como flores anormales (figura 29a). En las escobas en cojín pueden formarse frutos, los cuales son partenocárpicos y en ocasiones tienen forma de zanahoria o chirimoya (figura 29b).



Fotos: Yeirne Yaneth Jaimes Suárez

Figura 29. Síntoma de escoba de bruja en cojín floral. a. Con frutos partenocárpicos; b. Sin frutos.

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 (Meinhart et al., 2008; Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010).

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 30). La producción de los basidiocarpos requiere una alternancia de días lluviosos y secos (figura 31), condición que suele darse al finalizar el periodo seco y empezar el de lluvias (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010).

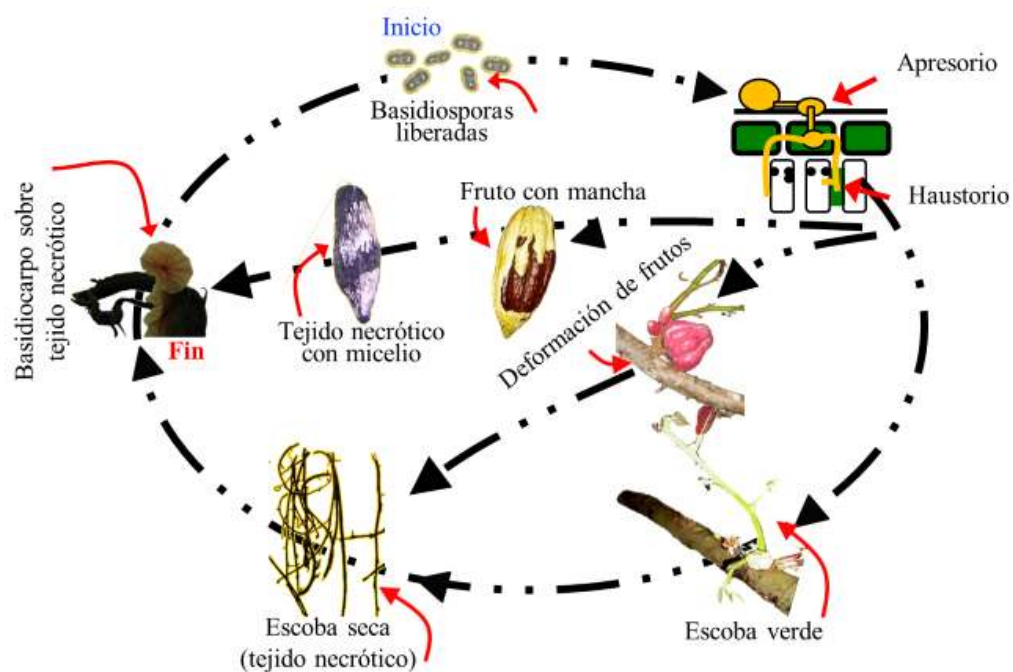


Figura 30. Ciclo de la escoba de bruja.

Fuente: Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010)



Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Figura 31. Formación de basidiocarpos de *M. perniciosa* sobre tejido enfermo necrosado de planta de cacao.

Control de la escoba de bruja

La medida de control más adoptada es la remoción de tejidos enfermos, dos veces al año, en el momento de las podas. El material retirado puede dejarse sobre el suelo para su descomposición. Para el control exitoso de la enfermedad, deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones de manejo de la plantación, según Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010):

- Considerar el grado de susceptibilidad de los materiales clonales establecidos y el correcto manejo agronómico del cultivo de cacao.
- Mantener una altura límite de las plantas de cacao de 3,5 m.
- Llevar a cabo mínimo dos podas de mantenimiento en el año, una en la primera época seca, entre febrero y marzo, y la otra en la segunda época seca, entre julio y agosto.
- En las podas, se debe hacer una revisión y remover los tejidos enfermos o las escobas en ramas, cojines florales y frutos.
- El material enfermo de la poda y la remoción en tronco se debe trozar para facilitar su proceso de descomposición.
- En plantaciones jóvenes o adultas donde se presente la enfermedad por primera vez los frutos deben retirarse o enterrarse.
- En zonas o lotes con altas condiciones de humedad relativa, tales como las zonas bajas del Magdalena Medio, se deben utilizar clones tolerantes a la enfermedad con sus respectivos diseños de siembra. Otra alternativa para sitios con estas condiciones es aumentar la distancia de siembra entre árboles.
- Los materiales afectados seriamente se deben rehabilitar e injertar con copas de materiales resistentes a la enfermedad.

Mazorca negra

Con este nombre se denomina a la pudrición de frutos causada por especies del género *Phytophthora*. La infección también causa pudriciones en ramas y troncos, las cuales reciben el nombre de *cánceres* y 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 esteroles 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 esteroides 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 32). 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 32) (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.



Fotos: Yeirne Yaneth Jaimes Suárez

Figura 32. Síntomas de mazorca negra en fruto de cacao.

En tronco y ramas, los cánceres aparecen sobre la corteza y se componen de lesiones necróticas oscuras que por lo general tienen exudados (figura 33a). Si se retira la corteza, se observan en el interior lesiones de color salmón o púrpura (figura 33b).



Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Figura 33. Síntomas de mazorca negra en tronco. a. Externos; b. Internos.

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 34).

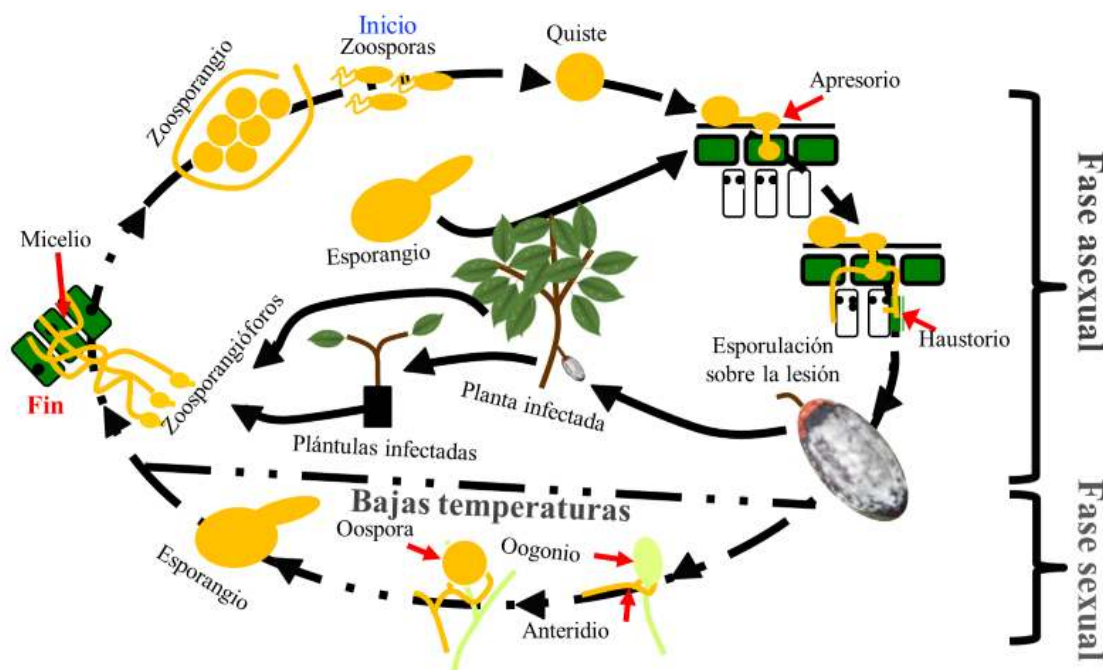


Figura 34. Ciclo de la mazorca negra.

Fuente: Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010)

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, 2018). 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, 2018).

Otro criterio para considerar en la etapa de propagación del material vegetal es la altura del injerto. El tronco 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. Aparte de estas medidas, se deben considerar las siguientes recomendaciones de manejo de la plantación, según Jaimes Suárez y Aranzazu Hernández (2010):

- Realizar un manejo oportuno de la sombra por medio de la poda y evitar encharcamientos en el terreno donde se encuentra establecido el cultivo. En caso de encharcamientos frecuentes, se deben abrir canales de drenaje, que permitan el manejo de la humedad en la plantación.
- Evitar causar heridas con la herramienta durante las operaciones de campo. Si se hiere un árbol, se debe cicatrizar con pasta bordelesa o con un vinilo al que se le adicione un fungicida protectante como oxiclورو de cobre. La cicatrización también se recomienda para después de la rehabilitación, así como en la poda de los árboles.
- Eliminar frutos enfermos y depositarlos en un sitio retirado de las plantas de cacao. Para evitar la dispersión del patógeno por escorrentía, se debe aplicar cal sobre los tejidos enfermos retirados o productos a base de biocontroladores como *Trichoderma* sp.
- 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 15 días (figura 35).
- Si la enfermedad está muy avanzada, se deben eliminar y retirar del lote los árboles afectados.



Fotos: Silvia Juliana Flórez Morales

Figura 35. 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 adicionado con producto químico en el área afectada, una vez eliminado el tejido enfermo; d. Tejido de cacao tratado para el control de cánceres.

Mal del machete

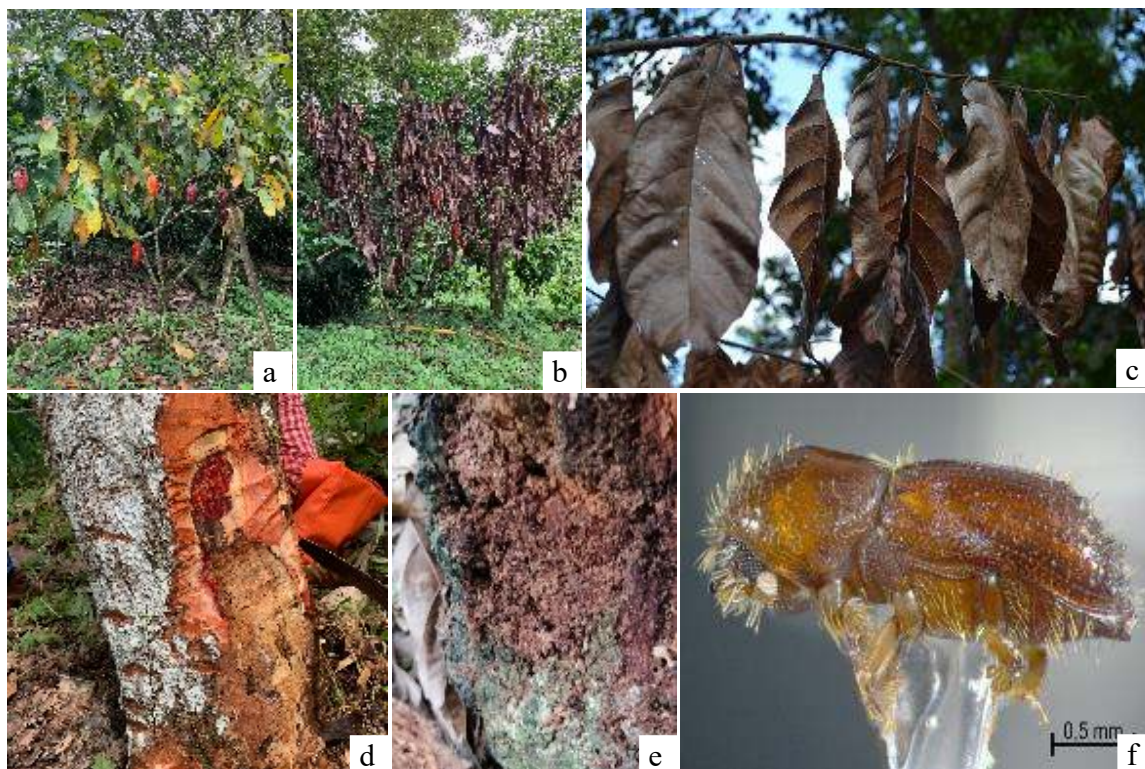
Esta enfermedad, causada por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, ocasiona marchitez y muerte de los árboles de cacao. Las prácticas que predisponen al mal de machete son la poda, la limpieza del suelo, el deschuponado y la cosecha. En todos estos casos, su incidencia se debe al uso de herramienta que 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 36a). A medida que pierden turgencia, quedan colgadas en posición vertical, se enrollan, se secan y permanecen adheridas por varias semanas (figura 36b), aun cuando el árbol en apariencia haya muerto (figura 36c) (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 36d). 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 36e), 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 36f) (Sodré, 2017).



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

Figura 36. Síntomas de clorosis ocasionada por el mal de machete. a. Marchitez; b. Hojas adheridas en ángulo de 90°; c. Cáncer; d. Aserrín; e. Árbol de cacao con mal de machete; f. Insecto *Xyleborus ferrugineus*, asociado al mal de machete.

Ciclo de la enfermedad

Generalmente, *Ceratocystis fimbriata* esporula a través de las galerías abiertas por los coleópteros. Las esporas se liberan con el aserrín y al ser transportadas por el viento diseminan la enfermedad. El hongo también se esparce de forma directa por medio de las herramientas que se usan en las labores culturales. Los síntomas se evidencian en los árboles de cacao y empiezan a manifestarse durante la estación seca o al final de esta.

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, 2018). 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, 2018).

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 oxiclورو 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 Hernández, 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 reflejos que aparecen en la parte aérea de las plantas. Estos síntomas se caracterizan por un amarillamiento o clorosis generalizada (figura 37a) 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 37b) (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 37c) (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 miceliares o rizomorfos en forma de abanicos o de estrella (figura 37b) (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).



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

Figura 37. 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.

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 frijol, 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 indican 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 38b). 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 38a). 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 hectáreas. 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).



Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

Figura 38. Insecto-plaga del género *Monalonion* y daño que ocasiona. a. Daño en fruto de cacao; b. Adulto de *Monalonion* sp.

Perforadores de fruto

Entre los perforadores de fruto, los de los géneros *Gymnandrosoma* (figura 39) 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 40). 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).



Fotos: Donald Galvis

Figura 39. 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 40. 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.

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 IX

Modernización de plantaciones improductivas

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 500 kg de grano seco por hectárea. Con el fin de mejorar estos sistemas de producción, se pueden hacer intervenciones de rehabilitación, incorporando copas de clones que mejoren las características agronómicas y aumenten los rendimientos por área sembrada.

Renovación y rehabilitación de plantaciones

A medida que las plantaciones envejecen, requieren más intervenciones destinadas a mejorar sus rendimientos de kilogramos de grano de cacao seco por hectárea. El proceso para mejorar las plantaciones de cacao se puede hacer de dos maneras: 1) poner la plantación en buena condición, lo cual se denomina *rehabilitación*, o 2) reemplazar los árboles viejos por nuevos, lo cual se llama *renovación*. El tipo y el método de intervención más adecuada se define después de considerar aspectos sociales, económicos, institucionales, técnicos y ambientales. El primer paso, antes de cualquier intervención, es realizar un diagnóstico de la plantación.

Diagnóstico de la plantación

Se empieza por hacer un inventario de árboles en el área que se va a intervenir. Se identifica el número de árboles de cacao productivos, el número de resiembras que deben realizarse, los espacios o áreas faltantes, así como el tipo de sombrero y su condición. Los árboles se clasifican en atención a su eficiencia productiva, para la cual se evalúa la producción a nivel de plantación para el caso de materiales híbridos, o a nivel de árbol cuando se trata de plantaciones clonales (Fedecacao, 2017).

Las evaluaciones se llevan a cabo cada semestre, en los dos periodos del año productivo, justo antes de cada cosecha (tabla 21). 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 21. Clasificación a nivel de plantación híbrida y a nivel de árbol clonado para determinar grado de eficiencia productiva

Clasificación	Criterios de evaluación		Identificación
	A nivel de plantación híbrida	A nivel de árbol clonado	
	kg/ha/año de cacao seco	Frutos totales/árbol/año	
Deficiente	< 500	0-30	Cinta amarilla y roja
Normal	501-800	31-50	Sin marcación
Bueno	801-1.500	51-99	Cinta blanca
Excelente	> 1.500	> 100	Dos cintas blancas

Fuente: Fedecacao (2017)

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 viejos y sin utilidad se marcan con una X y se eliminan de la parcela (N. H. Díaz, comunicación personal, 2018).

Adecuación de la parcela

Finalizado el diagnóstico de la parcela, se elabora un plano con un rediseño de la plantación que tenga en cuenta la disposición de los árboles maderables existentes. Se procede a cortar los maderables que no encajen en la redistribución y a sacar el beneficio de su madera. Sus residuos inservibles se repican y se incorporan al *mulch* de la plantación para facilitar su descomposición (N. H. Díaz, comunicación personal, 2018). Se recomienda aplicar picloram a las raíces que queden de los árboles eliminados como medida de prevención contra *Rosellinia* sp.

Los árboles clasificados como “deficientes” (tabla 21) se preparan para rehabilitación. Esto requiere disminuir en un 50 % el tamaño de sus copas 15 días antes de la injertación, eliminando los nudos o protuberancias que puedan impedir el amarre del injerto. En los árboles no aptos para injertación, pero con un sistema radical en buen estado, se induce la formación del chupón basal. Posteriormente, este último se soquea a ras del suelo, se le aplica pasta cicatrizante y se tapa con tierra. También se debe podar moderadamente (N. H. Díaz, comunicación personal, 2018).

Los espacios vacíos o en blanco del plano de redistribución se deben estaquear, ahoyar y sembrar con material clonado o patronaje para posteriormente injertar. Para los injertos de las plantas rehabilitadas, se sugiere sembrar colinos de plátano, con el fin de proveer el sombrío transitorio que requieren para su desarrollo (N. H. Díaz, comunicación personal, 2018).

Injertación de los árboles a rehabilitar

En la rehabilitación de los árboles se debe considerar la pendiente del terreno. La injertación en terrenos inclinados se realiza en el sentido de la pendiente. En terrenos planos, se hace en sentido norte-sur para evitar que la radiación solar incida directamente en el injerto (N. H. Díaz, comunicación personal, 2018).

Capítulo X

Cosecha y poscosecha del cacao

Colombia, junto con Ecuador, Venezuela y Perú, está catalogada como un productor de cacao de sabor y aroma finos. 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).

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. Las actividades en estas etapas se deben llevar a cabo con sumo cuidado, ya que 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 y Productoras 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 41b), y los que son rojos o púrpura se tornan naranjas o de color rojo claro (figura 41a) (De la Cruz Medina et al., 2011).



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 41. Colores de frutos de cacao según su madurez fisiológica. a. Los frutos púrpura toman un color naranja cuando maduran; b. Los frutos verdes se ponen amarillos al madurar.

En la recolección solo se deben cosechar frutos maduros y evitar los frutos pintones o sobremadurados (figura 42). La fermentación de los pintones y los sobremadurados no se da correctamente debido al bajo contenido de azúcares de su pulpa, y la calidad de su grano se afecta porque se eleva el porcentaje de granos pizarrosos. Los agricultores reconocen los frutos maduros porque producen un sonido hueco cuando los golpean con los dedos en los entrenudos (Cáritas El Salvador & Catholic Relief Services [CRS], 2017).



Fotos: Eliana Báez Daza y Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 42. Frutos de cacao no aptos para cosecha y poscosecha. a. Sobremadurado; b. Pintón.

Antes de la recolección, se deben hacer rondas de observación 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 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, lo cual afectaría la calidad de 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 para no alterar la calidad del grano (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 B., 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-Pérez et al., 2014). Es importante dejar una porción del pedúnculo adherida a la base del tallo (figura 43), 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 B., 2011).



Foto: Eliana Báez Daza

Figura 43. Cosecha de frutos de cacao con madurez óptima para su beneficio.

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 que se contaminen (figura 44a). Es importante llevar a cabo esta labor el mismo día de la cosecha o a lo sumo en las siguientes 48 horas (figura 44b) (Aguilar, 2017), máximo tres días después de la cosecha, ya que, si se hace después, los frutos pueden sobremadurarse o germinar, lo cual también afecta la calidad del grano (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Los granos sanos son los únicos que deben ir al

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).



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 44. 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.

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 la 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 mazo corto de madera o un machete pequeño e invertido, fijado a una base o un tronco (figura 45a). Esto con el fin de no hacer cortes 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 con un corte transversal (figura 45b), con lo cual no se daña el grano y se evita el ingreso de patógenos (Compañía Nacional de Chocolates, 2019).

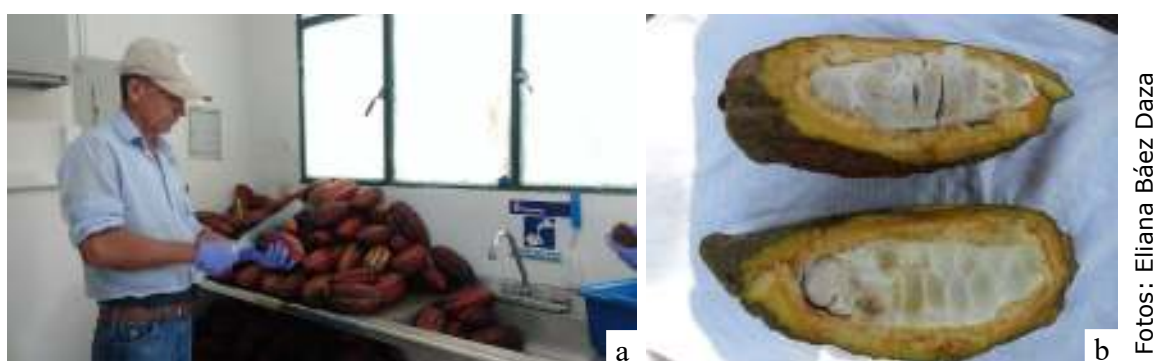


Figura 45. Labor de partir frutos de cacao. a. Corte de la corteza; b. Mazorca partida.

Luego de partir o quebrar los frutos, se procede a extraer los granos de cacao (figura 46a), 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 y se transportan al fermentador. Los recipientes deben impedir escurrimientos para que no se pierda el mucílago o los jugos que requiere la fermentación y deben estar libres de impurezas (figura 46b). El tiempo entre el desengrullado y el traslado al fermentador no debe superar las seis horas (Cáritas El Salvador & CRS, 2017).



Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda
y Eliana Báez Daza

Figura 46. 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.

Los residuos de la cosecha también se pueden aprovechar. La cacota se puede emplear como materia prima para elaborar abono orgánico (figura 46c y 46d), el cual sirve de fertilizante en la fase productiva. También se puede usar para alimentar animales o extraer pectinas (gelificantes, espesantes, etc.) (Ortiz Valbuena & Álvarez León, 2015).

Fermentación de los granos de cacao

Después del traslado, la masa de los granos de cacao desengrullados, con el mucílago, se deposita de manera uniforme en los cajones de fermentación (figura 47a). La masa se tapa con hojas de plátano y sacos de fique o yute (figura 47b), para evitar que pierda temperatura en el proceso y se deja así de cuatro a siete días, según el material genético y las condiciones climáticas (especialmente temperatura y humedad relativa).



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 47. Masa de granos de cacao con mucílago en los cajones de fermentación. a. Disposición de la masa de cacao en cajones de madera lineales; b. Tapado de masa para aumento de temperatura.

Lo más recomendable es fermentar en cajones 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 48). La masa se deja en reposo durante 48 horas, y una vez supere los 30 °C, se procede a voltearla de manera sucesiva, cada 24 o 48 horas, hasta completar las 96 horas (figura 49). Se recomienda voltearla en total tres veces, a las 48, las 72 y las 96 horas (Cáritas El Salvador & CRS, 2017).



Foto: Eliana Báez Daza

Figura 48. Monitoreo de temperatura de la masa de cacao.

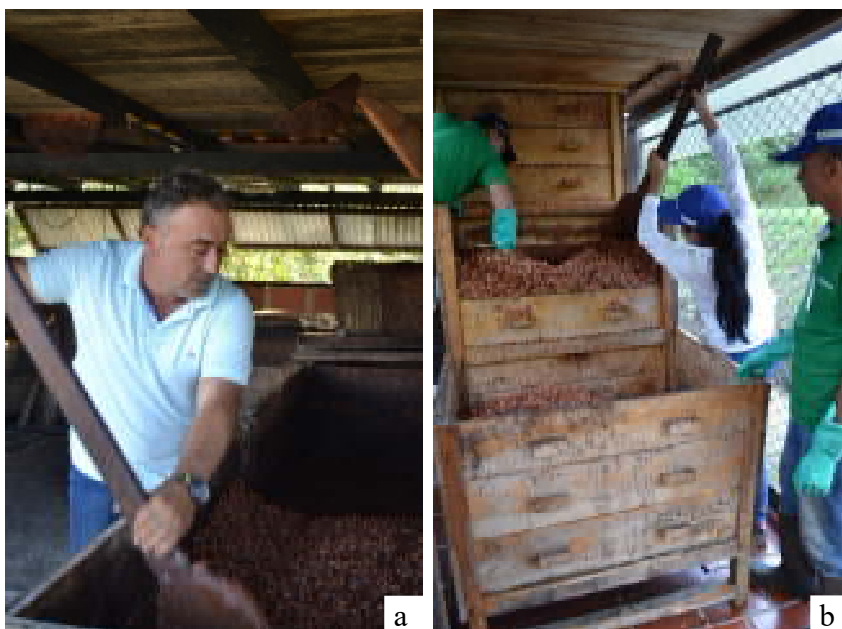


Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda y Lucero Rodríguez Silva

Figura 49. Volteo de granos de cacao en fermentación. a. Volteos manuales con instrumentos de madera; b. Volteos en los que se hace traslado de cajón.

Los volteos consisten en mover la masa en fermentación con ayuda de una pala de madera, de tal forma que los granos de la parte inferior del cajón pasen a la superior y viceversa. El procedimiento permite incorporar aire a la masa y uniformizar la fermentación (Cáritas El Salvador & CRS, 2017). 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.

El proceso de fermentación se divide en dos etapas, las cuales 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 CO₂, 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 B. 2011; Contreras et al., 2004).

A simple vista, el grano se hincha y su interior pasa de color violeta a marrón (figura 50). Estos cambios de apariencia indican que el proceso de fermentación se ha completado y que se puede pasar al secado.



Foto: Eliana Báez Daza

Figura 50. Cortes de granos de cacao que permiten identificar el estado de fermentación por cambio en la coloración.

Para saber si la fermentación terminó, se recomienda hacer pruebas de corte después de voltear la masa por tercera vez (figura 51). Por ningún motivo se deben combinar masas de cacao con diferentes días de cosecha o fermentación, ya que de hacerlo se estarían mezclando granos bien fermentados con otros que no completaron el proceso o que están sobrefermentados. Es por esto que es importante programar las recolecciones de acuerdo con la infraestructura disponible.



Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 51. Prueba de corte de granos de cacao para determinar grado de fermentación.

Una fermentación adecuada requiere que los cajones estén en un sitio cubierto. 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 y el doble o lineal.

El tipo escalera se compone de tres cajones, los cuales están dispuestos, como su nombre lo indica, de manera escalonada (figura 52). 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.



Foto: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 52. Cajones tipo escalera para la fermentación de granos de cacao.

El cajón doble o lineal también lo utilizan los productores de Santander. Tiene forma rectangular y su interior está dividido en dos o tres compartimentos (figura 53a). 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 compartimento 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 compartimentos hasta completar el proceso de fermentación (figura 53b). 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.



Foto: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 53. Cajones tipo doble o lineal para fermentación de granos de cacao.
a. Cajones; b. Volteos en cajones lineales.

Otra opción de cajón de madera es el de tambor rotatorio (figura 54). Requiere menos espacio y con él se puede fermentar un volumen de aproximadamente 250 kg de cacao en baba. Además, demanda un menor esfuerzo en los volteos ya que cuenta con un eje de paletas internas, y para hacer el giro solo se necesita una persona. El cajón puede cerrarse y abrirse, con lo cual se disminuye la contaminación, se obtiene un grano de calidad óptima y se facilita la labor de cargue y descargue del cacao (Teneda Llerena, 2016).



Fotos: Gildardo Palencia

Figura 54. Cajón de tipo rotatorio para fermentación de granos de cacao.

Secado de los granos de cacao

El secado tiene como fin bajar el porcentaje de humedad del grano fermentado de 55 % a 7,5 %. En el secado continúan los procesos bioquímicos que permiten potencializar los precursores de sabor y aroma, necesarios para obtener cacao de calidad óptima. Estos son procesos progresivos, a los cuales hay que darles tiempo, ya que, si el grano se seca muy rápido, retendrá humedad y dará notas altas de acidez (Rodríguez Z., 2016). El secado 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 55a), casas elba (figura 55b), camillas de madera o carros corredizos. El proceso no debe realizarse sobre el suelo de cemento de los patios ni sobre áreas pavimentadas porque se puede contaminar el grano (figura 55c).



Fotos: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 55. Infraestructura para el secado natural de grano de cacao. a. Secador tipo pasera; b. Casa elba. c. Secado no adecuado sobre piso.

El secado artificial se hace con horno y secadores rotatorios. Este método se recomienda para áreas o épocas lluviosas que no permiten el secado natural del grano (Liendo, 2005; Cáritas El Salvador & CRS, 2017). Los secadores rotatorios pueden ser de flujo de aire caliente (figura 56) (Liendo, 2005). En ellos, el calor se genera por la combustión de leña, carbón, diésel o gas, así como también por electricidad, y la temperatura pasa de 20 a 60 °C. Se requiere que la capa de cacao sea de máximo 5 cm de espesor y hacer volteos regulares para dar

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). En el secador giratorio, se recomiendan bajas temperaturas, en especial al inicio del proceso, para que el grano permanezca hinchado y la testa no se adhiera a la almendra.



Foto: Genaro Andrés
Agudelo Castañeda

Figura 56. Secador artificial rotatorio con aire caliente.

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

- 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, cuando debe protegerse de la luz solar. La masa debe rastrillarse varias veces al día, con sol en horas de la tarde preferiblemente.
- 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. Debe moverse periódicamente con el rastillo de madera a lo largo del día.
- El secado dura de 5 a 7 días, según la intensidad del sol. Para saber si el proceso se completó, se frota un puñado de granos y se escucha el sonido

que produce (figura 57). 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 %).



Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 57. Prueba manual para determinar el contenido de humedad de los granos de cacao.

La humedad de los granos también se puede verificar mediante un medidor portátil compacto (figura 58a), el cual es de fácil manejo en campo. Otros equipos como la balanza infrarroja o la estufa de laboratorio sirven igualmente para determinar los porcentajes de humedad (figura 58b).



Fotos: Eliana Báez Daza

Figura 58. Instrumentos para determinar el porcentaje de humedad de los granos de cacao. a. Medidor portátil; b. Balanza de humedad.

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 de lavado y clasificación es fundamental para mantener la calidad del grano en el proceso de beneficio. Antes de la comercialización, se deben eliminar todas las impurezas y los granos defectuosos (mohosos, partidos y vanos o sin almendras) (figura 59). Esta actividad se puede hacer de forma manual o con

ayuda de zarandas que comúnmente se manejan en la finca y que tienen perforaciones acordes con el tamaño de la almendra. El objetivo es ofrecer granos sanos, secos y de buena apariencia (Ávila et al., 2013).



Foto: Eliana Báez Daza

Figura 59. Granos de cacao mohoso.

Empaque

Una vez verificado el contenido de humedad y realizada la limpieza y clasificación, el grano se debe empacar en sacos de fique de forma tal que se mantenga aireado para evitar la aparición externa de moho. Cada empaque debe estar limpio y seco con el fin de evitar contaminaciones y debe usarse exclusivamente para el almacenamiento y el transporte de este producto alimenticio (figura 60). El grano de cacao empacado se transporta a los centros de acopio para venta y comercialización (Fedecacao, 2017).



Foto: Genaro Andrés Agudelo Castañeda

Figura 60. Empaque en sacos de granos de cacao.

Requisitos físicos y químicos

La norma 1252 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) establece los requisitos físicos y químicos del grano en el país (tablas 22 y 23). Según esta normativa, el grano de cacao común destinado a comercialización se divide en premio, corriente y pasilla, mientras que el cacao catalogado como especial se divide en premio 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], 2012).

Tabla 22. Requisitos físicos y químicos del grano de cacao

Requisitos	Cacao común			Cacao especial	
	Premio	Corriente	Pasilla	Premio	Corriente
Granos bien fermentados (n.º mínimo/100 granos)	65	65	60	70	65
Granos insuficientemente fermentados (n.º máximo/100 granos)	34	32	37	29	32
Contenido de humedad (% máximo)	7,5	7,5	7,5	7	7,5

Fuente: Adaptado de Icontec (2012)

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

Requisitos	Cacao común			Cacao especial	
	Premio	Corriente	Pasilla	Premio	Corriente
Contenido de impurezas o materias extrañas en % máximo	0	0,3	0,5	0	0,3
Granos mohosos internos (n.º de granos/100 granos) máximo	2	2	3	1	2
Granos dañados por insectos o germinados (n.º de granos /100 granos) máximo	1	2	2	1	2
Granos sin fermentar (pizarrosos) (n.º de granos /100 granos) % máximo	1	3	3	1	3

Fuente: Adaptado de Icontec (2012)

Capítulo XI

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 de vivero se debe adecuar a los requisitos mínimos, para cumplir con una entrega de plántulas de cacao acorde con las condiciones y características óptimas que requiere la comercialización. Esta adecuación y su dotación requiere incurrir en costos que deben considerarse 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 (precios de 2017)

La construcción y dotación de un vivero de cacao con capacidad de producción de 3.900 plántulas tiene un costo aproximado de COP 2,19 millones. El costo de producir una plántula, sin considerar la adecuación del vivero, es de aproximadamente COP 1.566. Sin embargo, dado que el vivero se establece solo con el fin de producir el material vegetal de una nueva plantación, la inversión total que debe realizarse, con el costo de los insumos y del material vegetal, es de aproximadamente COP 8,3 millones y el costo de cada plántula de COP 2.127 (tabla 24).

Tabla 24. Costos de construcción y dotación de vivero y producción de plántulas de cacao (precios de 2017)

Fase	Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	
					Unitario	Total
Construcción y dotación de vivero	Mano de obra	Adecuación del terreno	Jornal	1,5	\$42.000	\$63.000
		Construcción de hoyos	Jornal	0,5	\$42.000	\$21.000
		Instalación de postes	Jornal	0,5	\$42.000	\$21.000
		Instalación de alambres y temple	Jornal	0,5	\$42.000	\$21.000
		Instalación de polisombra	Jornal	0,5	\$42.000	\$21.000
		Preparación de eras y almacigo	Jornal	1,5	\$42.000	\$63.000
		Cobertura de piso con cascarilla de arroz	Jornal	0,5	\$42.000	\$21.000
	Materiales	Postes de madera de 2,5 x 0,1 m de diámetro	Unidad	10	\$5.900	\$59.000
		Postes de madera de 3,5 x 0,1 m de diámetro	Unidad	2	\$8.100	\$16.200
		Guadua y estacas	Unidad	25	\$5.500	\$137.500
		Alambre galvanizado calibre 10	kg	5	\$3.800	\$19.000
		Polisombra de 75 % y 6,2 m de ancho	m ²	120	\$1.300	\$156.000
		Varilla para templetes de 1,0 m x 1/2"	Unidad	6	\$2.300	\$13.800
		Canecas plásticas	Unidad	1	\$65.000	\$65.000
		Grapas y puntillas	Unidad	3	\$5.300	\$15.900
		Cascarilla de arroz	Viaje	0,4	\$59.000	\$23.600
		Manguera plástica para riego de 1/2"	Rollo	1	\$108.000	\$108.000
	Equipos y otros	Bomba de espalda de 20 L	Unidad	1	\$236.000	\$236.000
		Carretilla	Unidad	1	\$130.000	\$130.000
		Regadera	Unidad	1	\$13.000	\$13.000
		Balde	Unidad	1	\$11.000	\$11.000
		Tijeras	Unidad	1	\$54.000	\$54.000
		Pala jardinera	Unidad	1	\$5.400	\$5.400
		Navaja para injertar	Unidad	1	\$54.000	\$54.000
		Arriendo maquinaria adecuación del terreno	Global	1	\$300.000	\$300.000

		Transporte materiales e insumos	Global	1	\$542.000	\$542.000
	Subtotal					\$2.190.400
Producción de material vegetal	Mano de obra	Mezcla de materiales y sustrato	Jornal	1	\$42.000	\$42.000
		Llenado de bolsas	Jornal	2	\$42.000	\$84.000
		Encarrillado de bolsas	Jornal	2	\$42.000	\$84.000
		Siembra de semilla	Jornal	2	\$42.000	\$84.000
		Aplicación de riego (manguera)	Jornal	10	\$42.000	\$420.000
		Control de plantas arvences (manual)	Jornal	10	\$42.000	\$420.000
		Fertilización (con bomba de espalda)	Jornal	10	\$42.000	\$420.000
		Control fitosanitario (con bomba de espalda)	Jornal	10	\$42.000	\$420.000
	Materiales	Sintelita	m	13	\$3.200	\$41.600
	Insumos	Semilla de patronaje para cacao	Unidad	4.500	\$80	\$360.000
		Varetas para injertos de cacao	Unidad	1.500	\$650	\$975.000
		Bolsa plástica para cacao de 25 × 15 cm, calibre 2	Unidad	4.500	\$60	\$270.000
		Cal dolomita	kg	6	\$590	\$3.540
		Abono orgánico	Bulto de 50 kg	14	\$26.800	\$375.200
		Fertilizante foliar	L	1	\$37.500	\$37.500
		Fungicidas e insecticidas orgánicos	Varias	1	\$161.000	\$161.000
		Oxicloruro de cobre	kg	2	\$5.000	\$10.000
		Tierra para llenado de bolsa	m³	6	\$32.500	\$195.000
		Pasta cicatrizante	Frasco de 1 L	1	\$27.000	\$27.000
	Otro	Mano de obra contratada para injertación	Injerto	3.900	\$430	\$1.677.000
	Subtotal					\$6.106.840
Costo total del vivero y producción de plántulas					\$8.297.240	
Costo de producir 1 plántula sin considerar la construcción y dotación del vivero					\$1.566	
Costo de producir 1 plántula considerando la construcción y dotación del vivero					\$2.127	

Fuente: Adaptado de Fedecacao (2017)

Costos de establecimiento del cultivo de cacao bajo arreglo agroforestal y de mantenimiento de los primeros cuatro años (precios de 2017)

De acuerdo con datos de Zabala Perilla (2017), 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 3,5 millones en mano de obra y de COP 8,5 millones en materiales y suministros, para un total de aproximadamente COP 12 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. La inversión baja en el segundo, el tercero y el cuarto año cuando se enfoca en el mantenimiento de la plantación y en la formación de las plantas de cacao y los sombríos permanentes. El mantenimiento de 1 hectárea de cultivo de cacao tiene un costo aproximado de COP 5,01 millones en el segundo año, COP 6,34 millones en el tercero y COP 5,83 millones en el cuarto (tabla 25). A partir del quinto año, el costo de mantenimiento del cultivo es de aproximadamente COP 4,5 millones/ha, ya que no se requieren labores de deshoje de plátano (este se elimina), y el sombrío permanente disminuye las labores de desyerbe y control de malezas.

Tabla 25. Costos de inversión para el establecimiento de una hectárea de sistema agroforestal de cacao durante los primeros cuatro años

Mano de obra		Valor unitario	Unidades	Año 1		Año 2		Total años 1 y 2	Año 3		Año 4		Total años 3 y 4
				Cantidad	Valor total	Cantidad	Valor total		Cantidad	Valor total	Cantidad	Valor total	
Establecimiento	Análisis de suelo	\$120.000	Análisis	1	\$120.000			\$120.000	1	\$120.000			\$120.000
	Limpieza/tala	\$42.000	Jornal	8	\$336.000			\$336.000					
	Repique	\$42.000	Jornal	4	\$168.000			\$168.000					
	Trazado de sombríos	\$42.000	Jornal	3	\$126.000			\$126.000					
	Ahoyado sombríos (plátano, maderables)	\$42.000	Jornal	5	\$210.000			\$210.000					
	Siembra sombríos (plátano, maderables)	\$42.000	Jornal	4	\$168.000			\$168.000					
	Ahoyado cacao	\$42.000	Jornal	4	\$168.000			\$168.000					
	Siembra de cacao	\$42.000	Jornal	4	\$168.000			\$168.000					
	Resiembra	\$42.000	Jornal	2	\$84.000			\$84.000					
Mantenimiento	Desyerbe y control de maleza n.º 4 (3 operarios)	\$42.000	Jornal	12	\$504.000	12	\$504.000	\$1.008.000	30	\$1.260.000	30	\$1.260.000	\$2.520.000
	Deshoje y deshoje de plátano n.º 3 (2 operarios)	\$42.000	Jornal	6	\$252.000	6	\$252.000	\$504.000	15	\$630.000	15	\$630.000	\$1.260.000

	Podas (de formación y fitosanitarias) n.º 4 (2 operarios)	\$42.000	Jornal	8	\$336.000	8	\$336.000	\$672.000	8	\$336.000	15	\$630.000	\$966.000
	Aplicación de fertilizantes y correctivos n.º 3 (2 operarios)	\$42.000	Jornal	6	\$252.000	6	\$252.000	\$504.000	6	\$252.000	6	\$252.000	\$504.000
	Cosecha plátano despues de 10 meses	\$42.000	Jornal	2	\$84.000	3	\$126.000	\$210.000					
	Control fitosanitario cacao con registro de datos (escoba y monilia, mensual)	\$42.000	Jornal	12	\$504.000	12	\$504.000	\$1.008.000	12	\$504.000	12	\$504.000	\$1.008.000
	Subtotal mano de obra			80	\$3.480.000	47	\$1.974.000	\$5.454.000	72	\$3.102.000	78	\$3.276.000	\$6.378.000
Materiales y suministros	Insumos	Valor unitario	Unidades	Año 1		Año 2		Total años 1 y 2	Año 3		Año 4		Total años 3 y 4
				Cantidad	Valor total	Cantidad	Valor total		Cantidad	Valor total	Cantidad	Valor total	
	Plántula de cacao injertada	\$1.300	Unidad	900	\$1.170.000	100	\$130.000	\$1.300.000					
	Plántula de plátano	\$1.200	Unidad	900	\$1.080.000			\$1.080.000					

Plántula de abarco	\$1.000	Unidad	350	\$350.000			\$350.000					
Tallos de matarratón	\$200	Unidad	200	\$40.000			\$40.000					
Semilla de maíz en kg/0,5 ha	\$800	Unidad	5	\$4.000			\$4.000					
Correctivo para el suelo (150 g/planta/3 veces/año)	\$10.000	Bulto	36	\$360.000	50	\$500.000	\$860.000	80	\$800.000			\$800.000
Lombricompost (1kg/planta/3 veces)	\$15.000	Bulto	60	\$900.000			\$900.000					
Fertilizantes varios	\$76.500	Bulto	40	\$3.060.000	20	\$1.530.000	\$4.590.000	20	\$1.530.000	20	\$1.530.000	\$3.060.000
Abono compuesto (coloide orgánico y coloide mineral)	\$14.000	Bulto	20	\$280.000	10	\$140.000	\$420.000	10	\$140.000	10	\$140.000	\$280.000
Suelo micorrizado	\$40.000	Bulto	24	\$960.000	12	\$480.000	\$1.440.000	12	\$480.000	12	\$480.000	\$960.000
Pintura vinilo en agua	\$48.000	Galón	1	\$48.000	1	\$48.000	\$96.000	1	\$48.000	1	\$48.000	\$96.000
Oxicloruro de cobre	\$14.000	kg	4	\$56.000	2	\$28.000	\$84.000	2	\$28.000	2	\$28.000	\$56.000
Clorpirifós (25 g/kg)	\$5.000	kg	4	\$20.000	2	\$10.000	\$30.000	2	\$10.000	2	\$10.000	\$20.000
Glifosato	\$60.000	Galón	1	\$60.000	1	\$60.000	\$120.000	1	\$60.000	1	\$60.000	\$120.000

	Hipoclorito de sodio		Litro	1									
	Tijeras de poda manual	\$60.000		1	\$60.000	1	\$60.000	\$120.000	2	\$120.000	2	\$120.000	\$240.000
	Funda en cuero de la tijera de poda manual	\$29.000		1	\$29.000	1	\$29.000	\$58.000	2	\$58.000	2	\$58.000	\$116.000
	Tijera aérea de cadena de bicicleta	\$62.000							1	\$62.000	1	\$62.000	\$124.000
	Machetes de 22"	\$22.000		1	\$22.000	1	\$22.000	\$44.000	1	\$22.000	1	\$22.000	\$44.000
	Subtotal equipos y herramientas				\$8.499.000		\$3.037.000	\$11.536.000		\$3.358.000		\$2.558.000	\$5.916.000
	Total por año para establecimiento, mantenimiento y materiales e insumos				\$11.979.000		\$5.011.000			\$6.340.000		\$5.834.000	\$12.194.000

Fuente: Zabala Perilla (2017)

Referencias

- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M. C., Kelly, C. R., Lundy, M. M., Rodríguez-Camayo, F., & Wilcox Jr., M. D. (2017). *Un análisis de la cadena productiva del cacao en Colombia* [An analysis of the cocoa production chain in Colombia]. United States Agency International Development (USAID); U. S. Department of Agriculture (USDA); Purdue University; International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
<https://www.purdue.edu/colombia/partnerships/cacaoforpeace/docs/2019FinalCacaoReport-Spanish.pdf>
- Agudelo Castañeda, G. A., Cadena Torres, J., Almanza Merchán, P. J., & Pinzón Sandoval, 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 Castañeda, G. A., Palencia Calderón, G. E., Antolinez Sandoval, E. Y., & Báez Daza, 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/downloads/cacao_pdfs/Guia_buenas_practicas_de_poscosecha_de_cacao.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-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., & Suárez-Salazar, 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, Manaus, 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-Millán, D. D. (2009). *Manejo ecológico del cultivo de cacao*. Cooperativa Ecocacao.
- Aranzazu Hernández, L. F. (1997). *Comportamiento de la llaga estrellada Rosellinia pepo Pat. sobre raíces vivas y muertas de cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12649/76252_60025.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Aranzazu Hernández, 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 Castellanos, O., Mejía Flórez, L. A., Contreras Mayorga, N., & Toloza Ochoa, 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
- 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].
- 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-Pérez, J. F., Hernández-Hernández, C., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2014). *La fermentación y el secado al sol de granos de cacao* [Folleto técnico n.º 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
- Castilla, C. E., León Moreno, C. E., Rojas Molina, 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.
- Chepote, R. E., Sodré, G. A., Reis, E. L., Pacheco, R. G., Marrocos, P. C. L., & Valle, R. R. (2013). *Recomenda es de corretivos e fertilizantes na cultura do cacau eiro 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>
- Compa  a 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>
- Compa  a 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 (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 Muñoz, P. A., & Villaneda Vivas, 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 Medina, J., Vargas Ortiz, M. A., & Del Ángel Coronel, 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>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo* (A. Luters, & J. C. Salazar Lea Plaza, Trans.). https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Echeverri Rodríguez, J. H. (2006). El injerto en la producción de cacao orgánico [Hoja técnica n.º 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 Covalada, H. J., & Ortiz Hermida, L. (2005). *La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica: 1991-2005* [Documento de trabajo n.º 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]. (2008). *Guía técnica para el cultivo del cacao*. (3ª edición).
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2015). *Guía técnica para el cultivo del cacao* (6ª ed.). LCB Ltda.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2017). *Compra de cacao en grano*.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2019a, abril 4). *ICCO ratifica a Colombia como país exportador de cacao fino y de aroma*.
<http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/867-icco-ratifica-a-colombia-como-pais-exportador-de-cacao-fino-y-de-aroma>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2019b). *Matriz - compatibilidad sexual de los clones más utilizados por Fedecacao*.
https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnico/s/fedecacao-pub-doc_02B.pdf
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2020). *Economía nacional*.
<https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao] & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2008). *Autocompatibilidad e incompatibilidad 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 B. A. Bailey, & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases* (pp. 449-480). Springer, Cham.
- García-Cáceres, 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.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación* [Manual de asistencia técnica n.º 25].
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2005). *Resolucion 003434. "Por la cual se establecen normas para la producción, distribución y comercialización material de propagación de cacao"*.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones-Oficinas-Nacionales/2020/2020R78006/2005R3434-1.pdf.aspx?lang=es-CO>
- 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 de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2012). *NTC 1252:2012. "Cacao en grano"*. <https://tienda.icontec.org/gp-cacao-en-grano-ntc1252-2012.html>
- International Cocoa Organization [ICCO]. (2018). *Pests and diseases*.
<https://www.icco.org/pests-diseases/>
- International Cocoa Organization [ICCO]. (2020a). *February 2020: Quarterly bulletin of cocoa statistics*. <https://www.icco.org/produit/quarterly-bulletin/>
- International Cocoa Organization [ICCO]. (2020b). *ICCO monthly averages of daily prices*. <https://www.icco.org/statistics/#price>

- Jaimes Suárez, Y., & Aranzazu Hernández, 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
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2020). *Mapas de clasificación de las tierras por su vocación de uso a escala 1:100.000*. https://gw-geoportal-test.igac.gov.co/gateway/geoportal/api/geoportal/opendata/resource/ccc_a3003-a055-4050-ab3a-a03395be6fbb?apikey=f2664478-8877-4516-9d12-ed339d336c99
- 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>
- 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
- León-Moreno, C. E., Rojas-Molina, J., & Castilla-Campos, 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 Silva, 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 Blanco, J., Argüello Angulo, A. L., & Méndez Aldana, 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.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/meinhardt2008.pdf
- Mejía Flórez, L. A. & Argüello Castellanos, 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=2ahUKEwio17WYkabuAhWqd98KHcSpACAQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.agronet.gov.co%2Fbitstream%2F11348%2F3832%2F1%2F220.1.pdf&usg=AOvVaw2hPC4uCojKzzHJD4AjAxyo>
- Mejía Flórez, L. A., & Argüello Castellanos, 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>

- Mejía Flórez, L. A., & Palencia Calderón, 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
- Méndez Aldana, H. (1990). Generalidades sobre la fertilidad de los suelos en las zonas cacaoteras colombianas. En Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (Ed.), *Memorias Curso Nacional de Cacao, Floridablanca (Santander), Colombia* (pp. 15-30).
- Méndez Aldana, H., Argüello Angulo, A. L., Mantilla Blanco, J., Bobrek Orozco, J., Castro Ardila, H., Pabón Guerrero, F. Á., Hernández Mantilla, G., García Buitrago, J., Vergel Manzano, L., & Araque Mogollón, 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]. (2018). *Precio de referencia semanal de compra de cacao*.
<http://www.agronet.gov.co/Noticias/Documents/PrecioReferenciaCacao-Historico.xlsx?Web=1>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Cadena de cacao*.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). *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] & 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] & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2001). *Acuerdo Sectorial de Competitividad de la Cadena del Cacao y su Agroindustria*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18788>
- Motamayor, J. C., & Lanaud, C. (2002). Molecular analysis of the origin and domestication of *Theobroma cacao* L. In 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).
- 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.
- Murrieta Medina, E., & Palma Moscoso, 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
- Navarro Prado, M., & Mendoza Alonso, I. (2006). Cultivo de cacao en sistemas agroforestales [Guía técnica para promotores]. Programa para el Desarrollo Rural Sostenible en el municipio El Castillo, Nicaragua (ProDeSoc). <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5288e/A5288e.pdf>
- 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>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (2002). *El cultivo protegido en clima mediterráneo* [Estudio FAO producción y protección vegetal 90]. <http://www.fao.org/3/a-s8630s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *Crops*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

- Ortiz Valbuena, K., & Álvarez León, R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). *Boletín Científico 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
- Pabón, M. G., Herrera-Roa, 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 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 B., 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>
- Plan de Desarrollo Departamental de Santander [PDDs]. (2016). *Plan de desarrollo departamental "Santander nos une" 2016-2019*.
<http://santander.gov.co/index.php/gobernacion/documentacion/send/687-plan-de-desarrollo-departamental/4275-ordenanza-012-de-2016-pdd-santander-nos-une-2016-2019>

- 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.
- 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.º 14]. http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/InfoCacao_No14_Sept_2017.pdf
- Puentes Páramo, Y. J., Menjivar Flores, J. C., Gómez Carabalí, A., & Aranzazu Hernández, 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 Fuentes, L. F., García Jerez, A., & Moreno Martínez, 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 V., J., & Mestanza V., S. (2012). *Injertación de cacao* [Boletín técnico n.º 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
- Ramírez Martínez, M. A. (2006). *Tecnología de microorganismos efectivos (EM) aplicada a la agricultura y medio ambiente sostenible* [Monografía de especialización, Universidad Industrial de Santander]. <https://www.horticio.com/app/download/5794471894/MICROORGANISMOS+EFICIENTES+TESJS.pdf>
- Rengifo Estrada, G. A. (2015). *Proyecto evaluación de niveles de fertilización en cacao bajo sistemas agroforestales: macroproyecto de regalías Santander y Boyacá* [Documento de proyecto]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

- 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 Z., 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>
- Rojas Molina, J., Pérez Zúñiga, J. I., & Monsalve, D. (2017). *Recomendaciones técnicas de sistemas alternativos de producción intensiva y tradicionales de cacao con énfasis en arreglos agroforestales (SAF)* [Informe final de proyecto]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, 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>
- 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.bionica.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.

- 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).
- 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).
- 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
- 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. (2020). *International Cocoa Germplasm Database [ICGD]*. ICE Futures Europe, CRA Ltda. & University of Reading.
http://www.icgd.reading.ac.uk/all_data.php?nocode=5399
- 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

- 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 Perilla, A. F. (2017). *Caracterización y tipificación del sistema productivo cacao en la subregión Montaña Santandereana. Informe final de meta*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
- 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

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura