

Modelo productivo

para el cultivo de cacao
(*Theobroma cacao*) para el
departamento del Huila

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) para el departamento del Huila

Autores

Luis Enrique Ramírez Chamorro
Carlos Alberto Abaunza González
Leonora Rodríguez Polanco
Edgar Herney Varón Devia
Eduardo Barragán Quijano
Jairo Rojas Molina

Mosquera, Colombia, 2020

Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) para el departamento del Huila / Luis Enrique Ramírez Chamorro [y otros cinco] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

247 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye ilustraciones, tablas, fotos
ISBN E-book: 978-958-740-355-8

1. *Theobroma cacao* 2. Cultivo 3. Anatomía de la planta 4. Propagación de plantas 5. Adaptación al cambio climático 6. Manejo del suelo 7. Control de plagas 8. Control de enfermedades de plantas 9. Indicadores económicos

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)
Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9 vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal: 733520, Colombia.
Centro de Investigación La Suiza. Kilómetro 32 vía al Mar, vereda Galápagos, Rionegro-Santander. Código postal: 687511, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto "Sistema de producción de cacao, modelo para el departamento del Huila", desarrollado por un equipo multidisciplinario de investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con el financiamiento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Fecha de recepción: 20 de diciembre de 2018
Fecha de evaluación: 8 de febrero de 2019
Fecha de aceptación: 18 de noviembre de 2019

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, junio 2020

Preparación editorial:

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Edición: Liliana Gaona y Diego Pérez Medina

Corrección de estilo: Alejandro Merlano Aramburo

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

Citación sugerida: Ramírez Chamorro, L. E., Abaunza González, C. A., Rodríguez Polanco, L., Varón Devia, E. H., Barragán Quijano, E., & Rojas Molina, J. (2020). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao) para el departamento del Huila*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

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.

DOI:

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403558>



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

Contenido

Los autores	15
Introducción.....	18
Capítulo I	
Área geográfica y entorno ambiental	20
Oferta edafoclimática para el cultivo de cacao en el departamento del Huila	22
Suelos.....	22
Temperatura	26
Precipitación	31
Brillo solar	33
Viento	35
Humedad relativa	35
Ubicación	36
Capítulo II	
Descripción taxonómica y clasificación	38
Aspectos botánicos.....	39
Morfología	40
Raíz	40
Tallo y ramas	41
Hojas	41
Flores	42
Polinización.....	42
Mazorcas	42
Capítulo III	
Recurso genético y propagación	44
Métodos de propagación del cacao	46
Propagación asexual o vegetativa	47
Capítulo IV	
Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo	56
Suelos	56
Temperatura	58
Radiación solar	60
Precipitación.....	61
Humedad relativa	63
Vientos	64

Capítulo V

Manejo del recurso suelo66

Sustratos en vivero para un cultivo de cacao	66
Características físicas del sustrato	67
Características biológicas del sustrato	69
El recurso suelo	69

Capítulo VI

Sistemas de siembra70

Establecimiento del sistema productivo	70
Selección del lote	71
Adecuación del lote.....	75
Trazado del lote	76
Preparación del suelo (ahoyado).....	80
Instalación de las especies acompañantes del cacao (sombríos)	82
Modelos de establecimiento de los clones de cacao	84

Capítulo VII

Prácticas culturales92

Establecimiento del sistema de riego y manejo del drenaje	92
Estimación de las necesidades de riego	93
Requerimientos hídricos del cacao	98
Método de riego por goteo.....	100
Monitoreo de humedad del suelo	101
Fertilización.....	102
Luz solar y su influencia en el desempeño fisiológico de las plantas de cacao ...	102
Corrección de suelos en presembrado	102
Fertilización en etapa de formación	103
Fertilización en etapa de producción.....	103
Cadmio en el cacao	104
Fertilización orgánica	106
Fuentes de fertilizantes	107
Síntomas de deficiencias nutricionales.....	108
Cuidado de la inducción floral.....	111
Renovación y rehabilitación	111
Rehabilitación por reducción de altura y raleo de copa	113
Renovación de copa por injerto en chupón basal.....	114
Renovación de copa por injerto malayo	116
Podas en cacao	120
Poda de formación en clones.....	121
Poda de formación en plantas híbridas	122
Poda de mantenimiento y sanitaria	123
Poda de rehabilitación	124
Poda de renovación por eliminación total de la plantación.....	126

Arvenses (malezas)	127
Arvenses de interferencia alta o agresiva.....	127
Arvenses de interferencia media.....	128
Arvenses de interferencia baja	129
Capítulo VIII	
Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)	133
Enfermedades.....	133
Monilia (<i>Moniliophthora roreri</i> [Cif. Y Par.])	135
Pudrición parda de la mazorca, mazorca negra o cáncer del tronco (<i>Phytophthora palmivora</i>).....	140
Escoba de bruja (<i>Moniliophthora perniciosa</i> [Stahel] Aime & Phillips-Mora)	146
Mal del machete o llaga macana (<i>Ceratocystis fimbriata</i> Ellis & Halst)	153
Llaga radical o Rosellinia (Rosellinia pepo)	158
Respuesta de los clones de cacao a la infección por monilia (<i>M. roreri</i>) y mazorca negra (<i>P. palmivora</i>)	163
Plagas	165
Chinche amarilla o chinche roja (<i>Monalonion dissimulatum</i>)	166
Perforador o barrenador de la mazorca o carmenta amarilla (<i>Carmenta theobromae</i> [Busck])	169
Perforador o barrenador de la semilla o carmenta negra (<i>Carmenta foraseminis</i> [Eichlin])	172
Capítulo IX	
Cosecha.....	176
Capítulo X	
Poscosecha.....	178
Duración de la fermentación	181
Análisis físico o prueba de corte	185
Capítulo XI	
Transformación y valor agregado	187
Chocolate de mesa	187
Aromática de cascarilla de cacao	190
Bebida fermentada	191
Capítulo XII	
Indicadores económicos	193
Análisis de la cadena de valor	209
Agroindustria.....	214
Referencias	217

Anexos236

Tabla A1. Normatividad colombiana para la elaboración, preparación y manipulación de chocolate de mesa 236

Tabla A2. Normatividad colombiana para la producción y manipulación de aromática de cascarilla de cacao..... 238

Tabla A3. Normatividad colombiana para bebidas fermentadas 239

Glosario.....240

Lista de figuras

Figura 1	Área y rendimiento del cacao en los principales municipios productores del departamento del Huila	22
Figura 2	Relieve y oferta edáfica de la zona como características de la ubicación del modelo productivo.....	25
Figura 3	Temperaturas para el departamento del Huila (°C)	27
Figura 4	Proyección de temperatura media anual para el departamento del Huila	28
Figura 5	Incremento de la temperatura en el departamento del Huila por hectáreas.....	29
Figura 6	Incremento de la temperatura media según la proyección del clima en el departamento del Huila	30
Figura 7	Distribución intraanual promedio de precipitación para el departamento del Huila.....	31
Figura 8	Precipitación para el departamento del Huila.....	33
Figura 9	Tasa media de brillo solar multianual para el departamento del Huila (horas/año).....	34
Figura 10	Humedad relativa media multianual para el departamento del Huila (%).....	36
Figura 11	Ubicación aproximada del modelo productivo de cacao para el departamento del Huila.....	37
Figura 12	Vivero para la producción masiva de plantas clonadas de cacao en Agrado, Huila	48
Figura 13	Semilla de cacao para obtención de patrones	51
Figura 14	Injerto de parche en cacao completamente desarrollado.....	53
Figura 15	Injerto de aproximación o “pechito con pechito” en cacao completamente desarrollado.....	54
Figura 16	Injerto de yema terminal o púa en cacao.....	55
Figura 17	Zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo del cacao en el departamento del Huila.....	58
Figura 18	Zonas óptimas para el cultivo del cacao en el departamento del Huila según la temperatura, la altura y la amplitud térmica.....	60
Figura 19	Zona con régimen de precipitación adecuado para el cultivo del cacao en el departamento del Huila (mm/año)	63
Figura 20	Identificación de las características del suelo.....	72

Figura 21	Secuencia para la toma de una submuestra de suelo para análisis químico	73
Figura 22	Bolsa para empacar la muestra de suelo con destino al laboratorio para análisis químico	74
Figura 23	Arreglo de un sistema agroforestal con cacao.....	78
Figura 24	Trazado del lote por el método de triángulo o tresbolillo en terreno pendiente con varas de tres metros	80
Figura 25	Elaboración de hoyos para el establecimiento del sistema productivo del cacao	81
Figura 26	Establecimiento del cultivo de cacao	82
Figura 27	Secuencia de la ubicación del clon de cacao en el sitio definitivo	83
Figura 28	Matriz de compatibilidad de los clones de cacao más usados en Colombia	85
Figura 29	Modelos para lograr rendimiento y calidad altos por tamaño de grano..	87
Figura 30	Modelos para lograr un alto rendimiento con clones de porte bajo..	88
Figura 31	Modelos autocompatibles para lograr un alto rendimiento	88
Figura 32	Modelos con clones para resistencia a monilia y escoba de bruja para alto rendimiento	89
Figura 33	Modelos para lograr un alto rendimiento.....	90
Figura 34	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) en mm/año en el departamento del Huila (mm/año).....	94
Figura 35	Rehabilitación por reducción de la altura del árbo.	114
Figura 36	Renovación de la copa del árbol por medio de injerto en chupón basal.....	115
Figura 37	Injerto malayo.....	119
Figura 38	Desarrollo de las yemas injertadas	120
Figura 39	Mantenimiento del injerto malayo.....	120
Figura 40	Poda de formación en clones	122
Figura 41	Poda de mantenimiento en clones	124
Figura 42	Poda de rehabilitación en árboles híbridos mediante la disminución de la altura de la planta	125
Figura 43	Arvenses de interferencia alta o agresiva.....	128
Figura 44	Arvenses de interferencia media.....	129
Figura 45	Arvenses de interferencia baja o de cobertura noble	130
Figura 46	Control de arvenses por efecto de la sombra y la hojarasca producida	132

Figura 47	Síntomas de las principales enfermedades que atacan el cultivo del cacao	134
Figura 48	Síntomas externos de <i>M. roreri</i> en frutos de cacao.....	136
Figura 49	Síntomas internos de <i>M. roreri</i> en frutos de cacao.....	137
Figura 50	Ciclo de vida de <i>M. roreri</i> en cacao	138
Figura 51	Síntomas de <i>P. palmivora</i> en frutos de cacao	142
Figura 52	Síntomas de <i>P. palmivora</i> en tronco de cacao.....	143
Figura 53	Ciclo de vida de <i>Phytophthora</i> spp. en cacao.....	144
Figura 54	Estructuras reproductivas de <i>M. pernicioso</i>	147
Figura 55	Síntomas de <i>M. pernicioso</i> en cacao.....	148
Figura 56	Síntomas de <i>M. pernicioso</i> en frutos de cacao maduros	149
Figura 57	Síntomas de <i>M. pernicioso</i> en planta de cacao en vivero	150
Figura 58	Ciclo de vida de <i>M. pernicioso</i> en cacao	151
Figura 59	Síntomas externos de <i>C. fimbriata</i> en cacao.....	154
Figura 60	Síntomas externos e internos de <i>C. fimbriata</i> en el tallo del cacao ...	155
Figura 61	Parches radiales y distribución de <i>Rosellinia</i> spp.	159
Figura 62	Síntomas de <i>Rosellinia</i> spp. en cacao de acuerdo con la edad de la planta	160
Figura 63	Síntomas de <i>Rosellinia</i> spp. en raíces de plantas de cacao	161
Figura 64	Esquema de manejo del área con presencia de <i>Rosellinia</i> por erradicación de árboles muertos y sintomáticos y poda de raíces a los árboles vecinos.....	163
Figura 65	Aspecto de <i>M. dissimulatum</i>	167
Figura 66	Síntomas de <i>M. dissimulatum</i> en frutos de cacao	168
Figura 67	Adulto de <i>C. theobromae</i> (Busck).....	170
Figura 68	Adulto de <i>C. foraseminis</i> (Eichlin).....	173
Figura 69	Síntomas de <i>C. foraseminis</i> (Eichlin) en frutos de cacao de diferentes edades	173
Figura 70	Síntomas de <i>C. foraseminis</i> (Eichlin) en frutos de cacao.....	174
Figura 71	Diferentes tipos de fermentadores de grano de cacao.....	179
Figura 72	Tipos de secadores más utilizados para el proceso de secado del grano del cacao	183
Figura 73	Equipo artesanal para limpieza y clasificación de los granos de cacao.....	184
Figura 74	Máquinas utilizadas en poscosecha de cacao	187
Figura 75	Proceso de fabricación del chocolate de mesa.....	189

Figura 76	Precios anuales promedio por tonelada de cacao en grano, según la Bolsa de Nueva York, 2010-2017	196
Figura 77	Precios anuales promedio por kilogramo de cacao en grano puesto en fábrica, 2007-2017	198
Figura 78	Exportaciones de cacao y sus derivados desde Colombia, año 2019, en miles de dólares	202
Figura 79	Importaciones de cacao y sus derivados a Colombia, año 2019, en miles de dólares	205
Figura 80	Principales productos exportados desde el Huila, año 2017	206
Figura 81	Modelo de cadena productiva	210
Figura 82	Canales de comercialización del cacao en grano	212
Figura 83	Distribución aproximada de ingresos de la cadena de valor del cacao	214

Lista de tablas

Tabla 1	Área y rendimiento del cacao en los principales municipios productores del departamento del Huila.....	21
Tabla 2	Propiedades fisicoquímicas en un suelo del departamento del Huila con usos de cacao.....	26
Tabla 3	Proyección de temperatura media anual para el departamento del Huila en hectáreas	28
Tabla 4	Descripción taxonómica de la planta del cacao	38
Tabla 5	Clones de cacao a utilizar como copa	45
Tabla 6	Diferencias entre la propagación sexual y asexual de las plantas de cacao	46
Tabla 7	Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del cacao	65
Tabla 8	Niveles óptimos en las propiedades físicas y fisicoquímicas de un sustrato.....	68
Tabla 9	Distancias de siembra, sistemas de trazado para la producción de cacao y densidades de población	77
Tabla 10	Indicadores sobre los clones de cacao regionales y universales más utilizados en Colombia para establecer modelos de siembra	84
Tabla 11	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o) en los principales municipios cacaoteros del Huila.....	96
Tabla 12	Valores de evapotranspiración potencial (ET _o), evapotranspiración del cultivo (ET _c) y K _c para clones de cacao en etapa de producción en Garzón, Huila	96
Tabla 13	Coeficiente de consumo de agua K _c y ET _c según la edad del cultivo de cacao	97
Tabla 14	Capacidad de retención de humedad según la textura del suelo	99
Tabla 15	Tensión del suelo como indicador para iniciar el riego.....	99
Tabla 16	Tiempos de riego para la etapa de producción en el cultivo de cacao en el departamento del Huila con base en la evaporación diaria	101
Tabla 17	Fertilización del cacao en etapa de formación.....	103
Tabla 18	Fertilización del cacao en etapa de producción.....	104
Tabla 19	Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el cultivo de cacao	109
Tabla 20	Principales enfermedades de importancia económica para el cultivo de cacao	133

Tabla 21	Respuesta del material genético utilizado como clon en Colombia a monilia y mazorca negra	164
Tabla 22	Principales plagas y órganos afectados en cacao.....	165
Tabla 23	Diferencias entre la almendra de cacao bien fermentada y mal fermentada	182
Tabla 24	Parámetros de calidad del cacao en grano en Colombia	186
Tabla 25	Producción mundial de cacao por países, 2008/2009-2016/2017 (año cacaotero), en miles de toneladas	193
Tabla 26	Países importadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado), 2013-2017, en miles de dólares.....	194
Tabla 27	Precios mensuales promedio por tonelada de cacao en grano, según la Bolsa de Nueva York, 2010-2017, en dólares	195
Tabla 28	Área plantada, área en edad productiva, producción y rendimiento del cultivo de cacao por departamento, año 2016	197
Tabla 29	Área plantada, área en edad productiva, producción y rendimiento nacional del cultivo de cacao, 2011-2016	197
Tabla 30	Precios mensuales promedio por kilogramo de cacao en grano puesto en fábrica, 2007-2017, en pesos colombiano (COP)	199
Tabla 31	Exportaciones de cacao y sus variedades desde Colombia, 2015-2019, en miles de dólares	201
Tabla 32	Países importadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado) exportado por Colombia (2013-2017) en miles de dólares.....	203
Tabla 33	Importaciones de cacao y sus derivados a Colombia, 2015-2019, en miles de dólares	204
Tabla 34	Países exportadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado) hacia Colombia, 2015-2019, en miles de dólares por toneladas (t)	205
Tabla 35	Costos de producción para siembra y establecimiento de un cultivo de cacao de una hectárea en el Huila, a precios de 2017, en COP.....	207
Tabla 36	Costos de producción para mantenimiento de un cultivo de cacao de una hectárea en el Huila, a precios de 2017, en COP.....	208
Tabla 37	Productos de cacao con valor agregado en diferentes niveles	215

Lista de siglas y abreviaturas

AC	Autocompatibilidad
AGROSAVIA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena
Catie	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Cenicafé	Centro Nacional de Investigaciones de Café
Ceplac	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CL	Calidad límite
CNC	Consejo Nacional Cacaotero
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (ahora AGROSAVIA)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fedecacao	Federación Nacional de Cacaoteros
IC	Intercompatibilidad
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICCO	Organización Internacional del Cacao
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
II	Interincompatibilidad
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
LWR	Lutheran World Relief
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MBG	Margen bruto de ganancia
MIPE	Manejo integrado de plagas y enfermedades
NAC	Nivel aceptable de calidad
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEA	Prueba de eficiencia agronómica
Proamazonía	Programa para el Desarrollo de la Amazonía
RBC	Relación beneficio-costo
SAF	Sistema agroforestal
SIOC	Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas
UC	Uso consuntivo

Los autores

Luis Enrique Ramírez Chamorro

Correo: lr Ramirez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2377-2156>

Ingeniero agrónomo con maestría en Planificación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas; desde 2013 es responsable, como investigador principal, del Plan de Vinculación de la Red de Innovación de Cacao en AGROSAVIA y apoya, como investigador asociado, otros productos de las redes de Cacao, Frutales y Transitorios. Además, se desempeña en áreas de manejo integrado de cultivos y de caracterización de sistemas de producción agropecuaria.

Carlos Alberto Abaunza González

Correo: cabaunza@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4496-1455>

Agrólogo de la Universidad Jorge Tadeo Lozano con maestrías en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible de la Universidad Internacional de Andalucía y en Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Javeriana. Investigador máster asociado de AGROSAVIA, con énfasis en estudios de información espacial de atributos de suelos para hacer más eficientes los procesos de análisis de los sistemas de producción agropecuaria, enlazando los elementos agroclimáticos para identificar escenarios acordes con la adaptación a la variabilidad climática, el ordenamiento territorial y la evaluación de tierras a nivel predial y regional. Ha aplicado el enfoque agroecológico como paradigma del análisis ambiental, considerando los espacios de producción y los espacios de conservación como coexistentes, con la finalidad de explorar escenarios posibles para trascender los planes de la formulación a su implementación en el territorio.

Leonora Rodríguez PolancoCorreo: lrodriguezp@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-8553-2449>

Investigadora PhD de AGROSAVIA, doctora en Fitopatología de la Universidade Federal de Viçosa (2011), máster en Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia (2000) e ingeniera agrónoma de la Universidad del Tolima (1996). Sus áreas de trabajo son la micología (etiología y biología de hongos), el mecanismo de resistencia a nivel microscópico y bioquímico, las alteraciones en la fotosíntesis y en el metabolismo antioxidativo de plantas afectadas por patógenos o estrés abiótico, la evaluación de estrategias para el manejo de enfermedades con énfasis en potencializadores de resistencia (silicio), la resistencia genética del huésped, las biomoléculas y los fungicidas. Además, se interesa por los siguientes patosistemas: cacao (*Moniliophthora roreri*, *Phytophthora* spp. y *Ceratocystis* spp.), mango (*Colletotrichum gloeosporioides*), frijol (*Colletotrichum lindemuthianum*), aguacate (*Phytophthora cinnamomi*) y papa (*Phytophthora infestans*).

Edgar Herney Varón DeviaCorreo: evaron@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0001-9964-6968>

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima con maestría en Agricultura Ecológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), de Costa Rica, y doctorado en Entomología del Catie y la Universidad de Idaho. Su área de experticia es el manejo integrado de plagas en frutales, específicamente en mango, aguacate, pasifloras y cítricos. Su interés está enfocado en desarrollar programas de manejo integrado de artrópodos plaga en frutales de clima cálido y medio que incluyan estrategias de muestreo de poblaciones, uso de control biológico, implementación de criterios de aplicación y desarrollo de herramientas alternativas a las tradicionales, de carácter químico. Ha trabajado en AGROSAVIA desde el año 2007 hasta la fecha como investigador PhD en el área de entomología en frutales.

Eduardo Barragán QuijanoCorreo: ebarrgan@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-9260-6346>

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima, magíster en Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia y doctor en Ciencias Agrarias con énfasis en fisiología de cultivos de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Estadual Paulista (Unesp), de Brasil. Trabajó 8 años con el ICA y 24 con AGROSAVIA en las áreas de fitomejoramiento y fisiología de cultivos con énfasis en sorgo, algodón, frutales y permanentes. Durante 11 años fue profesor catedrático de fitomejoramiento y fisiología de cultivos en la Universidad del Tolima y en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como investigador PhD en AGROSAVIA, donde lidera y desarrolla proyectos de fisiología en cultivos transitorios (sorgo y algodón) sobre aspectos de riego y en renovación y evaluación de patrones tolerantes a cadmio en cacao, además de trabajar también en el Corredor Tecnológico de El Espinal, en convenio con el SENA y la Gobernación del Tolima.

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 el 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 en 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.).

Introducción

El cultivo de cacao en Colombia se encuentra en 27 departamentos, y el Huila es uno de los principales productores. Allí se encuentran establecidas aproximadamente 13.533 ha de cacao, distribuidas en los municipios de Neiva, Gigante, Garzón, Rivera y Tesalia, y con una producción de 4.822 t (Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas [SIOC], 2018). En efecto, el área huilense representó, en 2015, el 8 % del área sembrada a escala nacional, con 12.614 ha, y el 8,8 % de la producción, con 4.280 t. Además, el departamento tiene un rendimiento promedio de 0,4 t/ha de cacao seco (SIOC, 2018).

El cultivo de cacao en Colombia es considerado de alta importancia socioeconómica, pues su explotación está en manos de cerca de 30.000 productores, en su gran mayoría de escasos recursos económicos y bajos niveles de escolaridad, cuyas plantaciones están ubicadas en regiones con vías de acceso en mal estado, y muchas de ellas tienen dificultades de orden público, como es el caso de Tumaco, Arauca y la zona del Catatumbo, en Norte de Santander (SIOC, 2018).

En Colombia, dos empresas que transforman y exportan cacao en grano absorben el 90 % de la producción nacional: la Compañía Nacional de Chocolates y Casa Luker. El 6 % de la producción nacional tiene como destino empresas medianas (como Chocolate Gironés y Colombina) y otras 18 empresas pequeñas en Colombia, mientras que el 4 % restante tiene como destino el mercado internacional. La comercialización del grano es realizada por exportadores que acopian en zonas de producción y transportan directamente a los puertos.

La plantación se maneja generalmente con aporte de mano de obra familiar, pero cuando se trata de cultivos tecnificados, se requiere la utilización de servicios especializados para la ejecución de algunas prácticas: labores de poda, producción de material clonado por injertación (propagación asexual o vegetativa) y trabajo de mano de obra extra no especializada, sobre todo en la época de cosecha, de ahí que este cultivo sea considerado como generador de empleo directo e indirecto, pues algunos cálculos indican que por cada tres hectáreas de cacao hay un empleo rural permanente (Rojas & Sacristán Sánchez, 2013).

Para contribuir con la solución de la problemática presentada en el departamento, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en convenio con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), construyó este modelo productivo de cacao, que alberga un conjunto de conocimientos basados en tecnologías sustentables sobre todos los aspectos que conciernen al manejo agronómico y productivo de fácil aplicación en el sistema productivo. Técnicamente, el documento está dividido en doce capítulos y contiene información y recomendaciones claras y concretas sobre cada uno de los factores relacionados con el manejo del sistema de producción de cacao y con las tecnologías para esas condiciones regionales; estas tecnologías son generadas desde la experticia y la lógica técnica o agronómica, y su aplicación procura apoyar el mejoramiento del sistema productivo y, con ello, beneficiar a los productores de cacao del Huila. Se espera que este documento se convierta en un instrumento de consulta permanente de productores cacaoteros de avanzada, asistentes técnicos y demás actores de la cadena productiva, para contribuir al mejoramiento de la productividad, competitividad y sostenibilidad de la cacaocultura departamental.

El documento, como se dijo, consta de 12 capítulos. El contexto del entorno productivo y los aspectos generales del cultivo se tratan en los capítulos 1 a 4; los temas relacionados con el manejo agronómico y los aspectos técnicos del cultivo se relacionan en los capítulos 5 a 8; la cosecha, poscosecha y transformación básica se tratan en los capítulos 9 a 11, y el mercadeo y los indicadores económicos se explican en el capítulo 12.

Capítulo I

Área geográfica y entorno ambiental

El departamento de Huila está situado al sur de la región andina y se localiza entre las coordenadas mínimas 01°55'45" y 76°37'11" y las máximas 03°48'51" y 74°23'51" de latitud norte y longitud oeste, respectivamente. Cuenta con una superficie de 1.989.000 ha, lo que representa el 1,75 % del territorio nacional. Además, limita por el norte con el departamento de Cundinamarca; por el este, con Meta y Caquetá; por el sur, con Caquetá y Cauca, y por el oeste, con Cauca y Tolima (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1994).

El programa de productividad y competitividad del Huila tiene contemplado el cultivo de cacao como una de las apuestas productivas de más importancia para el departamento, debido principalmente a las ventajas comparativas que tiene frente a los otros departamentos productores por las condiciones agroclimáticas favorables en las cuales se desarrolla el ejercicio productivo (Eslava, 2011).

En Colombia, el cacao se cultiva principalmente en cuatro zonas agroecológicas: 1) la montaña santandereana, que comprende los departamentos de Santander y Norte de Santander; 2) los valles interandinos secos, en Huila, Cauca, Valle del Cauca, sectores del Tolima, Valle del Zulia y la costa Atlántica; 3) el bosque húmedo tropical, que comprende zonas de Urabá, Tumaco, el Catatumbo, Arauca, Meta, Casanare y el Bajo Cauca, y 4) la zona marginal baja cafetera, que abarca Caldas, Quindío, Risaralda, el suroeste de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Boyacá y el norte del Tolima (Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao], 2015).

Para el departamento del Huila, el área geográfica donde se encuentra mayormente el sistema productivo del cacao es en los valles interandinos secos, cuya área sembrada y rendimiento han aumentado en los últimos años; en cuanto a las lluvias, estas regiones tienen precipitaciones inferiores a los 1.500 mm y una altura inferior a los 900 m s. n. m, con topografía plana-ondulada. La tabla 1 muestra los diez municipios con mayor área sembrada y los rendimientos para los años 2015 y 2017; no obstante, municipios como El Agrado, Garzón,

Tarqui, Elías y Timaná tienen áreas sembradas menores, pero con rendimientos por encima de 0,70 t/ha.

Tabla 1. Área y rendimiento del cacao en los principales municipios productores del departamento del Huila

Municipio	Área sembrada (ha)	Rendimiento t/ha/año	Área sembrada (ha)	Rendimiento t/ha/año
	2015		2017	
Rivera	892,14	0,58	909,14	0,73
Tello	518,16	0,50	547,16	0,63
Neiva	472,00	0,52	484,00	0,67
Campoalegre	461,23	0,63	480,23	0,78
Gigante	427,45	0,52	440,45	0,65
Algeciras	385,50	0,73	398,50	0,90
La Plata	359,80	0,54	370,80	0,67
Tesalia	329,76	0,56	341,76	0,72
Baraya	321,20	0,54	335,20	0,65
Colombia	282,50	0,49	295,50	0,65
El Agrado	197,36	0,56	208,36	1,00
Garzón	97,00	0,55	107,00	0,70
Tarqui	287,86	0,54	288,86	0,70
Elías	132,50	0,50	133,50	0,70
Timaná	25,00	0,49	28,00	0,70

Fuente: Gobernación del Huila (2015, 2017)

La figura 1, por su parte, muestra que existen municipios que, si bien no tienen un área sembrada significativa, los rendimientos obtenidos son satisfactorios, como en los casos de los municipios de El Agrado, Garzón, Tarqui, Elías y Timaná.

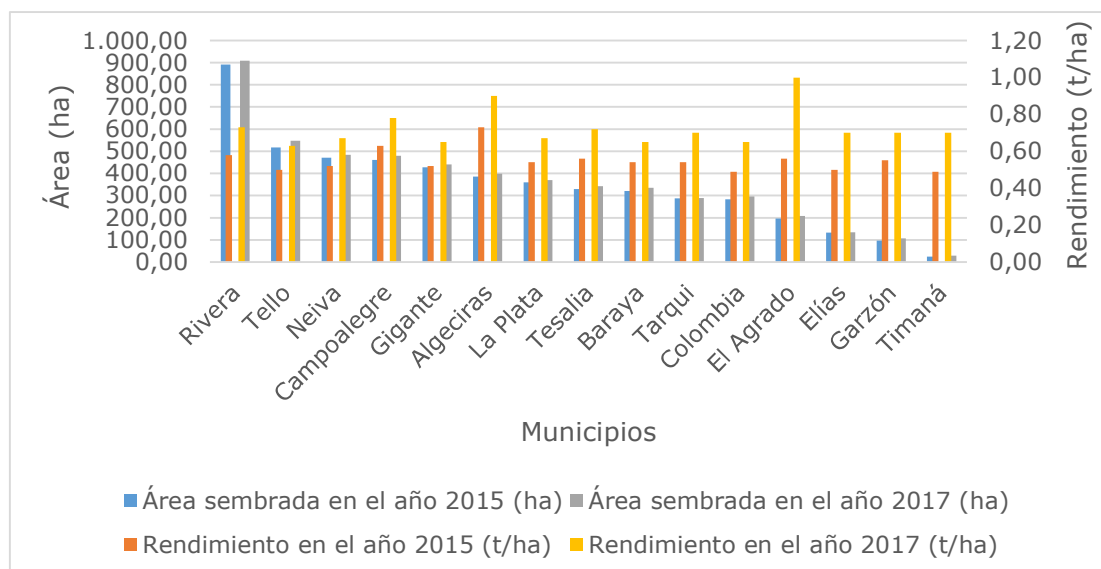


Figura 1. Área y rendimiento del cacao en los principales municipios productores del departamento del Huila.

Fuente: Elaboración propia a partir de Gobernación del Huila (2015, 2017)

Oferta edafoclimática para el cultivo de cacao en el departamento del Huila

Como se dijo antes, el área geográfica para el cultivo de cacao en el departamento del Huila se encuentra principalmente en los valles interandinos secos, con precipitaciones inferiores a los 1.500 mm y una altura inferior a los 900 m s. n. m.

Suelos

Las características de suelos y la geología del departamento del Huila están estrechamente ligadas a la evolución de las cordilleras Central y Oriental, y en particular al desarrollo del valle alto del río Magdalena, lo que está claramente reflejado en la gran variedad de suelos del departamento (IGAC, 1994).

Las unidades geomorfológicas están constituidas por valles intramontanos fluviolacustres que, debido tanto a los altos contenidos de arcillas y materia orgánica como a la pendiente, que es casi plana, presentan alta estabilidad estructural y no están afectados por procesos erosivos activos, aunque actualmente están siendo sometidos a un uso intensivo en agricultura y pastoreo.

Cada zona cacaotera se caracteriza por un tipo de suelo, un tipo de clima y por la cantidad de materia orgánica, lo que implica que la distribución de los nutrientes en los suelos cacaoteros no sea igual.

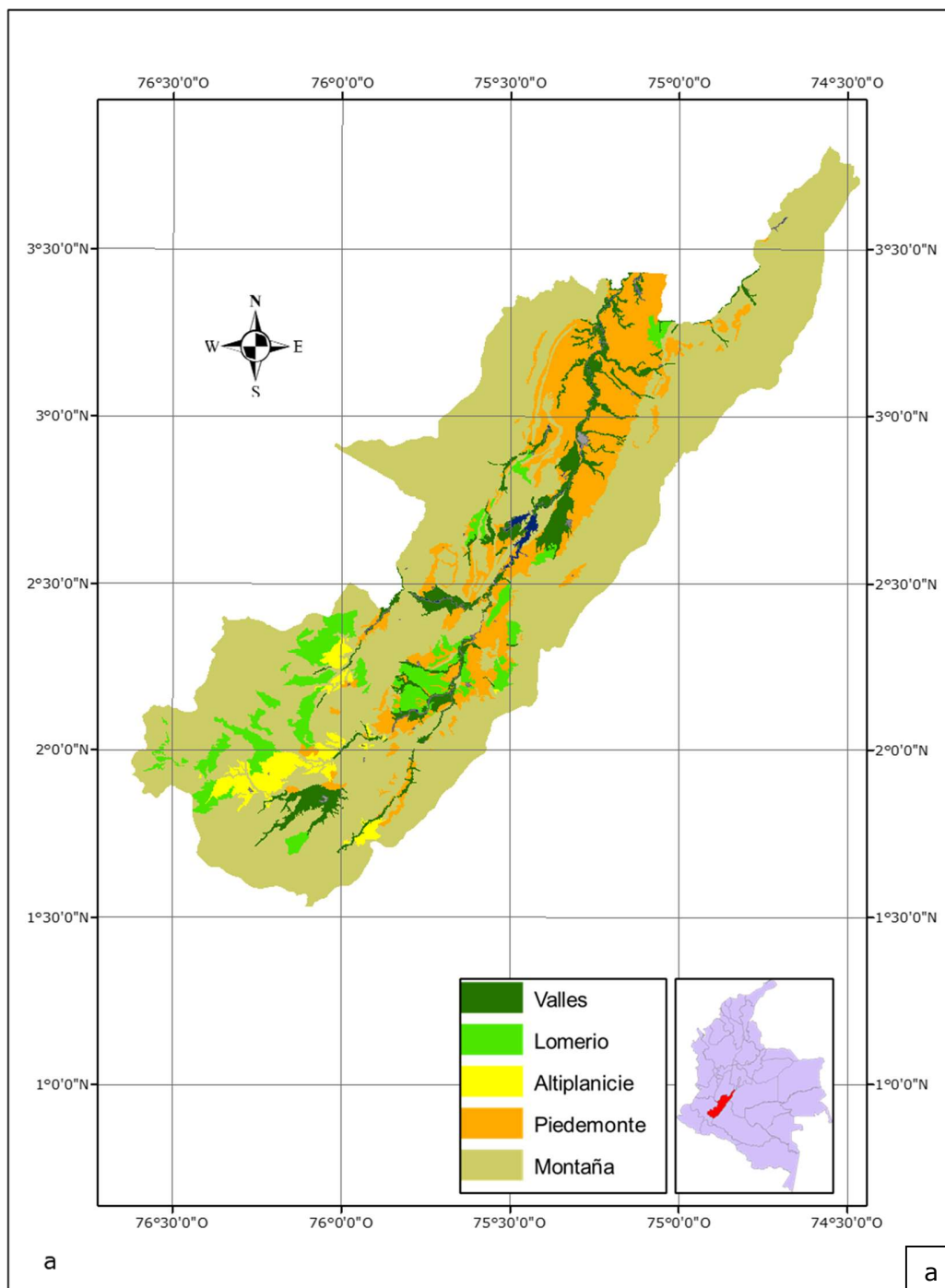
A pesar de las condiciones climáticas adversas, las tierras de clima cálido seco y muy seco (unidades MXA y MXD) pueden ser aptas para el cultivo del cacao, pero se debe implementar riego artificial (IGAC, 1994).

Las tierras de las unidades PQB, en general, son marginalmente aptas para cultivos como el cacao; no obstante, para este cultivo, dicha aptitud puede ser moderada-alta, ya que las condiciones de altitud en estas zonas cóncavas entre 1.000 y 1.200 m como límite en los parámetros bioedáficos no son tan limitantes (IGAC, 1994).

Las tierras de las unidades PQF y LQA, por su parte, presentan limitaciones edáficas y de topografía (pendientes fuertes) que determinan una aptitud marginal para los cultivos de cacao (IGAC, 1994).

En cuanto al clima medio húmedo, se encuentran las terrazas de los ríos Suaza, Guarapas y Magdalena (unidades VQE y VQA), que presentan una aptitud marginal-moderada para cultivos de cacao, siendo las principales limitaciones el drenaje impedido, la profundidad efectiva y las características químicas. No obstante, estas limitaciones pueden ser contrarrestadas con prácticas de avenamiento y aplicación de fertilizantes, que determinarían que su aptitud pase de moderada a alta (IGAC, 1994).

En general, la mejor oferta edáfica para el cultivo del cacao se encuentra en las unidades PRAC, PRAd, PXAa, PXAal, PXAb, PXAbI, PXAbp, PXAc, PXGa, PXGb, PXGb2, PXGcl, PXGc2, PXBa, PXCa, PXCb, PXLa, PXLb y PXLb2, localizadas en el paisaje de piedemonte de clima medio-seco y cálido seco (IGAC, 1994) (figura 2).



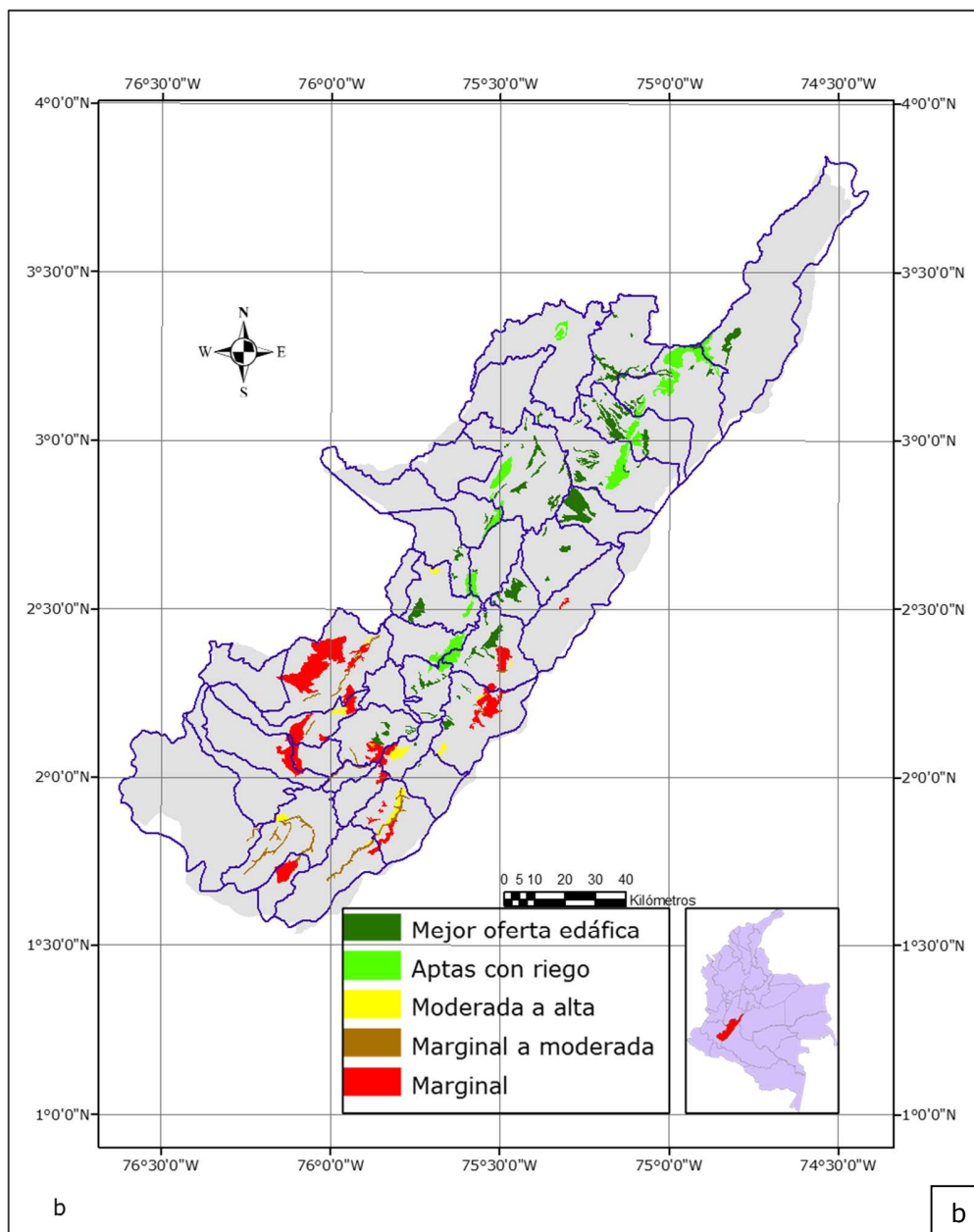


Figura 2. Relieve y oferta edáfica de la zona como características de la ubicación del modelo productivo. a. Fisiografía del departamento; b. Unidades cartográficas de suelos con oferta edáfica para el cultivo de cacao.

Fuente: IGAC (1994)

Una descripción de las características fisicoquímicas de los huertos de cacao en la región de estudio se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas en un suelo del departamento del Huila con usos de cacao

Análisis	Unidad	Valor	Interpretación
pH		7,01	Neutro
Conductividad eléctrica	dS/m	0,23	No salino
Materia orgánica (MO)	%	2,81	Medio
Fósforo disponible (P)	mg/kg	5,31	Bajo
Azufre disponible (S)	mg/kg	2,65	Bajo
Acidez intercambiable (Al + H)	cmol/kg	0,00	Ideal
Aluminio intercambiable (Al)	cmol/kg	0,00	Ideal
Calcio intercambiable (Ca)	cmol/kg	13,18	Alto
Magnesio intercambiable (Mg)	cmol/kg	4,60	Alto
Potasio intercambiable (K)	cmol/kg	0,21	Medio
Sodio intercambiable (Na)	cmol/kg	< 0,10	Bajo
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol/kg	18,09	Medio
Hierro disponible (Fe)	mg/kg	49,72	Medio
Manganeso disponible (Mn)	mg/kg	6,86	Medio
Zinc disponible (Zn)	mg/kg	1,54	Medio
Cobre disponible (Cu)	mg/kg	1,69	Medio
Boro disponible (B)	mg/kg	0,21	Medio

Fuente: Corpoica (2016)

Temperatura

De acuerdo con los valores medios de temperatura, tanto para las medias de temperatura máxima y mínima, el departamento se puede dividir en cuatro regiones: a) la región norte, que corresponde al valle bajo del Magdalena, con temperaturas que oscilan entre los 26 °C y los 28 °C como temperatura media, y que comprende los municipios de Yaguará, Palermo, Neiva, Tello, Aipe, Villavieja, parte de Rivera, Baraya, Campoalegre y Hobo; b) la región media del valle del Magdalena, con temperaturas medias que varían entre los 23 °C y los 26 °C, y que comprende los municipios de Altamira, Guadalupe y Suaza; c) la región media de las estribaciones cordilleranas, con una temperatura entre los

18 °C y los 22 °C, y que comprende en gran parte los municipios de Acevedo, Pitalito, Isnos, Saladoblanco, Nátaga y Santa María, y d) la región alta de las cordilleras, con temperaturas menores de 18 °C (IGAC, 1994).

Al respecto, la figura 3 muestra las temperaturas mínimas y máximas promedio y la temperatura media en el departamento del Huila.

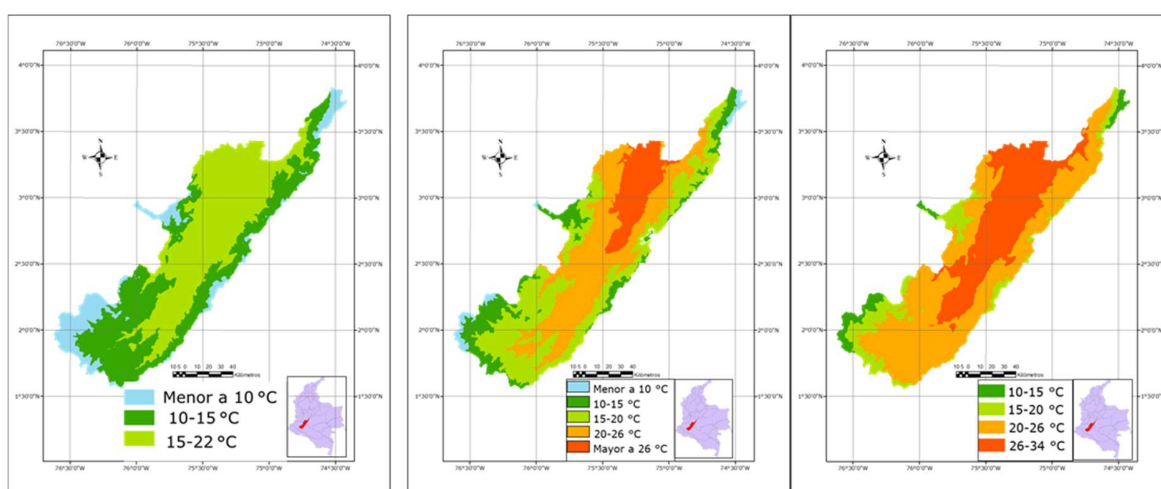


Figura 3. Temperaturas para el departamento del Huila (°C). a. Temperatura mínima promedio; b. Temperatura media promedio; c. Temperatura máxima promedio.

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

Teniendo en cuenta que el cultivo se desarrolla y produce en un rango de temperatura media entre los 24 °C y los 32 °C, con un óptimo de producción entre los 20 °C y los 27 °C, la temperatura no es una variable limitante para el cultivo de cacao en el Huila.

Con base en los resultados de la corrida de los modelos de alta resolución elaborada por Ruiz (2010), en términos generales se tiene que, en promedio, la proyección de la temperatura media aumentaría 1,4 °C para el periodo 2011-2040, 2,4 °C para el lapso de 2041-2070 y 3,2 °C para el periodo 2071-2100 (tabla 3 y figura 4).

Tabla 3. Proyección de temperatura media anual para el departamento del Huila en hectáreas

Periodo	Tendencia de temperaturas (°C)						
	Menor de 10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
	Hectáreas						
1971-2000	137.050	85.871	185.788	795.093	244.293	365.584	0
2011-2040	1.194	140.889	141.649	705.182	349.192	415.680	59.893
2071-2100	0	43.071	141.011	522.073	481.875	338.668	286.983

Fuente: Elaboración propia a partir de Ruíz (2010)

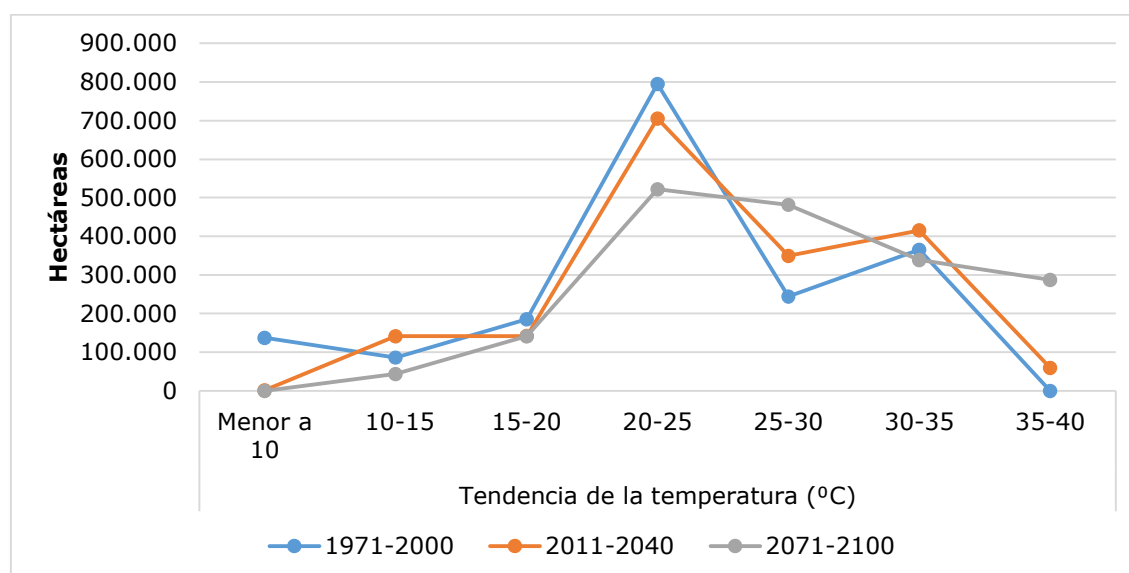


Figura 4. Proyección de temperatura media anual para el departamento del Huila.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ruíz (2010)

Las proyecciones arrojan aumentos para los valores medios de temperatura máxima del orden de 1,5 °C para el periodo 2011-2040, 2,3 °C para 2041-2070 y 3,6 °C para 2071-2100, lo que indica que los días serán más cálidos con respecto al periodo de referencia, es decir, 1971-2000.

El estudio de Ruíz (2010), "Escenarios de cambio climático en Colombia", resalta la tendencia del aumento en las temperaturas en el departamento, lo que conlleva a la modificación de sus áreas cacaoteras. Si bien estas proyecciones

aumentan el número de áreas aptas para el cacao, también hacen que muchas áreas pierdan su confort climático. Las figuras 5 y 6 muestran la tendencia del aumento en la temperatura media en el Huila.

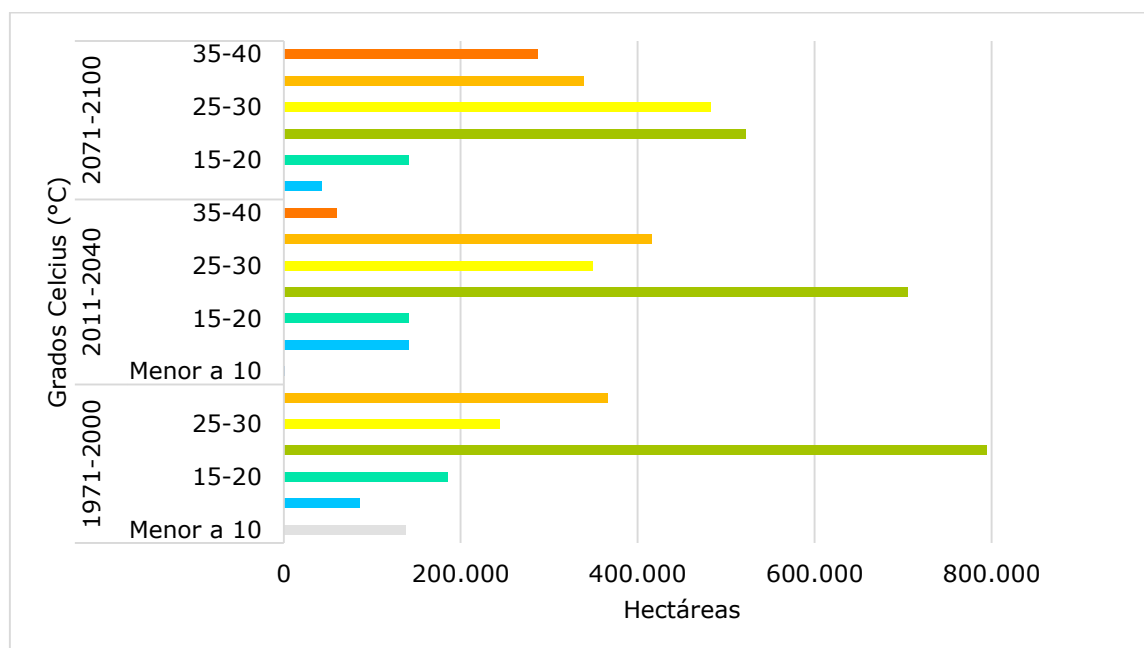
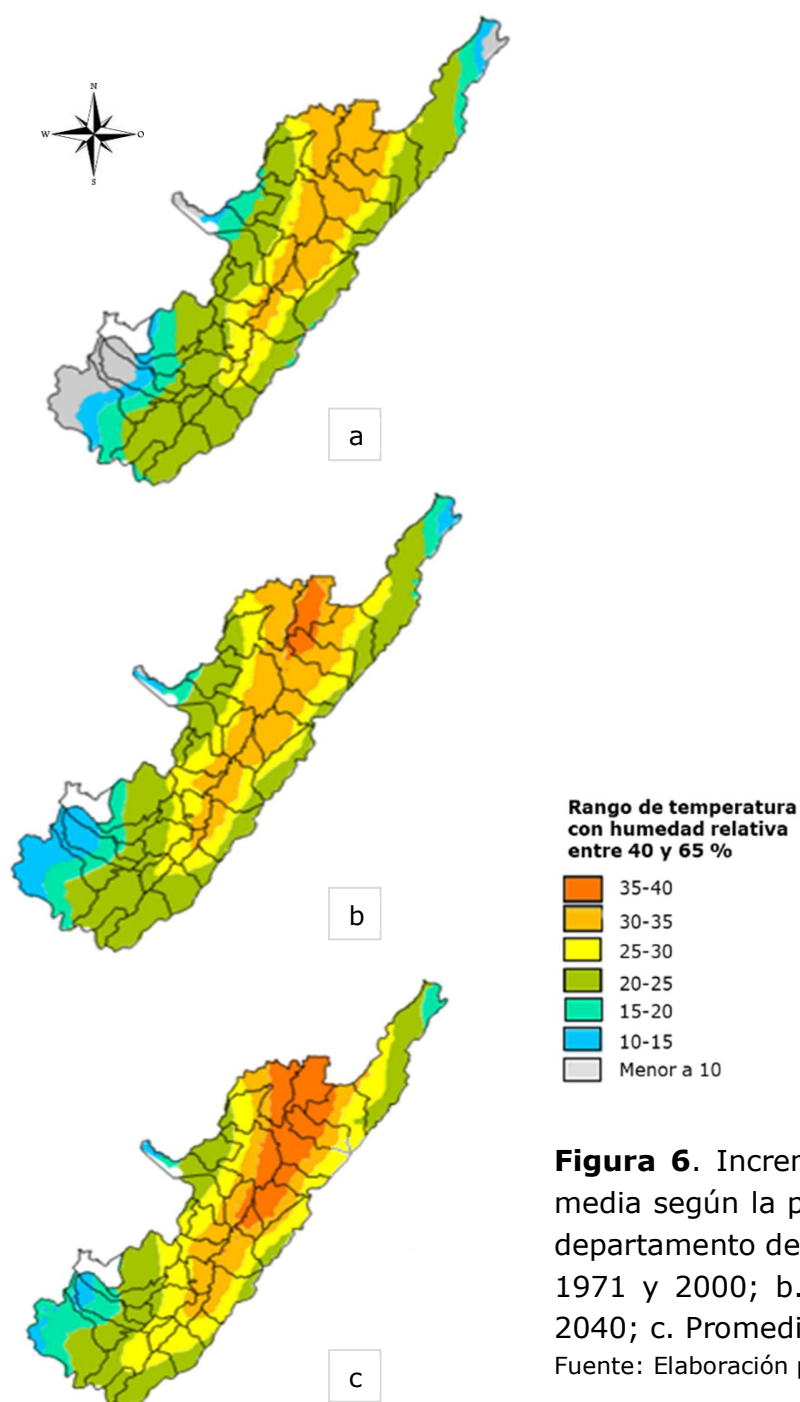


Figura 5. Incremento de la temperatura en el departamento del Huila por hectáreas.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ruíz (2010)



En estos escenarios proyectados se observa un incremento de temperaturas por encima de los 35 °C en zonas donde se ubica el modelo productivo; asimismo, el escenario identifica un aumento de temperaturas hacia los 26 °C para las zonas óptimas para el cultivo, por lo que se concluye que la ubicación del modelo productivo se desplazaría a razón del incremento de la temperatura.

Precipitación

En el departamento del Huila se presenta una variación temporal de la precipitación: marzo, abril, mayo y junio comprenden la primera temporada de lluvias; luego, en julio, agosto y septiembre, hay un periodo de transición; después, en octubre, noviembre y diciembre, hay una nueva temporada de lluvias de fin de año, y, por último, en enero y febrero, una nueva temporada de transición. Los valores máximos de precipitación ocurren en abril (173 mm) y noviembre (198 mm), y los valores mínimos se presentan durante el periodo seco de mitad de año (junio, julio, agosto y septiembre, con 92, 80, 58 y 81 mm, respectivamente) (Corpoica & Fondo Adaptación, 2015) (figura 7).

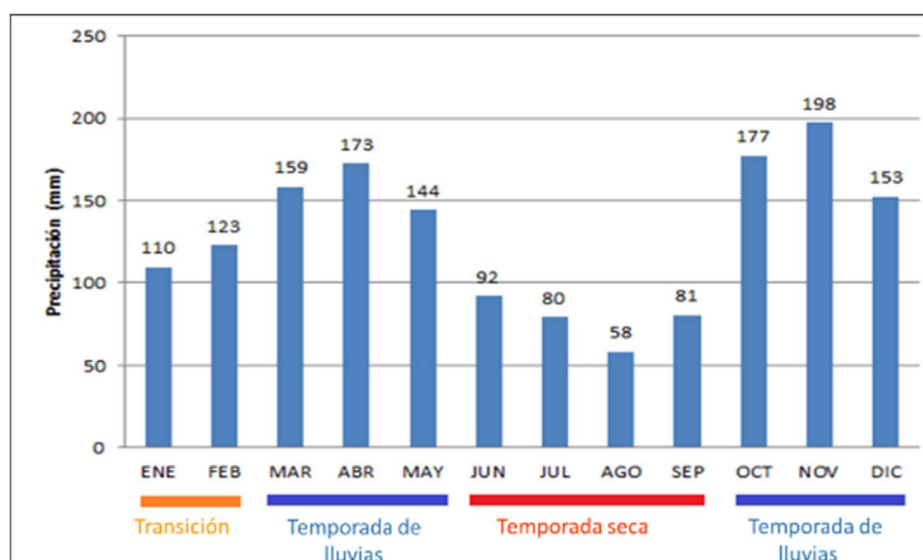


Figura 7. Distribución intraanual promedio de precipitación para el departamento del Huila.

Fuente: Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

La precipitación total en el departamento se distribuye en tres grandes zonas: la primera cubre el valle del Magdalena, con una precipitación que varía entre los 900 y los 1.000 mm anuales, por lo que es una zona seca-muy seca; la segunda zona se localiza entre la parte alta y media del mismo valle y la parte media de las estribaciones de las cordilleras, con precipitaciones entre 1.100 y 1.500 mm anuales, y la tercera zona se encuentra por encima de los 2.000 m de altitud, con precipitaciones promedio superiores a 1.500 mm anuales. En las áreas de páramo, por su parte, se disminuyen los promedios de lluvia. La zona sur, además, presenta precipitaciones ligeramente superiores a los 1.500 mm anuales (IGAC, 1994).

No obstante, en las regiones donde se cultiva el cacao, la precipitación promedio anual se acerca al mínimo ideal de 1.500 mm, aunque recobra vital importancia la aplicación de agua suplementaria a través de riego en épocas secas, es decir, cuando la precipitación es muy baja o no hay, sobre todo por la evaporación, que es muy alta, con valores promedio anuales de 1.400 a 1.800 mm (Corpoica & Fondo Adaptación, 2016).

La figura 8 muestra la precipitación media ocurrida en los años 1976-2005 y, con base en ella, la proyección de precipitación media para los años 2011-2040.

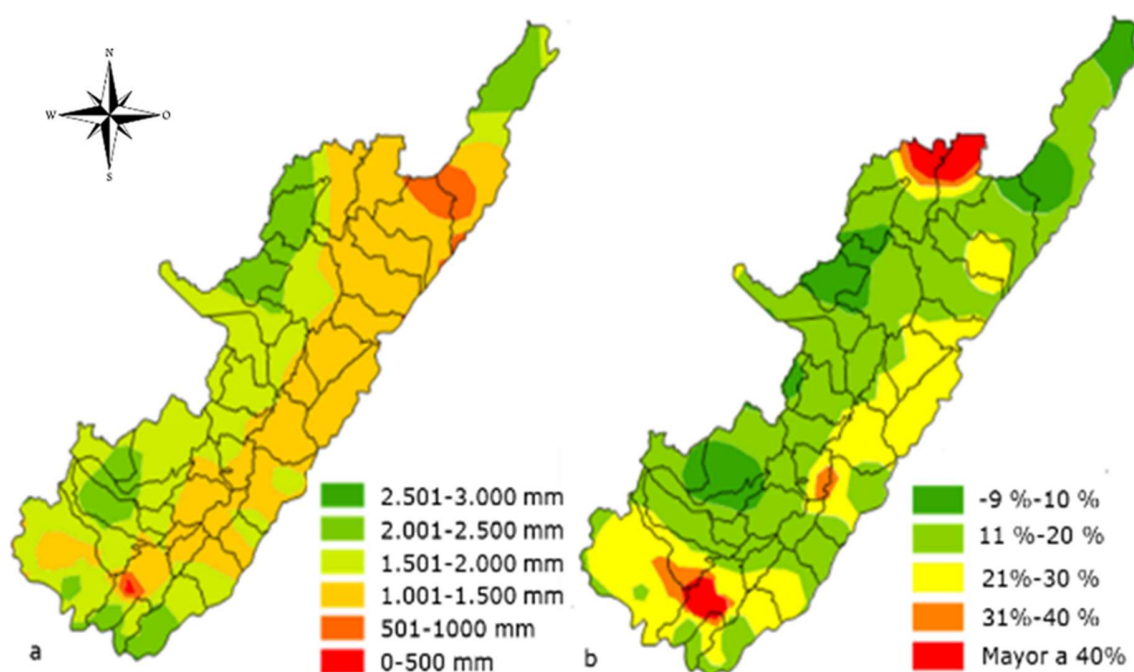


Figura 8. Precipitación para el departamento del Huila. a. Precipitación media en el periodo 1976-2005 (mm/año); b. Proyección de la precipitación para el periodo 2011-2040 (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

De acuerdo con Ruiz (2010), las mayores proyecciones de reducción de lluvia durante el resto del siglo XXI se esperan en diferentes regiones del departamento y se empezarían a evidenciar desde el periodo 2011-2041.

Brillo solar

La zona presenta un brillo solar promedio de 5,79 horas al día, condición considerada como apropiada para el cultivo de cacao. Los promedios en los municipios cacaoteros (Rivera, Campoalegre, Neiva, Gigante, Garzón y El Agrado) son suficientes para el cacao, teniendo en cuenta que es un cultivo umbrófilo, es decir, cuya planta crece en lugares sombreados; así, se considera óptimo un rango entre 1.200 y 1.400 horas/año de brillo solar.

La tendencia de la distribución espacial del brillo solar muestra una forma en franjas: hacia la zona occidental, se presentan valores inferiores a 1.100 h/año, y a medida que se desplaza hacia el norte (región cacaotera), los valores aumentan incluso a más de 2.200 h/año (Corpoica & Fondo Adaptación, 2015).

De acuerdo con la figura 9, según el brillo solar, existen dos regiones: una que tiene un brillo solar de entre 1.500 y 2.000 h/año, y otra con un brillo solar menor de 1.500 h/año.

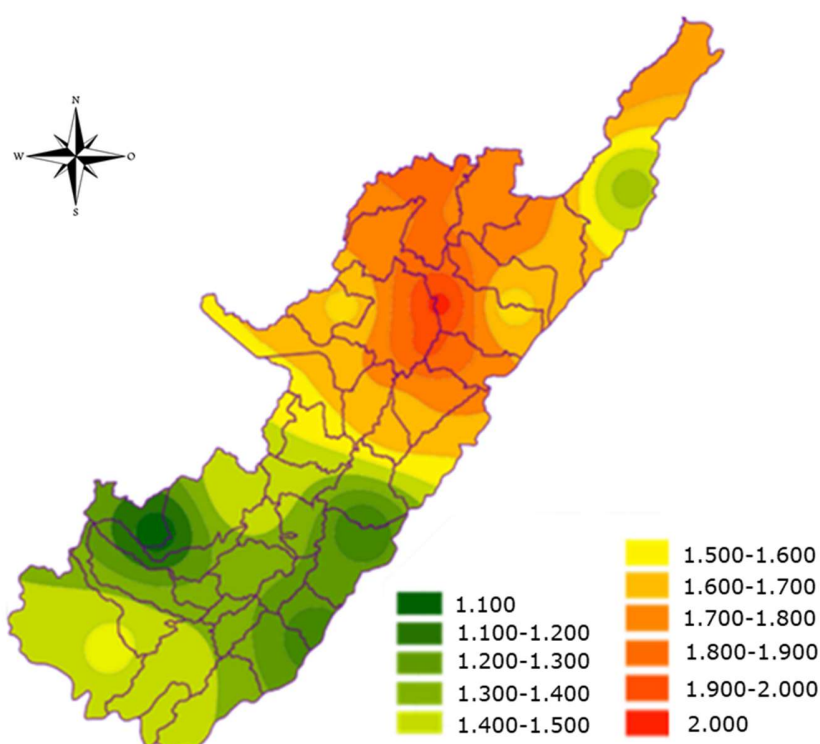


Figura 9. Tasa media de brillo solar multianual para el departamento del Huila (horas/año).

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

Viento

Existen, en general, dos regiones con velocidades medias del viento muy marcadas: la parte norte del departamento, desde los municipios de Iquira, Yaguará, Hobo y Algeciras hasta el norte, con velocidades entre 2 y 3 m/s, y hacia al sur, con velocidades de 1 a 2 m/s (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2005).

Humedad relativa

En los últimos 20 años, el departamento del Huila, y especialmente la zona cacaotera, registró una humedad relativa promedio del 65 al 75 % (Corpoica & Fondo Adaptación, 2015), la cual se vuelve relevante cuando se relaciona con lluvias y temperaturas altas por el riesgo de presencia de enfermedades fungosas en los cultivos. Al respecto, la figura 10 identifica dos zonas: la primera, con una humedad relativa media por debajo del 75 %, y la segunda, con valores por encima del 75 % que llegan incluso al 85 %.

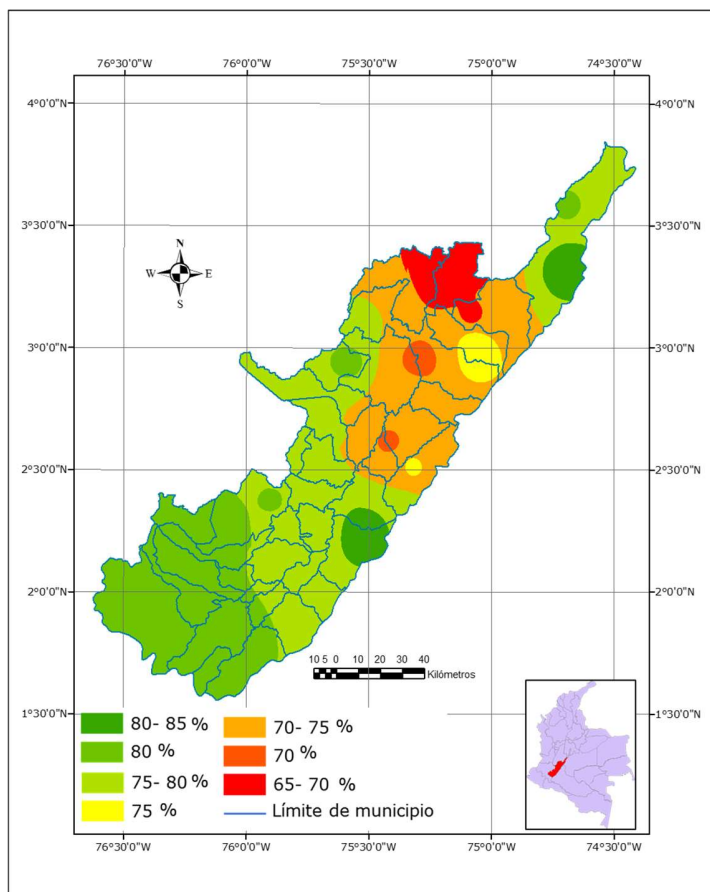


Figura 10. Humedad relativa media multianual para el departamento del Huila (%).
Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

Ubicación

De acuerdo con los municipios actuales donde se halla el cultivo de cacao (Rivera, Campoalegre, Neiva, Gigante, Garzón, El Agrado, Algeciras, Palermo, Tello, Baraya, La Plata, Tesalia y Paicol), se identifican dos zonas: la zona 1, más plana, cuenta con suelos que poseen régimen de humedad, bien drenados, con pendientes menores al 25 % y con un clima ambiental cálido árido (IGAC, 1994), que implica la necesidad de riego para el cultivo, y la zona 2 corresponde a sectores más húmedos y con relieves más quebrados y suelos menos profundos.

La figura 11 muestra la ubicación aproximada del modelo productivo de cacao para el departamento del Huila.

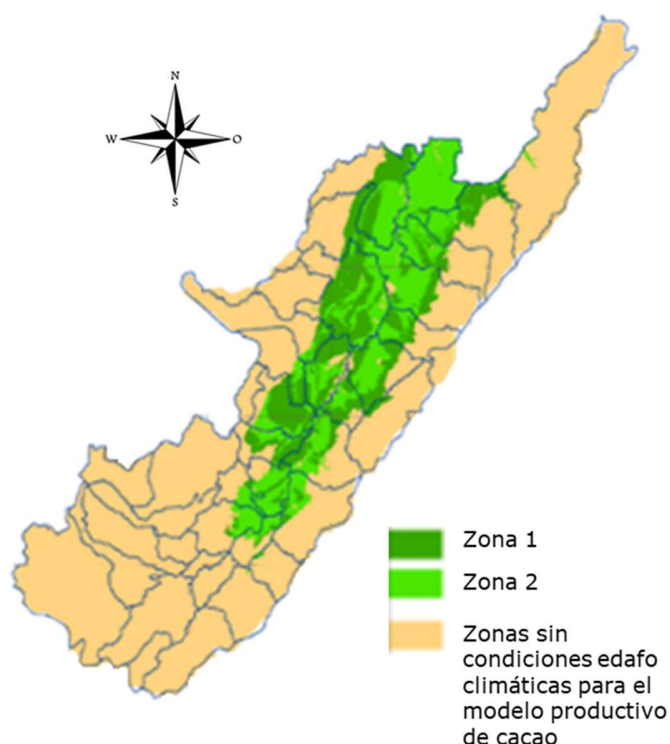


Figura 11. Ubicación aproximada del modelo productivo de cacao para el departamento del Huila.

Fuente: Elaboración propia a partir de IGAC (1994)

Es necesario tener en cuenta que, frente a las diferencias del clima (más caliente y con menos lluvia), es pertinente investigar sus implicaciones en la actual ubicación del modelo productivo para el cultivo de cacao.

Capítulo II

Descripción taxonómica y clasificación

Theobroma cacao L. es el nombre científico con el cual se conoce la planta de cacao y procede del griego *theobroma*, que significa “alimento de los dioses”, razón por la cual el cacao fue designado de esa manera en 1735 por el naturalista Carl von Linné, debido a la importancia que tenía para los habitantes americanos (Arosemena, 1991; Batista, 2009; Gutiérrez Hernández, 2011); el cacao se clasifica taxonómicamente de la siguiente forma (tabla 4).

Tabla 4. Descripción taxonómica de la planta del cacao

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromeae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	Cacao

Fuente: Elaboración propia

De la clasificación base del cacao (*T. cacao* L.) se han descrito tres grupos, conformados por su origen geográfico, su composición genética y su morfología: el criollo, caracterizado por sus mazorcas alargadas y por su testa de color crema-blanco; el forastero, caracterizado por presentar frutos redondeados con surcos escasamente definidos y semillas de color púrpura, y el trinitario, originado por el cruzamiento artificial de estas dos subespecies de cacao, que se caracteriza por presentar una amplia variabilidad de formas, tamaños y comportamientos y por ser, además, el tipo de cacao que predomina en Colombia (Álvarez Carrillo, Rojas Molina, & Suárez Salazar, 2015).

Aspectos botánicos

El origen del cacao aún está en discusión: unos autores afirman que es originario de México y otros argumentan que es de América del Sur, más precisamente de la región de la Amazonía —conformada por territorios de Brasil, Colombia, Ecuador y Perú—, de donde se distribuyó a Centroamérica y México, tal como lo refieren Cheesman y Pound (1934).

Tradicionalmente, como se dijo, el cacao se clasifica dentro de tres grupos genéticos: criollo, forastero y trinitario, teniendo en cuenta la morfología de la mazorca, la flor y la semillas (Mejía & Argüello, 2000).

El tipo criollo es conformado por plantas vigorosas pero muy susceptibles a daños por plagas y enfermedades; sus mazorcas son de tonalidades rojas o verdes (como el cundeamor), contienen entre 20 y 30 semillas de color blanco o *beige*, así como un alto contenido de grasa, y son agradables al gusto (no son amargas) y aromáticas (Mejía & Argüello, 2000).

Además, este tipo, junto con el trinitario, da origen al cacao conocido comercialmente como fino y de aroma. En Colombia, es usual que en las siembras nuevas se planten clones de estos tipos con el propósito de que el país mantenga su clasificación como productor de cacao fino y de aroma ante la Organización Internacional del Cacao (ICCO) (Eslava, 2011).

El cacao forastero, por su parte, se caracteriza por emitir mazorcas verdes (con un número de 30 semillas o más por mazorca, que son de color violeta o púrpura), por su bajo contenido de grasa y por ser muy astringente (Mejía & Argüello, 2000).

Los árboles del grupo trinitario probablemente provienen del cruce entre plantas de los dos grupos anteriores, y el resultado son individuos híbridos, robustos y con frutos verdes de 30 o más semillas de color entre violeta oscuro y claro (Dostert, Roque, Cano, La Torre, & Weigend, 2011; Mejía & Argüello, 2000).

El árbol híbrido de cacao es mediano, pues posee una altura de entre 6 y 8 m, pero cuando crece libremente bajo sombrío puede alcanzar una altura superior a los 20 m (Dostert et al., 2011).

Las plantas propagadas de forma asexual (vegetativamente), denominadas *clones*, generalmente se mantienen a alturas por debajo de los 4 m; sin embargo, en ocasiones es necesaria la aplicación de prácticas de poda para regular la altura del árbol (Mejía & Palencia, 2000).

Morfología

Biológicamente, la morfología es la disciplina encargada del estudio de la estructura de un organismo o de la descripción o comparación entre organismos. Esto incluye aspectos de la apariencia externa (forma, color, estructura, etc.), así como de la estructura de los órganos vegetales, como raíces, tallos, hojas, la inflorescencia, frutos y semillas.

Su abordaje puede tener un interés específicamente descriptivo, en atención a la funcionalidad y las características de determinada estructura o sistema; o comparativo, en el contraste entre diferentes especies, o, incluso, entre una misma especie a lo largo del tiempo (Strasburger, 1994).

Raíz

Las raíces del cacao son de dos tipos: por una parte, la pivotante, que es considerada como la principal, pues es la encargada de darle el anclaje a la planta, puede desarrollarse de forma recta hasta los dos metros de profundidad cuando el suelo es profundo y no presenta capas endurecidas; en suelos poco profundos o que presentan impedimentos físicos para el desarrollo normal de dicha raíz, la planta de cacao no ancla bien y puede ser susceptible al volcamiento por vientos fuertes, sobre todo cuando se establece en suelos de ladera. Por otra parte, están las raíces secundarias, que crecen y se distribuyen en los primeros 40-50 cm del suelo y son las encargadas del sostenimiento de la planta a través de los pelos absorbentes (raicillas que nacen de estas raíces secundarias), que facilitan la toma del agua y de los nutrientes necesarios para el desarrollo del árbol (Fedecacao, 2015).

En el caso del árbol de cacao propagado vegetativamente —a partir de la injertación de una copa sobre un patrón generado por medio de una semilla sexual (clonación)—, la raíz presenta la misma conformación descrita, es decir, una raíz pivotante y raíces secundarias provenientes del patrón.

Tallo y ramas

Las plantas que proceden de una semilla sexual desarrollan un tallo o tronco principal que no es continuo, pues al metro o metro y medio forma una mesa, horqueta o molinillo de donde emergen de tres a cinco ramas laterales (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000). Además, es muy común que del tallo principal o de su base se generen otros tipos de tallos, también leñosos, denominados *chupones*, los cuales crecen verticalmente, y cuando no se eliminan a tiempo, estos chupones pueden crecer demasiado, lo que provoca deformación en la arquitectura de la planta (Fedecacao, 2015).

Las ramas formadas a partir de la mesa se denominan *primarias*; de estas, se derivan las secundarias, de las cuales surgen las terciarias, y todas estas ramas conforman la copa de la planta (Fedecacao, 2015).

Si la planta es reproducida por métodos asexuales o vegetativos (injerto, estaca o ramilla), su crecimiento es diferente al de la planta propagada por semilla sexual, pues no desarrolla un tallo verdadero y en su lugar se genera una rama principal que no forma mesa, horqueta o molinillo, que no crece totalmente vertical y de la cual nacen los otros dos tipos de ramas. Las plantas generadas vegetativamente son de menor tamaño y tienen un follaje menos frondoso, lo cual permite la aplicación efectiva de prácticas agronómicas para el mantenimiento de la plantación, como la fertilización, las podas y el manejo fitosanitario, y facilita la cosecha (Fedecacao, 2015).

Hojas

Las hojas son alargadas, brillantes, de color verde oscuro, entre medianas y grandes (17-20 cm de largo y 7-10 cm de ancho) y están unidas a las ramas por medio de un peciolo que mide entre 14 y 27 mm (Dostert et al., 2011). En el ángulo

de inserción de la hoja con la rama se encuentra la yema axilar, que se utiliza para la reproducción asexual del cacao. En cuanto a la función, además de proteger los cojines florales de la incidencia directa de los rayos del sol, la hoja tiene la misión primordial de elaborar los alimentos que la planta requiere para su desarrollo a través de la fotosíntesis, pero cuando la plantación está muy sombreada, dicho proceso no puede ser realizado eficientemente (Fedecacao, 2015).

Flores

Las flores del cacao se ubican en las partes leñosas del tallo y las ramas, es decir, son caulinares, y se agrupan en cojines florales. La flor es hermafrodita y pentámera y posee cinco estambres fértiles de color blanco, que portan el polen, y cinco estériles de color morado. El órgano femenino, denominado *pistilo*, está integrado por el estigma, el estilo y el ovario; el grano de polen penetra por el estigma, desciende por el estilo y llega hasta el ovario para producir la fecundación o fertilización, es decir, allí comienza la formación del fruto o mazorca, pero cuando esto no sucede, la flor se cae a las 48 horas (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).

Polinización

La polinización se puede realizar de manera artificial, a través del humano, y de forma natural, por medio de insectos. Generalmente, el insecto que mayor intervención tiene en la polinización de la flor del cacao es una pequeña mosca perteneciente al orden de los dípteros llamada *Forcipomyia* spp. (Fedecacao, 2015).

Mazorcas

El fruto del cacao es una baya, comúnmente llamada *mazorca*, que tiene en promedio 15,5 cm de largo y 7,5 cm de ancho; externamente, está protegida por una cáscara o pericarpio de 1,3-1,5 cm de grosor, y en la parte interna se encuentran entre 30 y 45 semillas (o granos), con forma aplanada y elipsoidal, cubiertas por un mucílago (o placenta) de sabor azucarado y ligeramente ácido (Mejía & Argüello, 2000) que se descompone en el proceso de fermentación y

que está adherido al tronco o a las ramas por un pedúnculo fuerte. El proceso desde la fertilización hasta la plena madurez de la mazorca puede durar entre 150 y 180 días, dependiendo del origen de la planta y de las condiciones climáticas donde se cultive.

El color de las mazorcas depende del genotipo de donde provengan y del estado de madurez: unas son de color verde y se tornan amarillas al madurar, mientras que las otras son moradas o rojas y se tornan anaranjadas o rosadas cuando están más maduras (Fedecacao, 2015).

Capítulo III

Recurso genético y propagación

En el Acuerdo 003 del Consejo Nacional Cacaotero (CNC), modificado en marzo de 2010 por el Comité Técnico Nacional, se definieron los clones de cacao a utilizar como copa y los materiales de semilla a utilizar como patrón para el proceso de propagación vegetativa del cacao (injertación o enraizamiento de estacas) en las diferentes regiones productoras de Colombia.

Dentro de su función de propender por el desarrollo del sector, el CNC recomienda establecer, mediante diseños especiales, máximo cuatro tipos de clones por predio, teniendo en cuenta su compatibilidad e intercompatibilidad (tabla 5).

El mismo acuerdo también determina los clones que se pueden usar como patrones para el proceso de injertación: P 7, PA 46, PA 121, PA 150, EET 96, EET 400, CAU 39, CAU 43 y IMC 67, así como semillas que provengan de árboles híbridos sanos y vigorosos y con un claro fenotipo IMC 67, es decir, que tengan características físicas parecidas en cuanto a arquitectura y tamaño del árbol y, principalmente, cuyos frutos sean verdes.

Entre 2014 y 2017, AGROSAVIA les entregó a las comunidades cacaoteras de la subregión natural Montaña Santandereana, formada por territorios de los departamentos de Boyacá, Norte de Santander y Santander, cuatro nuevas variedades de cacao: TCS 01, TCS 06, TCS 13 y TCS 19; actualmente, dichos materiales se encuentran establecidos en pruebas de eficiencia agronómica (PEA) en otras subregiones del país, con miras a obtener, por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el certificado de ampliación del registro y poder ser entregados a los productores de cacao de esas localidades.

Tabla 5. Clones de cacao a utilizar como copa

Clon	Procedencia	Índice de mazorca	Índice de grano	Compatibilidad
ICS 1	Trinidad	18	1,6	Autocompatible
ICS 6	Trinidad	15	1,8	Autocompatible
ICS 39	Trinidad	13	2,3	Autoincompatible
ICS 40	Trinidad	15	1,9	Autoincompatible
ICS 60	Trinidad	14	2,2	Autoincompatible
ICS 95	Trinidad	19	1,4	Autocompatible
TSH 565	Trinidad	20	1,3	Autoincompatible
TSH 812	Trinidad	21	1,4	Autocompatible
UF 650	Trinidad	19	1,6	Autoincompatible
EET 8	Ecuador	16	1,9	Autoincompatible
EET 96	Ecuador	17	1,6	Autocompatible
EET 400	Ecuador	19	1,5	Autoincompatible
CCN 51*	Ecuador	15	1,8	Autocompatible
SCC 61	Colombia	15	1,4	Autoincompatible
FLE 2	Colombia	20	1,4	Autoincompatible
FLE 3	Colombia	17	1,4	Autoincompatible
FSA 11	Colombia	16	1,3	Autoincompatible
FSA 12	Colombia	21	1,2	Autoincompatible
FSA 13	Colombia	20	1,4	Autoincompatible
FEAR 5	Colombia	18	1,3	Autocompatible
FTA 2	Colombia	16	1,5	Autocompatible
CAU 39	Colombia	20	1,4	Autoincompatible
CAU 43	Colombia	21	1,1	Autoincompatible

* Aunque produce mucho por ser autocompatible, el CNC recomienda establecer el clon CCN 51 en lotes y parcelas separados de otros clones, es decir, sin mezclarlo con estos, dado que es considerado un clon ordinario, muy astringente y ácido, que daña la calidad de los clones considerados como finos y de aroma.

Nota: Para el departamento del Huila, en los valles interandinos secos y en la zona marginal baja cafetera, se recomiendan los clones TSH 565, TSH 812, ICS 1, ICS 39, ICS 40, ICS 60, ICS 95, EET 8, EET 96, EET 400, CCN 51 Y SCC 61.

Fuente: CNC (2010)

Métodos de propagación del cacao

La propagación se puede hacer por vía sexual o asexual (vegetativa): en la primera, se toman las semillas extraídas de frutos maduros, se ubican en una bolsa plástica previamente preparada con sustrato y, según el objetivo, se destinan para el establecimiento en campo como plantación híbrida o para la producción de patrones; en ambos casos, se requiere del montaje de una infraestructura de vivero que garantice la producción de plántulas sanas, vigorosas, con un alto potencial de rendimiento y calidad y adaptadas a las diferentes zonas productoras de cacao (Palencia & Mejía, 2003, 2004; Ramírez, 2006). Para la producción de plántulas de cacao por el método asexual, se toman partes vegetativas de las plantas madre, que pueden ser yemas, estacas o ramillas, y se realiza el procedimiento mediante la técnica de enraizamiento de estacas o de injertación de yemas, que es, por cierto, el más utilizado y recomendado (Lutheran World Relief [LWR], 2013). Entre los métodos de propagación sexual y asexual de plantas existen notables diferencias, las cuales se resumen a continuación (tabla 6).

Tabla 6. Diferencias entre la propagación sexual y asexual de las plantas de cacao

Propagación sexual (semillas o granos de cacao)	Propagación asexual (yemas o estacas)
Los hijos muestran diferencias morfológicas y fisiológicas con respecto a la planta madre.	Los hijos conservan las características de la planta madre.
Las plantas se demoran más en producir: inician su producción cerca de los 5 años.	Las plantas producen más rápido, es decir, son más precoces: comienzan a producir aproximadamente a los 28 meses.
Las plantas desarrollan un tronco o tallo principal que no es continuo, pues forman horqueta, mesa o verticilo al metro o metro y medio.	Las plantas no desarrollan tallo, y este es reemplazado por una rama principal a partir de la yema injertada.
Son árboles generalmente de porte alto, de tronco y ramas gruesas, que pueden crecer hasta los 20 m o incluso más si se los deja crecer libremente; en general, presentan alturas variadas.	Son árboles de porte medio-bajo, con alturas entre los 4 y 5 m; la altura de estos árboles es más homogénea.
Son árboles heterogéneos en cuanto a sus características fenológicas y genotípicas.	Son árboles homogéneos en cuanto a sus características fenológicas y genotípicas.

Fuente: Mejía y Argüello (2000)

Propagación asexual o vegetativa

La modernización de la cacaocultura a través de la instalación de plantaciones con clones exige la producción continua y masiva de material clonado homogéneo de alto potencial productivo, con calidad sanitaria óptima, adaptado a las condiciones de clima y suelo de las zonas cacaoteras y que responda a las necesidades de los mercados (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

Para lograr este objetivo se debe utilizar una infraestructura denominada biofábrica, la cual está conformada por un vivero y uno o dos jardines clonales, que proporcionan el material requerido para el proceso de producción asexual de los clones. En el vivero se realiza la multiplicación de material clonado de cacao de alta calidad y registrado ante el ICA para la siembra, aplicando técnicas precisas de propagación y procesos específicos para la producción a escala comercial; el tamaño de la biofábrica depende de la cantidad y diversidad de material demandado por las regiones (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

La técnica de mayor uso es la injertación y puede hacerse de tres maneras: injerto de parche, injerto de aproximación e injerto de yema terminal o púa.

Vivero

Según Ramírez (2006) y Palencia y Mejía (2004), el vivero es un espacio de terreno delimitado y debidamente adecuado para la propagación de plantas (en este caso de cacao) vigorosas, sanas y con características genotípicas y fenotípicas uniformes; este consta de un umbráculo o cobertizo, un área de propagación, un sistema de riego, una bodega y bolsas con plantas, y su tamaño depende de la cantidad de clones a multiplicar (figura 12).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 12. Vivero para la producción masiva de plantas clonadas de cacao en Agrado, Huila.

Jardines clonales

Toda biofábrica debe poseer dos lotes (o al menos uno) instalados con materiales clonados seleccionados, de comprobados rendimientos y tolerancia a problemas sanitarios y debidamente identificados, destinados a la producción tanto de semillas para multiplicación de patrones como de material vegetal para injertación (varetas portayemas), respectivamente (Palencia & Mejía, 2004).

Los jardines de multiplicación deben estar ubicados cerca del vivero, para reducir los riesgos de daño en el transporte, y su tamaño depende de las necesidades de producción de material (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

Igual que en las plantaciones comerciales, se requiere que los clones de los jardines sean establecidos bajo sistemas agroforestales, por los múltiples beneficios que estos presentan para el cultivo, los productores y el medio ambiente; algunos de los beneficios de los sistemas agroforestales son: 1) regulan la entrada directa de los rayos del sol hacia las plantas, lo que evita posibles daños en tallos y cojines florales; 2) regulan la temperatura y la aireación interna del sistema productivo, lo que hace que se disminuyan los problemas sanitarios; 3) aportan biomasa, que ayuda a mejorar la estructura

del suelo y la fijación de los nutrientes, con lo que se conserva la humedad y se facilita la infiltración, y 4) reducen los costos de producción en cuanto al control sanitario y de arvenses (Gómez, 2011; Mejía & Argüello, 2000; Programa para el Desarrollo de la Amazonía [Proamazonía], 2003).

Los jardines deben poseer idealmente un sistema de riego por goteo o microaspersión, o, en dado caso, por surcos; se debe contar también con un plan de fertilización acorde con el análisis químico de suelos y los requerimientos de las plantas, con un manejo integrado de malezas y con un control fitosanitario oportuno y eficiente; además, cada clon o surco de clones debe estar plenamente identificado con un material que mantenga la legibilidad de la información (Palencia & Mejía, 2004; Ramírez, 2006).

El jardín clonal para la producción de semilla para patrón es un terreno que debe estar, como mínimo, a 500 m de distancia de cualquier plantación comercial de cacao. Los clones que conforman este jardín deben poseer características específicas de vigor, precocidad, adaptabilidad, producción y tolerancia a patógenos y a condiciones desfavorables de clima y suelo (Palencia & Mejía, 2004; Ramírez, 2006).

Por su parte, el jardín clonal para la producción de varetas portayemas es un terreno donde están ubicados, según un diseño de siembra y bajo sistemas agroforestales, clones de cacao plenamente identificados para cada región, los cuales van a ser objeto de un manejo técnico especial para el suministro constante de material vegetal tierno, fresco y libre de problemas fitosanitarios para injertación. Tal como el anterior jardín, este debe poseer las características específicas mencionadas (Palencia & Mejía, 2004; Ramírez, 2006).

En caso de que no sea posible, por algún motivo, establecer al menos un jardín clonal para surtir continuamente de material vegetal al vivero (semilla patrón y varetas portayemas), este material se debe obtener de jardines clonales registrados ante el ICA y que se encuentren relativamente cerca del lugar de propagación, con el objeto de disminuir los peligros de daño físico y biológico por el transporte y de poder contar con material de óptima calidad para el proceso de producción de clones (Palencia & Mejía, 2004).

Copa o clon

Cuando se propagan plantas de cacao por semilla, algunas o todas las características que las distinguen no se expresan en las nuevas plantas, debido a que su composición genética posee un alto grado de heterocigosidad; es decir, las características morfológicas y productivas de las nuevas plantas no van a ser exactamente iguales a las de los padres de donde se obtuvieron. Por este motivo, en cacao es muy importante la utilización de la propagación vegetativa como medio para garantizar plantaciones uniformes, de menor porte, altamente productivas, tolerantes a plagas y enfermedades y cuyo grano sea adecuado para la industria (Palencia & Mejía, 2003, 2004; Ramírez, 2006).

Para la propagación vegetativa se deben seleccionar los árboles que se desee multiplicar; a estos se les cortan las varetas que permitirán extraer las yemas, que a su vez van a aportar la copa de las nuevas plantaciones al ser introducidas por medio del injerto.

Las varetas portayemas óptimas para la injertación son ramas de unos 25-30 cm de longitud, con un grado de madurez medio, provenientes de la parte media del follaje y con yemas no muy desplegadas y que se encuentren en su último estado de desarrollo. Para evitar la deshidratación de las varetas, se deben recolectar antes de la salida plena del sol, se les cortan las hojas dejando una porción de peciolo no mayor a un centímetro, se parafinan los extremos si se requiere transportarlas por varias horas, se envuelven en papel húmedo y se colocan bajo sombra para proceder a la injertación (Palencia & Mejía, 2003, 2004; Ramírez, 2006).

Patrón

El patrón debe poseer características de rusticidad, buena adaptación a suelos bajos en pH y tolerancia a patógenos del suelo como *Ceratocystis* y *Phytophthora*, además de que debe proporcionarle vigorosidad a la copa (Palencia & Mejía, 2003, 2004).

Las plantas para patrones se propagan a través de la semilla, pero pueden perder su viabilidad rápidamente si no se les brindan las condiciones propicias para germinar. Esta particularidad implica una serie de cuidados que se deben tener para la preparación de la semilla una vez que las mazorcas hayan cumplido

su ciclo de desarrollo: cuando las mazorcas se cosechan, se abren con una maceta para sacarles las almendras; estas se lavan para quitarles el mucílago que las envuelve, se mezclan con aserrín húmedo y se ponen a pregerminar por tres días en un lugar fresco y sombreado; cuando empieza la emisión de la radícula, las semillas están listas para ser ubicadas en las bolsas con sustrato (Palencia & Mejía, 2003, 2004; Ramírez, 2006).

Solo se deben sembrar las semillas pregerminadas, y las restantes se humedecen mientras continúan el proceso y se van sembrando a medida que van germinando; si pasados cinco o seis días todavía hay semillas no germinadas, se deben eliminar, y de esta manera se obtienen plantas uniformes (figura 13).



Foto: Luis Enrique
Ramírez Chamorro

Figura 13. Semilla de cacao para obtención de patrones. a. Semilla pregerminada para multiplicación de patrones; b. Ubicación de la semilla pregerminada en el centro de la bolsa con sustrato; c. Patrones en desarrollo.

Métodos de injertación

El momento oportuno para hacer el injerto depende del estado de desarrollo del patrón, de las condiciones medioambientales, de la calidad de la yema y de la experticia del injertador.

De esta forma, se considera que cuando no haya amenaza de lluvia y el patrón tenga entre tres y cuatro meses de edad y un diámetro de tallo cercano al metro, se puede realizar la operación con una yema que provenga de una vareta portayemas sana y con una edad cercana a la del patrón (Palencia & Mejía, 2004; Ramírez, 2006).

Injerto de parche. A la corteza del tallo del patrón se le realizan, a una altura de entre 10 y 20 cm, dos cortes longitudinales de 2 cm, separados uno del otro por 1 cm, y otro corte que une estos dos en su parte inferior, para formar una u. La especie de lengüeta que queda prendida en la parte superior de los cortes se alza, y en el espacio creado se inserta una yema rectangular que debe quedar ajustada perfectamente, lo que quiere decir que debe poseer las mismas dimensiones del espacio generado en el patrón (Palencia & Mejía, 2004; Ramírez, 2006).

Luego, se procede al amarre del injerto, de abajo hacia arriba, con una tira de 20-25 cm de largo por 2 de ancho de una cinta plástica especial llamada sintelita o satín, que puede ser de cualquier color, menos negro, con la que se cubre todo el injerto, hasta la parte superior, donde se termina con un nudo. Actualmente, la cinta más utilizada es la transparente, pues permite ver el prendimiento y desarrollo de la yema (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

A los ocho o diez días, se hace una revisión; si se observa un crecimiento de la yema, se procede a soltar el amarre y a deshojar la parte superior de la plántula utilizando tijeras podadoras desinfectadas, con el propósito de reactivar el desarrollo de la yema. La elaboración de cada injerto por este método debe durar máximo entre 15 y 20 segundos, pues entre más tiempo dure la yema expuesta al medio ambiente, es mayor el riesgo de oxidación de los tejidos y, por lo tanto, menor el éxito en el prendimiento. Los patrones que no tengan prendimiento del injerto en este lapso podrán ser reinjertados una única vez (Ramírez, 2006).

Cuando el injerto alcanza una longitud de 20 cm y tiene sus hojas de color verde y maduras, es el momento de llevarlo al sitio definitivo (figuras 14 y 15); no es conveniente llevar a campo los injertos que estén muy tiernos, es decir, que no hayan cumplido el ciclo de maduración, que está entre los 45 y los 60 días (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

Cada grupo de injertos por tipo de clon debe ser ubicado en un solo sitio e identificado con un material duradero y del mismo color, con el propósito de evitar confusiones al momento de registrarlos y comercializarlos (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 14. Injerto de parche en cacao completamente desarrollado.

Injerto de aproximación. La técnica empleada para hacer este injerto es la misma del injerto de parche; la diferencia está en el tamaño de la yema y en las dimensiones del corte realizado al patrón para su inserción, pues se toma un pedazo de vareta que contenga entre dos y cuatro yemas y se procede a hacer la injertación (Palencia & Mejía, 2003).

Este sistema es muy utilizado cuando los patrones de cacao ya se encuentran instalados en el campo y se requiere asegurar el prendimiento. Sin embargo, como desventaja, se puede considerar el empleo de mucha vareta, por lo que debe disponerse y proveerse de suficiente material vegetal para la ejecución de esta labor, lo cual no es conveniente, sobre todo en aquellos lugares alejados de jardines clonales con registro ICA (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006) (figura 15).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 15. Injerto de aproximación o “pechito con pechito” en cacao completamente desarrollado.

Injerto de yema terminal. El proceso consiste en cortar el patrón en ángulo recto a una altura de 15 cm; luego, se crea una abertura vertical de unos 2 cm de longitud en el centro, donde se ubica una vareta que tiene su extremo basal cortado en forma de cuña de la misma longitud que el corte del patrón, para que coincida perfectamente en esta hendidura (Ramírez, 2006).

Una vez hecho el injerto, se amarra fuertemente con sintelita durante 15-20 días para mantenerlo unido mientras ocurre el pegamiento de las yemas; luego, se cubre con una bolsa plástica y, sobre esta, con una bolsa de papel, con el propósito de disminuir la entrada de luz y favorecer la adherencia de las yemas. Pasados los 20 días, se suelta el amarre para verificar el prendimiento del injerto, pero si esto no sucede, el patrón se pierde; además, otra de las desventajas de este método es que requiere bastante material vegetal para su implementación, y actualmente no se cuenta con suficientes jardines clonales con registro ICA que brinden con suficiencia dicho material (Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006) (figura 16).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 16. Injerto de yema terminal o púa en cacao. a. Recién elaborado y en proceso de prendimiento; b. Completamente desarrollado y listo para ubicar en campo en sitio definitivo.

Capítulo IV

Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

Entre las variables edafoclimáticas más influyentes en la producción de cacao están los suelos, la temperatura, la radiación solar, la precipitación, la humedad relativa y los vientos, sin desconocer otras variables que también cumplen un papel importante en el desarrollo del cultivo (Rojas & Sacristán Sánchez, 2013).

Suelos

Estudios realizados por Gastal y Lemaire (2002) le asignan mucha importancia a la humedad del suelo y del aire en el proceso de brotación y renovación del follaje en *T. cacao*. Además, se ha encontrado que es necesario un prolongado periodo de carencia de agua para la iniciación de los flujos foliares, y, a su vez, la presencia de lluvias después de la brotación es necesaria para el crecimiento de las hojas recién formadas. Es evidente que el ciclo completo de la brotación foliar está siempre asociado con la presencia de lluvias después de un periodo de ausencia o deficiencia de agua (Alvim, 1987), lo que indica que el crecimiento del cacao es hidroperiódico, tal como sucede con otras plantas cuyos órganos de aprovechamiento son los frutos (Sáenz & Cabezas, 2007).

Profundidad efectiva. La profundidad del suelo, que debe ser fácilmente penetrable por las raíces del cacao, no debe ser menor de 1,5 m. La presencia de gravilla, grava y fragmentos rocosos medianos no se considera un obstáculo para la penetración de las raíces mientras no sean abundantes en el perfil del suelo (menos del 30 % del volumen de suelo), especialmente en los primeros 30 cm de profundidad, ni en su superficie (García, Romero, & Ortiz, 2007).

Textura. Los suelos apropiados para cacao comprenden desde los francoarenosos (arena entre el 50 y el 70 % y limo mayor al 50 %) hasta los francoarcillosos (arena entre el 20 y el 45 % y arcilla entre el 30 y el 40 %). Los

suelos arenosos (arena mayor al 85 %), aunque permiten la penetración de las raíces, no tienen buena retención de humedad ni un buen nivel de fertilidad. Los suelos arcillosos (arcilla por encima del 55 %), si no tienen una estructura bien agregada, tampoco son ideales por cuanto tienden a compactarse, lo que dificulta el desarrollo del sistema radicular y el intercambio gaseoso, entre otros aspectos (García et al., 2007).

Nivel freático. El nivel freático (nivel hasta donde sube el agua subterránea) debe estar por debajo de 1,5 m, pues, de lo contrario, se constituye en un impedimento para el desarrollo de las raíces, ya que propicia su pudrición. Este problema es frecuente en tierras planas y cercanas a lechos de ríos, quebradas y lagunas, o en depresiones del terreno (García et al., 2007).

Fertilidad. Es la capacidad de un suelo para suministrar todos los nutrientes que necesitan las plantas en el momento, la cantidad y la forma adecuados. En consecuencia, los suelos ideales para el cultivo de cacao son los que le proporcionan adecuadamente nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio y un bajo riesgo de toxicidad por aluminio. Se estima que un suelo es apropiado para el cultivo de cacao cuando el contenido de materia orgánica es superior al 3 % y cuando le suministra más de 0,4 cmol/kg de potasio, más de 0,3 mg/kg de fósforo, más de 3 cmol/kg de magnesio y 5 cmol/kg de calcio; los cultivos que se establezcan en suelos cuyo contenido de nutrientes sea inferior al anotado requerirán de aplicaciones adicionales de fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos (García et al., 2007).

Relieve. Aunque el cultivo de cacao se puede establecer en pendientes superiores al 50 %, lo ideal es ubicarlo en pendientes muy inferiores a ese valor, pues, de lo contrario, se pueden presentar serias dificultades para su establecimiento y manejo (aplicación de prácticas de poda, control de enfermedades, abono, cosecha y transporte del producto). Además, existe un incremento en los riesgos de erosión, especialmente durante el primer año del cultivo, porque durante ese periodo el suelo está casi desnudo (García et al., 2007).

A partir de estos requerimientos en los suelos, la figura 17 identifica las zonas potenciales para el cultivo de cacao en el departamento del Huila. Se identifican 4.435 ha con aptitud A1, es decir, sin ninguna restricción edafoclimática. Las demás zonas presentan alguna restricción moderada (A2), por condiciones de régimen de temperatura (te), el cual puede ser alto (tea) o bajo (teb); humedad disponible (da), la cual puede ser alta (daa) o baja (dab); oxígeno disponible en la rizosfera (do); condición de enraizamiento (pe), y posibilidad de manejo (pm) (García et al. 2007).

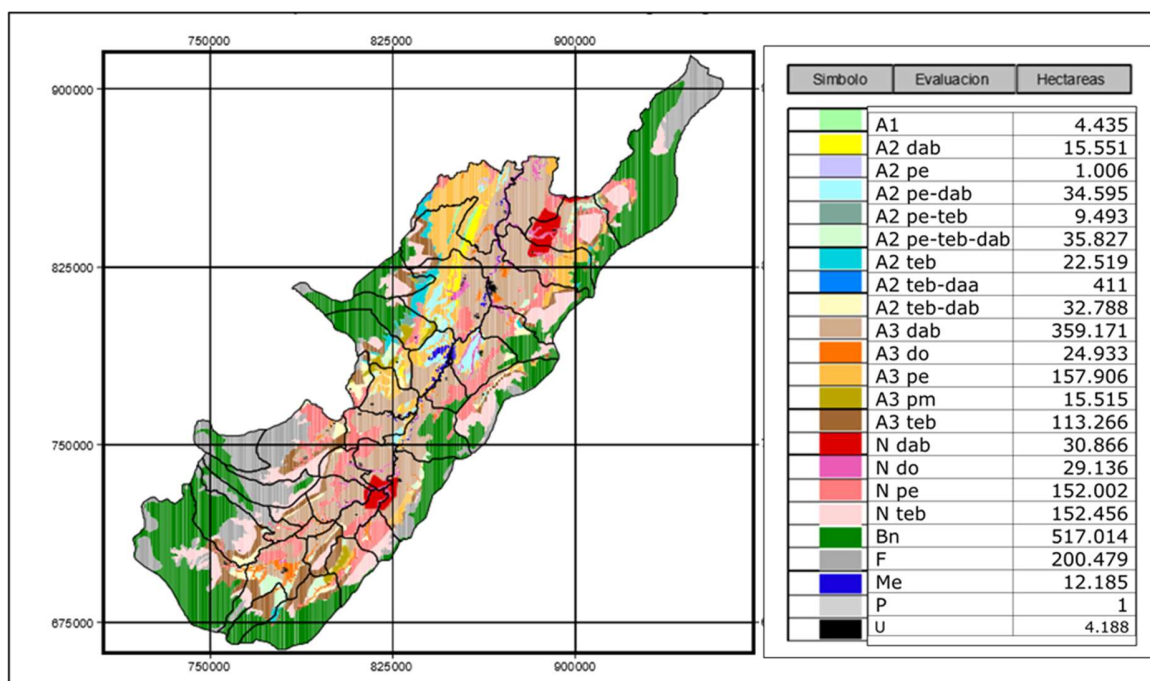


Figura 17. Zonas edafoclimáticas potenciales para el cultivo del cacao en el departamento del Huila.

Fuente: García et al. (2007)

Temperatura

El rango de temperatura en el cual es posible cultivar cacao se encuentra entre los 18 y los 32 °C, y dentro de este rango se hallan tres categorías: la apta o favorable para el desarrollo y la producción, enmarcada entre los 24 y los 28 °C;

la moderadamente apta, entre los 20 y los 24 °C y los 28 y los 30 °C, y, por último, la no apta o marginal, referida a temperaturas por debajo de los 18 °C o por encima de los 32 °C, pues en ambos casos se pueden presentar problemas fisiológicos y sanitarios que afectan en gran medida el desarrollo de las plantas (García et al., 2007). Cuando la diferencia de temperaturas entre el día y la noche supera los 9 °C, es factible que se ocasionen problemas en la polinización y en la formación de flores y mazorcas, lo que afecta negativamente los rendimientos del cultivo (Martínez, 2013).

El rango altitudinal óptimo para el cultivo del cacao está entre los 400 y los 1.200 m.s.n.m.; sin embargo, en varias zonas productoras de los departamentos de Arauca, Antioquia y Nariño que están ubicadas por debajo de los 400 m.s.n.m., se encuentran plantaciones con buen desarrollo de plantas y buenos rendimientos. Asimismo, de manera general, no se recomienda instalar cultivos de cacao por encima de los 1.200 metros de altura, debido a que las temperaturas bajas pueden causar daños fisiológicos y sanitarios y, de esta manera, perjudicar la productividad; no obstante, existen zonas a más de 1.200 metros que presentan un microclima especial ideal para el establecimiento del cultivo y que tienen buenas expectativas para la producción (Martínez, 2013) (figura 18).

La temperatura también influye en las épocas de máxima floración: con promedios mensuales menores de 20 °C, la diferenciación floral se disminuye, lo que determina en algunas zonas patrones de cosecha muy definidos. Por el contrario, temperaturas medias superiores a 26 °C provocan constantes floraciones en la planta, lo que permite cosechar mazorcas durante todo el año (Duke, 1983; Sáenz & Cabezas, 2007).

Aun cuando la temperatura es un factor regulador del crecimiento y los cambios fenológicos del cacao, no es la más determinante a la hora de definir las cosechas. En Colombia, el rango de temperatura en el cual se cultiva esta especie es amplio, y en todos los casos se presenta un adecuado comportamiento de las plantas (Sáenz & Cabezas, 2007).

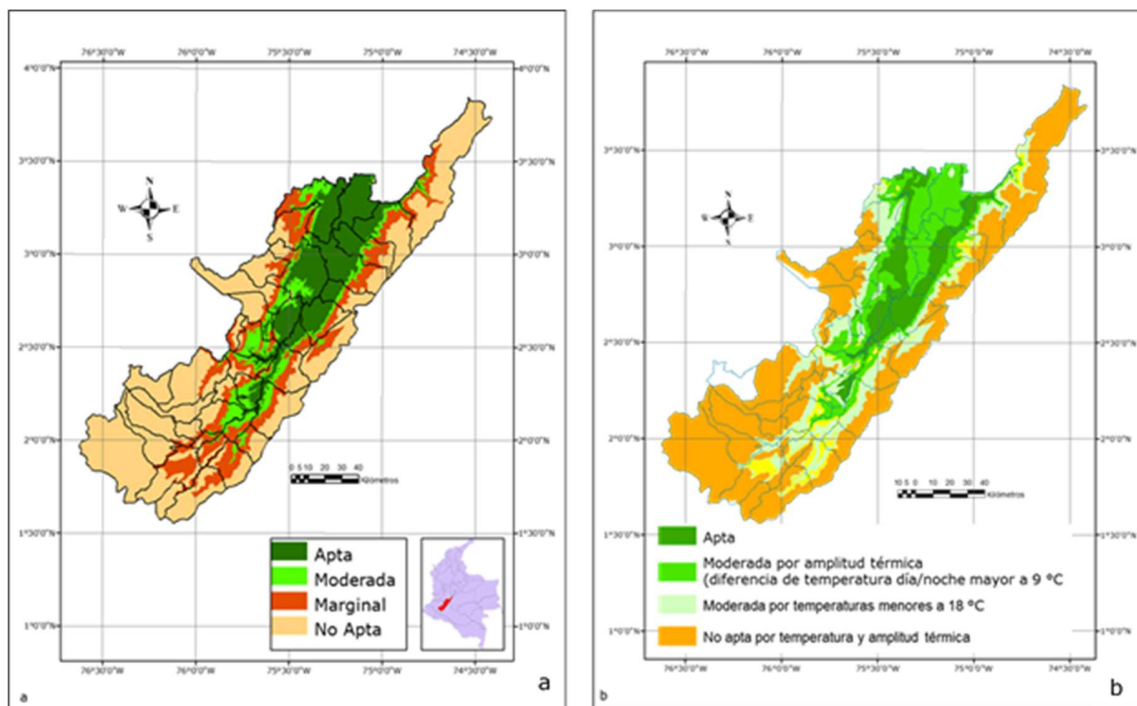


Figura 18. Zonas óptimas para el cultivo del cacao en el departamento del Huila según la temperatura, la altura y la amplitud térmica. a. Zonas óptimas según la temperatura y la altura; b. Zonas óptimas según la amplitud térmica.

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

Radiación solar

El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo, y por ello es necesario emplear sombrío, cuyo objetivo es, desde el inicio de la plantación, reducir la cantidad de radiación que llega a las plantas para disminuir la velocidad de sus procesos fisiológicos y protegerlas de los vientos que las puedan perjudicar. La luminosidad durante los primeros cuatro años de vida de las plantas debe ser del 50 %, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas. Cuando el cultivo se halla establecido, se podrá reducir el porcentaje de sombrío hasta el 25 o 30 % (Méndez, Palencia, Ramírez, & Roveda, 2006).

En plantas de cacao, se deben tener en cuenta dos etapas bien diferenciadas: el crecimiento y el desarrollo. La primera, que abarca aproximadamente los dos primeros años después de la siembra en campo, coincide con el crecimiento vegetativo, gran acumulación de biomasa en la zona fotosintéticamente activa e intensa respiración de crecimiento. Durante esta fase, las plantas requieren niveles bajos de radiación solar, esto es, unos $300-400 \text{ w/m}^2$, o $700-800 \mu\text{mol/m}^2$ (Alvim, 1987). Los conocedores del tema deben suponer que estas condiciones se asemejan a lo encontrado en la parte baja de los doseles en plantas frutales y de café, y por tanto, para los primeros dos años de vida del cacao, es fundamental contar con sombrero, ya sea en forma de plantas de uso forestal o con hileras transitorias de plátano o banano (Sáenz & Cabezas, 2007).

En cuanto a la segunda fase, para zonas con rendimientos altos, como Timaná, el brillo solar está entre 1.300 y 1.400 horas/año.

Precipitación

En zonas que presenten un rango de precipitación promedio anual de entre 1.500 y 3.800 mm, se pueden establecer plantaciones de cacao con buenas perspectivas productivas; dentro de este amplio rango, se definen tres zonas (García et al., 2007): la zona apta, cuya precipitación varía entre 1.500 y 2.600 mm/año; la zona moderadamente apta, que va desde 1.500 hasta 1.800 mm/año, y la zona marginal, con precipitaciones entre 2.600 y 3.200 mm/año, lo que indica que cultivos de cacao establecidos en esa franja pueden ser susceptibles a problemas fitosanitarios que afecten su desarrollo y productividad y, por ello, es factible que necesiten un manejo agronómico especial (Rojas & Sacristán Sánchez, 2013).

En zonas de menor precipitación puede cultivarse el cacao con la implementación artificial de riego, y, de hecho, estas pueden convertirse en zonas más propicias para la explotación cacaotera que aquellas con precipitaciones mucho mayores, debido a la amenaza que representa la presencia y posible afectación por plagas y enfermedades, lo que aumenta los costos de producción por el manejo especial que se debe realizar para su control.

La cantidad de agua en forma de precipitación estará dada en función de su distribución en el año y de la intensidad de las lluvias. Los frutales, en general, necesitan periodos secos estresantes para iniciar la inducción floral y periodos lluviosos inductores de la brotación reproductiva. La planta de cacao, por su parte, es poco tolerante a la sequía (Sáenz & Cabezas, 2007).

El régimen bimodal de la lluvia en el departamento genera dos cosechas marcadas en el año y dos épocas de muy baja producción (sin llegar a cero). Precisamente, en estas zonas siempre se encontrarán mazorcas en los árboles, ya sea en tiempos de alta o baja proporción, lo que es un aspecto beneficioso para el flujo de caja, pero perjudicial a la hora del manejo fitosanitario (Sáenz & Cabezas, 2007).

Ecofisiológicamente, el cacao es una planta con alta respuesta al hidroperiodo (Sáenz & Cabezas, 2007), y, por lo tanto, un periodo marcado de sequía o de poca cantidad de lluvia seguido por una época lluviosa da como resultado la brotación reproductiva o floración (Alvim, 1977).

Como se ha dicho, la planta de cacao es poco tolerante a la sequía, tanto así que, al comparar las hojas de cacao con las del café, las del cacao senescen (mueren) cuando pierden del 17 al 25 % de agua, mientras que las del café lo hacen al perder el 57 % (Sáenz & Cabezas, 2007).

En Colombia, la información sobre los requerimientos hídricos y los mecanismos de tolerancia, aclimatación o adaptación de los clones de cacao a condiciones críticas de sequía temporal es escasa (García & Moreno, 2016); por tanto, es necesario iniciar investigaciones que contribuyan al entendimiento de la dinámica del agua, los nutrientes y la luz en el crecimiento y desarrollo del cultivo en nuevos escenarios menos vulnerables a problemas fitosanitarios y contrastantes en luminosidad y disponibilidad hídrica (García & Moreno, 2016) (figura 19).

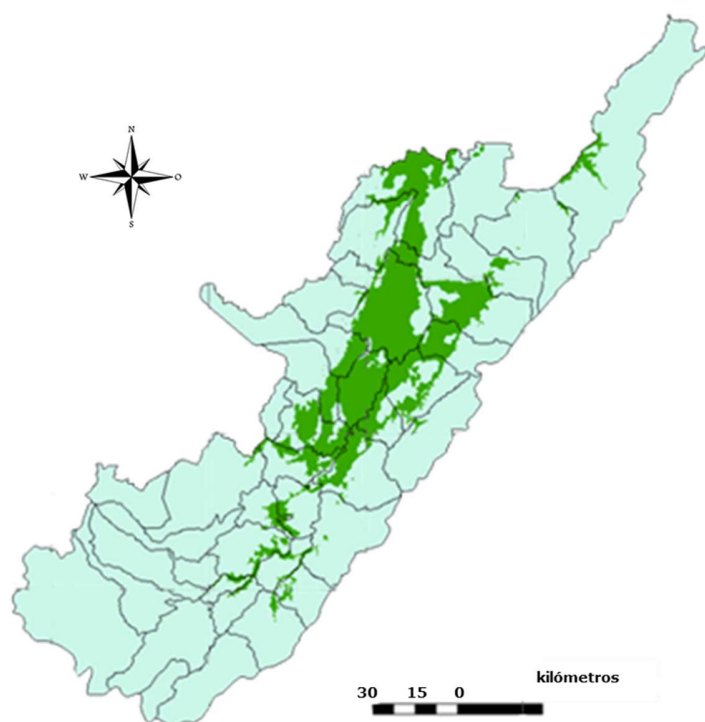


Figura 19. Zona con régimen de precipitación adecuado para el cultivo del cacao en el departamento del Huila (mm/año).

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, aunque por precipitación hay zonas marginales para el cultivo del cacao, si se implementan acciones de riego, estas se pueden convertir en zonas óptimas para el cultivo.

Humedad relativa

No existe un consenso pleno sobre la humedad relativa ideal para establecer una plantación de cacao; para Corpoica (2006), Fedecacao (2015) y Arvelo, González, Maroto, Delgado y Montoya (2017), entre otros autores, la planta de cacao se desarrolla bien con humedades comprendidas entre el 70 y el 90 %, aunque consideran como la más favorable aquella que se aproxima al 80 %. Sin

embargo, es de anotar que algunas áreas de Huila, Tolima y Norte de Santander que presentan humedades por debajo del 70 %, consideradas normalmente como zonas secas, se están incorporando a la producción cacaotera.

Vientos

Esta variable climática adquiere relevancia en regiones donde la velocidad del viento supera los 4 m/s y las plantas están sobre una pendiente mayor al 15 %, pues el riesgo para estas se incrementa. Esto es debido a que dichas condiciones pueden favorecer la erosión del suelo y ocasionar daños fisiológicos y mecánicos a las plantas, como defoliación, caída de cojines florales y hojas, y quebradura de ramas y tallos (Batista, 2009). Para atenuar este efecto nocivo, sobre todo en los estados iniciales de desarrollo del sistema productivo, se recomienda instalar barreras rompevientos alrededor de la plantación, pues luego los mismos árboles de cacao y los sombríos productivos se encargan de disminuir el probable daño a medida que crecen y se desarrollan (Rojas & Sacristán Sánchez, 2013). Así, de forma general, se considera que velocidades del viento entre 1 y 2 m/s no perjudican las plantaciones de cacao (Proamazonía, 2003), aunque se reportan datos de 2,5 m/s como velocidad máxima permisible para no causar cierre estomático y secamiento en la lámina foliar (Alvim, 1987; Leite, Alvim, & Alvim, 1981).

En este sentido, dos aspectos se estudian en relación con el efecto de la velocidad del viento en las plantaciones de cacao: la deshidratación que causa sobre las hojas y los daños mecánicos a la estructura de la planta. En cuanto al primer problema, se ha establecido que un cultivo sin barreras cortaviento o sin sombra de estratos altos forestales puede ser severamente afectado por la acción de la velocidad del viento, incluso hasta llegar a la defoliación total, al cabo de ocho meses de soportar estas corrientes (Alvim, 1987).

Es claro que el viento no solo incrementa las tasas de transpiración de las hojas, sino que remueve con tal fuerza la capa de frontera foliar que disminuye la concentración de CO₂ circundante y posiblemente hace que la enzima rubisco comience a actuar como oxigenasa, lo que implica disminución en la tasa fotosintética neta (Sáenz & Cabezas, 2007).

La tabla 7 resume los requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de cacao, de acuerdo con varios autores.

Tabla 7. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo del cacao

Característica	Apto	Moderadamente apto	Marginalmente apto	No apto
Altura sobre el nivel del mar (m)	400-800	0-400 u 800-1.000	0-1.200	Mayor de 1.200
Temperatura media anual (°C)	24-28	20-24 o 28-30	18-20 o 30-32	Menor de 18 o mayor de 32
Diferencia de temperatura día/noche (°C)	Menor a 9		Mayor de 9	
Radiación solar en el periodo vegetativo (primeros dos años)	Las plantas requieren niveles bajos de radiación solar, esto es, unos 300-400 w/m ⁻² o 700-800 μmol/m ⁻²		-	Cuando hay alta nubosidad
	En los primeros años, la planta necesita aproximadamente un 30 % de luz y un 70 % de sombra; después del tercer año, un 70 % de luz y un 30 % de sombra		-	-
Precipitación anual (mm/año)	1.800-2.600	1.500-1.800 o 2.600-3.200	1.200-1.500 o 3.200-3.800	Menor de 1.200 o mayor de 3.800
Viento (m/s)	1-2	3	4	Mayor de 5
	Máximo permisible para condiciones óptimas: 2,5 m/s ⁻¹		-	-
Drenaje natural del suelo	Moderadamente drenado-bien drenado		Imperfectamente o un poco excesivamente drenado	Muy pobremente, pobremente o excesivamente drenado
Profundidad efectiva del suelo (cm)	Mayor de 100	50-100	25-50	Menor de 25
pH	5,5-6,5	5,0-5,5 o 6,5-7,0	4,5-5,0 o 7,0-8,0	Menor de 4,5 o mayor de 8,0
Materia orgánica total (%)	Mayor de 5	4-5	3-4	Menor de 3
Textura	F o FAr	FArL-ArA	Ar-ArL	A
Pendiente (%)	Menor de 25	25-50	50-75	Mayor de 75
P ₂ O ₅ (kg/ha)	Mayor de 69	69-57	57-46	Menor de 46
K (meq/100 g)	Mayor de 0,3			Menor de 0,15
Ca (meq/100 g)	3,5-4,0	4-8	8-12	Menor de 2 y mayor de 12
Mg (meq/100 g)	1,0-1,5			Menor de 1
Ca/Mg (meq/100 g)	3:1			Mayor de 3:1

Fuente: Elaboración propia a partir de Alvim (1987), García, Romero y Ortiz (2007) y Corpoica y Fedecacao (2003)

Capítulo V

Manejo del recurso suelo

El manejo del recurso suelo para el cultivo de cacao requiere, especialmente a la hora del establecimiento del cultivo, de prácticas referidas al drenaje, al abonado y al mantenimiento de la cobertura en el lote.

Asimismo, en la fase de vivero, si bien se utiliza el suelo como componente de los sustratos, su manejo toma relevancia por la necesidad de indagar por materiales que lo sustituyan, considerando que el suelo fue declarado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) como recurso no renovable.

Sustratos en vivero para un cultivo de cacao

El efecto del sustrato sobre el crecimiento de las plántulas de cacao es evidente, y por esta razón existen métodos para su realización. Asimismo, en el sistema de producción del cacao, se genera un gran volumen de residuos que generalmente quedan acumulados en el cultivo (cáscaras, el exudado de la pulpa hidrolizada, hojas y otros materiales orgánicos producto de las actividades en la finca), por lo que se cuenta con materia prima suficiente para la elaboración de los sustratos.

En una finca en Yaguará (Huila), Ortiz y Álvarez (2015) recogieron tres toneladas de cáscara de cacao (peso fresco) y 60 litros de exudado provenientes de 5.400 mazorcas cosechadas en cinco meses, lo que evidencia el potencial de los subproductos, que, en vez de generar problemas ambientales, son utilizables para elaborar el sustrato en vivero.

En cuanto a sustratos orgánicos, se pudo comprobar que sembrar en un sustrato compuesto por un 30 % de bokashi, un 30 % de humus de lombriz, un 20 % de tierra negra, un 10 % de aserrín de balsa y un 10 % de tamo de arroz quemado produce un 100 % de germinación; además, las plantas producidas en este sustrato son de mayor altura, tienen un diámetro del tallo mayor y presentan

más hojas y una mejor longitud radicular. Sin embargo, en cuanto a los costos, este sustrato puede ser un poco caro, por lo que la utilización de un 75 % de tierra negra y un 25 % de cascarilla de arroz produce mayor rentabilidad y buenos resultados (Llerena, Bermeo, & Plaza, 2017).

El sustrato más adecuado para la propagación de patrones es el que contiene una proporción 3:1:1, es decir, tres partes de tierra cernida, una parte de materia orgánica (lombricompuesto, gallinaza compostada o cualquier material orgánico que haya pasado por un proceso de fermentación aeróbica) y una parte de arena de río o cascarilla de arroz quemada. Este sustrato se puede enriquecer con la adición de microorganismos, como micorrizas, *Rhizobium* y *Trichoderma* sp. (Ramírez, 2006).

Para evitar la permanencia de hongos, nematodos, arvenses y otros patógenos, a la parte de tierra cernida se le puede realizar un tratamiento de solarización, que consiste en extender una capa de entre 20 y 30 cm de suelo húmedo, cubrirlo con plástico negro calibre 6 por 30-45 días y luego mezclarlo con los otros componentes del sustrato (Ramírez, 2006).

En cuanto a los contenedores de las plántulas, su tamaño afecta tanto el crecimiento de estas como las características físicas del sustrato. Así, por ejemplo, los más grandes ($0,1 \text{ m}^3$) permiten un mayor contenido de biomasa total y una mayor longitud en las raíces; asimismo, en estos contenedores el sustrato presenta menor resistencia a la penetración y menor temperatura. Igualmente, en un contenedor de $0,02 \text{ m}^3$ (con 45 cm altura), las plantas pueden permanecer 180 días en vivero (Osorio, Leiva, & Ramírez, 2017).

Características físicas del sustrato

Las propiedades físicas más importantes en los sustratos son el espacio poroso, la capacidad de aireación, la capacidad de retención de agua, la densidad aparente y la densidad real (Cruz-Crespo et al., 2010).

Según la FAO (2002) y Martínez y Roca (2011), un sustrato ideal cuenta con las características consignadas en la tabla 8.

Tabla 8. Niveles óptimos en las propiedades físicas y fisicoquímicas de un sustrato

Parámetro	Unidad	Valor
Tamaño de partícula	mm	0,25-2,50
Densidad aparente	g/m ³	Menor de 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	%	4-10
Capacidad de retención de agua	ml/L de sustrato	600-1000
	%	55-70

Fuente: Elaboración propia a partir de FAO (2002) y Martínez y Roca (2011)

La densidad aparente, definida como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo, es decir, incluyendo el espacio poroso entre partículas, es una de las propiedades más importantes de los sustratos, depende del grado de compactación y del tamaño de la partícula y se calcula de la siguiente manera:

$$\rho = m/v$$

donde ρ = densidad aparente; m = masa en gramos, y v = volumen en centímetros cúbicos.

El viverista puede calcular esta propiedad si conoce el peso del sustrato y el volumen del recipiente utilizado; de esta manera, se puede acercar al sustrato óptimo en cuanto a la densidad y puede manejar diferentes proporciones de los materiales para hacerlo.

Características biológicas del sustrato

Las propiedades biológicas de los sustratos son importantes dado que estos son fácilmente susceptibles a la descomposición, incluso antes de ser utilizados, y conviene determinar las características de población microbiana.

La evolución del CO₂ puede indicar la velocidad de descomposición del sustrato y establecer su calidad en cuanto a las propiedades físicas, por lo que es necesario tener en cuenta dos aspectos: la velocidad de la descomposición y los efectos de los productos de la descomposición. En cuanto al primer aspecto, todo material orgánico tiene una degradación biológica, que se realiza por intermedio de la población microbiana y hace que el sustrato pierda volumen (Román, Martínez, & Pantoja, 2013), además de que induce deficiencias de oxígeno y nitrógeno y la liberación de sustancias fitotóxicas.

Con respecto al segundo aspecto, los productos finales de la descomposición de la lignina, convertidos en ácidos húmicos y fúlvicos, son sustancias favorables, pues actúan como nutrientes, lo que genera un ahorro en fertilizantes (Román et al., 2013).

El recurso suelo

Cuando se podan los árboles que producen sombra y se dejan los residuos en el suelo, estos se descomponen y generan materia orgánica, lo que ayuda a que haya nutrientes disponibles para las plantas de cacao (LWR, 2013).

La materia orgánica es la única fuente de nitrógeno natural, se forma con materiales de plantas y animales en descomposición y, por la acción de los microorganismos, se transforma en humus. Además, la materia orgánica aporta beneficios a las propiedades físicas del suelo, como mejorar su aireación y la penetración del agua, retener mejor el agua y resistir el lavado del suelo, o erosión. Otro beneficio de la materia orgánica es el aumento de la actividad biológica del suelo, que es la que en realidad descompone las hojas y el material orgánico. De esta forma, hay más nutrientes almacenados en los cacaotales asociados con árboles que en aquellos que no lo están (LWR, 2013).

Capítulo VI

Sistemas de siembra

La instalación de un sistema productivo de cacao que genere buenos resultados requiere la combinación de varios factores: por un lado, brindarle las condiciones de clima y suelo óptimas para su desarrollo, y por otro lado, la implementación de todas las prácticas agronómicas que permitan la expresión de todo su potencial de rendimiento, lo que incluye la selección del lote, la preparación del suelo, la definición de las distancias de siembra, la selección de los clones y de las plantas acompañantes y las labores de podas, fertilización, manejo de arvenses y fitosanitarias para el mantenimiento del sistema.

Establecimiento del sistema productivo

Para establecer el sistema de producción se deben tener en cuenta las exigencias edafoclimáticas descritas en el capítulo IV. En resumen, se estima que los promedios anuales ideales de dichos factores son: temperaturas entre 24 y 28 °C, humedad relativa mayor al 60 %, vientos cuya velocidad no supere los 4 m/s (Proamazonía, 2003) y precipitación entre 1.600 y 2.800 mm/año. En zonas de menor precipitación, como en el departamento del Huila, es posible establecer el sistema productivo siempre y cuando se complemente con un sistema de riego. Asimismo, cuando la zona seleccionada presenta valores de temperatura superiores, se puede cultivar el cacao con cobertura de especies forestales que permitan regular la entrada directa de los rayos solares a las plantas, pues estos podrían ocasionar daños al tallo y a los órganos reproductivos de estas (cojines florales). Sin embargo, cuando la zona seleccionada muestra valores de temperatura inferiores a los rangos mencionados, se considera como no apta, y, por tanto, no se recomienda cultivar cacao, dado que probablemente se prolongaría la duración de las etapas fenológicas o de desarrollo del cultivo, y esto daría oportunidad a la presencia de problemas sanitarios, especialmente a los ocasionados por hongos, lo que afectaría negativamente el rendimiento (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).

En el departamento del Huila, para el caso de los agricultores que no posean ningún sistema de riego, se recomienda establecer el sistema de producción al inicio del periodo de lluvias, es decir, entre marzo y abril o entre septiembre y octubre, mientras que aquellos que sí cuenten con este sistema en sus predios lo pueden hacer en la época que deseen, ojalá siempre siguiendo los lineamientos expuestos en este modelo y bajo la asesoría de un asistente técnico con experiencia en el cultivo del cacao.

Cuando se habla de *sistema productivo de cacao*, se entiende como la asociación de varias especies en un mismo espacio, de forma intercalada, sucesiva o escalonada y temporal, y siempre con el cacao como especie principal; así, este cultivo se constituye como un verdadero sistema agroforestal (SAF) (Fedecacao, 2015).

En este SAF tienen cabida las especies de ciclo corto y porte bajo, como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el maíz (*Zea mays* L.), el frijol mungo (*Vigna radiata* [L.] Wilczek), el maní (*Arachis hypogaea*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), el melón (*Cucumis melo*), la patilla o sandía (*Citrullus lanatus*) y la ahuyama (*Cucurbita maxima*), entre otras; las de ciclo medio y porte mediano, como el plátano (*Musa paradisiaca*), la yuca (*Manihot esculenta*), la papaya (*Carica papaya*) y la higuera (*Ricinus communis*), entre otras, y las de ciclo largo, como el mismo cacao, árboles forestales de madera fina de porte alto, así como algunos frutales y el caucho (*Hevea brasiliensis* M.) (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).

El establecimiento propiamente dicho del sistema productivo requiere la implementación de una serie de actividades secuenciales, de tal forma que se garantice la aplicación de prácticas agronómicas que causen el menor impacto ambiental y la viabilidad económica para el productor; esta fase puede durar entre uno y dos años y comprende las siguientes actividades (Fedecacao, 2015).

Selección del lote

El lote escogido para establecer el sistema productivo debe poseer las condiciones físicas y químicas mínimas del suelo, que permitan un buen anclaje y el desarrollo normal de las raíces de las plantas; para conocer estas características, se sugiere realizar un análisis físico en el lote y otro químico, que se realiza a través de una muestra que se envía a laboratorio.

Para conocer las características físicas del suelo —profundidad, estructura, horizontes y sus dimensiones, nivel superior del agua en el perfil del suelo (nivel freático) y capas endurecidas producidas por arcillas de color gris, azul, verde o amarillo oscuro que puedan obstaculizar el desarrollo de las raíces—, es recomendable elaborar calicatas, es decir, hoyos de $1 \times 1 \times 1$ m como mínimo (figura 20). El número de calicatas que se debe abrir en el lote depende principalmente del tamaño y el relieve: entre más extenso sea el terreno, se necesita un mayor número de calicatas, y lo mismo ocurre con el relieve: entre más variación del relieve se presente, se necesitan más calicatas. De forma general, para una hectárea, se recomienda hacer mínimo cuatro calicatas (Mejía & Palencia, 2000). Finalmente, si el lote seleccionado no cumple con las exigencias físicas mínimas, es mejor no utilizarlo (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).



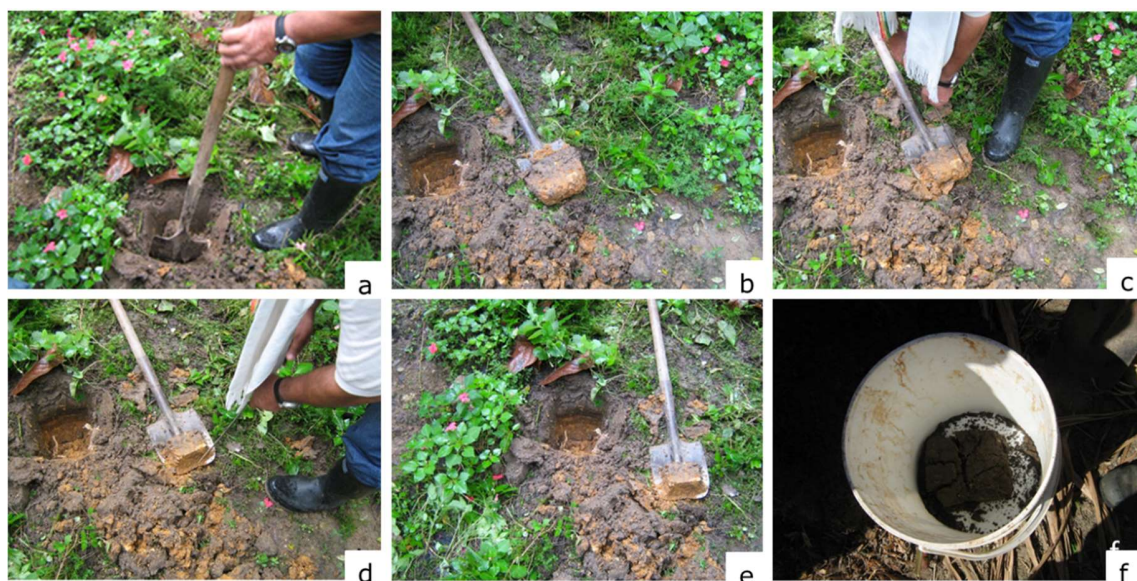
Fotos: Luis Enrique
Ramírez Chamorro

Figura 20. Identificación de las características del suelo. a. Elaboración de la calicata; b. Calicata de $1 \times 1 \times 1$ m; c. Análisis de las características físicas de la calicata.

Con el fin de determinar su fertilidad, se debe tomar una muestra de suelo para hacer un análisis químico. El análisis de fertilidad completo incluye los contenidos de nutrientes en términos de elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros), secundarios (calcio, azufre y magnesio, entre otros) y menores (boro, zinc, hierro, manganeso, cobre y molibdeno, entre otros) (Mejía & Argüello, 2000). El cadmio merece un estudio especial teniendo en cuenta que el contenido máximo permisible en cacao y chocolate fue modificado por la Unión Europea en 2018.

Dicha muestra de suelo se envía a un laboratorio, donde, además, también se determinan los contenidos de materia orgánica y acidez (pH), la cantidad de bases y aluminio y la textura.

Como se muestra en la figura 21, para recolectar una muestra de suelo de aproximadamente un kilogramo, se toman en diferente sitios, con una pala o un palín limpios y desinfectados, cuatro o más submuestras obtenidas de los primeros 20-40 cm de profundidad; después, se depositan las submuestras en un balde plástico preferiblemente blanco y completamente limpio, donde son mezcladas y homogeneizadas manualmente, para luego poner a secar toda la muestra en un lugar fresco y a la sombra por 24-48 horas; a continuación, se toma el kilo de suelo y se empaca en una bolsa plástica limpia y en una bolsa de cierre hermético para ser llevado al laboratorio (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 21. Secuencia para la toma de una submuestra de suelo para análisis químico. a. Realizar un hoyo de 20 x 20 x 20 cm; b. Tomar una muestra de la pared del hoyo; c y d. Retirar los bordes de la muestra; e y f. Poner la muestra en un balde limpio y homogeneizarla con otras muestras tomadas del lote.

Pedraza y Pichimata (2013) aconsejan identificar la bolsa con los siguientes datos: departamento, municipio, vereda y finca de procedencia de la muestra, nombre del dueño del predio, profundidad a la que se tomó la muestra (en centímetros) y altura de la finca (m.s. n. m.); además, se aconseja indicar si se requiere recomendación de fertilización, el cultivo para el cual se requiere la recomendación, si el cultivo está establecido o no, la edad del cultivo (si está establecido), la topografía (plana, ondulada o pendiente), la calidad del drenaje de la finca (bueno, regular o malo), el tipo de riego, si se tiene (por aspersión, goteo, manguera, inundación, etc.), los fertilizantes que se han aplicado recientemente al suelo y, por último, cómo se considera la producción del cultivo (buena, regular o mala) (figura 22).



Foto: Diego Alberto Navarro Niño

Figura 22. Bolsa para empacar la muestra de suelo con destino al laboratorio para análisis químico.

Los resultados de dicho análisis proporcionan la información suficiente para establecer un plan de fertilización acorde con las necesidades del cultivo y también para efectuar correcciones de acidez, en caso de que sean necesarias. Nuevamente, lo más conveniente es asesorarse de un ingeniero agrónomo con experticia en el cultivo.

Adecuación del lote

La procedencia de los lotes para establecer un sistema productivo de cacao exitoso hace que las labores de adecuación y preparación sean diferentes. Los cultivos de cacao pueden establecerse en bosques primarios, aunque generalmente provienen de bosques secundarios en diferentes estados de sucesión: plantaciones tradicionales permanentes o semipermanentes, rastrojos con especies de porte alto o mediano, potreros (praderas o pastizales), cultivos transitorios o cultivos de café o cacao viejos e improductivos de zonas muy marginales (Fedecacao, 2015).

En cuanto a los bosques primarios, la sugerencia es no intervenir esta clase de sistema, dado el impacto ambiental negativo que esto puede ocasionar; sin embargo, si no existe otra opción, lo primero que debe hacer el agricultor es solicitar, ante la autoridad ambiental del departamento —la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), en este caso—, el permiso correspondiente para intervenirlo; luego, se debe realizar el diseño y la demarcación del cultivo y se deben eliminar aquellos árboles que obstaculicen su instalación. Si el material vegetal cortado no va a ser utilizado doméstica o comercialmente, lo mejor es apartar las partes más gruesas y dejar en descomposición el resto dentro del lote, lo cual le genera beneficios al suelo y, por consiguiente, a la nueva plantación. La ventaja que presenta establecer el cultivo en bosques primarios es que no hay necesidad de plantar los árboles que acompañarán el SAF (Fedecacao, 2015).

Con respecto a los bosques secundarios, cuando el lote proviene de cultivos semipermanentes —como el plátano (*M. paradisiaca*) o algún frutal, como la papaya (*C. papaya*)— o de un rastrojo con plantas de porte alto, simplemente se debe limpiar a baja altura utilizando la guadaña o el machete, realizar el trazado para el cultivo del cacao y eliminar aquellas plantas que se interpongan en él; las plantas que queden les sirven de sombra a las plántulas de cacao en los primeros tres años de vida, mientras alcanzan su pleno desarrollo; en este caso, de igual manera, las plantas eliminadas se dejan en el campo para que se descompongan y le aporten materia orgánica al suelo (Fedecacao, 2015). Asimismo, cuando el cultivo procede de rastrojos de porte bajo o potreros, se

sugiere hacer una limpieza a baja altura de las especies vegetales presentes, utilizando machete o guadaña, dejar secar y, nuevamente, apartar del lote el material vegetal más grueso, para dejarlo listo para el trazado.

Si procede de un cafetal, lo recomendable es diseñar el sistema y soquear aquellos surcos que obstaculicen el trazo, según las distancias de siembra definidas, tanto para los sombríos como para el cacao (Fedecacao, 2015).

En caso de que en el lote seleccionado esté establecido un cacaotal viejo, la acción resultante se denomina *renovación de la plantación*, y puede realizarse de varias formas: mediante renovación de copa por chupón basal; por medio del injerto lateral o malayo, o eliminando toda la plantación vieja y reemplazándola con nuevos clones, ya sea traídos de un vivero o injertando los patrones en campo (Fedecacao, 2015; Mejía, Palencia, & Ramírez, 2003).

Además, sería conveniente plantar manualmente algunas especies vegetales de ciclo de vida corto, tales como frijol (*P. vulgaris* L.), tomate (*S. lycopersicum*), maíz (*Z. mays* L.) o pimentón (*Capsicum annuum*), entre otros, mientras se desarrollan los sombríos temporales y permanentes y se trasplantan los clones de cacao. Si el relieve lo permite, se puede utilizar maquinaria agrícola para facilitar estas labores (Ministerio de Agricultura del Perú, 2004).

Trazado del lote

Según Mejía y Argüello (2000), la distancia recomendada para establecer el cacao y la especie temporal es de tres metros por tres metros (3 × 3 m) entre plantas y surcos, respectivamente, ya sea en cuadro o en triángulo (tresbolillo) (tabla 9).

Antes de proceder al trazado del lote, se deben tener definidas las especies de alto valor productivo (también denominadas *sombrío*), tanto temporales como permanentes, que van a servir de cultivos acompañantes del cacao en el SAF. Usualmente, como sombrío temporal productivo, se usa el plátano (*M. paradisiaca*), pero pueden seleccionarse otras especies, de acuerdo con el gusto del agricultor, el valor alimenticio, la adaptación al medio ambiente y las

oportunidades de comercialización, entre otros aspectos; como ejemplo, se mencionan las diferentes especies de musáceas (plátano hartón, dominico-hartón, banano o cachaco [*M. paradisiaca*]), la papaya (*C. papaya*), la higuera (*R. communis*) o el matarratón (*Gliricidia sepium*).

Igualmente, se aconseja escoger la especie permanente de porte alto que va a acompañar al cacao durante todo el ciclo de vida teniendo en cuenta, además de los criterios anteriores, la visión empresarial del cacaocultor, que le puede asegurar un buen futuro económico a mediano y largo plazo. Entre estas especies, para el departamento del Huila, se mencionan algunos árboles de maderas finas, como el cedro (*Cedrela odorata* M. J. Roem), el nogal cafetero (*Cordia alliodora* [R. & P.]), el guayacán (*Tabebuia guayacan* [Seem.] Hemsl.) o el caoba (*Swietenia macrophylla* K.); e industriales, como el caucho (*H. brasiliensis* M.) y el tambor frijolito (*Schizolobium Parahyba* V.), que es un árbol de rápido crecimiento y con madera ligera de múltiples usos en carpintería y sistemas agroforestales, entre ellos, como sombrío ligero y para la conservación y mejoramiento del suelo, por la fijación de nitrógeno que realiza (Ospina, Posada, Gil, & Castro, 2003).

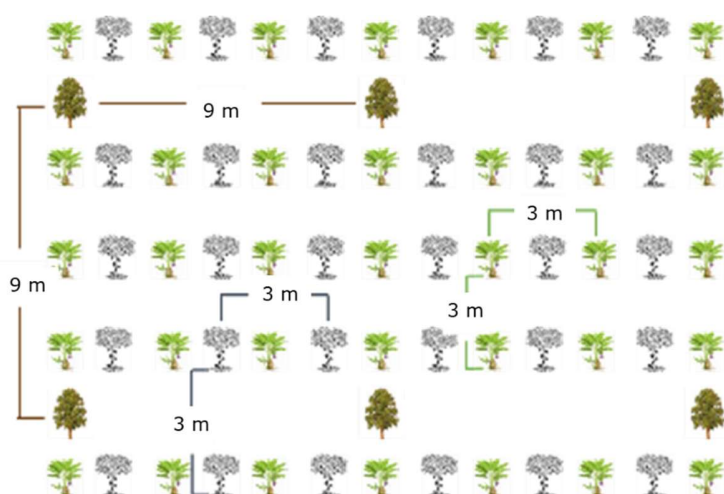
A las plantas definidas como sombrío debe aplicárseles la oferta tecnológica disponible, con el fin de alcanzar los objetivos deseados, y deben estar establecidas en el lote, como mínimo, ocho meses antes que el cacao (Palencia, Gómez, Martín, & Guiza, 2006).

Una vez disponible el lote y definidos los sombríos, se inicia el trazado contemplando las distancias de siembra estipuladas para cada una de las especies. En la tabla 9 se indican las densidades recomendadas para el cacao y el sombrío temporal y se sugieren algunas para los sombríos permanentes; en este caso, la distancia seleccionada depende, entre otras razones, de las condiciones climáticas de la zona, el porte del árbol, el diámetro de la copa y el manejo agronómico que se vaya a aplicar, como se observa en el ejemplo de arreglo de un saf con cacao en la figura 23.

Tabla 9. Distancias de siembra, sistemas de trazado para la producción de cacao y densidades de población

Distancia de siembra (metros)	Sistema de trazado	Especie	Densidad de población (plantas/ha)
3 x 3	En cuadro	Temporal	1.112
3 x 3	En tresbolillo o triángulo	Temporal	1.280
6 x 6	En cuadro	Permanente	277
6 x 9	En rectángulo	Permanente	185
6 x 12	En rectángulo	Permanente	138
6 x 15	En rectángulo	Permanente	111
6 x 18	En rectángulo	Permanente	93
9 x 9	En cuadro	Permanente	124
9 x 12	En rectángulo	Permanente	93
9 x 15	En rectángulo	Permanente	74
12 x 12	En cuadro	Permanente	70
12 x 15	En rectángulo	Permanente	56

Fuente: Elaboración propia



 Clon de cacao establecido a una distancia de 3 x 3 m entre Surcos y entre plantas

 Especie temporal (plátano) establecida a una distancia de 3 x 3 m entre surcos y entre plantas

 Árbol forestal de madera fina establecida a una distancia de 9 x 9 m entre Surcos y entre plantas

Figura 23. Arreglo de un sistema agroforestal con cacao.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente fórmula determina el número de plantas por superficie que se puede plantar a tresbolillo o triángulo:

$$n = (\text{área} / d \times d) \times 1,154$$

Donde: n = número de plantas a establecer; área = el lote en metros cuadrados; d = distancia entre plantas en metros.

La siguiente fórmula, por su parte, determina el número de plantas por superficie que se puede plantar en cuadro o rectángulo:

$$n = \text{área} / (M \times m)$$

Donde: n = número de plantas a establecer; área = el lote en metros cuadrados; M = distancia entre filas o surcos de plantas en metros; m = distancia entre plantas en metros.

El primer paso a seguir es la alineación del lote; posteriormente, viene el trazado de los cultivos permanentes: de acuerdo con la especie, se escoge la distancia de siembra utilizando una cinta métrica de 30 m y una cuerda larga; cada sitio de siembra identificado se marca con una estaca que se entierra en el centro; luego, usando las mismas herramientas, más una vara recta de 3 m de longitud, se procede al trazado del sombrío temporal y del cacao, también marcando los sitios para la respectiva preparación (figura 24).



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 24. Trazado del lote por el método de triángulo o tresbolillo en terreno pendiente con varas de tres metros. a. Nivelación de la vara utilizada como uno de los lados del triángulo; b. Ubicación de las varas que conforman el triángulo para iniciar su nivelación con el nivel de burbuja.

Preparación del suelo (ahoyado)

En los sitios marcados con estacas, se cavan hoyos con un largo, ancho y profundidad de mínimo 40 cm. Cuando el suelo lo permite, simplemente se repica alrededor de la estaca un círculo de 50-60 cm de diámetro y con 40-60 cm de profundidad, usando como herramientas el palín o el barretón (Palencia & Mejía, 2004); en este caso, no hay necesidad de sacar el suelo del hoyo, y por lo tanto se evita su pérdida por efecto de la acción del viento o la lluvia (figura 25).



Fotos: Luis Enrique Ramírez
Chamorro

Figura 25. Elaboración de hoyos para el establecimiento del sistema productivo del cacao. a. Elaboración del hoyo utilizando el barretón y colocando la tierra en la parte superior; b. Hoyo de 40 x 40 x 40 cm.

Para evitar problemas sanitarios en la etapa del establecimiento de la plantación, se recomienda la desinfección de los huecos; para ello, en el mercado existe una variedad de productos de origen orgánico o químico que pueden ser utilizados para este fin. Generalmente, se utiliza oxiclورو de cobre en dosis de 100 g por bomba de espalda de 20 L, y su forma de aplicación es con aspersión en las paredes y el fondo del hoyo; también es muy importante agregar materia orgánica al inicio del cultivo y durante todo el tiempo de explotación del sistema, con el propósito de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Las dosis se deben aplicar de acuerdo con las recomendaciones emitidas en los resultados del análisis del suelo; sin embargo, cuando no se tienen dichos resultados, para suelos cacaoteros ácidos, es favorable adicionar al hueco un kilo de materia orgánica compostada mezclada con 200 g de cal dolomita y suelo 20 o 30 días antes de la siembra de los sombríos y el cacao, de tal manera que se facilite la permeabilidad, aireación y penetración de las raíces. Nuevamente, es prudente contar con la asesoría de un ingeniero agrónomo experto en el manejo del cultivo para la realización de estas y todas las prácticas agronómicas para el manejo del sistema.

Instalación de las especies acompañantes del cacao (sombríos)

Una vez terminada la preparación del suelo, se instalan los sombríos productivos temporales y permanentes seleccionados; las plantas se ubican en el centro del hoyo y se va agregando y apisonando la mezcla de suelo preparada hasta llegar a la superficie del terreno; el cuello de la raíz de las plantas debe quedar a nivel de la superficie del suelo y se debe formar a su alrededor un montículo de tierra, con el objeto de prevenir el encharcamiento y, por ende, problemas sanitarios (figura 26).

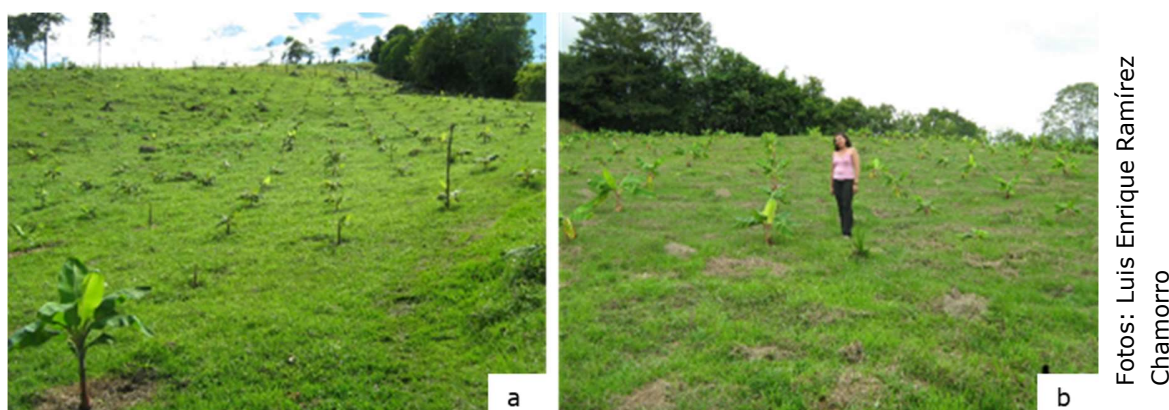


Figura 26. Establecimiento del cultivo de cacao. a. Siembra de plátano como especie temporal; b. Siembra a tresbolillo en terreno pendiente.

Pasados ocho meses de la instalación de los sombríos, es el momento de plantar los clones de cacao recomendados para la zona agroecológica en cuestión, en los lugares dispuestos según el diseño de siembra, labor para la cual se emplea la misma técnica referida anteriormente (figura 27).



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 27. Secuencia de la ubicación del clon de cacao en el sitio definitivo. a. Preparación del clon para ubicarlo en el hoyo; b. Ubicación del clon en el centro del hoyo y llenado del hueco con el azadón; c. Arrastre de suelo con el palín y relleno manual del hoyo; d. Aporque manual de la tierra alrededor de la plántula establecida; e. Ampliación del área lateral del hoyo (terracería) con el azadón; f. Clon de cacao debidamente establecido.

Modelos de establecimiento de los clones de cacao

En el año 2009, Corpoica (ahora AGROSAVIA) y Fedecacao, auspiciados por el MADR, desarrollaron el proyecto "Continuación de la evaluación de materiales de cacao y algunos clones universales ya establecidos por Fedecacao y Corpoica en el país". El resultado fue la construcción de la matriz de compatibilidad sexual, junto con algunos modelos de siembra, con los 21 materiales (universales y regionales) más utilizados en Colombia por sus características específicas de calidad de grano, reacción a monilia (*Moniliophthora roreri*), porte o tamaño del árbol y producción (Aranzazu, Martínez, Rincón-Guarín, & Palencia, 2009).

Dichas características permitirán aplicar con mayor precisión un manejo tecnológico al sistema productivo y establecer modelos productivos de acuerdo con las condiciones ambientales de la zona y las necesidades del productor (tabla 10).

Tabla 10. Indicadores sobre los clones de cacao regionales y universales más utilizados en Colombia para establecer modelos de siembra

Tamaño del grano	
Grande ($\geq 1,7$ g)	ICS 1, ICS 6, ICS 39, ICS 40, ICS 60, EET 8, MON 1, SC 6 y SCC 61
Mediano (1,4-1,6 g)	CCN 51, UF 613, FLE 2, FLE 3, CAP 34, FTA 2 Y EET 96
Pequeño (1,2-1,3 g)	TSH 565, TSH 812, IMC 67, ICS 95, CAU 37, CAU 39, CAU 43, FTA 1, FSA 11, FSA 12, FSA 13 y FEAR 5
Porte o tamaño del árbol	
Grande	ICS 1, ICS 6, ICS 39, ICS 60, ICS 95, UF 613, EET 8, SCC 61 y CAP 34
Mediano	TSH 792, CAU 37, CAU 39, CAU 43, IMC 67, CCN 51, MON 1, FLE 2, FLE 3, FSA 12, FSA 13 y FTA 1
Pequeño	TSH 565, TSH 812 Y EET 96
Incidencia de monilia (<i>M. roreri</i>)	
Baja	ICS 95, CCN 51, CAU 37, CAU 39, CAU 43, FSA 12 y FLE 2
Media	IMC 67, ICS 6, TSH 792, TSH 812, SCC 61, FTA 1, FTA 2, FLE 3, FSA 11, FSA 13 y EET 96
Alta	ICS 1, ICS 39, ICS 60, MON 1, TSH 565, FEAR 5, EET 8, UF 613 y CAP 34

Fuente: Aranzazu, Martínez, Rincón-Guarín y Palencia (2009)

La matriz de compatibilidad resultante del proyecto (figura 28) muestra los diferentes grados de afinidad sexual de los materiales de cacao, a través de casillas de varios colores, cuya interpretación puede hacerse de la siguiente manera: en la línea diagonal de izquierda a derecha aparecen unas celdas de color azul y amarillo que denotan con números los diversos grados de autocompatibilidad (AC). Los grados de AC de los materiales, en su orden, son: ICS 1: 96 %; ICS 95: 86 %; EET 96: 70 %; CCN 51: 63 %; TSH 812: 60 %; ICS 6: 60 %; FTA 2: 55 %, y Fear: 50 %.

Clon	1	6	39	60	95	565	792	812	8	96	51	67	2	3	61	39	43	34	6	1	613
ICS	1	95					★								★						
	6		50						★				★	★			★		★		
	39			3				★													
	60				3			★													
	95					★								★						★	
TSH	565		★	★	★	★	3		★	★		★								★	
	792							0								★					
	812		★						60	★			★		★						
EET	8		★			★	★			25						★					
	96		★			★					70	★	★	★	★		★		★		
CCN	51		★	★	★		★					63	★	★		★	★		★		
IMC	67	★		★	★	★	★	★					0	★							★
FLE	2					★	★	★		★	★			15			★				★
	3		★	★	★	★	★	★	★	★					3						
SCC	61	★					★	★		★						3					
CAU	39			★			★	★	★			★					0		★		
	43		★	★					★							★	20				
CAP	34						★											0			
SC	6		★				★	★		★			★	★			★		13		
MON	1						★													0	
UF	613						★		★												0

Intercompatible (≥ 30 %)

Autocompatible (≥ 30 %)

Interincompatible (< 30 %)

★ Intercompatible (≥ 70 %)

Autoincompatible (< 70 %)

Figura 28. Matriz de compatibilidad de los clones de cacao más usados en Colombia.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

El color verde identifica el grado de intercompatibilidad (IC) de los materiales, y la estrella blanca en el centro de las celdas representa un grado de afinidad sexual igual o superior al 70 %. El color rojo, por su parte, significa que los materiales de cacao son interincompatibles (II), y, por lo tanto, se recomienda no establecerlos seguidos unos de otros, dado que pueden verse afectados en su rendimiento.

Los resultados obtenidos en el estudio permitieron plantear algunas recomendaciones para la instalación de modelos teniendo en cuenta la compatibilidad y las particularidades de cada uno de los materiales en cuanto a productividad, calidad de grano, tolerancia a monilia (*M. rozeri*) y otras enfermedades, tamaño del árbol y AC, las cuales conducirán a mejorar la competitividad del sistema productivo. De igual forma, se puede usar la matriz en el caso de que se quiera realizar un proceso de rehabilitación o renovación de las plantaciones (Aranzazu et al., 2009).

Según Aranzazu et al. (2009), es necesario efectuar algunas aclaraciones y sugerencias al respecto:

- Los modelos productivos, teniendo en cuenta la incidencia de monilia (*M. rozeri*), proponen el uso de materiales con alta tolerancia, como el ICS 95 y el CCN 51, en detrimento de la calidad organoléptica.
- Sin embargo, los modelos se diseñaron según las características particulares enunciadas anteriormente, y en la mayoría de ellos se excluyó el CCN 51, dados los cuestionamientos por su baja calidad organoléptica.
- El área para cada modelo debe dividirse por calles y permitir la identificación de los materiales, especialmente del CCN 51.
- Los modelos constituidos con el clon CCN 51 deben ser identificados totalmente y alinearse en 4 o 6 surcos contiguos.
- La distancia de siembra puede ser de 3 x 3 m separados de otros clones por una calle de 4 m en surco sencillo o doble y preferiblemente en zonas planas; no obstante, se puede seguir usando 3 x 3 m también con respecto a otros clones.
- Los modelos diseñados únicamente con clones AC pueden tener de 4 a 6 surcos por material, si así se requiere y el tamaño del lote lo permite.
- La matriz de compatibilidad sexual les brinda a los productores y técnicos la posibilidad de construir los modelos que más se adapten a la zona y que respondan a sus expectativas por medio de la selección de los cruces de materiales identificados en las casillas verdes.
- La secuencia de los materiales se puede repetir cuantas veces se quiera o requiera, siempre utilizando como referencia la matriz de compatibilidad sexual.
- Los modelos propuestos contemplan la instalación de 4, 3 o 2 materiales, y cada uno de ellos está diseñado para que se pueda repetir la misma secuencia y orden de los materiales las veces que se quiera o permita el lote.

Las figuras 29-33 muestran los modelos aplicables para las zonas cacaoteras del departamento del Huila.

Modelo				Porcentaje de Intercompatibilidad del Modelo
 ICS 1	 MON 1	 ICS 1	 ICS 39	61
 ICS 1	 ICS 39	 ICS 6	 EET 8	59
 ICS 1	 EET 8	 ICS 1	 ICS 39	59
 EET 8	 ICS 1	 ICS 60		53
 ICS 60	 ICS 1	 ICS 39		52
 EET 8	 ICS 1	 ICS 39		59

Figura 29. Modelos para lograr rendimiento y calidad altos por tamaño de grano.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

Modelo				Porcentaje de Intercompatibilidad del Modelo
 CCN 51	 FLE 3	 TSH 565	 FLE 2	66
 EET 96	 TSH 565	 CCN 51	 TSH 812	63
 CCN 51	 CAU 39	 IMC 67	 FLE 2	63
 TSH 812	 EET 96	 TSH 565		68
 TSH 812	 EET 96	 FLE 2		84
 FLE 3	 TSH 565	 FLE 2		59

Figura 30. Modelos para lograr un alto rendimiento con clones de porte bajo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

Modelo					Porcentaje de Intercompatibilidad del Modelo
 ICS 1	 ICS 6	 CCN 51	 EET 96	 TSH 812	82
 ICS 1	 ICS 6	 ICS 95	 CCN 51	 EET 96	57
 FTA 2	 ICS 1	 ICS 6	 EET 96		60
 FTA 2	 FEAR 5	 CCN 51			48
 EET 96	 TSH 812				76
 CCN 51	 CCN 51				63

Figura 31. Modelos autocompatibles para lograr un alto rendimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

Modelo	Porcentaje de Intercompatibilidad del Modelo
  CCN 51   CAU 39   IMC 67   FLE 2	63
  FLE 2   CCN 51   CAU 39   ICS 95	63
  CAU 43   CCN 51   CAU 39   ICS 95	55
  CCN 51   IMC 67   CAU 39   ICS 95	59
  FTA 2   CCN 51   FSA 11   ICS 95	44
  ICS 95   FSA 11   CCN 51   FSA 12	57
  CCN 51   FLE 2	78
  CCN 51   CCN 51	63

Figura 32. Modelos con clones para resistencia a monilia y escoba de bruja para alto rendimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

Modelos				Porcentaje de intercompatibilidad
 ICS 95	 EET 8	 TSH 565	 ICS 39	63
 ICS 1	 IMC 67	 TSH 565	 ICS 39	62
 FLE 3	 CCN 51	 TSH 565	 EET 8	79
 TSH 565	 SCC 61	 CCN 51	 FLE 3	63
 FTA 1	 CCN 51	 FEAR 5	 FSA 12	68
 FSA 13	 CAU 39	 TSH 565	 FTA 2	44
 FTA 2	 FEAR 5	 CCN 51	 FSA 13	49
 EET8	 TSH 565	 ICS 39		69
 TSH 565	 FLE 3	 EET 8		65
 FLE 3	 TSH 565	 SCC 61		65
 FLE 3	 ICS 95	 EET 8		65
 FSA 11	 TSH 565	 FEAR 5		58
 FSA 11	 CCN 51	 FSA 13		54
 TSH 565	 EET 8			82
 FLE 3	 EET 8			78
 TSH 565	 SCC 65			78

Figura 33. Modelos para lograr un alto rendimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu et al. (2009)

La correcta identificación y selección de materiales para la instalación de modelos con base en su compatibilidad podría disminuir los costos de producción debido a la menor incidencia de enfermedades y a la disminución en la cantidad de mano de obra para la aplicación de las labores de control.

Por último, a continuación, se brinda una interpretación de los términos utilizados según Aranzazu et al. (2009):

- Compatibilidad sexual: Aceptación del polen con una efectividad de fecundación superior al 30 %.
- Incompatibilidad sexual: Rechazo del polen.
- Índice de grano: Peso promedio en gramos de un grano de cacao seco tomado de una muestra de 100 granos.
- Índice de mazorca: Número de mazorcas maduras requeridas para obtener un kilo de cacao seco.
- CCN 51: Colección Castro Naranjal, Ecuador.
- CAU: Caucasia, Colombia.
- EET: Estación Experimental Tropical Pichilingue, Ecuador.
- FEAR: Federación Arauquita, Colombia.
- FLE: Federación Lebrija, Colombia.
- FSA: Federación Saravena, Colombia.
- FTA: Federación Tame, Colombia.
- ICS: Imperial College Selection, Trinidad.
- IMC: Iquitos Marañón Collection, Perú.
- MON: Monsalve, Colombia.
- SCC: Selección Colombia Corpoica, Colombia.
- TSH: Trinidad Selection Hybrid, Trinidad.
- UF: United Fruit, Costa Rica.

Capítulo VII

Prácticas culturales

Las labores específicas para el manejo del cultivo de cacao, así como las tecnologías e innovaciones para su realización —riego, fertilización y renovación-rehabilitación—, se constituyen en los aspectos más relevantes para este cultivo.

Establecimiento del sistema de riego y manejo del drenaje

La necesidad de agua en la producción de cacao es uno de los temas técnicos menos investigados a nivel mundial. Sin embargo, resulta relevante explorar lo que se sabe del tema hasta hoy, así como las implicaciones prácticas que eventualmente tendrá en los planes nacionales de fomento cacaotero y en la expectativa de incremento de la temperatura en zonas donde está ubicado el modelo productivo.

Los cálculos que se muestran a continuación se han realizado teniendo en cuenta solo el árbol de cacao, pero lo ideal es que las nuevas investigaciones que se adelanten abarquen todo el sistema productivo, que generalmente está conformado por tres especies, como mínimo: el cacao, como eje del sistema; el plátano u otra especie, como cultivo temporal, y la especie forestal, que va a acompañar al cacao durante todo su ciclo de vida.

A la fecha, se reporta que una planta de cacao en edad productiva (≥ 5 años) necesita de 4 a 6 mm de agua por día. Asumiendo un valor medio de 5 mm/día, para que una planta crezca y produzca sin limitaciones de agua, debe recibir al menos 1.825 mm de agua al año (Carr & Lockwood, 2011). El déficit de agua afecta las variables fisiológicas, especialmente la fotosíntesis neta y el crecimiento de las plántulas (García, 2015 García & Moreno, 2016).

Asimismo, M. Silva (2013), teniendo en cuenta el valor medio de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) diaria, que es de 3,5 mm para el periodo estudiado, y un área ocupada por la planta de 9 m², consideró que el consumo diario de agua de un cultivo de cacao es de 31,5 mm. Igualmente, a través de la relación entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y la evapotranspiración del cultivo (ET_c), calculó el coeficiente de cultivo (K_c), que varía entre 0,5 y 1,3.

Estimación de las necesidades de riego

La cantidad de agua de riego necesaria equivale a la cantidad de agua que se evapora por acción del sol, la temperatura y el viento, más la transpirada por el cultivo; por lo tanto, el balance hídrico equivale al resultado de restarle al agua que entra al lote (lluvia + riego) la que se pierde.

El primer paso para estimar las necesidades de riego es conocer la evapotranspiración de referencia (ET_o), que corresponde a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde: a través de la superficie del suelo, por evaporación, y a través de la planta, mediante la transpiración del cultivo.

Una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semiempíricas se han desarrollado utilizando datos meteorológicos para determinar la evapotranspiración del cultivo o el de referencia. Para calcular la ET_o , se recomienda el FAO Penman-Monteith como el método estándar (FAO, 2006). La figura 34 muestra la ET_o para el departamento del Huila siguiendo dicho método, y la tabla 11, por su parte, identifica la ET_o para los municipios más cacaoteros del Huila.

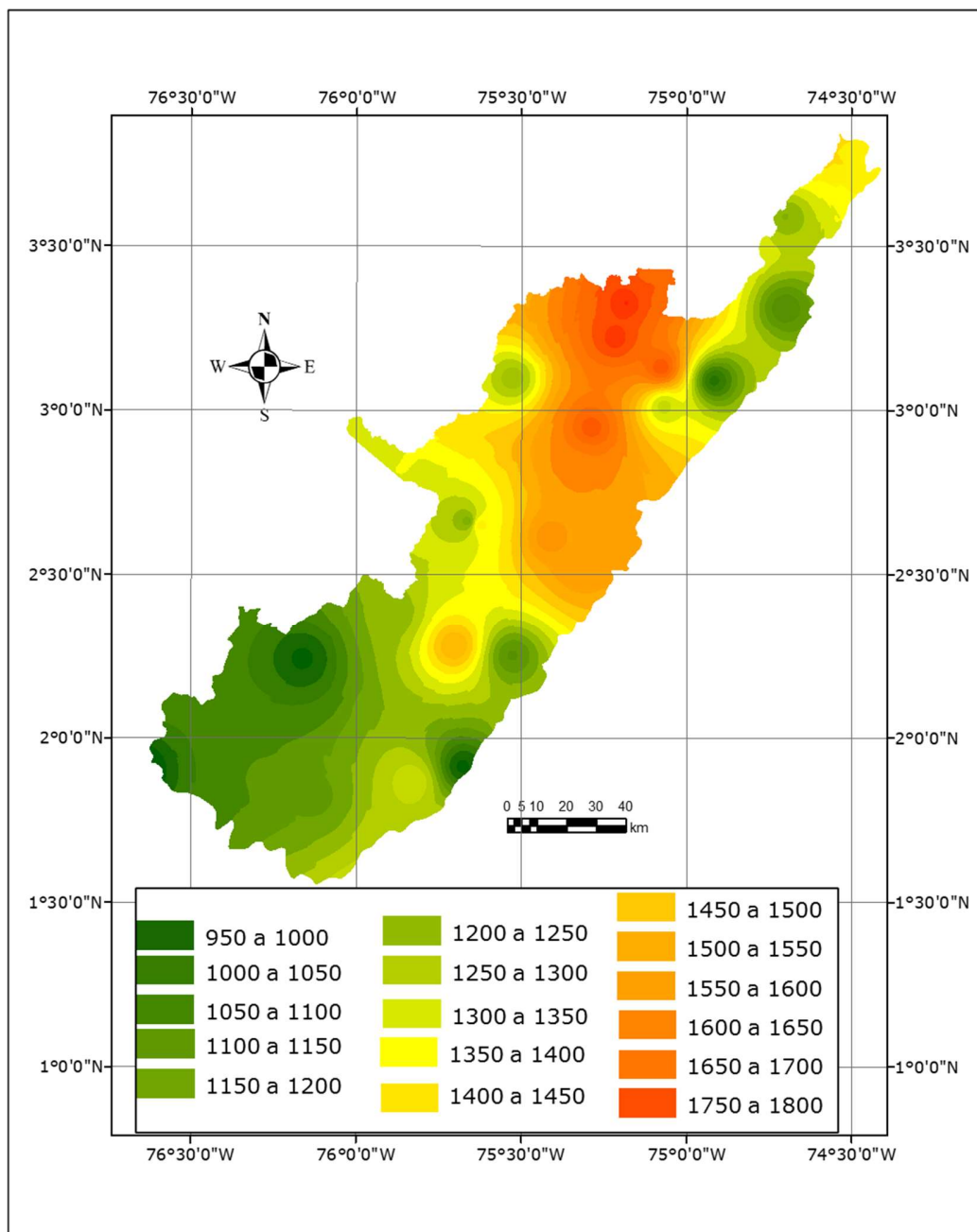


Figura 34. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) en mm/año en el departamento del Huila (mm/año).

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2016)

Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) en los principales municipios cacaoteros del Huila

Municipio	ET_0 (mm/año ⁻¹)	ET_0 (mm/día ⁻¹)
Rivera	1.500-1.600	4
Tello	1.000-1.700	3-5
Neiva	1.400-1.700	4-5
Campoalegre	1.500-1.600	4
Gigante	1.100-1.400	3-4
Algeciras	1.500-1.600	4
La Plata	1.000-1.200	3
Tesalia	1.300-1.400	4
Baraya	1.200-1.700	3-5
Colombia	1.300-1.400	4
El Agrado	1.400-1.500	4
Garzón	1.200-1.300	3-4
Tarqui	1.150-1.350	3
Elías	1.150-1.250	3
Timaná	1.200-1.250	3

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015)

Los valores de máxima evapotranspiración se registran en gran parte de la zona apta para el cultivo de cacao, con valores superiores a los 1.500 mm/año; así, teniendo en cuenta precipitaciones aproximadas de 1.500 a 1.800 mm/año, estas zonas se encuentran expuestas a condiciones de deficiencia hídrica en las épocas secas.

Asimismo, para calcular la ET_0 en las fincas de una forma más simple, pero menos precisa, se pueden emplear tanques evaporímetros tipo A, que miden la cantidad de agua evaporada, y posteriormente, mediante el coeficiente K_c (tabla 12), se calcula la evapotranspiración del cultivo (ET_c), es decir, la cantidad de agua que este pierde efectivamente.

Tabla 12. Valores de evapotranspiración potencial (ET_o), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y K_c para clones de cacao en etapa de producción en Garzón, Huila

Etapa del cultivo (meses)	ET_o (mm/día)	ET_c (mm/día)	K_c
60-72	2,72	2,82	1,04
Mayor de 72	2,65	2,73	1,03

Fuente: Elaboración propia a partir de Barragán, Caicedo, Jaramillo, Rojas y Ramírez (2012)

Los valores aproximados de ET_c medidos equivalen a $< 2 \text{ mm/día}^{-1}$. También se han reportado tasas de ET_c de $3-6 \text{ mm/día}^{-1}$ en la época de lluvias y de $< 2 \text{ mm/día}^{-1}$ en la estación seca. En cuanto a la sensibilidad del cacao al estrés hídrico, también hay una escasez de publicaciones confiables, de campo y de valor práctico sobre las respuestas de rendimiento de este cultivo a la sequía o al riego (Carr & Lockwood, 2011).

Para que las plantas de cacao que hayan alcanzado la etapa de plena madurez (cinco años o más) puedan cumplir sus funciones fisiológicas eficientemente y desarrollen todo su potencial productivo, necesitan consumir diariamente de 4 a 6 mm de agua, lo que equivale anualmente a 1.825 mm/planta (Carr & Lockwood, 2011).

El cálculo del riego necesario para el cultivo se hace, sin embargo, mediante el coeficiente de consumo (K_c). En este punto se debe destacar que hay muy poco trabajo de investigación al respecto en Colombia, y lo ideal sería establecer estos coeficientes específicamente para cada tipo de suelo, cada temperatura y cada nivel de precipitación de una zona determinada.

Para el cacao, en general, se ha determinado un factor K_c que oscila entre 0,95 y 1,10; sin embargo, es válido trabajar con algunos coeficientes ya establecidos para el cacao en la región tropical, con valores estimados para cada edad de la planta. Los coeficientes de la tabla 12 corresponden al consumo K_c según la edad del cultivo y teniendo como ET_o un valor de 3,3 mm/día.

Las tablas 12 y 13 muestran los valores de evapotranspiración potencial (ET_o), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y K_c (uso consuntivo) durante la etapa de producción de plantas de cacao de más de cuatro años. El K_c de 1,04 encontrado para el municipio de Garzón coincide con lo reportado por la Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006); para árboles con alturas de 3 m, el K_c debe estar entre 1,0 y 1,5, estimación realizada con la reposición del 100 % del agua evaporada en esta etapa de desarrollo del cultivo (Barragán, Caicedo, Jaramillo, Rojas, & Ramírez, 2012).

Tabla 13. Coeficiente de consumo de agua K_c y ET_c según la edad del cultivo de cacao

Edad del cultivo (meses)	K_c (cálido seco)	ET_c (mm/día ⁻¹)
0-6	0,90	3,03
7-12	0,89	3,14
13-18	0,89	2,88
19-36	0,89	2,92

Fuente: Elaboración propia a partir de Barragán et al. (2012)

El agua que es transpirada por el cultivo se estima de la siguiente manera:

$$ET_c = ET_o \times K_c.$$

La anterior es una estimación teórica, pero, en lo posible, la cantidad de agua a aplicar y el diseño eficaz del riego deben ser calculados y recomendados por personal experto o debidamente capacitado según las especificaciones de los suelos y el ambiente de un sitio determinado.

Sea cual fuere la zona seleccionada para instalar una moderna plantación de cacao que incluya manejo tecnológico y clones de alto potencial de rendimiento (por encima de los 1.500 kg/ha de grano seco), es indispensable invertir en un buen sistema de riego y más cuando se trata de valles interandinos secos, en los cuales se ubican las zonas productoras del departamento del Huila; además, la fuente seleccionada debe proveer agua en suficiente cantidad, tanto para el cultivo como para el consumo humano (Orozco & López, 2016).

Requerimientos hídricos del cacao

Las necesidades anuales de agua de la planta de cacao van de 1.500 a 2.500 mm para zonas secas y de 1.200 a 1.500 mm para zonas más húmedas, aunque se consideran 1.000 mm como las necesidades reales de un cultivo adulto. Así, la cantidad mensual de agua necesaria es de aproximadamente 100 mm en los meses más secos, mientras que la cantidad diaria sería de unos 31,5 mm/día, como se dijo con anterioridad al propósito del estudio de M. Silva (2013).

Por su parte, la capacidad de almacenamiento útil en el suelo (lámina neta) a reponer en cada riego se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$(Lr) n = ((\% W_{cc} - \% W_{pmp}) / 100) \times Da \times Z'r \times Ca$$

Donde: W_{cc} = contenido de humedad en el suelo a capacidad de campo; W_{pmp} = contenido de humedad en el suelo al punto de marchitez permanente; $(\% W_{cc} - \% W_{pmp})$ = rango de humedad aprovechable en el suelo; Da = densidad aparente del suelo (adimensional, por estar dividida entre la densidad del agua; es de aproximadamente 1 g/cm³); $Z'r$ = profundidad radical (en metros, centímetros o milímetros); Ca = coeficiente de agotamiento del agua aprovechable del suelo.

La tabla 14 permite calcular teóricamente el porcentaje de contenido de humedad en el suelo a capacidad de campo (W_{cc}) y el porcentaje de contenido de humedad en el suelo al punto de marchitez permanente (W_{pmp}).

Si hay un tensiómetro previamente calibrado, pueden tenerse en cuenta las siguientes características para saber si aplicar o no riego (tabla 15).

Tabla 14. Capacidad de retención de humedad según la textura del suelo

Textura del suelo	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Humedad disponible
Arenoso	9 %	2 %	7 %
Francoarenoso	14 %	4 %	10 %
Francoarenoso-limoso	23 %	9 %	14 %
Francoarenoso + materia orgánica	29 %	10 %	19 %
Franco	34 %	12 %	22 %
Francoarcilloso	30 %	16 %	14 %
Arcilloso	38 %	34 %	14 %
Arcilloso con buena estructura	50 %	30 %	20 %

Fuente: García y Sandoval (2011)

Tabla 15. Tensión del suelo como indicador para iniciar el riego

Tensión (centibares)	Características de humedad del suelo
0-10	Suelo saturado
10-30	Suelo con suficiente humedad (excepto los suelos de arena gruesa, que empiezan a secarse)
30-60	Margen normal para iniciar el riego (excepto en los suelos muy arcillosos)
60-80	Margen normal para iniciar el riego en los suelos muy arcillosos
> 80	Suelo peligrosamente seco

Fuente: García y Sandoval (2011)

Para poder precisar los requerimientos de agua de riego de las plantas de cacao a nivel predial, es necesario tener conocimiento de algunos datos importantes, como la edad de la plantación, las características edafoclimáticas de la zona y el sistema de riego a instalar, pues con estos se puede calcular el uso consuntivo (UC) de la especie tomando como base una precipitación de 1.500 mm/año, de la siguiente forma:

$$UC = ET_o \times K_c$$

$$ET_o = 4,0 \text{ mm diarios, es decir, } 4 \text{ L/m}^2$$

$$K_c = 0,89 \text{ (clima cálido seco)}$$

$$UC = 4,0 \times 0,89 = 3,56 \text{ mm, equivalente a } 3,56 \text{ L/m}^2$$

$$\text{Área a mojar (área de bulbo de goteo en un sistema de riego por goteo)} = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 0,35^2$$

$$A = 0,38 \text{ m}^2$$

Donde: ET_o = evapotranspiración potencial o evapotranspiración de referencia;
 K_c = coeficiente del cultivo; $\pi = 3,1416$; r^2 = radio al cuadrado.

Si se usan microaspersores con un caudal de 120 L/h, se debe mantener el riego durante tres horas. Si se usan goteros de 8 L/h, se pueden usar cuatro y regar durante diez horas. Para determinar el intervalo de riego, hay que calcular la lámina:

$$L = CC \text{ a PMP} \times d.ap. \times pr \times \% \text{ de agotamiento}$$

Donde: L = lámina de riego; CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente; d.ap. = densidad aparente del suelo; pr = profundidad.

Método de riego por goteo

En cuanto a la aplicación de riego en clones de cacao en la etapa de producción (después de los 18 meses) en el Huila, la tabla 16 muestra los cálculos de la lámina de agua que hay que aplicar para reponer la evaporación diariamente, teniendo en cuenta el caudal de dos goteros autocompensados (8 L/hora), la evaporación medida directamente en campo y el área de humedecida (2,25 m²).

La frecuencia de riego está directamente relacionada con la evaporación diaria del cultivo; pérdidas diarias mayores a 5 mm en época de producción exigen aplicaciones de riego presurizado cada tercer día y riego por inundación cada cinco días.

Tabla 16. Tiempos de riego para la etapa de producción en el cultivo de cacao en el departamento del Huila con base en la evaporación diaria

Municipio	ET ₀ (mm/año ⁻¹)	ET ₀ (mm/día ⁻¹)	Tiempo de riego a partir de los 19 meses (minutos)
Rivera	1.500-1.600	4	44,4
Tello	1.000-1.700	3-5	33,3-55,5
Neiva	1.400-1.700	4-5	44,4-55,5
Campoalegre	1.500-1.600	4	44,4
Gigante	1.100-1.400	3-4	33,3-44,4
Algeciras	1.500-1.600	4	44,4
La Plata	1.000-1.200	3	33,3
Tesalia	1.300-1.400	4	44,4
Baraya	1.200-1.700	3-5	33,3-55,5
Colombia	1.300-1.400	4	44,4
El Agrado	1.400-1.500	4	44,4
Garzón	1.200-1.300	3-4	33,3-44,4
Tarqui	1.150-1.350	3	33,3
Elías	1.150-1.250	3	33,3
Timaná	1.200-1.250	3	33,3

Fuente: Elaboración propia a partir de Corpoica y Fondo Adaptación (2015) y Barragán et al. (2012)

Monitoreo de humedad del suelo

Con el fin de facilitar el manejo eficiente del riego, se deben considerar tres parámetros fundamentales: la capacidad de campo, el punto de marchitez y la humedad disponible, pues describen la capacidad de almacenamiento de agua del suelo donde se encuentre el cultivo.

Con esta información se pueden realizar cálculos de cuándo aplicar agua de riego y por cuánto tiempo, de acuerdo con la textura y tensión del suelo en centibares.

Fertilización

Un programa de fertilización del cultivo de cacao se debe basar en los resultados obtenidos en el análisis del suelo y en el potencial productivo de la planta. Asimismo, una buena fertilización debe combinar tanto la parte química como la biológica.

Luz solar y su influencia en el desempeño fisiológico de las plantas de cacao

La cantidad de luz natural que llega a la planta de cacao juega un papel importante en el desenvolvimiento de sus procesos fisiológicos, en la demanda de nutrientes y, por ende, en el rendimiento del cultivo; si el nivel de luz que llega a las hojas es bajo y el sombrero es denso, los rendimientos son bajos-muy bajos, y si el nivel de luz es alto y la sombra es regular o nula, los rendimientos se incrementan a medida que haya aplicación de agua y fertilizantes de acuerdo con las necesidades del cultivo (Corporación PBA, 2012).

En general, el potasio es el nutriente más absorbido por el cacao, seguido por el nitrógeno, el calcio y el magnesio (Corporación PBA, 2012).

Corrección de suelos en presiembra

La corrección de los suelos para la siembra del cacao se efectúa teniendo en cuenta el análisis del suelo del lote; generalmente, el resultado de estos análisis viene acompañado de las recomendaciones para el cultivo. Asimismo, los requerimientos de los suelos para la siembra de un cultivo de cacao se pueden comparar con el análisis realizado para determinar las necesidades de aplicación para el cultivo (Mejía & Argüello, 2000).

Fertilización en etapa de formación

Tanto en la etapa de vivero (tabla 17) como en la de desarrollo, las plantas de cacao necesitan una mayor cantidad de potasio, nitrógeno, calcio y fósforo (LWR, 2013).

Se debe destacar una alta correlación entre la biomasa de hojas aportada al suelo y el aumento en la eficiencia del metabolismo del nitrógeno, elemento fundamental para sintetizar aminoácidos y, a partir de ellos, ácidos grasos y proteínas, que son los componentes básicos de las almendras de cacao (Gastal & Lemaire, 2002).

Tabla 17. Fertilización del cacao en etapa de formación

Edad en meses	Fertilizantes	Dosis: gramos/árbol/aplicación	
0-2	25-15-0	50 + urea	En terreno pendiente, hay que aplicar el fertilizante en media luna, realizando una zanja de 5 cm de profundidad por la parte superior de la pendiente, de modo que el fertilizante no se aleje del árbol al desplazarse, cubriendo un área desde 0,5 hasta 1,5 m hasta la gotera del árbol y tapando el fertilizante con hojarasca o suelo.
	15-15-15		
	13-26-6		
	8-30-12		
2-6	25-15-0	70 + urea	
	15-15-15		
	13-26-6		
	8-30-12		
6-12	15-15-15	140 + urea	

Nota: La urea se aplica en dosis de 50 g/árbol a los 2, 6 y 12 meses y en dosis de 100 g/árbol a los 18, 24, 30 y 36 meses.

Fuente: Fedecacao (2015)

Fertilización en etapa de producción

En la etapa de producción, las plantas necesitan una mayor cantidad de todos los elementos, especialmente potasio, nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio, manganeso y zinc (LWR, 2013) (tabla 18).

Tabla 18. Fertilización del cacao en etapa de producción

Toneladas esperadas	Edad de la planta (meses)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Observaciones
		kg/ha							
Crecimiento	28	212	23	321	140	71	7,1	0,9	Se observa que el potasio es el elemento de mayor proporción.
Producción	50	438	48	633	373	129	6,1	1,5	

Fuente: LWR (2013)

Cadmio en el cacao

El cadmio merece un análisis aparte debido a que sus contenidos en el grano de cacao están regulados por organismos internacionales. A partir del 1.º de enero de 2019, la Unión Europea puso en vigencia la regulación del contenido de cadmio, por lo que no se volverán a comprar granos que superen los límites máximos permitidos de este elemento (Comisión Europea, 2014).

La FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015) limitaron la presencia de cadmio a 0,2 y 0,1 mg/kg, y en cuanto a alimentos, el cadmio no puede exceder los 0,5 mg/kg (Contreras, Herrera, e Izquierdo, 2011).

También hay que decir que el contenido de este elemento en la planta es un reflejo de las cantidades presentes en el suelo (Augstburger et al., 2000). La movilidad y biodisponibilidad de cadmio es mayor en suelos no calcáreos que en calcáreos (Lora & Bonilla, 2010), y su acumulación en el suelo, ocasionada por el uso indiscriminado de fertilizantes de fosfato y demás actividades antropogénicas, así como por la meteorización de la roca madre, hace que esté presente en los alimentos (Lora & Bonilla, 2010; Miranda et al., 2008).

Hay varios factores que pueden influir en el contenido de cadmio, entre ellos: 1) el material parental del suelo; 2) la acidez (suelos con pH menor a 5,5 propician contaminación por cadmio: mientras más elevado sea el pH, existe menor concentración del elemento) y la textura del suelo (suelos con menos del 5 % de materia orgánica son propensos a contaminarse con cadmio, pues la materia

orgánica adsorbe este elemento); 3) la profundidad de enraizamiento del cultivo, y 4) las actividades humanas (por ejemplo, la minería para extracción de fertilizantes fosfatados y la quema de basuras). Otras fuentes naturales de metales pesados son las emanaciones volcánicas, el polvo (suelo erosionado) y la quema de vegetación en frontera agrícola (Orozco & López, 2015).

En relación con el material parental del suelo, Hui Yin et al. (2016) señalan que el cadmio se asocia principalmente con óxidos de hierro cristalinos, mientras que Rodríguez Albarracín (2017) observó un mayor porcentaje de cadmio total asociado a óxidos de hierro amorfo. En suelos con altos contenidos de cadmio total, este se encuentra principalmente asociado a carbonatos (Rodríguez Albarracín, 2017), y parece ser que niveles bajos de zinc aumentan la adsorción de cadmio.

El cadmio se comporta similar a cationes como el Mn^{2+} , por lo cual se presenta sinergismo entre la absorción y la translocación del cadmio en los órganos de la planta. La relación descrita entre el cadmio y el manganeso podría explicar la aparición del cadmio en el proceso de modelado (Rodríguez Albarracín, 2017).

Aunque el conocimiento sobre la presencia de elementos en las plantas parte del hecho de que estos provienen de formas disponibles en el suelo, no siempre es posible observar sus contenidos a través de correlaciones.

Los contenidos de cadmio pueden provenir de la meteorización del material parental o por impacto antropogénico (minería extractiva de fertilizantes fosfatados, fertilización y derrames de baterías, entre otras prácticas) (González, Thompson, Martínez, & Sánchez, 2010).

Bajo condiciones de suelos con buen drenaje y pH ácido, el cadmio se libera como Cd^{++} y se adsorbe débilmente en la materia orgánica, arcillas y óxidos. En suelos con pH mayores de 7, con aplicaciones de $CaCO_3$, el Cd^{++} puede precipitarse como $CdCO_3$. Asimismo, el cadmio se asocia con el zinc en su geoquímica y presenta afinidad con el azufre en minerales del grupo sulfuro de las rocas (precipitación de las sales solubles de cadmio [II] con el ion sulfuro) (González et al., 2010).

Algunas medidas preventivas y correctivas para reducir el riesgo de contaminación por cadmio en cacao son:

- Hacer la plantación en sitios alejados de fuentes humanas como basureros, lugares donde se queme basura o sitios de extracción minera.
- Fertilizar los suelos con roca fosfórica soluble y tratada para reducir el riesgo de translocación del cadmio y el plomo del suelo a los granos de cacao.
- Usar enmiendas orgánicas en suelos con pH ácido como alternativa agronómica para disminuir la absorción de cadmio.
- Plantar especies acumuladoras de cadmio para “recuperar” lotes contaminados; dos de estas especies pueden ser la mostaza india (*Brassica juncea* L.) y el pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura* F.), que soportan suelos con concentraciones de metales pesados relativamente altas. El plátano también es efectivo para este fin y debe ser incluido en los diseños de los SAF con cacao (Orozco & López, 2015).

En cuanto a los estudios de evaluación de tierras, independientemente de la metodología que se escoja, es necesario determinar los contenidos de cadmio en el suelo e identificar los suelos potencialmente aptos para el cultivo de cacao. Además, teniendo en cuenta que el cacao se siembra como parte de un SAF, se debe investigar el papel que las especies forestales asociadas pueden desempeñar en la disminución del cadmio en la almendra del cacao.

Fertilización orgánica

La fertilización orgánica, realizada correctamente, es decir, con una preparación previa de los abonos naturales (con periodos de maduración), reduce los problemas de contaminación del medio ambiente y del suelo y mejora las propiedades físicas de este. La técnica más utilizada y recomendada es la preparación de un compost, y existen diversas maneras de hacerlo. La fertilización con compost tiene en cuenta la relación carbono-nitrógeno (20:1), el pH (entre 6 y 8) y la temperatura (no debe subir a más de 65 °C cuando se prepara). Para una finca cacaotera, es posible utilizar materiales orgánicos de subproductos del cacao, como la cacota y el licor de cacao (lixiviado), además del estiércol del ganado, que se puede usar como fuente de nitrógeno. Para preparar un buen compost, se pueden seguir las recomendaciones del ICA (2015).

El efecto principal del fertilizante orgánico es mejorar las propiedades físicas y biológicas del sitio de siembra. La liberación de nutrientes es bastante lenta como para considerarse un remplazo de la fertilización química, ya que depende de la mineralización de la materia orgánica. Para aplicaciones posteriores de fuentes orgánicas enriquecidas, se deberá tener en cuenta el balance de los nutrimentos aplicados, para no desbalancear los contenidos, especialmente de nitrógeno. Igualmente, no se recomienda exceder la aplicación de fuentes nitrogenadas en los huertos de producción.

La fertilización orgánica permite mejorar las condiciones físicas del suelo, pues puede hacer que la densidad aparente pase de 1,4 a 0,99 g/cm³, lo que permite una mejor circulación del aire y un mejor flujo de nutrientes en la solución del suelo (Álvarez Carrillo et al., 2015).

Fuentes de fertilizantes

Los fertilizantes se deben utilizar, idealmente, después de conocer las recomendaciones del análisis químico del suelo y foliar. Los resultados del análisis muestran propiedades físicas, como la textura, y propiedades químicas, como las concentraciones de los elementos (mayores, secundarios y menores).

Para suplir necesidades en elementos, existen fuentes simples, como las siguientes:

- Para suplir el nitrógeno: nitrato de amonio, nitrato de sodio, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de amonio, urea y superfosfato amoniacal.
- Para suplir el fósforo: los superfosfatos (simple, doble o triple).
- Para suplir el potasio: sulfato de potasio o cloruro de potasio (puede tener efectos salinos en el suelo en regiones muy secas).

La forma más común para suplir elementos es la aplicación de fórmulas compuestas, pero en todos los casos se deben comparar el contenido del elemento en la fuente, los requerimientos del cacao y las recomendaciones del análisis del suelo. Asimismo, se fabrican fertilizantes a los que se les agregan elementos menores o secundarios, como azufre, boro, magnesio y zinc, que, dependiendo del análisis del suelo, favorecen la producción.

Síntomas de deficiencias nutricionales

En términos generales, dependiendo de si el elemento es móvil (se mueve fácilmente en toda la planta) o no, la carencia de nutrientes se visualiza en hojas maduras o jóvenes: las carencias de elementos móviles se detectan en las hojas viejas, mientras que las de los elementos inmóviles se suelen manifestar en las hojas más jóvenes. Los elementos más importantes para el cultivo de cacao se clasifican así:

- Móviles: Nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio y zinc.
- Inmóviles: Calcio, boro, cloro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y azufre.

En algunos casos, como en la pérdida de frutos por deficiencia de boro, la recuperación no se evidencia sino hasta la siguiente cosecha.

La tabla 19 muestra los principales síntomas de deficiencia de nutrientes en el cultivo de cacao.

Tabla 19. Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el cultivo de cacao

Elemento	Funciones	Síntomas de deficiencia
Nitrógeno	• Promueve el crecimiento y la síntesis de aminoácidos y proteínas	• Se detiene el crecimiento • Inicialmente, clorosis en las hojas bajas de la planta (hojas maduras), y posteriormente, clorosis generalizada y uniforme • Hojas pequeñas y acartonadas y tallos delgados • Caída prematura de hojas • Floración prematura
Fósforo	• Promueve el desarrollo de raíces • Es importante en la formación de flores, frutos y semillas • Ayuda al transporte y la transferencia de energía • Acelera la maduración del fruto	• Crecimiento lento y las hojas jóvenes no se desarrollan • Entrenudos cortos y las hojas se posicionan en ángulo agudo con relación a la rama • Raíces cortas, delgadas y poco profundas • Plantas con precario desarrollo vegetativo • Deficiencia en los procesos de formación de flores, semillas y frutos • Las hojas maduras toman un color pálido en los bordes y puntas, y las hojas más jóvenes se tornan más pálidas que las nervaduras

Potasio	• Activa la absorción de nitratos • Aumenta los sólidos solubles • Regula el agua en las células y en los tejidos	• Por ser un elemento móvil, los síntomas se manifiestan en las hojas jóvenes, aunque inicialmente esto ocurre en las hojas maduras • Hojas de color amarillo-naranja • Las hojas se caen fácilmente, especialmente las maduras • Frutos y granos pequeños, insípidos y a veces sin un llenado adecuado • Plantas mayormente afectadas por sequías, heladas y enfermedades
Calcio	• Reduce la tasa respiratoria • Facilita el aprovechamiento de boro • Regula la transpiración	• Pudrición apical en los frutos • Deformación de las hojas y necrosis • Muerte de brotes y yemas • Reducción de la tasa respiratoria
Hierro	• Ayuda a la síntesis de clorofila • Entra en la composición de algunas proteínas involucradas en los procesos de oxidación como compuesto organometálico • Es también componente de enzimas ligadas a la respiración	• Clorosis en las hojas jóvenes: color amarillo vivo con nervaduras verdes

Fuente: Elaboración propia a partir de Fedecacao (2015) y Alvim (1972)

Cuidado de la inducción floral

Desde el momento de la polinización y fecundación de la mayoría de los óvulos hasta la mazorca madura lista para la cosecha, dependiendo también de la temperatura, pasan seis meses. Al respecto, durante los tres primeros meses, es necesario tener un mayor cuidado debido a que, por causas fisiológicas o de nutrición, la mazorca puede parar su desarrollo (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [Anecacao], s. f.).

La madurez fisiológica de las mazorcas se identifica por el cambio de color de la cáscara. Según la variedad, si es verde en estado inmaduro, se torna amarilla en estado maduro, como pasa con algunas variedades trinitarias y con los tipos forastero amazónico y nacional; y si es rojiza en estado inmaduro, se torna de color rojo amarillento, amarillo rojizo o anaranjado, sobre todo en variedades trinitarias (Anecacao, s. f.).

Teniendo en cuenta que la floración y fructificación ocurren en los tallos más leñosos, es importante, al momento de la cosecha, no dañar la parte leñosa del tallo y evitar heridas que sirvan de entrada de enfermedades (Anecacao, s. f.).

Asimismo, durante diferentes épocas del año, se presentan picos de cosecha: en la temporada de mayor cantidad de mazorcas (junio-julio, en el departamento del Huila), se debe cosechar cada 8-15 días; mientras que en la temporada de menor cantidad de frutos (enero-febrero) se recomienda cosechar cada mes.

Renovación y rehabilitación

Con ocasión del Plan Nacional de Renovación de Cacao —que hace parte del Programa Nacional de Modernización de Plantaciones de Cacao—, en Colombia se proyecta renovar 49.650 ha en diez años, siendo 20.000 ha la meta para los próximos tres. En cuanto al departamento del Huila, el área proyectada para renovar corresponde a 8.000 ha, y para rehabilitar, 1.500 (ICA, 2013a).

El objetivo del plan es recuperar productivamente aquellas plantaciones que no superan los 300 kilos de cacao seco por hectárea al año debido a diversos problemas, entre ellos la avanzada edad (mayor de 25 años); la susceptibilidad al ataque de enfermedades, especialmente monilia (*M. rozeri*), fitóptora (*Phytophthora* spp.) y escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*); la incompatibilidad de los materiales; el bajo nivel de aplicación de tecnología, y el abandono de muchas de ellas (ICA, 2013a).

Con el tiempo, las plantaciones de cacao reducen su productividad por varios factores: envejecimiento; daños físicos; alta incidencia de plagas y enfermedades (monilia y escoba de bruja, principalmente); materiales genéticos agroecológicamente no aptos; malformación de la estructura del árbol; distancias de siembra muy estrechas y desuniformes; árboles con alturas superiores a los diez metros, que dificultan las labores de manejo y recolección, y sombras pronunciadas, entre otros. Si las plantaciones se encuentran afectadas por algunas de estas condiciones, es indispensable intervenirlas mediante la aplicación de una o las dos siguientes técnicas: rehabilitación y renovación total o de copa, o por medio de una mezcla de estas dos alternativas (Fedecacao, 2015).

La rehabilitación del cacao es aplicable a árboles que requieran una mejora en su condición productiva, y la renovación se hace cuando es indispensable cambiar la totalidad de las plantas, sustituyéndolas completamente con nuevos genotipos o simplemente haciendo un cambio de copa. Si el productor quiere mejorar la productividad de su plantación y, por ende, el nivel de vida de esta debe corregir todos los factores que causen bajas producciones (Fedecacao, 2015).

Los criterios definidos por Arvelo et al. (2017) para proceder a rehabilitar una plantación están relacionados con su edad, que debe ser de menos de 30 años; si hay más de 625 árboles por hectárea y si la producción anual es de más de 300 kg/ha de cacao seco, se pueden tomar diferentes decisiones, como realizar podas severas, injertar los árboles poco productivos, resembrar, manejar la sombra y controlar las enfermedades.

Por su parte, Palencia, Gómez, Díaz, Contreras y Tolosa (2006) y Arvelo et al. (2017) plantean la necesidad de realizar un diagnóstico para conocer el número y tipo de árboles por hectárea y el estado en que se encuentran, con el objetivo de definir la productividad de cada árbol y cuál de las dos técnicas vistas se ajusta más a las necesidades; para ello, plantean la siguiente clasificación:

- Árboles excelentes: Son aquellos que superan las 70 mazorcas por año, con un tamaño de grano igual o superior al exigido por la industria.
- Árboles buenos: Producen entre 40 y 70 mazorcas por año, con un tamaño y calidad de grano igual al de los árboles excelentes.
- Árboles regulares: Producen entre 20 y 25 mazorcas por año.
- Árboles malos o improductivos: Producen menos de 20 mazorcas por año; son susceptibles a enfermedades, especialmente monilia y escoba de bruja, y tienen granos con un tamaño inferior al exigido por la industria.

Cada grupo de árboles es identificado con una cinta plástica de color: esto es, un color para los excelentes, otro para los buenos y así sucesivamente; se recomienda que esta labor de selección de los árboles sea realizada por un asistente técnico con el apoyo del propietario, agregado o administrador de la finca (Palencia, Gómez, Díaz, Contreras, & Tolosa, 2006).

Los árboles excelentes y buenos serán objeto de rehabilitación a través del manejo de la arquitectura de la planta y del manejo agronómico, y los regulares y malos productivamente pero que cumplan con los criterios de sanidad, diámetro del tallo, etc., pueden ser susceptibles de renovación por cambio de copa (con chupón basal o injerto malayo). En cuanto a la renovación de un cacaotal mediante el cambio de todos los árboles viejos por nuevos, los principios para tener en cuenta son: a) plantaciones mayores de 30 años con menos de 625 árboles por hectárea y b) producciones anuales menores de 300 kg/ha⁻¹ (Arvelo, González, Maroto, Delgado, & Montoya, 2017).

Rehabilitación por reducción de altura y raleo de copa

La rehabilitación de los árboles por reducción de altura y raleo consiste en la intervención de la copa para que su altura no sobrepase los cuatro metros y en la eliminación de las ramas que obstruyan el paso de la luz solar a las zonas

internas de producción; de esta forma, se reactiva la producción de cojines florales y aumenta la de frutos; además, se favorecen las labores de mantenimiento del cultivo y el control de problemas fitosanitarios (figura 35).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 35. Rehabilitación por reducción de la altura del árbol.

Renovación de copa por injerto en chupón basal

La renovación de copa por chupón basal sencillo o doble con injerto se fundamenta en la inducción de chupones basales vigorosos. Se realiza efectuando una poda fuerte del árbol y haciendo un anillo de 1 cm de ancho por 10 cm de largo alrededor del tronco, a una altura de entre 30 y 50 cm desde la superficie del suelo. Cuando el árbol emita varios chupones, se seleccionan 1 o 2 de los más fuertes y se procede a acopiar tierra a su alrededor (aporque), con el fin de que generen su propia raíz (Fedecacao, 2015). Luego de dos o tres meses, se procede a realizar la injertación; se recomienda que dos meses antes

de iniciar este proceso se preparen los árboles seleccionados con la aplicación de las labores de control de arvenses y de fertilización, de acuerdo con el análisis del suelo (figura 36).



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 36. Renovación de la copa del árbol por medio de injerto en chupón basal. a. Selección del chupón basal a injertar; b. Elaboración del injerto por el método de aproximación; c. Amarre del injerto con vinipel; d. Copa del árbol propagada por medio de injerto en chupón basal.

Renovación de copa por injerto malayo

Entre 2003 y 2004, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), junto con Fedecacao, la Compañía Nacional de Chocolates y la Casa Luker, trajo al experto malayo David Lim para que brindara una capacitación sobre la recuperación de plantaciones híbridas improductivas por medio del método del injerto lateral o en leño grueso, conocido comúnmente como *malayo*. Esta fue la técnica visualizada y seleccionada para iniciar el Programa Nacional de Modernización de Plantaciones de Cacao en Colombia, que incluía estrategias como el establecimiento de nuevas áreas con clones de alto potencial de rendimiento (finos y de aroma) y adaptados a las diferentes zonas agroecológicas colombianas, la instalación de patrones en campo y su posterior injertación o el diseño de un esquema de transferencia de tecnología y de capacitación integral para las comunidades cacaoteras.

Asimismo, entre 2015 y 2017, Corpoica [ahora AGROSAVIA] desarrolló, en Garzón (Huila) y otras localidades de Colombia, un proyecto de investigación en el que se evaluaron las técnicas de injerto en chupón basal y malayo, utilizando como copas varios clones comerciales de cacao para la recuperación productiva de plantaciones híbridas. Los resultados obtenidos indican que el injerto malayo fue el que obtuvo mejor respuesta en todas las localidades evaluadas ante las variables de prendimiento, desarrollo del injerto, crecimiento, desarrollo de la nueva planta y producción. Así, esta técnica puede ser aplicada efectivamente en todas las plantaciones de cacao del Huila susceptibles de una recuperación productiva.

El malayo tiene el mismo principio del injerto de aproximación; la diferencia radica en que el patrón utilizado es el tallo o tronco de un árbol adulto y la vareta debe poseer dos o más yemas activas.

Los elementos comúnmente usados para esta práctica son: troncos o tallos de árboles de cacao seleccionados para renovar, varetas portayemas, una navaja injertadora bien afilada, un machete recortado sin rastros de óxido o un cuchillo de acero inoxidable bien afilado en la punta, tijeras podadoras, un cordón o cordel de franela y vinipel (Fedecacao, 2015).

Para el corte del patrón (despatrone), se debe usar un serrucho curvo o una motosierra manual que no produzca desgarramiento, para evitar la entrada de agentes patógenos y la pérdida del injerto.

Para seleccionar los árboles de cacao a renovar, se recomienda realizar dos meses antes un recorrido por la plantación junto con el dueño o el administrador, quienes son los que conocen su historial productivo y sanitario; o, en caso dado, se puede realizar en época de cosecha, de tal forma que se pueda clasificar los árboles según su producción y sanidad, sobre todo en el tronco y la raíz. Aquellos materiales que presenten las problemáticas ya descritas se deben descartar y eliminar de la plantación (Aldana, 2008; Fedecacao, 2015). Según la producción y la sanidad, los árboles se pueden clasificar así:

- Árboles productivos y sin problemas sanitarios.
- Árboles medianamente productivos y sanos.
- Árboles improductivos y susceptibles a plagas y enfermedades.

Para el primer grupo, la sugerencia es hacer manejo con la oferta tecnológica disponible para control de arvenses, fertilización según los resultados del análisis de fertilidad del suelo, podas y controles sanitarios; para el segundo grupo es fundamental la ejecución de podas de reducción de copa y de ramas plagiotrópicas (tendencia de crecimiento horizontal) o entrecruzadas que impidan la entrada de luz solar, para reactivar los órganos reproductivos (cojines florales), lo que redundará en un aumento del número de mazorcas por árbol (sin descuidar las otras labores de cultivo); para el tercer grupo, los árboles escogidos para la renovación de la copa deben ser identificados con un material legible e imborrable y, por lo menos dos meses antes, deben ser objeto de una preparación y adecuación. Dicha preparación consiste en la eliminación de aproximadamente el 60 % del área foliar, para permitir la entrada regulada de luz solar, la circulación del aire y para controlar los arvenses (si se requiere); además, es necesario un plan de fertilización de acuerdo con el análisis del suelo, para luego proceder con la injertación, que se explica a continuación paso a paso (figuras 37-39):

- Con el machete recortado o con el cuchillo de acero, se raspa la parte del tronco elegida para efectuar el injerto, eliminando todas las protuberancias que impidan su elaboración; después se amarra y se cubre con vinipel. La experiencia ha demostrado que, cuando el diámetro del tallo seleccionado que va a servir de soporte de la yema injertada es menor de 20 cm, existe una mayor probabilidad de éxito en el prendimiento y posterior cubrimiento del patrón por parte del injerto y a la vez un menor riesgo de desgarramiento.
- Para iniciar la elaboración del injerto malayo, el corte horizontal se debe realizar a una altura de entre 50 y 60 cm desde la base del tronco, aunque hacerlo entre los 60 y 80 cm podría evitar posibles infecciones por hongos a causa de salpicaduras de tierra y exceso de humedad. Dicho corte debe

penetrar hasta tocar el cámbium, que es el tejido liso que se encuentra entre la corteza y el propio leño (Aldana, 2008; Fedecacao, 2015).

- Utilizando la navaja, el machete recortado o el cuchillo de acero, desde la parte de arriba se hace un corte vertical inclinado hacia debajo de unos 7-10 cm también hasta el cámbium, uniéndolo con el corte horizontal (figura 37a).
- A partir del corte horizontal, se hacen dos cortes verticales de unos 6-8 cm hacia abajo, también hasta el cámbium, con el propósito de alojar la vareta portayemas (figura 37c).
- Las varetas elegidas deben proceder de variedades o clones de cacao establecidos en jardines clonales registrados ante el ICA; su tamaño puede ser de 6-8 cm de largo y deben poseer 2 o 3 yemas activas; para su preparación, se debe recortar la punta inferior en forma de bisel, de modo que quede diagonal (figura 37b).
- Con la ayuda de la navaja de injertar o el cuchillo de acero, se inserta la vareta en el sitio indicado haciendo que el bisel más largo quede en contacto con el cámbium (figura 37c).
- Después, el injerto se amarra con el cordón elástico para que la yema injertada no se desprenda y tenga un mayor contacto con el cámbium (figura 37d).
- Posteriormente, se cubre todo el injerto con varias capas de vinipel, con el objetivo de impedir la entrada de agua, de insectos o patógenos (figura 37e); a falta de vinipel, se realiza un amarre con nylon (figura 37f).
- Pasados 20 o 30 días, se verifica el prendimiento del injerto, y si es positivo, se procede a retirar el plástico, pero no el cordón elástico (figura 38).
- El injerto continúa su desarrollo, y a los 100-120 días de edad, utilizando el serrucho curvo o una motosierra manual, se procede al despatrone, es decir, a retirar la parte aérea del árbol que sirvió de soporte a la nueva copa. Para esto, se realiza un corte en bisel justo en el inicio del injerto, de tal manera que se genere un cubrimiento o encallamiento mucho más rápido por la nueva copa (figura 39).
- Como regla general, con el fin de evitar daños por agentes patógenos, insectos o por efecto del agua, todo corte que se les haga a las plantas debe ser cicatrizado con pasta cicatrizante comercial o preparada de forma artesanal. Para prepararla, se mezclan 500 g de cal agrícola con 50 g de un fungicida, o también se puede mezclar oxiclورو de cobre con 50 g de clorpirifós; se completa la preparación con agua hasta que se forme una pasta con una consistencia parecida a la de la crema dental. Esta pasta cicatrizante se debe aplicar con brocha de una pulgada (figura 39).



Fotos: Nelson Hermes Díaz Ariza y Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 37. Injerto malayo. a. Corte horizontal en el árbol patrón a 50-60 cm de la base del tallo; b. Preparación de la vareta para la injertación; c. Cortes verticales y vareta injertada; d. Vareta injertada y amarrada con cordón elástico; e. Cubrimiento del injerto malayo con varias capas de vinipel para evitar daños por insectos, hongos o entrada de agua; f. Desarrollo de la yema injertada.



Figura 38. Desarrollo de las yemas injertadas. a. A los 20 días; b. A los 40 días.

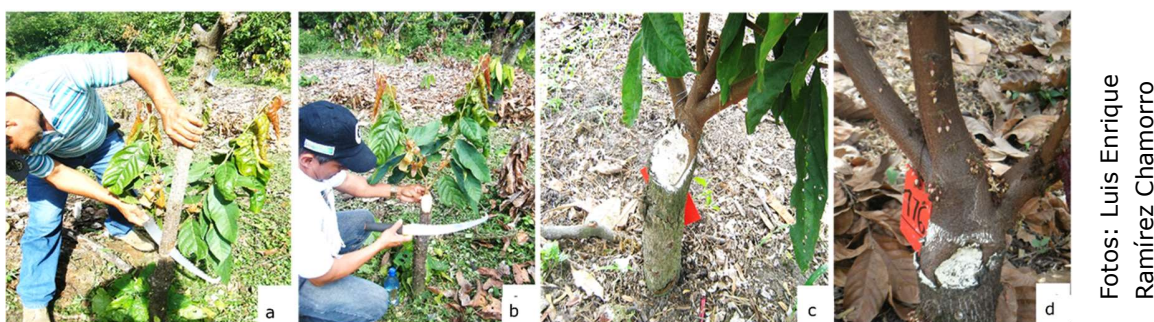


Figura 39. Mantenimiento del injerto malayo. a. Corte del patrón con serrucho curvo; b. Desarrollo del injerto; c. Aplicación de cicatrizante en el corte realizado; d. Encallamiento o cubrimiento de la yema sobre el corte del patrón.

Podas en cacao

La práctica de poda se constituye en la labor más importante durante todo el ciclo de vida de la planta de cacao. Consiste en eliminar las partes vegetales que no son necesarias o estéticamente agradables o que dificultan el desarrollo y la producción de la planta (Mejía & Argüello, 2000). El objetivo principal de la poda es conformar la estructura adecuada del árbol para que exprese su capacidad productiva

potencial de acuerdo con su genética. Dicha labor debe promover la formación de áreas de floración y de cuajamiento, crecimiento y madurez de frutos.

Según Fedecacao (2015), la poda es una de las labores más importantes en el cultivo de cacao por las siguientes razones:

- Permite direccionar la producción: en el espacio, por su bioarquitectura, y en el tiempo, porque genera cosechas continuas.
- Prepara la planta para la vida productiva, ayudándola en el proceso de floración y en la formación de frutos.
- Elimina estructuras indeseables, como chupones y ramas secas y enfermas.
- Proporciona una mayor aireación de la planta, lo que disminuye la aparición de problemas sanitarios y facilita la entrada de luz a las zonas de producción.
- Facilita las labores de cosecha, desyerbe, abono, aspersión de productos y mantenimiento del SAF, en general.
- Permite cosechas abundantes y duraderas.
- Facilita el desplazamiento de los operarios para el manejo individual de las plantas.

Existen cuatro tipos de podas: de formación (en clones y en plantas híbridas), de mantenimiento y sanitaria, de rehabilitación y de renovación.

Poda de formación en clones

Se inicia desde el momento en el que los clones están en el vivero, pues ramifican muy bajo, lo cual obliga a quitar los brotes que salgan por debajo del injerto propiamente dicho; continúa en la etapa de establecimiento en campo con la eliminación de los rebrotes que surjan en el tallo principal hasta una altura aproximada de 40-60 cm, donde se incentivará el crecimiento de tres o cuatro ramas bien distribuidas que van a conformar la mesa de la planta; igualmente, las ramas laterales se despuntan con el propósito de provocar el crecimiento de rebrotes secundarios y terciarios para formar la copa del árbol (figura 40).

Esta poda se considera importante porque con ella se obtiene una estructura fuerte de las ramas principales que soportarán el peso de las mazorcas y la fuerza del viento; con esta poda se logra también una distribución uniforme de las ramas, lo que permite la entrada de la luz solar y conduce a obtener árboles de bajo porte (Mejía & Palencia, 2000).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 40. Poda de formación en clones.

Poda de formación en plantas híbridas

La planta de cacao reproducida sexualmente desarrolla un tallo principal que crece verticalmente hasta formar, a 1,0-1,2 metros de altura, una mesa, también llamada *horqueta* o *verticilo*, de la cual nacen de 3 a 5 ramas denominadas *primarias*, que generalmente presentan un crecimiento oblicuo u horizontal, y de estas surgen las *secundarias* y las *terciarias*; por lo tanto, esta poda debe conducir a la formación de una arquitectura que facilite la aplicación

de prácticas agronómicas y de las labores de mantenimiento de la planta y la cosecha (Fedecacao, 2015).

Así las cosas, en plantas híbridas, se recomienda ejecutar las siguientes prácticas:

- Eliminar todo chupón o tallo que salga de la base del árbol, de modo que solo se desarrolle un tronco. En ocasiones, es posible dejar crecer algún chupón basal para reemplazar el tronco original por defectos en su crecimiento o para el proceso de renovación de la plantación.
- Quitar toda rama dominante o ladrona (chupón) de crecimiento vertical que salga al mismo nivel de los diferentes tipos de ramas, para garantizar el desarrollo normal de estas.
- Privilegiar el desarrollo del tallo y las ramas primarias, dado que en ellos se producen los cojines florales y posteriormente los frutos. Solo se debe cortar alguna de las ramas cuando se hayan formado más de cinco, para evitar que queden muy amontonadas, conformen un ramillete y, por ello, se detenga su desarrollo.

Poda de mantenimiento y sanitaria

Como lo explican Fedecacao (2015), Mejía y Argüello (2000) y Mejía y Palencia (2000), esta poda consiste en remover frutos enfermos y en eliminar ramas secas, improductivas (chupones), cruzadas, enfermas (por escoba de bruja o mal del machete) y quebradas, de tal forma que se vaya ordenando la bioarquitectura del árbol, lo que brinda facilidades para el control de arvenses, el fitosanitario y para la recolección. Además, esta poda ofrece la posibilidad de suprimir plantas epífitas, trepadoras y parásitas; despuntar apicalmente la planta para regular su altura y lateralmente para prescindir de ramas entrecruzadas con árboles vecinos, y regularizar ramas con crecimiento desproporcionado o dominante por medio de un despunte intensivo (figura 41).

El propósito de la poda sanitaria es disminuir la cantidad de semillas de hongos y, de ser posible, evitar su dispersión a árboles o plantaciones vecinas; la intensidad de la poda debe ser suave, para no desgarrar las partes cortadas, y se debe aplicar en cada corte un cicatrizante, que se puede elaborar con aceite quemado, un fungicida y un insecticida, formando una especie de pasta, la cual

previene la entrada de patógenos que puedan afectar la sanidad del árbol; igualmente, en el mercado existen otros productos que cumplen con la misma función. Es conveniente realizar este tipo de poda dos veces al año: después de terminar las cosechas principal y de mitaca, y al comienzo del periodo de lluvias, entre agosto y septiembre (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 41. Poda de mantenimiento en clones.

Poda de rehabilitación

La poda de rehabilitación se efectúa para recuperar árboles que en su momento fueron productivos, pero que en la actualidad han sufrido un deterioro severo, entre otras causas, por su avanzada edad, podas mal hechas, daños mecánicos en ramas primarias, abandono por problemas sanitarios graves o porque definitivamente el material de cacao establecido es improductivo o de escaso potencial de rendimiento (Fedecacao, 2015; Palencia et al., 2006).

El programa de rehabilitación comprende varios pasos: primero, se eliminan los árboles que no produzcan o que produzcan menos de 40 mazorcas al año; luego, en los espacios dejados por los árboles erradicados, se siembran cultivos de cobertura, y después se establecen las especies semipermanentes y, por último, los clones de cacao que van a sustituir a los eliminados (figura 42).



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 42. Poda de rehabilitación en árboles híbridos mediante la disminución de la altura de la planta.

Así, los métodos para realizar la rehabilitación de las plantaciones son variados: puede emplearse la poda de reducción de altura, la renovación total de la copa por medio del injerto malayo o la regeneración del árbol por chupón basal para injertarlo o no (Fedecacao, 2015; Palencia et al., 2006).

Los árboles que no se reemplazaron se podan para disminuir su altura hasta tres o cuatro metros, se quitan los chupones basales y se eliminan las ramas improductivas, secas, enfermas y todas aquellas que puedan alterar la arquitectura del árbol.

Para el departamento del Huila, esta labor resulta de vital importancia, pues según el Plan Decenal de Desarrollo Cacaotero 2012-2021 (Consejo Nacional Cacaotero [CNC] & MADR, s. f.), formulado por el CNC, se requiere reincorporar al proceso productivo cerca de 7.000 ha, mediante las prácticas de rehabilitación-renovación, para beneficio de los productores.

Poda de renovación por eliminación total de la plantación

Consiste en la sustitución de plantaciones de baja productividad, es decir, en edad avanzada, con menos de 600 árboles por hectárea, con el 60 % o más de los árboles improductivos o con el 40 % de los árboles perdidos (Mejía & Palencia, 2000).

Se sugiere cortar los árboles a unos 10 cm de la superficie del suelo, aplicar en los tocones un producto para precipitar la muerte de la raíz, suprimir la brotación de renuevos y sustituirlos por nuevas plantas clonadas. En cuanto a los residuos vegetales que quedan en el lote después del corte, los troncos menores de 5 cm de diámetro se deben repicar finamente para agilizar su descomposición, y los troncos gruesos se deben sacar del lote para usarlos domésticamente como leña (Fedecacao, 2015).

Es muy importante recordar que se debe hacer una desinfección de las herramientas usadas para la poda cada vez que se realice esta labor, con el propósito de prevenir la diseminación de enfermedades de un árbol a otro o entre las mismas partes del árbol (Mejía & Palencia, 2000).

Además, se recomienda realizar las podas al inicio de los periodos de lluvias, después de las cosechas principal y de mitaca y antes de dar comienzo a un nuevo periodo productivo; también se sugiere realizar estas actividades con asesoría de un asistente técnico con experticia en el cultivo del cacao (Mejía & Argüello, 2000).

El objetivo del plan es recuperar productivamente aquellas plantaciones que no superen los 300 kilos de cacao seco por hectárea al año⁻¹, lo que se puede presentar debido a diversos problemas, entre los cuales se encuentran: una edad superior a los 25 años; susceptibilidad al ataque de enfermedades, especialmente monilia (*M. roreri*), fitóptora (*Phytophthora* spp.) y escoba de bruja (*M. perniciosa*); incompatibilidad de los materiales; bajo nivel de aplicación de tecnología, y abandono.

Arvenses (malezas)

Anteriormente, todas las plantas que crecían junto a un cultivo se consideraban malezas, concepto generalmente interpretado como plantas nocivas para la producción agrícola, y que puede derivar en un control indiscriminado. En los últimos años se ha cambiado este concepto por el de *arvenses*, cuyo significado es “planta acompañante de los cultivos o prados”, sin determinar si es buena o mala (Salazar & Hincapié, 2007). Las arvenses son importantes en todos los cultivos por los efectos negativos o positivos que pueden causar en los rendimientos, los costos de producción, el medio ambiente y el hombre mismo, lo cual está relacionado con la interferencia (Sosa-Madrado, Ortega-Meseguer, Díaz-Peña, & Castellanos-González, 2011), que se conoce como la suma de la competencia y la alelopatía; siendo la primera un proceso físico que incluye la disputa por todos o alguno de los factores de crecimiento (luz, espacio, nutrientes, agua, CO₂, etc.), y la segunda, la liberación de sustancias químicas que pueden impedir la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas cultivadas.

Tal como lo refieren Salazar e Hincapié (2007), los cultivos y las arvenses viven en un mismo ambiente y su capacidad productiva se afecta con la competencia por los factores de crecimiento, pues cada grupo de plantas ejerce una demanda específica sobre el campo; no obstante, las pérdidas del cultivo por causa de la interferencia son fácilmente pasadas por alto. Según el grado de interferencia, las arvenses se pueden clasificar en tres categorías (Barragán et al., 1999; Salazar & Hincapié, 2007).

Arvenses de interferencia alta o agresiva

Son plantas que compiten drásticamente con los cultivos, en este caso con el sistema agroforestal, y que causan pérdidas en los rendimientos (figura 43). Algunos ejemplos de este tipo de arvenses son: liendre de puerco (*Echinochloa colona* [L.] Link), kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.), chipaca (*Bidens pilosa* L.), helecho de marrano (*Pteridium caudatum* Maxon), coquito (*Cyperus rotundus* L.), cortadera (*Cyperus feraz* [L.] Rich.), paja de burro (*Andropogon bicornis* L.), pasto Argentina (*Cynodon dactylon* [L.] Pers.), pasto India (*Panicum maximun* Jacq.), caminadora (*Rottboellia exaltata* L. f.), batatilla (*Ipomoea* spp.), escoba negra (*Sida acuta* Burm. f.) y bleo (*Amaranthus dubius* Mart.).

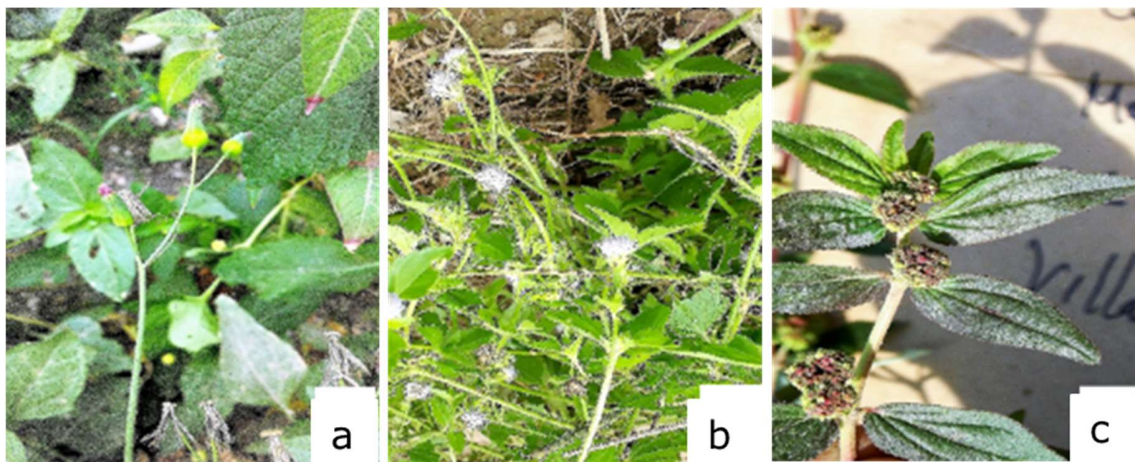


Fotos: Camilo Ignacio Jaramillo Barrios

Figura 43. Arvenses de interferencia alta o agresiva. a. Escoba negra (*S. acuta* Burm. F.); b. Liendre de puerco (*E. colona* [L.] Link); c. Bledo (*A. dubius* Mart.).

Arvenses de interferencia media

Son plantas que ocasionan una competencia media con los cultivos (figura 44). Algunos ejemplos son: botón de oro o botoncillo (*Spilanthes ciliata* H. B. K.), hierba de chivo (*Ageratum conyzoides* L.), verbena (*Stachytarpheta cayennensis* [L. C. Rich.] Vahl) y golondrina, hierba de pollo o lechecita (*Euphorbia hirta* L.).

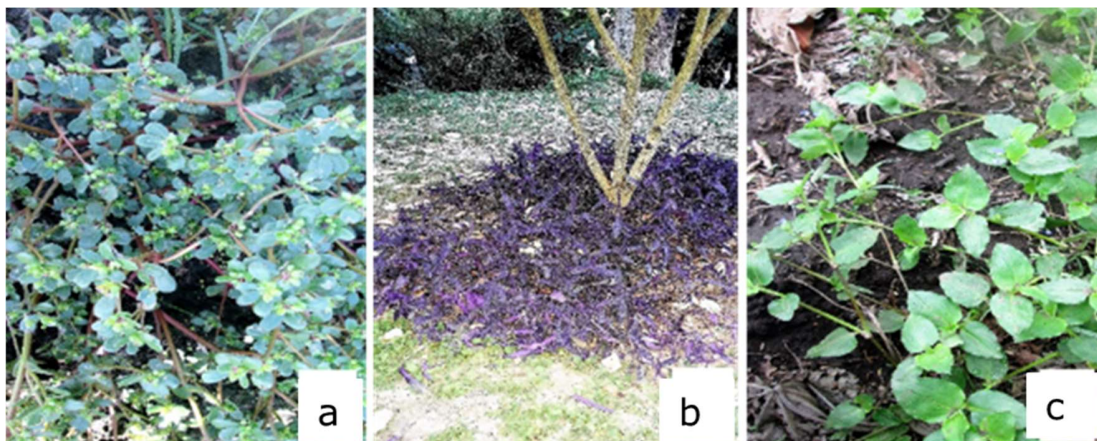


Fotos: Camilo Ignacio Jaramillo Barrios

Figura 44. Arvenses de interferencia media. a. Clavelito o pincelito (*Emilia sonchifolia* [L.] DC.); b. Hierba de chivo (*Ageratum conyzoides* L.); c. Golondrina, hierba de pollo o lechecita (*Euphorbia hirta* L.).

Arvenses de interferencia baja

También llamadas *coberturas nobles*, son plantas que causan mínima competencia al cultivo y que, por el contrario, en ocasiones reportan beneficios (figura 45). Algunos ejemplos de estas plantas son: coneja o golondrina (*Drymaria cordata* [L.] Wild.); Tripa de pollo o canutillo (*Commelina diffusa* Burm. F.); atarraya (*Portulaca oleracea* L.); llantén (*Plantago major* L.); maní forrajero (*Arachis pintoii* L.), y panameña morada, moradita o suelda consueleda (*Tradescantia multiflora* Sw.).



Fotos: Camilo Ignacio Jaramillo Barrios (a y c) y Luis Enrique Ramírez Chamorro (b)

Figura 45. Arvenses de interferencia baja o de cobertura noble. a. Atarraya (*Portulaca oleracea* L.); b. Panameña morada, moradita o suelda consuelta (*Tradescantia multiflora* Sw.); c. Tripa de pollo o canutillo (*Commelina diffusa* Burm. F.).

Uno de los primeros pasos para intentar un manejo efectivo y racional de arvenses es conocer con exactitud las especies presentes y cuáles causan verdaderamente un daño.

Tomando como referencia lo anterior, en el sistema de producción de cacao, el control de las plantas ajenas al sistema empieza desde el establecimiento mismo de las especies acompañantes (sombríos). El área alrededor del tallo de las plantas (plato) se deben mantener libre de arvenses, y esta labor se debe ejecutar manualmente, para no causar daño a las raíces y propiciar problemas posteriores; igualmente, entre las calles de plantas, el manejo puede hacerse manualmente, con un machete, cortando las arvenses a baja altura (guachapia); mecánicamente, empleando la guadaña, o químicamente (aunque no es muy recomendable), aplicando un herbicida sistémico en las dosis recomendadas en la etiqueta del producto y bajo la asesoría de un ingeniero agrónomo.

En las zonas cacaoteras, los suelos son generalmente de pH ácido y, por lo tanto, es común la presencia de helecho de marrano (*P. caudatum* Maxon) en los lotes. Esta arvense, catalogada como altamente agresiva, es difícil de erradicar, y se requiere del uso de prácticas culturales tanto mecánicas como químicas para su

control. Entre estas prácticas está el llamado *garroteo* o *apaleo*, que consiste en usar el garrote para agobiar las plantas y producirles la muerte; otra de estas prácticas culturales es lanzar cal en el lote al voleo, con el propósito de elevar el pH y causar la desaparición del helecho lenta y paulatinamente. Un método que ha dado buenos resultados es guadañar a baja altura las plantas y, aproximadamente ocho días después, cuando inicie el rebrote, aplicar una mezcla de 100 g de glifosato, 200 g de urea y 50-60 g de jabón en polvo por bomba de 20 L. La técnica consiste en mezclar en un recipiente aparte todos los productos con un litro de agua, llenar con agua la mitad de la bomba de espalda, echarle lentamente los productos revueltos, volver a mezclar muy bien, llenar todo el volumen de la bomba con más agua y aplicar (Fedecacao, 2015; Mejía & Argüello, 2000).

La frecuencia del control depende de la cantidad, el desarrollo y el tipo de arvenses presentes. Como en las zonas de producción de cacao se presentan diversas situaciones con respecto a estas plantas, no existe una recomendación aplicable a todas ellas; generalmente, conviene realizar tres o cuatro controles al año, aplicando las técnicas mencionadas, sobre todo en los dos primeros años después de haber establecido el sistema de producción (Mejía & Argüello, 2000).

Cuando el sistema es manejado con especies de cobertura o cultivos transitorios, la incidencia de arvenses es mínima y, por lo tanto, el control se limita a la realización de plateos; en sistemas agroforestales de más de tres años, las copas de los árboles y la sombra que proyectan sobre las calles, además de la hojarasca producida, reducen ostensiblemente el crecimiento de las arvenses y, por ende, la necesidad de controlarlas (figura 46).



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 46. Control de arvenses por efecto de la sombra y la hojarasca producida. a. Control de arvenses en el plato por efecto de la sombra; b. Control de arvenses por la caída de hojarasca.

Capítulo VIII

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

El MIPE incluye la relación de plagas y enfermedades como el aspecto más importante para la producción de cacao en el departamento del Huila.

Enfermedades

La pérdida en rendimiento causada por el ataque de enfermedades es uno de los problemas más importantes para la producción de cacao en Colombia. Las principales enfermedades del sistema productivo de cacao en el departamento del Huila se muestran en la tabla 20 y en la figura 47.

Tabla 20. Principales enfermedades de importancia económica para el cultivo de cacao

Nombres comunes	Agente causal	Órganos que afecta
Monilia, moniliasis, pasmo, pudrición acuosa, nieve o hielo	<i>Moniliophthora roreri</i>	Frutos en todos sus estados de desarrollo, aunque los de menos de tres meses son más susceptibles
Mazorca negra, mazorca parda o <i>Phytophthora</i>	<i>Phytophthora palmivora</i>	Frutos en todos sus estados de desarrollo, hojas, tronco y raíz; los frutos de más de tres meses y medio son más susceptibles
Escoba de bruja	<i>Moniliophthora perniciosa</i>	Frutos en todos sus estados de desarrollo y puntos meristemáticos en crecimiento activo, como cojines florales y yemas terminales y axilares
Rosellinia o lamparón	<i>Rosellinia</i> spp.	Raíces
Mal del machete	<i>Ceratocystis fimbriata</i>	Tronco, ramas y hojas

Fuente: Elaboración propia

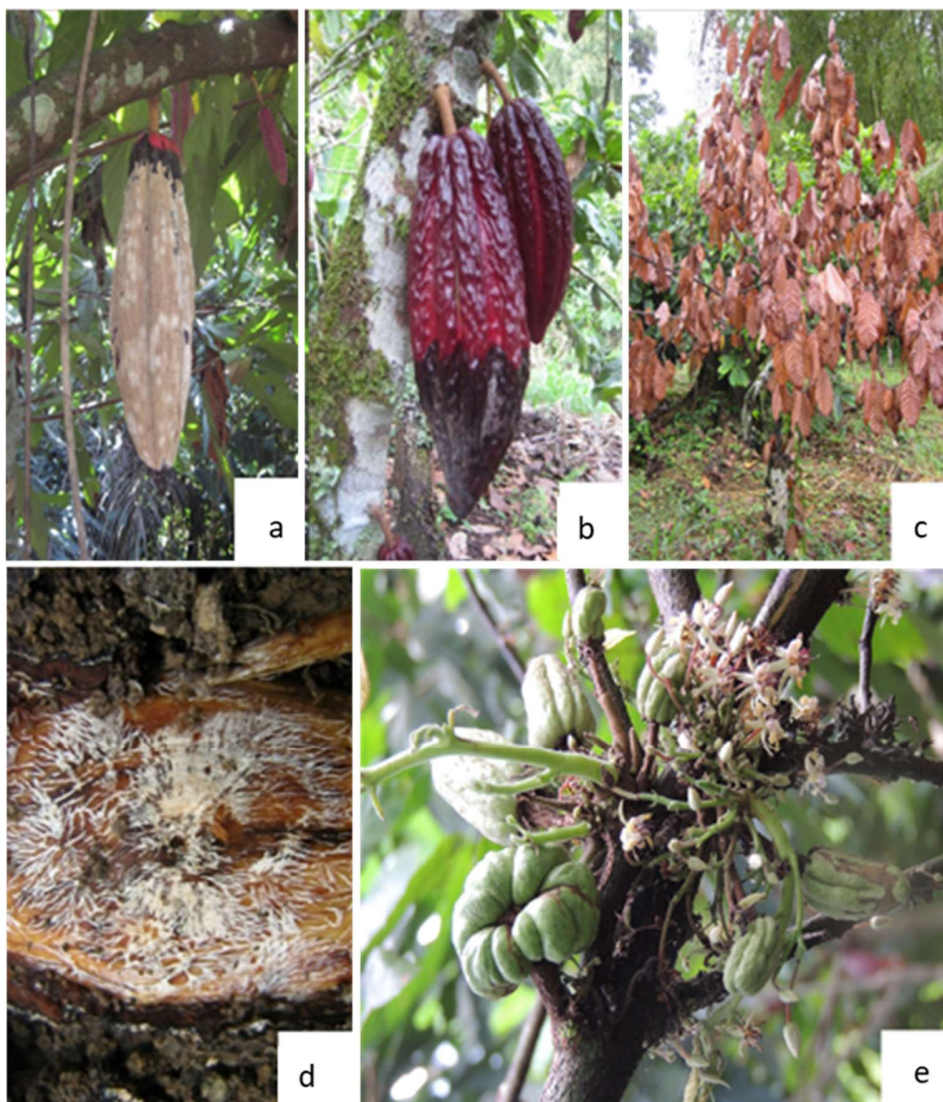


Figura 47. Síntomas de las principales enfermedades que atacan el cultivo del cacao. a. Monilia, nieve o hielo (*M. roreri*); b. Mazorca negra o parda (*P. palmivora*); c. Mal del machete (*C. fimbriata*); d. *Rosellinia* (*Rosellinia bunodes*); e. Escoba de bruja (*M. perniciosa*).

A nivel nacional, se estima que el daño por monilia puede llegar a ocasionar pérdidas cercanas al 50 % de la producción del grano, y el daño ocasionado por mazorca parda (*Phytophthora* spp.) puede hacer perder hasta un 20 %.

El desarrollo de las enfermedades del fruto (monilia y *Phytophthora*) es favorecido principalmente por las condiciones ambientales del sitio donde se establece el cultivo y por la falta de labores culturales de poda, recolección de mazorcas enfermas y cosecha semanal de frutos maduros.

Monilia (*Moniliophthora roreri* [Cif. Y Par.])

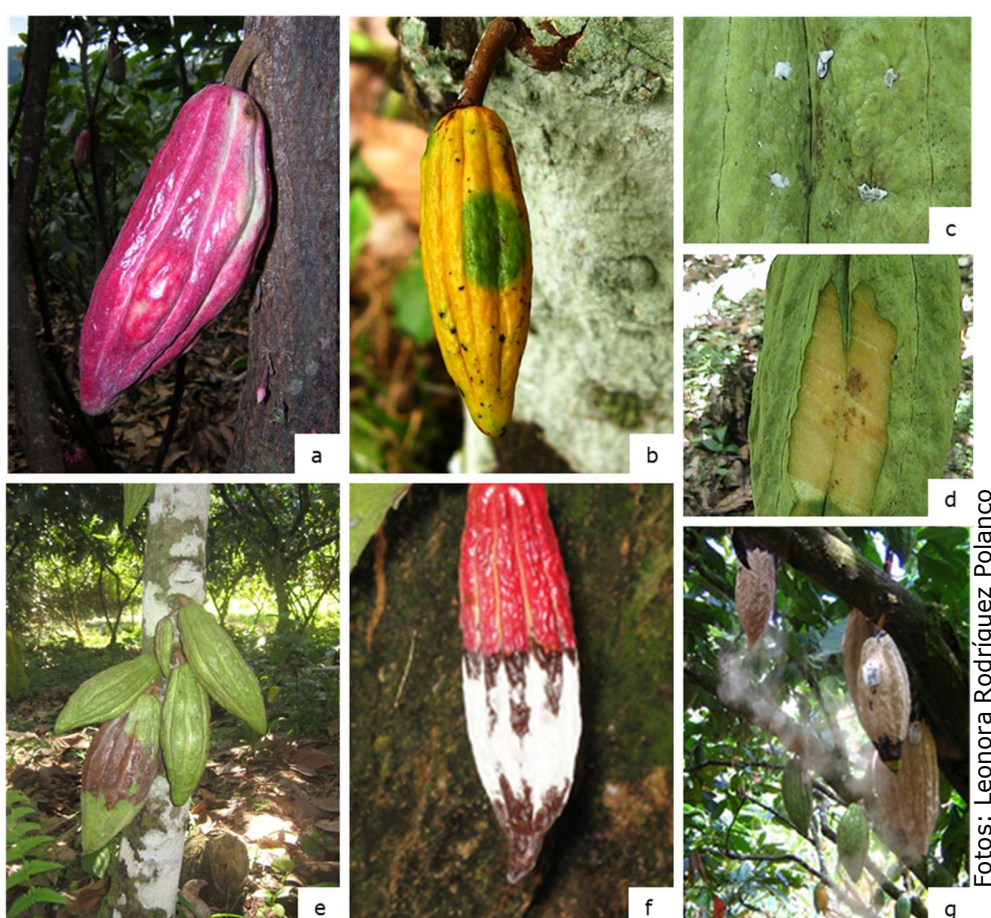
Es la enfermedad con mayor potencial destructivo para el cacao en el país, pues puede causar pérdidas superiores al 50 % de la producción (Rodríguez, 2006). La agresividad de este hongo se da por su alto nivel de adaptación a diferentes ambientes, porque produce un gran número de esporas y por la susceptibilidad de casi todos los clones comerciales de cacao a su ataque, características que catalogan a la monilia como un patógeno altamente agresivo (Jaimes, Aranzazu, Rodríguez, & Martínez, 2011; Rodríguez & Medina, 2005). El hongo compromete específicamente los granos o el producto comercial desde su formación, de allí la magnitud de las pérdidas que ocasiona.

El agente causal de la moniliasis del cacao es el hongo *Moniliophthora roreri*, patógeno que ataca solamente los frutos en sus diferentes estados de desarrollo, aunque son más susceptibles los frutos de menos de tres meses de formación; los síntomas de la enfermedad (gibas o protuberancias y manchas) se observan aproximadamente 60 días después de la infección del fruto.

Síntomas y signos en frutos

En cuanto a los síntomas externos, en frutos con menos de 20 días de edad, se produce un marchitamiento. En frutos de menos de dos meses, ocurren deformaciones a manera de gibas o jorobas (figura 48a), y también es común que algunos frutos presenten madurez prematura o islas verdes (Phillips-Mora, 2003) (figura 48b). En frutos de más de dos meses, por su parte, el primer síntoma visible es la aparición de pequeñas áreas o puntos aceitosos (figura 48c) difíciles de ser detectados hasta que incrementan su tamaño formando una *mancha chocolate*, una necrosis de color marrón oscuro y borde irregular (lo que la distingue de la mancha de *Phytophthora*) que puede afectar todo el fruto (Phillips-Mora, 2004) (figuras 48d y 48e); después de 4-8 días, la mancha se

cubre de un micelio blanco (figura 48f), y aproximadamente 7 días después, se observa abundante esporulación del patógeno, que pasa a ser de color crema, debido a la maduración de las esporas. Posteriormente, el fruto pierde agua y empieza a momificarse, pero continúa produciendo esporas hasta que sus tejidos se momifican completamente (Suárez, 1971), por lo que el fruto se constituye en una fuente permanente de inóculo (esporas) (figura 48g).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 48. Síntomas externos de *M. roreri* en frutos de cacao. a. Gibas o deformaciones del fruto; b. Islas verdes; c. Puntos aceitosos; d. Necrosis (manchas de tejido); e. Necrosis total; f. Aparición del micelio blanco sobre la mancha; g. Esporulación del hongo (el micelio pasa de color blanco a crema).

Nota: Los síntomas de las figuras 48a y 48b se presentan en frutos de menos de dos meses, y los de las figuras 48c-g se presentan en frutos de más de dos meses.

En cuanto a los síntomas internos de *M. roreri*, los frutos en etapa de pepino con una longitud de entre 7 y 10 cm manifiestan alteraciones en el número y desarrollo de sus granos y, posteriormente, a la edad de tres meses, pueden mostrar una necrosis de color marrón rojizo que afecta las semillas (figura 49a). Cuando la infección está más avanzada, la pulpa y los granos se vuelven una masa rodeada por una sustancia acuosa, como resultado de la maceración de los tejidos (Rorer, s. f.; Soberano, 2012) (figura 49b).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 49. Síntomas internos de *M. roreri* en frutos de cacao. a. Necrosis interna en algunas semillas; b. Infección avanzada y maceración de tejidos.

Otra característica de esta enfermedad es que los frutos enfermos, si bien tienen un tamaño similar, son más pesados que los frutos sanos (Evans, 1981). En frutos infectados a partir del cuatro mes de edad, la infección se limita generalmente al mesocarpio, sin afectar las semillas o afectando solo algunas (Desrosiers & Suárez, 1974).

Ciclo de vida

El ciclo de vida de la monilia dura cerca de tres meses (60 ± 10 días), dependiendo de la edad del fruto al momento de la infección, de la resistencia genética del cultivar y de las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) (Evans, Holmes, & Reid, 2003; Rodríguez, Mujica, & Cubillos, 2005). En la figura 50 se presentan de forma gráfica las etapas de desarrollo de la enfermedad y su duración en días.

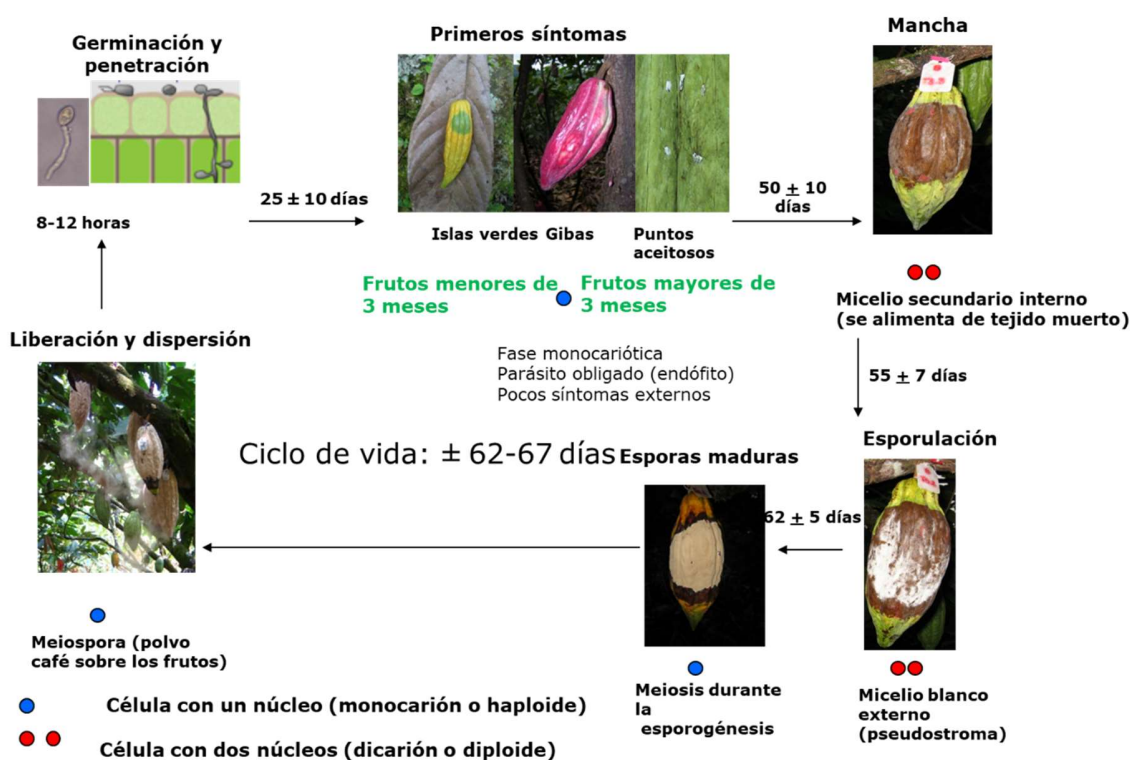


Figura 50. Ciclo de vida de *M. roreri* en cacao.

Fuente: Elaboración propia a partir de Evans, Holmes y Reid (2003) y Rodríguez, Mujica y Cubillos (2005)

Factores ambientales favorables

Épocas con alta precipitación se relacionan con periodos de alta incidencia de esta enfermedad. En zonas con precipitaciones mayores a los 2.500 mm y con humedades relativas mayores al 90 %, la incidencia en frutos puede ser superior al 60 %. Además, temperaturas entre 25 y 30 °C disminuyen la duración del ciclo de vida de la enfermedad (Castro, 1989).

Control

El manejo de la monilia del cacao está basado principalmente en la disminución de inóculo en el lote (remoción de mazorcas antes de la esporulación), la realización oportuna de las prácticas culturales que ayudan a crear condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo del hongo (principalmente podas al cultivo y al sombrío y control de arvenses) y el uso de material genético resistente en las zonas ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad (pisos térmicos por debajo de los 800 m s. n. m.) (Galindo, 1984; Jaimes et al., 2011; Rodríguez, 2006).

A partir de Galindo (1984), Jaimes, Aranzazu, Rodríguez y Martínez (2011) y Rodríguez (2006), se recomiendan algunas labores culturales para el control de la monilia:

- Podar los árboles de cacao a una altura por debajo de los 3,5 m para facilitar la cosecha y la remoción de mazorcas enfermas. Además, se debe realizar mínimo una poda de mantenimiento al terminar la cosecha de mitaca (julio) para preparar los árboles para la cosecha principal (enero).
- Retirar de los árboles los frutos enfermos, preferiblemente con síntomas iniciales, como puntos aceitosos, o máximo cuando ya tienen mancha; de esta forma, se evita la presencia de polvillo (esporulación), que conlleva el incremento del inóculo en el cultivo durante el siguiente periodo de fructificación. Hay que realizar esta labor con especial cuidado, ya que el hongo sobrevive en los frutos enfermos que permanecen en el árbol de cacao después de la cosecha.
- Debido a que el lapso desde la aparición de la mancha hasta la esporulación es de siete días, y teniendo como objetivo evitar la producción de esporas (inóculo), se recomienda remover los frutos enfermos semanalmente durante los meses de mayor cuajamiento y desarrollo de los frutos. Específicamente para el Huila, estas épocas son entre junio y agosto y entre noviembre y enero; durante los otros meses del año, la remoción debe realizarse cada dos semanas, debido a que hay menos frutos en formación.
- Dejar los frutos enfermos sobre el piso y cubiertos con hojarasca para acelerar la descomposición del tejido y evitar la dispersión del inóculo.

- Tratar la cacota del cacao con desecantes, como cal agrícola o urea, para acelerar la deshidratación del tejido y evitar que continúe siendo un sustrato vivo en el que pueda estar el hongo.
- Emplear genotipos más resistentes que el hongo en zonas agroecológicas por debajo de los 8.000 m.s.n.m., donde las condiciones ambientales favorecen el desarrollo de la enfermedad. Algunos de estos genotipos pueden ser: ICS 95, CCN 51, CAU 39, CAU 43.
- La fertilización balanceada de acuerdo con el análisis de suelo y el empleo de drenajes son prácticas complementarias que mantienen el vigor en el árbol y disminuyen el ataque de monilia.
- El empleo de fungicidas sistémicos del grupo de las estrobilurinas ha mostrado efectividad en el control del patógeno. Su uso de manera conjunta con la remoción de mazorcas es la alternativa más eficaz en el control de las epidemias.

Pudrición parda de la mazorca, mazorca negra o cáncer del tronco (*Phytophthora palmivora*)

En Colombia, las pérdidas ocasionadas por esta enfermedad se han incrementado en los últimos años, debido al establecimiento de nuevas plantaciones en alturas superiores a los 800 m.s.n.m. y al empleo de clones con comprobada susceptibilidad, como el CCN 51 y los ICS, especialmente el ICS 95. Las pérdidas de producción en estas condiciones han sido estimadas en un 20 %, aproximadamente (Ramírez, 2016). En Colombia, se ha determinado la presencia de *P. palmivora* como agente causal de la enfermedad, pues no se ha establecido la presencia de otras especies de *Phytophthora* (Rodríguez & Vera, 2015).

Esta enfermedad es especialmente severa porque puede comprometer seriamente la producción, ya que los frutos próximos a la cosecha son los más susceptibles, y sus granos se pueden dañar en un periodo de 10 a 15 días.

Síntomas y signos

En frutos: La infección por *Phytophthora* puede ocurrir en cualquier parte del fruto y en cualquier etapa de su desarrollo; por lo general, se observa en los extremos de la mazorca, área donde se acumula más agua, y en frutos maduros, que son los más susceptibles (figuras 51b y 51d).

Los primeros síntomas de la enfermedad se manifiestan aproximadamente 30 horas después de ocurrida la infección como pequeñas manchas de apariencia acuosa en la superficie de los frutos (figura 51a). Las lesiones necróticas de color café (pardo) características se desarrollan rápidamente, y entre 3 y 5 días después de la aparición de los primeros síntomas se puede observar sobre la superficie de la lesión un crecimiento pulverulento poco denso formado por el micelio y los esporangios del oomiceto (figura 51b).

El borde de la lesión crece aproximadamente 12 mm por día y se caracteriza por ser bien definido. Una característica típica de esta mancha y que la diferencia de la producida por monilia es que la lesión avanza en su interior a la misma velocidad que progresa externamente (figura 51c). La lesión crece rápidamente y llega a cubrir la totalidad tanto de la superficie del fruto como de los tejidos internos, incluyendo los granos, en un periodo aproximado de 10 a 15 días (figura 51d). El daño en las almendras es total, y la pudrición interna es suelta y fétida. Si los frutos se cosechan a tiempo, se puede recuperar gran parte de ellos, pero se afecta la calidad organoléptica y sensorial del cacao (Gregory & Maddison, 1981; Rodríguez & Vera, 2015).

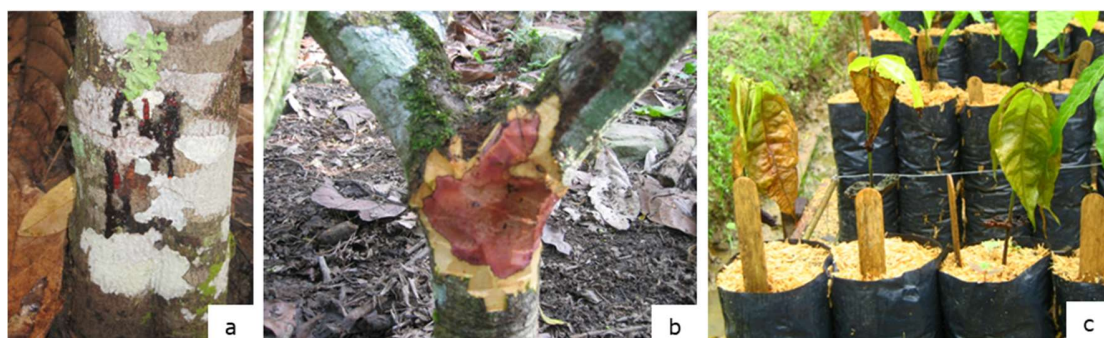


Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 51. Síntomas de *P. palmivora* en frutos de cacao. a. Primeros síntomas; b. Necrosis de tejido externo y esporulación (producción de esporangios); c. Necrosis de tejido interno proporcional a la necrosis externa; d. Necrosis total del fruto.

En tejido leñoso y cojines florales: La infección por *Phytophthora* también puede aparecer en otros órganos de la planta, como tallos, ramas y chupones, donde forma lesiones cancerosas (figura 52a). Las lesiones cancerosas aparecen como manchas necróticas de color marrón en la corteza del tallo principal, en ramas secundarias y en el pedúnculo del fruto, y tienen como característica la exudación de una goma rojiza (figura 52a). Al raspar la superficie de la corteza afectada, el tejido expuesto se torna acuoso y pegajoso, y se observa en la corteza interna una lesión rojiza que no penetra profundamente (figura 52b). La necrosis del tallo puede avanzar hasta rodear totalmente el tronco principal, lo que causa la muerte súbita del árbol (Erwin & Ribeiro, 1996; Rodríguez & Vera, 2015).

En condiciones húmedas, el hongo también ataca plántulas, causando necrosis en las hojas (tizón) y daño al sistema radical y el tallo principal, lo que genera la muerte de estas (figura 52c).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco y Fabio Aranzazu

Figura 52. Síntomas de *P. palmivora* en tronco de cacao. a. Lesión cancerosa en la corteza; b. Daño en los tejidos internos del tronco; c. Necrosis en planta de vivero.

Ciclo de vida

El ciclo de *Phytophthora* dura alrededor de tres meses (10 ± 5 días), dependiendo particularmente de la resistencia genética del genotipo y de las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y precipitación (Rodríguez & Vera, 2015). En la figura 53 se presentan de forma gráfica las etapas de desarrollo de la enfermedad y su duración en días.

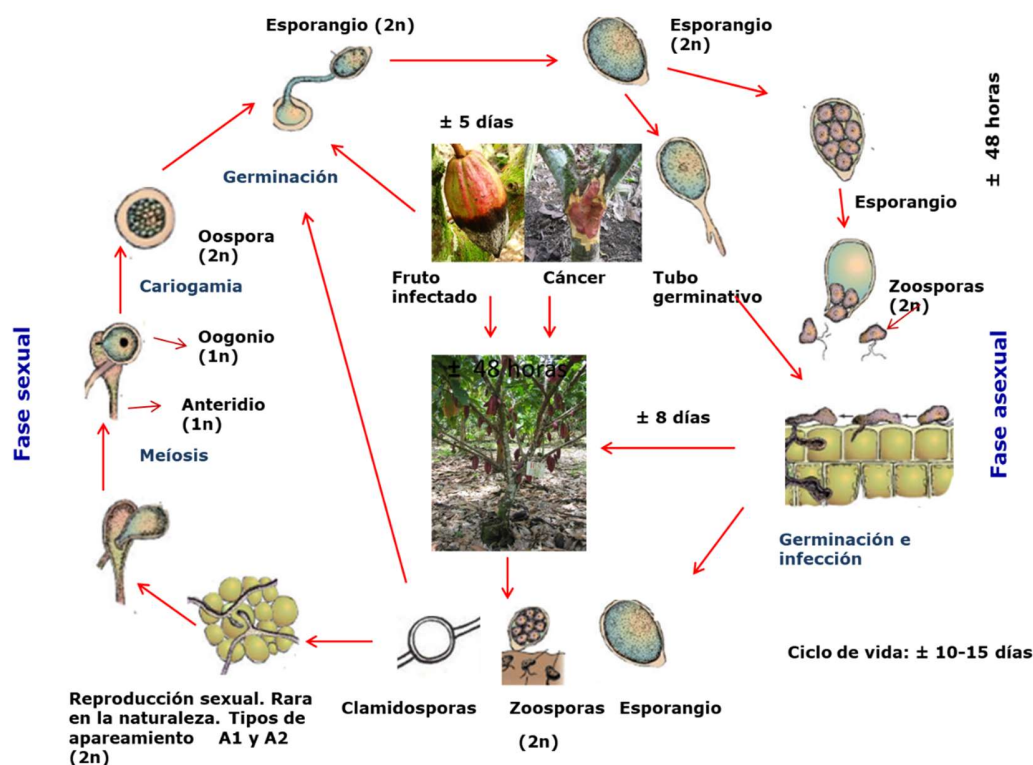


Figura 53. Ciclo de vida de *Phytophthora* spp. en cacao.

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodríguez y Vera (2015)

Factores ambientales favorables

La presencia de pudrición parda de las mazorcas se encuentra correlacionada con una alta humedad relativa y con bajas temperaturas. Estudios sobre el desarrollo de la enfermedad en diferentes condiciones ambientales indican que la incidencia y la severidad de esta enfermedad se ven favorecidas por una humedad relativa superior al 95% y por temperaturas entre 18 y 20 °C, condiciones que permiten una mayor producción de estructuras reproductivas (zoosporas) que diseminan la enfermedad (Enríquez, 1985; Orellana, 1956).

Control

La pudrición parda de la mazorca es una enfermedad de difícil control debido a que *Phytophthora* es un habitante natural del suelo, lo que genera la necesidad de hacer un manejo riguroso de los frutos enfermos y los residuos de la cosecha (Rondón & Gómez, 1993).

Entre las prácticas culturales ampliamente recomendadas para el control de *Phytophthora* están:

- Recolectar frecuentemente la totalidad de las mazorcas enfermas, así como cubrir con hojarasca y aplicar desecantes una vez son arrojadas al suelo. La recolección debe hacerse semanalmente, con el propósito de disminuir la diseminación del inóculo.
- Cosechar, semanalmente o en un periodo no mayor a 15 días, las mazorcas maduras.
- Hacer una cirugía en el tronco que consiste en raspar la porción enferma hasta dejar el tejido sano, donde después se aplica un fungicida a base de metalaxil al 0,25 % o una pasta cicatrizante con 10 g del mismo fungicida en un litro de agua, y una dosis igual 15 días después.
- Desinfectar las herramientas de cosecha y poda.
- Utilizar microorganismos descomponedores o sustancias desecantes en las pilas de residuos de cosecha para generar una rápida descomposición del material enfermo, lo que hace que se disminuyan las fuentes de inóculo y la población de insectos vectores que allí se desarrollan.
- Realizar prácticas de manejo de la sombra y del tamaño de la copa de los árboles de cacao y de los maderables asociados, pues estas permiten la entrada de luz y el flujo de aire a través de los árboles. Estas prácticas incluyen sembrar a distancias adecuadas, hacer podas de formación y mantenimiento y controlar las arvenses.
- Controlar la presencia de hormigas, pues estas contribuyen en la diseminación del inóculo en el dosel.
- Instalar y mantener un sistema de drenaje en caso de que las condiciones del suelo lo requieran.
- Hacer el plateo al árbol retirándole la hojarasca y las malezas.
- En viveros, manejar la humedad y la sombra y garantizar una buena sanidad del sustrato.

Control químico: Está basado en la aplicación de fungicidas para el manejo de oomicetos, considerando el uso de fungicidas sistémicos, como metalaxil, fosetil aluminio y fosfito monopotásico y dipotásico, entre otros, y la rotación de productos protectantes, como sulfatos de cobre y calcio y mancozeb (Guest et al., 1994; Rondón & Gómez, 1993).

Control biológico: *P. palmivora* es altamente sensible a la acción de *Trichoderma* spp. Y *Gliocladium* spp., pues se ha observado el efecto de estas dos especies en la reducción del crecimiento y la multiplicación del patógeno (Krauss & Soberanis, 2001).

Control genético: El cultivar Scavina 6 es considerado incluso más resistente que las variedades Catongo e ICS 1. Son también resistentes los materiales Pound 7, CC 42, EET 59, UF 613, Scavina 1 y Scavina 12 (Arciniegas, 2005; Iwaro, Sreenivasan, & Umaharan, 1997).

Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa* [Stahel] Aime & Phillips-Mora)

El hongo basidiomiceto *M. perniciosa* es el agente causal de la escoba de bruja en cacao. Este hongo se caracteriza por afectar tejido vegetal en activo crecimiento (meristemas), por lo que su presencia en el cultivo es más severa durante la época de formación de la cosecha, al atacar los cojines florales y frutos en diferentes estados de formación (Tovar, 1991). Las escobas secas en ramas vegetativas se constituyen como la principal fuente de inóculo, debido a que, una vez empiezan las lluvias, es allí donde se producen las estructuras reproductivas del patógeno (basidiocarpos o *sombrillas*) (figura 54).



Figura 54. Estructuras reproductivas de *M. perniciosus*. a. Basidiocarpos en ramas secas; b. Liberación de basidiosporas por el basidiocarpio.

Síntomas y signos

El hongo ataca todos los tejidos meristemáticos de la planta, excepto los de la raíz, y por eso provoca síntomas internos y externos. La planta manifiesta diferentes síntomas dependiendo de su edad y del estado fenológico del tejido afectado. Algunos de los síntomas que causa el hongo en el hospedero son: hipertrofia e hiperplasia (sobrecrecimiento de tejido) y cambio en la función fisiológica del tejido (Tovar, 1991). De acuerdo con el órgano afectado, los síntomas típicos de la enfermedad son:

En yemas terminales: Las escobas de ramas (escobas típicas) presentan inicialmente un desarrollo vigoroso y excesivo, con acortamiento de entrenudos, y las hojas tienen un peciolo más grueso, aunque de aspecto normal (figura 55a).

En cojines florales: Se observa la formación de escobas vegetativas, que presentan características similares a las yemas vegetativas (figura 55b). También puede presentarse proliferación de flores hipertrofiadas con pedúnculos largos y compuestos en ramillete (figura 55b). Las flores individuales surgidas sobre cojines infectados y aún no polinizadas pueden desarrollar frutos partenocárpicos redondeados, en forma de fresa o chirimoya, que mueren prematuramente en el transcurso de 4-6 semanas (figura 55c), mientras que los

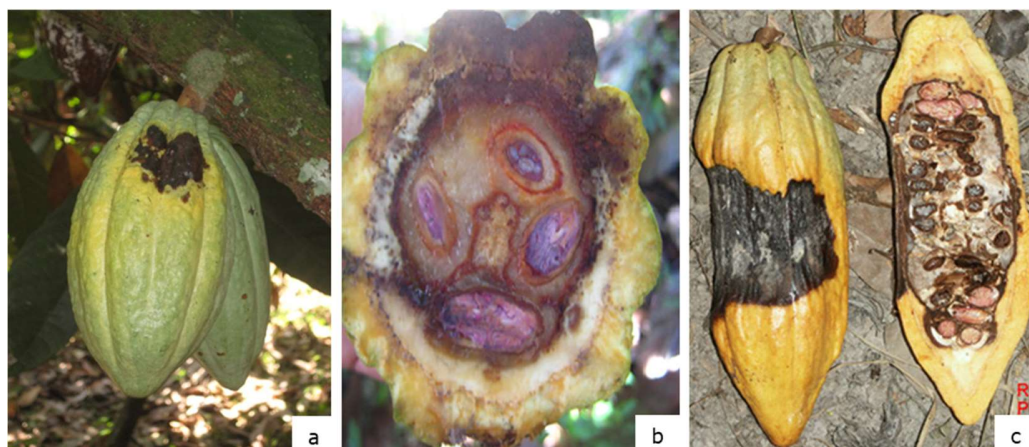
frutos de flores polinizadas sobre un cojín infectado presentan pedúnculos hipertrofiados de forma alargada, de apariencia cónica y con formación de granos (frutos zanahoria); estos frutos se necrosan prematuramente y no superan los 10-15 cm de longitud (figura 55d).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 55. Síntomas de *M. pernicioso* en cacao. a. En yemas terminales; b. En cojines florales: escobas vegetativas y flores hipertrofiadas; c. Frutos chirimoya; d. Frutos zanahoria.

En frutos: Se presentan lesiones necróticas oscuras, irregulares, alargadas, de aspecto alquitranoso y casi siempre rodeadas de un halo clorótico. La corteza es gruesa, tiene sectores abultados o hipertrofiados y en ella se observan bandas necróticas; el mucílago es entre líquido y sólido y de color amarillo, y las semillas son deformes y algunas tienen hidrólisis en los cotiledones (figuras 58a y 58b). En frutos de edad avanzada, se presenta una necrosis muy deprimida generalmente en la base del fruto, cerca del pedúnculo; en la parte media del fruto, la lesión es de bordes irregulares, muy oscura y rodeada por una zona amarilla bastante amplia; al interior de la necrosis, el mucílago es líquido y las almendras son deformes casi en su totalidad y tienen hidrólisis en los cotiledones (figura 58c).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 56. Síntomas de *M. pernicioso* en frutos de cacao maduros. a. Lesión necrótica en la corteza; b. Lesión interna; c. Lesión necrótica en fruto de edad avanzada.

En plantas en vivero: Los síntomas pueden ser ocasionados por infección en la semilla (proveniente de un fruto infectado) o en la planta germinada, lo que origina plantas con el hipocótilo hipertrofiado (figura 57a). Ya en la parte aérea, la plántula exhibe diferentes síntomas en el meristemo terminal, como proliferación de ramas con entrenudos cortos, hojas delgadas de consistencia apergaminada que forman una especie de rosera y formación de una o más hojas de excesivo tamaño y con consistencia delgada (figura 57b). Todos estos síntomas son seguidos por el secamiento y la muerte total de los tejidos.

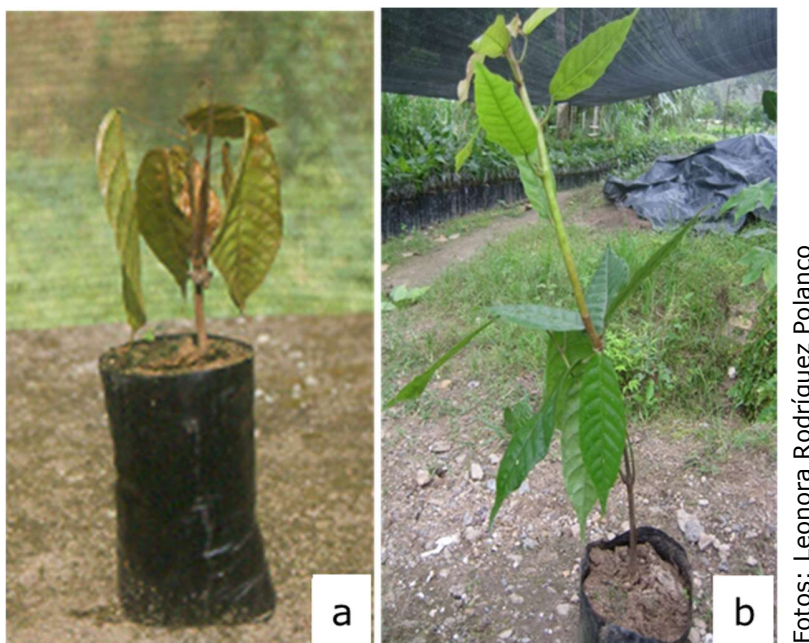


Figura 57. Síntomas de *M. perniciosa* en planta de cacao en vivero. a. Síntomas en el hipocótilo; b. Síntomas en el epicótilo.

Un signo característico de este hongo son los basidiocarpos (sombrillas) visibles en los tejidos necrosados. Los basidiocarpos son las estructuras reproductivas del hongo y se producen sobre el tejido infectado y completamente necrosado.

Ciclo de vida

En la figura 58 se observa que la infección causada por *M. perniciosa* comienza con la formación de basidiocarpos sobre tejido completamente necrosado, donde se producen las estructuras infectivas del hongo (basidiosporas), que son liberadas en condiciones de alta humedad relativa (80-85 %), necesarias para su germinación (4-12 horas). Posteriormente, el hongo se desarrolla al interior del tejido y causa sobrecrecimiento (escobas típicas y malformación de frutos). Entre uno y dos meses después de la aparición de las alteraciones en los tejidos enfermos, estos se necrosan y el hongo entra en un periodo de latencia (inactividad) del que sale una vez inicia el periodo de lluvias, con el que se reactiva su desarrollo e inicia la etapa reproductiva con la formación de los basidiocarpos (Aranzazu, 2000; Tovar, 1991).

El ciclo de vida de la enfermedad puede durar de 5,5 a 10 meses. En regiones con periodos prolongados de sequía, el inicio de la formación de los basidiocarpos se puede prolongar hasta 5 meses más en comparación con regiones con buen régimen de lluvias (Aranzazu, 2000; Tovar, 1991).

Una escoba seca tiene la capacidad de producir basidiocarpos por un periodo de hasta dos años, tiempo en el cual ocurre la completa deshidratación del tejido vegetal.

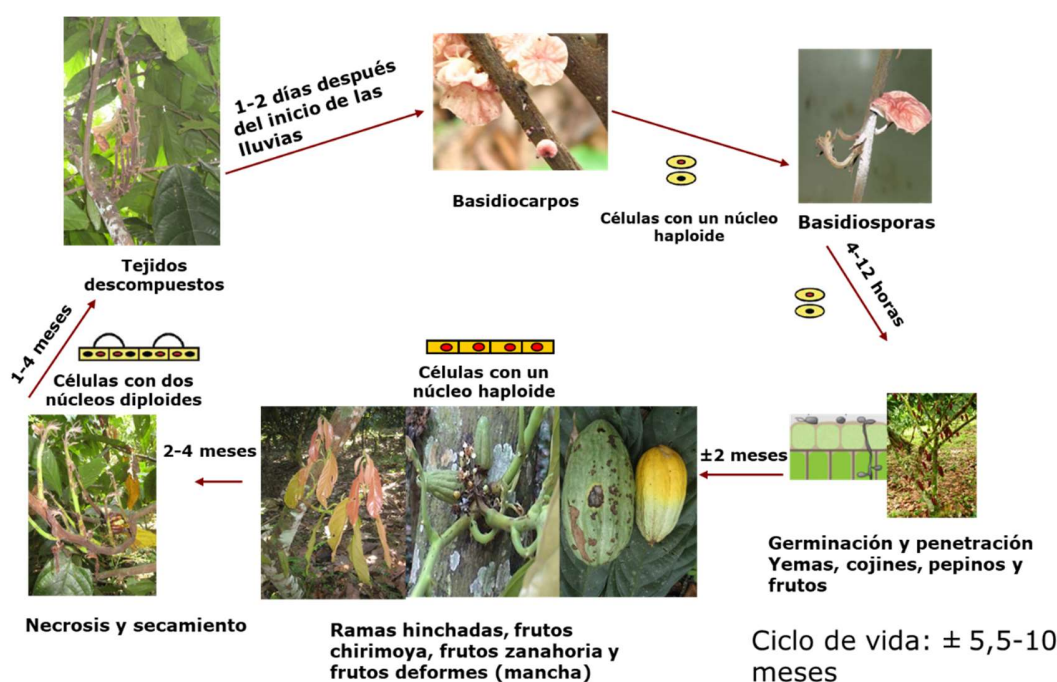


Figura 58. Ciclo de vida de *M. perniciosa* en cacao.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aranzazu (2000) y Tovar (1991)

Factores ambientales favorables

La época de lluvia es el factor que propicia la producción de basidiocarpos en escobas, frutos secos y hojas; estos constituyen la fuente de inóculo primario del patógeno por la liberación de las basidiosporas (estructuras reproductivas del hongo), principalmente en horas de la noche, al ser favorecidas por una humedad relativa entre el 80 y el 85 % y por temperaturas de 20 a 25 °C (Aranzazu, 2000; Tovar, 1991).

Control

Está basado principalmente en las prácticas culturales, mediante la remoción de las escobas enfermas secas antes del inicio del periodo de lluvia, evitando al máximo la producción de estructuras infectivas del hongo (basidiocarpos); esta medida disminuye el inóculo infectivo dentro de la plantación (Aranzazu, 2000; Grisales & Cubillos, 1986). Asimismo, se recomienda podar los árboles de cacao a una altura inferior a los 3,5 m, para facilitar la cosecha y la remoción de las escobas secas y los frutos afectados.

La remoción de las escobas secas se debe realizar al mismo tiempo que la poda de mantenimiento del cultivo; una vez se termina la cosecha, cuando el árbol queda descargado, no hay emisión de brotes nuevos, y este periodo coincide con la época seca, por lo que se disminuye al máximo la contaminación de los tejidos en desarrollo. Se recomienda realizar esta poda en la primera estación seca del año posterior a la cosecha principal. Además, se debe hacer una segunda remoción de escobas cuatro o cinco meses después, junto con la poda sanitaria.

Es importante que la eliminación de las escobas secas en el árbol sea total, ya que una sola escoba tiene la capacidad de producir basidiocarpos por un periodo de hasta dos años, tiempo en el cual ocurre la completa deshidratación del tejido vegetal. Como norma general, no debe haber escobas secas en los árboles a comienzos de la época de lluvia, con el fin de evitar futuras epidemias.

En cuanto a la resistencia genética como control de la enfermedad, se ha identificado que los genotipos SCA 6 y SCA 12 (materiales peruanos) tienen un alto nivel de resistencia al patógeno y, por tanto, han sido ampliamente empleados en programas de mejoramiento (Bartley, 2001).

Asimismo, se ha identificado al microorganismo *Trichoderma stromaticum* como una alternativa de manejo biológico, aunque todavía debe ser evaluada en campo (Bastos, 1996).

El surgimiento de los fungicidas sistémicos con actividad para basidiomicetos (triazoles y estrobilurinas) esboza nuevas herramientas para el control del hongo en estructuras como escobas verdes y cojines florales, debido a la translocación de estos productos en los tejidos (de Oliveira & Luz, 2005).

Mal del machete o llaga macana (*Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst)

C. fimbriata representa uno de los patógenos vasculares más virulentos y económicamente más importantes en muchos cultivos agrícolas y forestales. En Colombia, el hongo fue observado en cacao en 1958.

Síntomas y signos

C. fimbriata es un habitante común de los suelos, especialmente de los mal drenados, y penetra en la planta en cualquier etapa de desarrollo a través de heridas en el tallo o la raíz, o por aberturas naturales (hidátodos o lenticelas). Es un patógeno endovascular, ya que, una vez ingresa a la planta, se ubica en el sistema vascular (xilema), obstruyéndolo e impidiendo el transporte de nutrientes y agua al resto de la planta, lo que genera su muerte de manera descendente.

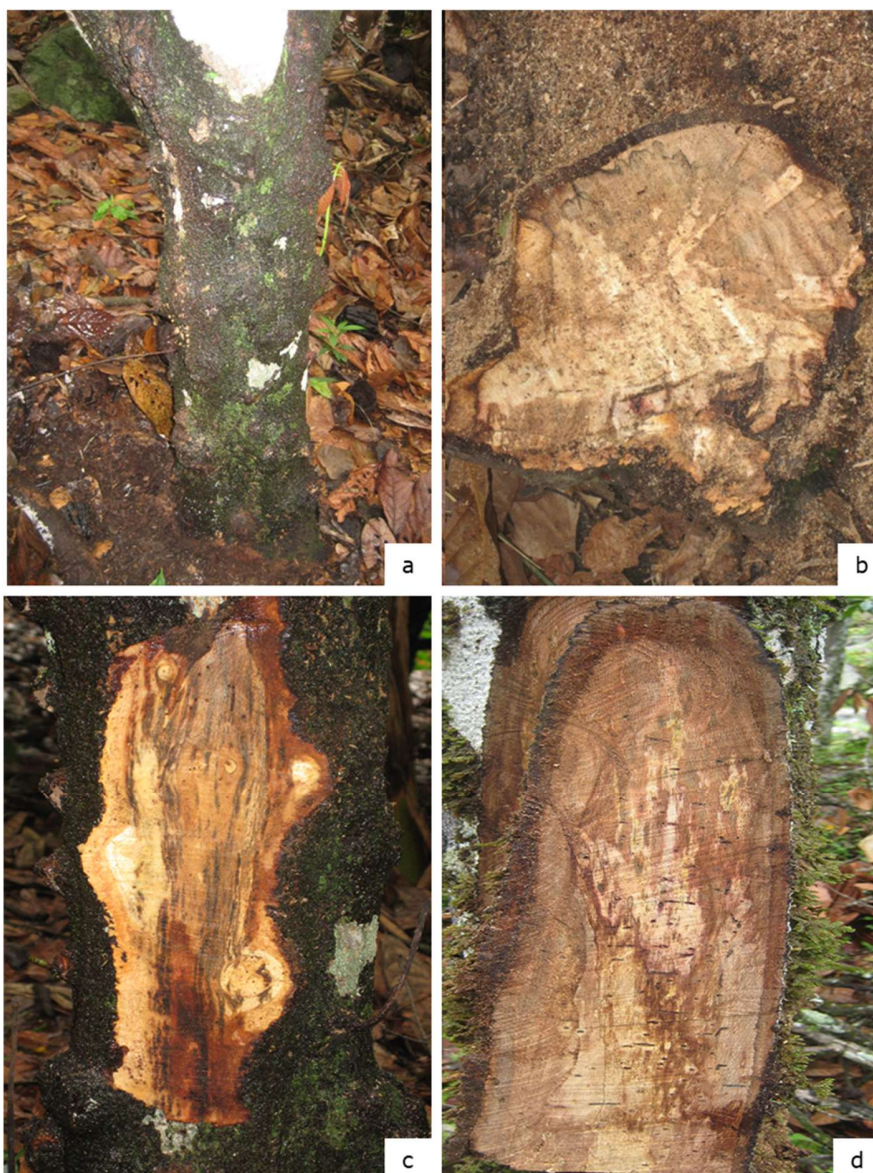
Los síntomas externos visibles y característicos de esta enfermedad son la pérdida de turgencia (marchitamiento), amarillamiento y secamiento de ramas o de la planta entera, lo que depende del lugar donde ocurra la infección (Montes de Oca, 1975) (figura 59). Otra característica de esta enfermedad es que las hojas, al perder la turgidez del tejido, se secan, se entorchan, quedan adheridas a las ramas hasta secarse completamente y permanecen así por semanas, aun después de la muerte aparente de la planta. En la base del tallo se observa aserrín asociado a las galerías ocasionadas por el insecto identificado como vector del hongo (Crone & Bachelder, 1961; Iton, 1966) (figura 60a).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 59. Síntomas externos de *C. fimbriata* en cacao. a. Árboles de cacao en plantación; b. Plantas jóvenes inoculadas artificialmente.

El síntoma interno característico y constatable en las secciones transversales de órganos leñosos es la presencia de estrías radiales oscuras en la médula (figura 60b). Al realizar un corte longitudinal en la médula, se observa un oscurecimiento discontinuo en los tejidos de color marrón rojizo oscuro y la presencia de galerías ocasionadas por *Xyleborus* spp. (figuras 60c y 60d).



Fotos: Leonora Rodríguez Polanco

Figura 60. Síntomas externos e internos de *C. fimbriata* en el tallo del cacao. a. Aserrín asociado al insecto vector; b. Síntoma en una sección transversal; c. Síntoma en una sección longitudinal; d. Galerías producidas por escarabajos vectores.

La diseminación de la enfermedad y la aparición del marchitamiento en árboles dentro de la plantación se asocian frecuentemente con heridas producidas por machetes y otras herramientas. El micelio y las esporas del hongo penetran en el xilema a través de estas heridas recientes y causan las necrosis del tejido inicial (color rojizo oscuro), que originan el marchitamiento vascular, muerte de tejidos y, probablemente, la muerte del árbol.

El hongo esporula principalmente en la superficie del corte de las ramas infectadas. Esta masa fúngica produce un olor similar al del banano, lo que atrae los insectos que se alimentan de hongos y que funcionan como vectores del patógeno. Los insectos asociados como vectores son especialmente escarabajos de la familia Nitidulidae, especies de *Xyleborus* e *Hypocryphalus*. El hongo alcanza las plantas debido a que sus conidias pueden sobrevivir al paso por el intestino de estos insectos. La mezcla de aserrín y heces presente en la salida de las galerías de un árbol enfermo es una importante fuente de inóculo de este patógeno (Crone & Bachelder, 1961; Harrington & Harrington, 2004; Iton, 1966).

Las herramientas cortantes, principalmente el machete, facilitan la entrada del hongo y sirven como vehículo de dispersión de la enfermedad, ya que el patógeno puede sobrevivir en ellas por un periodo de hasta una semana.

Ciclo de vida

El avance de la infección del hongo alrededor del tronco es más lento que a lo largo de este, y el proceso desde la infección hasta la muerte de la planta puede durar entre 8 y 24 meses. Una de las dificultades en el diagnóstico de la enfermedad es que los síntomas iniciales son imperceptibles, pues la clorosis y marchitez del árbol se observan cuando la enfermedad ya está bastante avanzada en los tejidos vasculares (Harrington & Harrington, 2004).

Factores ambientales favorables

La temperatura óptima para el crecimiento de este hongo está entre 18 y 28 °C, y definitivamente no tolera temperaturas mayores a 35 °C. No se conoce el periodo de incubación del hongo en el suelo, pero puede permanecer viable hasta por 105 días (Harrington & Harrington, 2004).

Control

En general, el control de la llaga macana es básicamente preventivo, tanto cultural como químico, biológico y genético; es así como diferentes estrategias han sido aplicadas en el manejo de la enfermedad, con el objetivo de manejar las fuentes del inóculo responsable de su diseminación y de la supervivencia del insecto vector.

Una de las prácticas culturales más útiles es la disminución del daño mecánico infringido a la planta, especialmente durante la poda y la cosecha.

También se recomienda la desinfección de las herramientas con una solución de hipoclorito de sodio al 1 %, la remoción de tejidos enfermos y la protección de los tejidos expuestos en el corte con una pasta fungicida (una parte de sulfato de cobre y seis partes de cal).

Cuando se detectan árboles enfermos, estos deben ser eliminados completamente (la aplicación de herbicidas con ingredientes activos de tipo picloram favorece la rápida muerte del tejido); una vez muertos, los árboles deben ser arrancados y quemados dentro de la plantación, y se recomienda aplicar 2 kg/m² de cal en el sitio del árbol muerto. Del mismo modo, es importante darle un adecuado drenaje al suelo y aplicar cobre en la base de las plantas vecinas al foco como medida de prevención de la enfermedad (Bolaños, 1991).

Se sabe que algunos árboles maderables utilizados en el sombrío de la plantación, como el madero negro o matarratón (*G. sepium*) y la melina (*Gmelina arborea* Roxb), son hospederos de *C. fimbriata*, y, por tanto, se recomienda su rápida eliminación en caso de tener la enfermedad (Harrington & Harrington, 2004).

En Colombia, se ha identificado que los clones ICS 6, ICS 95 y TSA 654 presentan buenos niveles de resistencia ante esta enfermedad (Barros, 1981).

Llaga radical o rosellinia (*Rosellinia pepo*)

La enfermedad es causada por el hongo saprofita *Rosellinia pepo*, habitante natural del suelo, que puede sobrevivir por largos periodos de tiempo sobre restos de raíces. El hongo puede tornarse patógeno (parásito facultativo) si existe abundancia de sustrato alimenticio para su desarrollo, condición que es favorecida cuando se eliminan los árboles de sombrío por el método de anillamiento. Ante la abundancia de sustrato alimenticio, *Rosellinia* incrementa su población, rompe el equilibrio biológico del suelo y se torna patogénico. Es importante mencionar que, aunque este hongo es saprofita, una vez la enfermedad se establece, es de difícil control (Aranzazu, 1996).

La penetración de *Rosellinia* spp. es directa y se realiza por una masa algodonosa (cojín infeccioso) que genera la fuerza suficiente para romper los tejidos del hospedante (Tourvieille de Labrouhe, 1982).

Síntomas y signos

Una característica de los hongos de este género es que se expanden por el terreno a través de cordones de rizomorfo (agrupaciones de hifas), pasando de plantas infectadas a plantas sanas, lo que hace que la enfermedad se presente en forma de pequeños parches localizados y se extienda progresivamente por el suelo, en todas las direcciones, formando grandes parches radiales debido a su continuo avance hacia los árboles vecinos (Merchán, 1990, 1993) (figura 61).

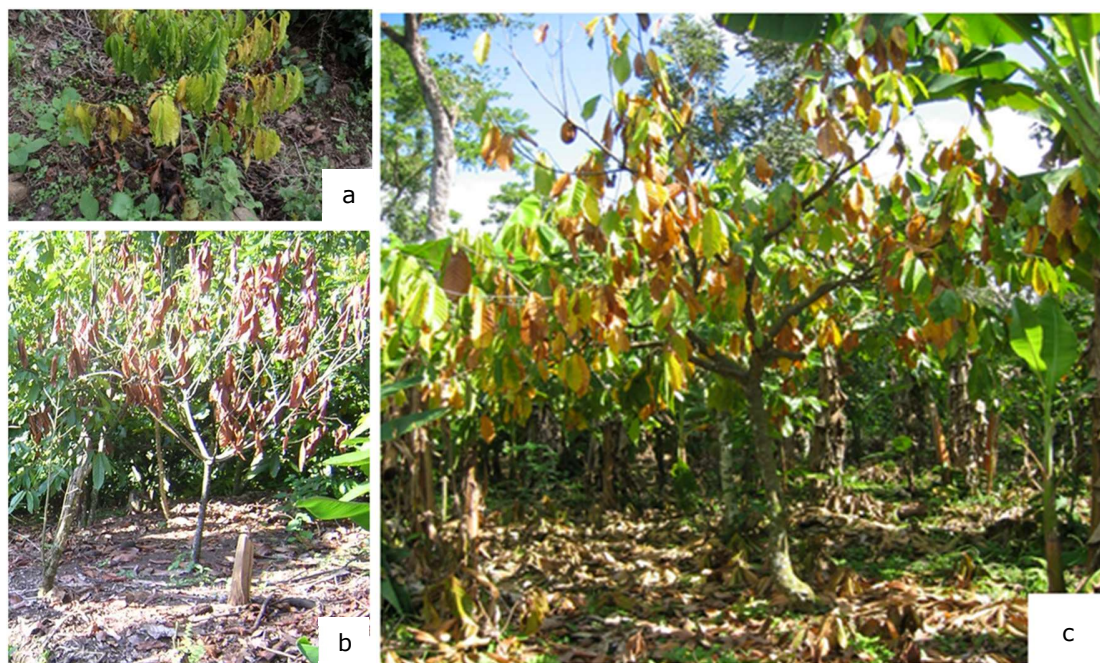


Fotos: Fabio Aranzazu

Figura 61. Parches radiales y distribución de *Rosellinia* spp. a. Vista general de un lote con parches radiales de la enfermedad; b. Árboles individuales con signos de afectación.

De acuerdo con la edad de la planta, los síntomas pueden variar en su intensidad. Es así como, en plantas de cacao jóvenes, la necrosis del sistema radicular se presenta de forma generalizada, más o menos rápida y uniformemente, mientras que en la parte aérea se observa marchitamiento, amarillamiento y secamiento de las hojas, que pueden permanecer adheridas al árbol aun después de su muerte (figura 62a).

En plantas adultas, la enfermedad progresa más lentamente. Frecuentemente la planta emite nuevos brotes foliares, pero estos se observan cloróticos y con hojas pequeñas (figura 62b). Además, la muerte de la planta se presenta solamente cuando la enfermedad ataca el cuello del tallo (De Oliveira & Luz, 2005; Mendoza, 2000; Merchán, 1990, 1993) (figura 62c).



Fotos: Fabio Aranzazu

Figura 62. Síntomas de *Rosellinia* spp. en cacao de acuerdo con la edad de la planta.
a. En planta joven; b. En planta adulta sintomática; c. En planta adulta muerta.

Al observar la raíz de los árboles enfermos, se puede encontrar sobre la corteza el crecimiento micelial del hongo, que se torna de color gris oscuro-negro, con márgenes blanquecinos, extendiéndose hasta por encima del cuello de la planta, donde llega a formar una masa carbonosa con superficie lanosa (figura 63a). Al remover la corteza externa (peridermis) de las raíces enfermas, se puede observar, sobre la madera (en el cámbium), la formación de estructuras miceliales blanquecinos en forma de abanicos o estrellas (rizomorfos) (figura 63b).



Fotos: Leonora Rodríguez
Polanco

Figura 63. Síntomas de *Rosellinia* spp. en raíces de plantas de cacao.
a. Síntoma externo; b. Síntoma interno (rizomorfos).

Muchos árboles utilizados como sombrío (*Inga* spp., *Leucaena* spp. O *Erythrina* spp., por ejemplo) son susceptibles al ataque de *Rosellinia* spp. Y con frecuencia son el origen de la infección, al ser eliminados por el método de anillamiento, que origina la muerte lenta del árbol y favorece la disponibilidad de alimento para el hongo, por lo que se incrementa su multiplicación y habilidad patogénica para infectar árboles sanos (Aranzazu, 1996). Debido a su dispersión por contacto entre las raíces, la enfermedad se desarrolla en focos.

Control

El control cultural es la estrategia más empleada para el manejo de la *Rosellinia* spp. Y debe tener en cuenta tres aspectos fundamentales: evitar las causas predisponentes, manejar la enfermedad en el foco evitando su dispersión y rehabilitar el área infestada.

Dentro de los factores que predisponen el ataque del patógeno se encuentran los residuos leñosos, y, por tanto, es necesario eliminar los árboles de sombrío por medio de un tratamiento con productos arboricidas (herbicidas a base de picloram) inyectados al tronco o aplicados con brocha sobre el anillo del área descortezada, práctica que favorece la rápida descomposición del tejido vegetal.

Las medidas de control en el foco se enmarcan en tres etapas: en primer lugar, se deben aislar las plantas enfermas o las áreas afectadas mediante zanjas y la poda de raíces (el suelo removido debe ser depositado dentro del foco); en segundo lugar, se debe evitar el desarrollo de fuentes de infección, para lo cual deben ser retirados y quemados todos los residuos leñosos presentes dentro de la zona afectada; en tercer lugar, se debe erradicar el patógeno con medidas de solarización o con el empleo de fungicidas o microorganismos biocontroladores (Nowell, 1916).

Para evitar la dispersión de la enfermedad fuera del foco se necesitan: la erradicación de árboles muertos o con síntomas en el cuello del tallo; la poda de raíces de los árboles adyacentes al foco a 60 cm del cuello de la raíz y a 20 cm de profundidad; el repique del suelo del área a una profundidad de por lo menos 20 cm; limpieza mediante la eliminación de raíces sanas y enfermas (todo el material leñoso extraído debe ser quemado) (figura 64); la aplicación de cal agrícola, sobre todo en suelos ácidos, para facilitar la descomposición de la materia orgánica; la solarización del suelo mínimo por cuatro meses; la aplicación de microorganismos benéficos (*Trichoderma* spp.); la siembra de un cultivo resistente al hongo (trigo, cebada, caña, pasto guinea, maíz, frijol, maracuyá o piña), y, pasado un periodo mínimo de dos años, la resiembra del cacao. Es importante hacer un monitoreo constante del comportamiento de la enfermedad en las aéreas con antecedentes de presencia del patógeno para poder detectar plantas en estados iniciales de infección (Aranzazu, 1996; Cárdenas, Bustamante, Rivas, Rivillas, & Pérez, 1998; Nowell, 1916).

Con relación a la resistencia genética, no existe evidencia de su presencia en cacao.

Un método promisorio para el manejo de *Rosellinia* spp. es el control biológico, pues el uso de antagonistas, principalmente de los géneros *Trichoderma* y *Pseudomonas*, ha mostrado resultados alentadores en el control del hongo (Aranzazu 1996; Castro, 1995).

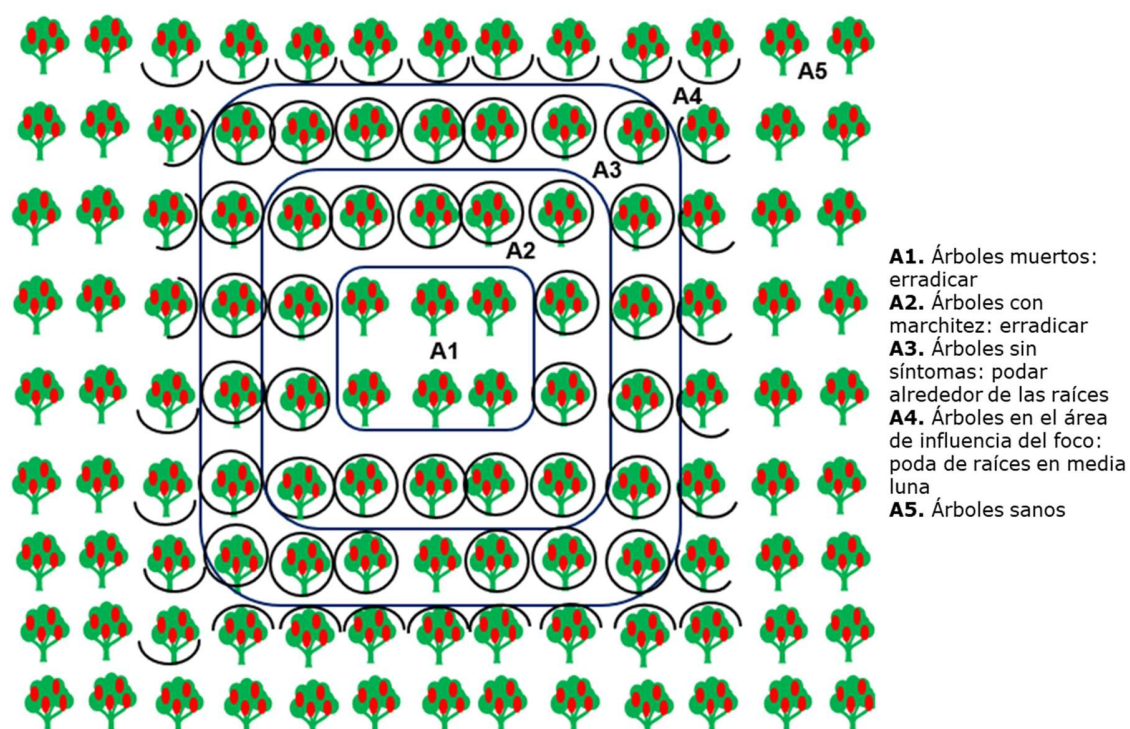


Figura 64. Esquema de manejo del área con presencia de *Rosellinia* por erradicación de árboles muertos y sintomáticos y poda de raíces a los árboles vecinos.

Fuente: Elaboración propia

Respuesta de los clones de cacao a la infección por monilia (*M. roreri*) y mazorca negra (*P. palmivora*)

La tabla 21 presenta materiales genéticos y su respuesta a la monilia.

Tabla 21. Respuesta del material genético utilizado como clon en Colombia a monilia y mazorca negra

Clon	Procedencia	Índice de mazorca	Índice de grano	Compatibilidad sexual.	Respuesta a monilia	Respuesta a mazorca negra
ICS 1	Trinidad	18	1,6	AC	S	-
ICS 6	Trinidad	15	1,8	AC	-	-
ICS 39	Trinidad	13	2,3	AI	S	-
ICS 40	Trinidad	15	1,9	AI	S S+	-
ICS 60	Trinidad	14	2,2	AI	S	-
ICS 95	Trinidad	19	1,4	AC	MR R+	S
TSH 565	Trinidad	20	1,3	AI	S S+	S
TSH 812	Trinidad	21	1,4	AC	MS+	-
UF 650	Trinidad	19	1,6	AI	-	-
EET 8	Ecuador	16	1,9	AI	S S+	S
EET 96	Ecuador	17	1,6	AC	-	-
EET 400	Ecuador	19	1,5	AI	-	-
CCN 51	Ecuador	15	1,8	AC	MS MR+	S
SCC 61	Colombia	15	1,4	AI		-
FLE 2	Colombia	20	1,4	AI	MR+	-
FLE 3	Colombia	17	1,4	AI	MR+	-
FSA 11	Colombia	16	1,3	AI	-	-
FSA 12	Colombia	21	1,2	AI	-	-
FSA 13	Colombia	20	1,4	AI	-	-
FEAR 5	Colombia	18	1,3	AC	-	-
FTA 2	Colombia	16	1,5	AC		-
CAU 39	Colombia	20	1,4	AI	MR+	-
CAU 43	Colombia	21	1,1	AI	MR+	-

Nota: AC: autocompatible; AI: autoincompatible; S: susceptible; MR: moderadamente resistente; R: resistente; MS: moderadamente susceptible

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodríguez y Medina (2005), Jaimes et al. (2011) y Rodríguez y Vera (2015)

Los clones P 7, PA 46, PA 121, PA 150, EET 96, EET 400, CAU 39, CAU 43, IMC 67 y semillas obtenidas de plantaciones híbridas cruzadas con IMC 67 corresponden al material genético que puede ser utilizado como semilla para patrones en los procesos de injertación con buenos resultados contra estas dos enfermedades.

Los clones MIC 67 y PA 46, por su parte, fueron calificados como MR (Rodríguez & Vera, 2015).

Plagas

Asociados al cacao se encuentran una gran cantidad de artrópodos, principalmente de los órdenes Coleoptera, Hemiptera y Lepidoptera, pero no todos son dañinos para la planta. Aquellos considerados como plaga pueden afectar la planta tanto en vivero como en campo. En la tabla 22 se presentan las principales plagas del cacao en Colombia.

Tabla 22. Principales plagas y órganos afectados en cacao

Nombre común	Nombre científico	Orden	Órganos afectados
Chinche amarilla o chinche roja	<i>Monalonion dissimulatum</i>	Hemiptera	Brotes y frutos
Hormiga arriera	<i>Atta</i> spp.	Hymenoptera	Hojas y flores
Pasador del tronco	<i>Xyleborus</i> spp.	Coleoptera	Tronco y ramas
Trips	<i>Selenothrips rubrocinctus</i>	Thysanoptera	Hojas
Chiza	<i>Ancognatha</i> sp.	Coleoptera	Raíces
Perforador o barrenador de la mazorca	<i>Carmenta theobromae</i>	Lepidoptera	Mazorcas
Perforador o barrenador de la semilla	<i>Carmenta foraseminis</i>	Lepidoptera	Mazorcas

Fuente: Elaboración propia a partir de Rojas y Sacristán Sánchez (2013)

Para el manejo de artrópodos plaga en el cultivo de cacao se les aconseja al agricultor y al asistente técnico la integración de estrategias de tipo cultural,

biológico, mecánico, etológico y químico, con el fin de tener una mayor sostenibilidad de los resultados obtenidos a través del manejo establecido.

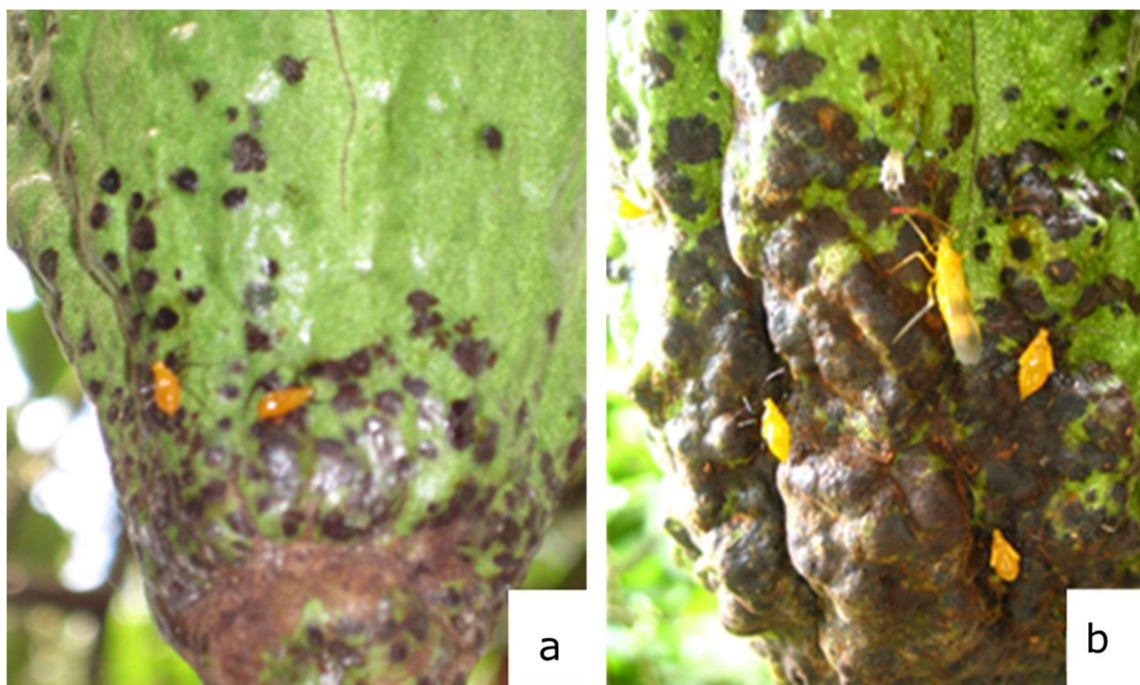
Chinche amarilla o chinche roja (*Monalonion dissimulatum*)

Este insecto es también conocido simplemente como *chinche*, *chupador del fruto*, *coclillo* o *grajo amarillo*. El insecto incrementa su población en los cultivos cuando se presentan condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como exceso de sombrío, temperatura y humedad altas y mal manejo de arvenses. En estas condiciones, el insecto afecta frutos en estados iniciales de desarrollo y causa su malformación, detención del crecimiento y caída, por lo que genera pérdidas en producción de entre el 15 y el 80 % (Rincón, 1979).

Insecto

Las ninfas son de color anaranjado oscuro-rojo (figura 65a), y los adultos son de color amarillo o anaranjado con manchas negras en el ápice de las alas (figura 65b). Las hembras miden entre 9 y 10 mm de longitud, y los machos, entre 7 y 8 mm. El insecto ataca los brotes terminales de las hojas y los frutos del cacao y causa manchas o pústulas. El ataque a frutos en estados iniciales de desarrollo causa su necrosis total y su caída (Vargas, Somarriba, & Carballo, 2005).

La chinche amarilla es un insecto oligófago, y su principal huésped es el cacao, aunque también se alimenta de otras plantas, como *Cecropia adenopus*, *Hamelia patens*, *Begonia convolvulacea* y *Begonia vitifolia* (Silva, 1994).



Fotos: Darwin Martínez Botello

Figura 65. Aspecto de *M. dissimulatum*. a. Ninfas de color rojo; b. Adultos de color amarillo.

Síntomas y signos

Los adultos y las ninfas del insecto succionan, con su aparato bucal picador-chupador, la savia de la parte exterior del fruto (epicarpio) e inyectan toxinas, con lo que producen lesiones necróticas circulares de color pardo oscuro que se hunden y provocan malformaciones, reducción del tamaño y detención del crecimiento, sobre todo en frutos jóvenes, que se marchitan y caen rápidamente (ICA, 2012) (figura 66a), aunque la plaga ataca frutos de cualquier edad. El fruto presenta manchas oscuras que se unen y forman un área necrótica considerable en la punta que con el tiempo toma una apariencia seca y petrificada (figura 66b). Las lesiones causadas facilitan la entrada de otros insectos y hongos (Salinas, 1997).



Fotos: Darwin Martínez Botello

Figura 66. Síntomas de *M. dissimulatum* en frutos de cacao. a. Frutos de menos de tres meses; b. Frutos de más de cuatro meses.

Ciclo de vida

Los adultos y las ninfas se desarrollan preferencialmente en las partes tiernas del cacao. Cada hembra deposita aproximadamente 30 huevos en la cáscara de las mazorcas o en las ramas jóvenes. La duración del ciclo de vida del insecto es de 38 a 48 días, pasando por la etapa de huevo (6-10 días), ninfa (26-30 días) y adulto (6-8 días) (Knoke, 1967).

Factores ambientales favorables

Las temperaturas elevadas con alta humedad y el exceso de sombrío y malezas aumentan las poblaciones de *M. dissimulatum* y causan mayores estragos en la producción del cacao (Barros, 1981; Rincón, 1979).

Control

El insecto ataca por focos dentro de la plantación, ubicándose en áreas sombreadas y húmedas, que favorecen el desarrollo de huevos y ninfas, especialmente, situación que facilita el manejo inicial de la plaga dentro del foco (Barros, 1981; ICA, 2012; Rincón, 1979).

Debido a que el insecto ataca por focos, no es necesaria la aplicación generalizada de insecticidas (Eslava, 2011), sino que, cuando se detecta el foco, se pueden destruir manualmente los adultos, huevos y ninfas, y se puede complementar el manejo con otras medidas como las siguientes:

- Realizar una poda al sombrío y al cultivo para disminuir la sombra y la humedad.
- Monitorear el lote para evitar poblaciones peligrosas de la enfermedad.
- Eliminar los frutos con presencia de ninfas y adultos.
- Eliminar las colonias de ninfas (estado más dañino del insecto) presionándolas manualmente contra la superficie del fruto.
- Realizar un control oportuno de malezas.
- Aplicar productos químicos solo cuando sea necesario, de manera esporádica, puntal y localizada, empleando insecticidas de baja toxicidad para evitar afectar los polinizadores.

Perforador o barrenador de la mazorca o carmenta amarilla (*Carmenta theobromae* [Busck])

C. theobromae, conocida también como *carmenta amarilla*, es una especie del orden lepidóptero (insectos conocidos comúnmente como *mariposas*) registrada en Trinidad, Colombia, Brasil y Venezuela (Delgado, 2005; Eichlin, 1995; Morillo, Sánchez, Herrera, Liendo-Barandiaran, & Muñoz, 2009). Las hembras depositan sus huevos en la superficie de los frutos de cacao, y posteriormente las larvas perforan las mazorcas, pero se mantienen en el epicarpio del fruto y rara vez traspasan el mesocarpio para alimentarse de las semillas, por lo que estas se pueden aprovechar parcialmente (Cubillos, 2013; Delgado, 2005; Navarro, Clavijo, Vidal, & Delgado, 2004).

Los departamentos de Antioquia y Tolima presentan la mayor incidencia de la plaga, con un valor promedio del 20 % (Muñoz, Vásquez, & Muriel, 2017).

Insecto

El adulto es una mariposa en cuyo cuerpo predomina el color amarillo. El tórax es de color oscuro y posee tres bandas longitudinales amarillas. Las alas y tibias de los adultos tienen escamas amarillas. El abdomen es marrón oscuro o negro y tiene bandas dorsales amarillas que delimitan cada uno de los segmentos. Los machos son más pequeños que las hembras y desarrollan un penacho de escamas amarillas al final del abdomen (figura 67).



Foto: Donal Adrián Galvis

Figura 67. Adulto de *C. theobromae* (Busck).

Síntomas y signos

Las larvas de *C. theobromae* tradicionalmente dañan la corteza del fruto al taladrar galerías, donde depositan sus excrementos, pero estas galerías casi nunca llegan a comunicarse con la placenta o las semillas. La larva se evidencia por la perforación abierta con abundantes excrementos visibles sobre la epidermis del fruto. Cuando llegan a su madurez y se convierten en pupas, construyen una vía de salida al exterior que el adulto abre cuando emerge, lo que permite la entrada de humedad, condición que favorece la penetración e invasión de microorganismos que aceleran el proceso de fermentación del mucílago que cubre las semillas, lo que deteriora el aroma y sabor característico del cacao.

El principal daño atribuido a esta especie es su hábito de alimentación, que podría favorecer el ingreso de patógenos como *Phytophthora* sp., causante de la pudrición del fruto, y, en consecuencia, afectar las semillas (Morillo et al., 2009).

La intensidad del daño es determinada por la edad del fruto: los frutos afectados antes de los tres meses presentan síntomas de madurez prematura, no alcanzan el desarrollo de los granos y se pierden en su totalidad; mientras que los frutos infectados después de los cuatro meses, pero que se cosechan antes de la emergencia del adulto, permiten aprovechar aproximadamente el 90 % de los granos (Morillo et al., 2009).

Ciclo de vida

El barrenador de la mazorca presenta metamorfosis completa: el ciclo desde la postura hasta el adulto tiene una duración aproximada de 71 días. El mayor daño lo hace la larva al alimentarse principalmente de la placenta del fruto y del mucílago de la semilla. Al finalizar la etapa de larva, esta construye con sus heces fecales y su seda un fino saco bajo la epidermis que protege la pupa hasta la emergencia del adulto. Cuando el adulto emerge, la pupa rompe el capullo y se desliza hasta la superficie del fruto, dejando la exuvia pupal expuesta, e inmediatamente sale el adulto. Los adultos son poco activos en el día y su actividad de dispersión, cópula y ovoposición ocurren en las horas de la noche.

Control

La práctica cultural de remoción frecuente de frutos infestados (cada quince días), así como la disposición de sus residuos en montones cubiertos con una lámina plástica bien sujeta al suelo o en bolsas de fibra o plástico selladas correctamente para evitar que los adultos se escapen, son las medidas de manejo más recomendadas. Los residuos de cosecha deben ser manejados de forma similar a los frutos infestados.

Perforador o barrenador de la semilla o carmenta negra (Carmenta foraseminis [Eichlin])

Es una especie que se ha registrado causando daños en plantaciones de cacao en el Huila. En un estudio del ICA (2013b) sobre la vigilancia del barrenador de la mazorca en cacao, se evaluaron 477 predios, un total de 2.758 ha, y se reportó presencia de esta plaga en tres sitios de Risaralda, Cauca y Tolima (Carmen de Apicalá); posteriores reportes indican también su presencia en Huila, Caquetá, Antioquia, Magdalena y Boyacá.

La hembra deposita los huevos en la superficie del fruto, y las larvas recién emergidas perforan el epicarpio y alcanzan las semillas, de las cuales se alimentan (Cubillos, 2013; Figueroa, Ramírez, & Sigarroa, 2013).

Insecto

El adulto es de color negro y tiene alas con escamas negras (figura 68); emerge de la pupa después de 27-35 días rompiendo el fruto en el sitio donde se ubica la peca (mancha); los adultos son poco activos en el día y su dispersión, cópula y ovoposición ocurren en la noche (Leal & Hernández, 1990).

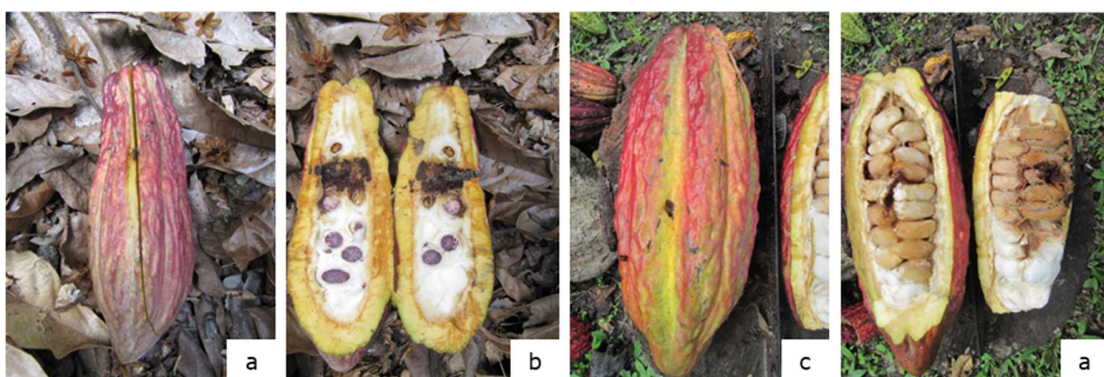
Síntomas y signos

Se observa una mancha o peca en la abertura de perforación, que el insecto sella con una capa muy delgada de epicarpio del fruto, pero, en general, los frutos atacados tienen una apariencia externa sana. La presencia del perforador dentro del fruto solo es evidente cuando en la corteza intacta se observa una mancha oscura redondeada de aproximadamente 0,5 cm de diámetro, que es producida por la larva cuando está en fase de prepupa (Cubillos, 2013) (figura 69).



Foto: Donal Adrián Galvis

Figura 68. Adulto de *C. foraseminis* (Eichlin).



Fotos: Darwin Martínez Botello

Figura 69. Síntomas de *C. foraseminis* (Eichlin) en frutos de cacao de diferentes edades. a y b. Fruto de menos de tres meses; c y d. Fruto de más de cuatro meses.

La larva traspasa el mesocarpio del fruto y se alimenta de las semillas; en consecuencia, además del daño primario, el comportamiento de este insecto favorece la pudrición y el apelmazamiento de las semillas (Cubillos, 2013) (figura 70). Por lo anterior, se destruye el producto comercial del cacao, lo que ocasiona importantes pérdidas económicas.



Fotos: Darwin Martínez Botello

Figura 70. Síntomas de *C. foraseminis* (Eichlin) en frutos de cacao. a. Daño avanzado por pudrición; b. Apelmazamiento de las semillas.

Ciclo de vida

El ciclo de vida de *C. foraseminis* duró en laboratorio $74,71 \pm 12,64$ días; el tiempo de eclosión del huevo duró $8,1 \pm 0,12$ días; la fase de larva posee cinco estados y tuvo una duración de $47,66 \pm 10,13$ días; la pupa duró $11,7 \pm 1,2$ días, y el adulto, $1,35 \pm 1,31$ días, a una temperatura de 28 ± 5 °C y una humedad relativa de 70 ± 15 %. Las hembras ponen huevos de forma oval en la superficie de los frutos tiernos, de donde salen las larvas que perforan la corteza para alimentarse. Los huevos, por último, tienen un tamaño aproximado de $0,6 \times 0,3$ mm (Moncayo, 1957; Vélez & Cubillos, 1989).

Control

Existen diferentes controles para esta plaga: el cultural se basa en recoger los frutos infestados y en la disposición de sus residuos en montones o eras cubiertos con una lámina de plástico (Cubillos, 2013). Además, como

complemento, se puede establecer una barrera física mediante el embolsado de frutos de temprana edad para evitar que la hembra ovoposite o ponga huevos allí, aunque puede ser costoso.

El manejo biológico se puede realizar mediante la liberación de *Trichogramma pretiosum*, *Trichogramma exiguum* o *Chrysoperla carnea* o con aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* continuas en el tiempo. También se reporta un parasitoide de huevos nativo, *Telenomus* sp., y uno de larva-pupa, *Brachymeria*. Sin embargo, hay que resaltar que el control biológico debe ser preventivo y mantenerse en el tiempo.

En cuanto al control químico, según Cubillos (2013), puede resultar efectiva la aplicación de seis aspersiones de deltametrina (25 ppm), en dosis de 1 cm³/L de agua, en intervalos de dos semanas y dirigidas solo a los frutos de cuatro meses de edad ubicados en las ramas bajas. Con estas aplicaciones químicas se pueden reducir hasta un 23 % las pérdidas en cacao por este insecto. El propósito del control químico es matar a los adultos y, por ende, reducir la población de la plaga.

El control genético, por su parte, se basa en sembrar clones más tolerantes al ataque del insecto; por ejemplo, se ha observado que los clones IMC 67, PA 46, PA 150 y CNN-51 pueden tener un mayor grado de tolerancia, a diferencia de los clones trinitarios ICS 1, ICS 39, ICS 60, ICS 95, THS 565 y SCC 61. Sin embargo, es importante encontrar otras prácticas alternativas que sean inocuas para el ser humano y amigables con el medio ambiente (Cubillos, 2013).

Capítulo IX

Cosecha

Los árboles de cacao florecen durante todo el año, pero el principal periodo de floración es entre junio y julio. En los meses de septiembre y octubre tiene lugar una segunda floración, pero menor. La primera cosecha se concentra en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y la segunda, en marzo y abril. La recolección, una de las fases más importantes, se debe hacer apenas se identifiquen mazorcas maduras (Fedecacao & Pronatta, 1998).

La maduración ha sido definida como la transición entre el crecimiento, el desarrollo y la senescencia, e involucra cambios de apariencia, sabor y textura regulados genéticamente (Hernández, Barrera, Martínez, & Fernández-Trujillo, 2006). Hay algunos estudios que tienen en cuenta el cambio de color del fruto del cacao para determinar su madurez (Martínez, 2016; Prabhakaran, 2010), pero este criterio no siempre se cumple, lo que genera un problema, pues muchas veces se cosechan frutos inmaduros, que carecen de condiciones apropiadas para el desarrollo de los microorganismos durante la fermentación, además de que tienen granos pequeños. Así mismo, en muchos casos se recolectan frutos sobremaduros, que pueden presentar granos germinados, secos o enfermos (Kongor et al., 2016). Estudios llevados a cabo en frutos de cacao indican que tanto la acidez como los hidratos de carbono cambian durante su crecimiento y maduración. La pulpa de los frutos del cacao criollo tiene mayor contenido de sacáridos que la de los otros tipos de cacao (trinitarios y forasteros), pues puede llegar hasta el 69 % en base seca. Las almendras maduras (sin pulpa) se caracterizan por la ausencia casi completa de azúcares reductores y por la presencia de polisacáridos; y la cacota de las mazorcas, por su parte, no experimenta grandes cambios en los hidratos de carbono durante la maduración (Prabhakaran, 2010).

Un factor que afecta el desarrollo y la maduración de los frutos de cacao es la temperatura. Durante los meses más cálidos (22-24,5 °C), los frutos maduran a los 140-175 días, mientras que, en los meses más fríos (< 22 °C), el proceso se completa en un periodo que fluctúa entre 165 y 205 días (Batista, 2009),

dependiendo de las condiciones ambientales (Prabhakaran, 2010). Según Alvim, Machado y Vello (1972), los días hasta la maduración pueden calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$N = 2.500 / T - 9$$

Donde: N = número de días desde la polinización hasta la cosecha; T = temperatura media en grados centígrados.

En cuanto al momento óptimo para cosechar garantizando la calidad del grano y la reducción de pérdidas en la poscosecha, no se han encontrado estudios específicos para cacao. Sin embargo, Hernández (2010) determinó que el índice de cosecha para el copoazú (*Theobroma grandiflorum*), que es un cacao de la Amazonía occidental colombiana (región del piedemonte de la cordillera Oriental, en los departamentos de Caquetá, Putumayo y Guaviare), es de 117 días después del cuajado del fruto; los frutos en estado tres (132 días de edad) presentaron un valor de sólidos solubles de 5,7 °Bx y un color de pulpa amarillo intenso ($H^* = 97^\circ$) obtenido con un colorímetro que permite identificar colores mediante las coordenadas $L^*C^*H^*$ y que muestra diferencias de color imperceptibles para el ojo humano.

Según la NTC 5811, "Buenas prácticas agrícolas para cacao: recolección y beneficio. Requisitos generales", se recomienda recolectar las mazorcas cuando estén sanas y maduras; las mazorcas enfermas deben ser removidas y separadas de las sanas, y si se encuentran mazorcas sobremaduras, deben ser recolectadas y beneficiadas por separado. Se debe evitar lesionar los cojines florales durante la recolección, usando herramientas adecuadas, como la tijera podadora.

La recolección puede ser semanal o quincenal, lo cual varía según la disponibilidad de mano de obra y las necesidades del agricultor. Las herramientas que se utilizan para la cosecha son: la tijera de podar, el podón o "pico de loro" y escaleras tipo A. Todas las herramientas de corte deben estar bien afiladas y desinfectadas. Las mazorcas para cosechar deben ser arrancadas por la parte media del pedúnculo que une el fruto con el árbol, para evitar la destrucción del cojín floral, y se debe tener mucho cuidado al utilizar el "pico de loro" (Proamazonía, 2003).

Capítulo X

Poscosecha

La poscosecha en cacao se refiere a las diferentes labores que es preciso realizar para sacar o llevar un producto de calidad al mercado, y para ello se deben cumplir las condiciones de poscosecha establecidas en la NTC 5811, que se describen a continuación.

Las instalaciones donde se realiza la fermentación, el secado, la selección y el almacenamiento del cacao deben estar limpias y bien mantenidas para prevenir la contaminación; además, deben contar con un programa de limpieza y mantenimiento con una frecuencia mínima establecida y según la evaluación de riesgos de higiene. Asimismo, se deben mantener registros de estas labores.

Los frutos se deben partir con una herramienta que no les cause daños mecánicos a los granos y que no represente un riesgo para el trabajador; preferiblemente, se emplea un mazo de madera. Al desgranar la mazorca, se debe separar la placenta y no se pueden mezclar granos de cacao sanos con enfermos. Igualmente, los recipientes en los que se van a colocar los granos (masa fresca) para transportarlos al fermentador deben ser empleados únicamente para tal fin, y no se debe utilizar utensilios metálicos. Además, se debe disponer de un programa de manejo para las cáscaras resultantes del proceso de desgrane, y se recomienda que permanezcan en el lote o que sean utilizadas en la fabricación de compost o abonos orgánicos.

El proceso de fermentación se considera fundamental para el beneficio del cacao, pues es en esta etapa en la que se desarrolla el aroma y el sabor. Se recomienda depositar los granos en fermentadores (cajones de madera con orificios en el fondo) (figura 71) para que salgan los líquidos, también llamados lixiviados, que, a propósito, no deben verterse en fuentes de agua para evitar su contaminación.

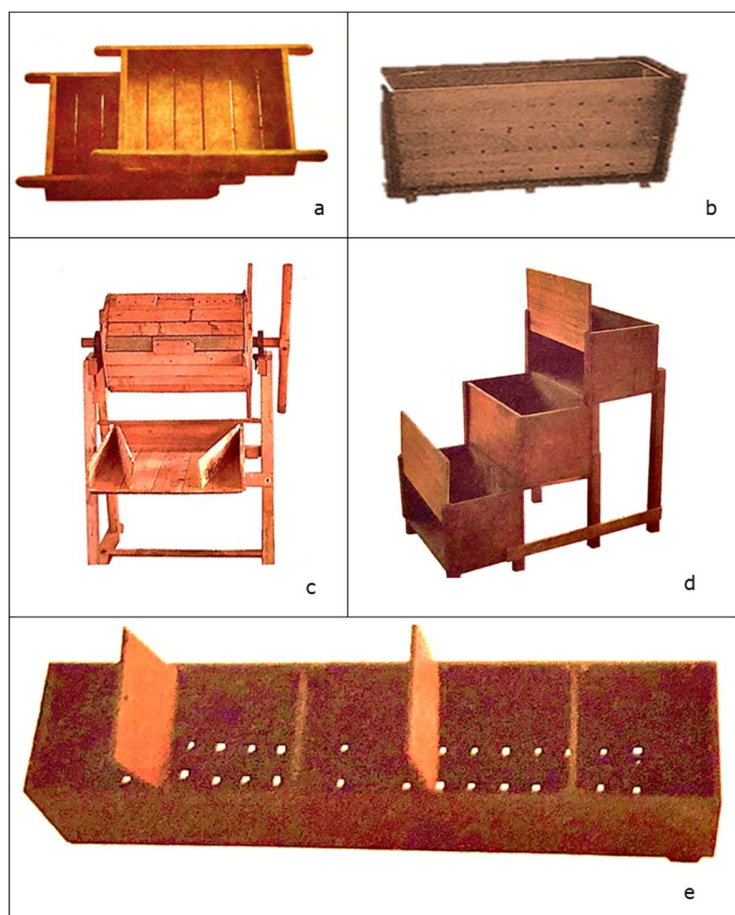


Figura 71. Diferentes tipos de fermentadores de grano de cacao. a. Paseras; b. Cajón doble horizontal; c. Tambor rotatorio o barril fermentador; d. Cajones en escalera; e. Cajón sencillo.

Fuente: Mejía y Palencia (2000)

Múltiples factores inciden en el buen desarrollo de la fase de fermentación, en la que, por sucesión microbiológica de consorcios microbianos, se dan las transformaciones bioquímicas y los productos de la digestión de microorganismos para dar origen a sabores y aromas específicos. El estado de madurez es uno de los factores de mayor relevancia, pues de este depende la disponibilidad de sustrato para el desarrollo de la dinámica microbiológica.

La altura de la finca y las instalaciones donde se desarrolla la fase de fermentación tienen injerencia en el desarrollo de esta, pues se debe garantizar la elevación de las temperaturas para lograr la muerte del embrión y permitir el ingreso de fluidos desde el exterior, con lo que se logran las transformaciones sensoriales. Pasada la etapa de fermentación, se debe reducir el porcentaje de humedad de la almendra fermentada hasta un 7%, de acuerdo con lo establecido en la NTC 1252, "Cacao en grano". También se recomienda realizar el secado al sol sobre estructuras de madera (como paseras, casas-elba, camillas o carros corredizos, entre otras), aunque también se puede emplear secado artificial, evitando contaminación del grano por humo o por combustibles.

La limpieza de los granos se debe realizar mediante procesos manuales o mecánicos, con el fin de extraer elementos extraños. La clasificación del cacao, por su parte, se debe realizar por tamaño, separando la pastilla y los granos defectuosos. El grano de cacao en Colombia, al momento de su comercialización, debe cumplir con lo establecido en la NTC 1252.

Según Fedecacao (2015), existen once criterios importantes que se deben tener en cuenta para que el proceso de fermentación sea exitoso y pueda conservarse la calidad del grano:

- Se deben usar recipientes de madera (fermentadores) adecuados a la cantidad de grano y a las necesidades de la finca.
- La fermentación se debe realizar en un sitio bajo techo para mantener estables la temperatura y la humedad relativa.
- Los cajones deben contar con un número adecuado de orificios o ranuras para permitir la salida de los líquidos o lixiviados.
- El tiempo de desgrane influye en la duración de la fermentación.
- Se debe dejar un margen de 10 a 15 cm del borde del cajón para facilitar la labor de volteo.
- Los cajones deben estar separados a una distancia de 10-20 cm y a una altura de 90 cm
- La masa en fermentación se debe mantener tapada con costales, hojas u otros elementos, para protegerla de la entrada de insectos o animales que puedan contaminarla.

- Se debe tener en cuenta que, entre más cantidad de cacao haya en el cajón, mayor es la duración del proceso de fermentación.
- No se deben mezclar granos cosechados en días diferentes.
- Las mazorcas sanas y maduras deben fermentarse por separado de las que aún no están maduras y de las sobremaduras.
- El primer volteo debe hacerse a las 36 horas, y, luego, los voleos subsecuentes, cada 24 horas hasta completar 120-144 horas, es decir, entre 5 y 6 días.
- Durante la fermentación, es recomendable hacer pruebas periódicas cortando longitudinal y transversalmente los granos para comprobar el estado del proceso.

Duración de la fermentación

Según Fedecacao (2015), en la fermentación influyen diversos factores, entre ellos el clima y la variedad genética del cacao. En cuanto al clima, en los cálidos el proceso es más rápido que en los templados. Y con respecto a los tipos de cacao, los criollos requieren de menos tiempo para realizar el proceso que los forasteros, pues el mayor contenido de azúcares en el mucílago y el menor contenido de polifenoles aceleran el proceso, que dura aproximadamente 3 días. En cambio, los granos provenientes de los tipos de cacao angoleta y cundeamor generalmente se fermentan en 4-5 días, y los de tipo amelonado y calabacillo se pueden demorar más de 6 días en el proceso. La duración también depende de la mezcla de semilla y del tipo de recipiente usados para la fermentación. Por último, ya que todos los procesos de fermentación no son iguales, se aconseja que cada agricultor haga sus ensayos con ayuda de un técnico.

También hay que tener en cuenta las diferencias que existen entre las almendras bien y mal fermentadas (tabla 23), así como los efectos desagradables que la sobrefermentación del grano puede producir en el sabor del cacao.

Tabla 23. Diferencias entre la almendra de cacao bien fermentada y mal fermentada

Bien fermentada	Mal fermentada
Apariencia ensanchada o maciza con forma de riñón	Apariencia aplanada o aplastada
Color externo café o rojizo	Color externo café claro o blanquecino
Color interno café-marrón	Color interno morado
Al apretar los granos en la mano, sueltan un sonido crujiente	Al apretar los granos en la mano, no suenan
Fácil desprendimiento de la cutícula	Difícil desprendimiento de la cutícula
Estructura cuarteada o con divisiones	Estructura compacta y dura al cortar
Sabor y aroma fuerte a chocolate	No huele a chocolate y el sabor es amargo y desagradable

Fuente: Fedecacao (2015)

Una vez terminada la etapa de fermentación, es indispensable realizar, en el menor tiempo posible, el secado del grano de acuerdo con lo establecido en la NTC 1252. El fin del secado es reducir la humedad del 55 al 7 %, y en ningún caso dicha humedad debe ser mayor al 8 %, pues, si esto sucede, los granos quedan predispuestos al ataque de hongos. Además, el exceso de agua ocasiona pérdidas para el productor, dado que el precio del grano es castigado por cada grado de humedad que esté por encima del límite permitido. Para que no se disminuya la calidad del grano, lo más recomendable es realizar el secado al sol, como se dijo antes, sobre estructuras de madera, como paseras, casas-elba, camillas o carros corredizos, entre otras (figura 72). También se reitera que se puede emplear el secado artificial, pero hay que tener cuidado para no contaminar el grano con humo o combustibles.

En síntesis, para evitar problemas que al final se traducen en pérdidas económicas para los productores, es importante seguir una serie de recomendaciones que ayudarán a que la calidad del grano se mantenga (Fedecacao, 2015):

- No es recomendable utilizar los patios de cemento como estructuras de secado, pues, por las inclemencias del clima y los abusos en el manejo, el grano pierde su calidad rápidamente.
- La temperatura de secado en todos los sistemas artificiales usados no debe superar los 60 °C.

- Para obtener un secado uniforme y libre de problemas sanitarios, el espesor de la capa de cacao no debe superar los cinco centímetros.
- Se sugiere utilizar rastrillo o pala de madera para voltear el cacao, y en ningún caso se debe hacer con herramientas metálicas, pues el grano puede sufrir fracturas y particiones.
- Cuando el secado se hace de forma natural, se recomienda realizarlo diariamente durante cuatro horas, máximo, y lo ideal es que, durante los dos primeros días, se haga hasta las 9:00 a. m. y después de las 4:00 p. m.
- Cuando no se cuenta con un equipo para medir exactamente la humedad ideal del grano de cacao (7 %), el punto óptimo de secado se reconoce cuando, al apretar el grano con la mano, este cruje como cascajo.



Fotos: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 72. Tipos de secadores más utilizados para el proceso de secado del grano del cacao. a. Casa-elba; b. Con techo de marquesina, encierro de malla y camillas de madera elevadas; c. Tipo casa Luker forrada en plástico transparente y con camillas de madera elevadas; d. Secador con techo de marquesina y con cacao en proceso de secado en camillas de madera elevadas.

Una vez terminada la etapa de secado, se hace la limpieza de los granos, mediante procesos manuales o mecánicos, utilizando equipos sofisticados o los contruidos de forma artesanal (figura 73), con el fin de extraer elementos extraños, como palos, placenta, cáscaras, hojas y piedras. También se debe realizar la clasificación del cacao por tamaño, separando la pasilla y los granos defectuosos mediante zarandas. El grano de cacao en Colombia, al momento de su comercialización, debe cumplir con lo establecido en la NTC 1252.



Foto: Luis Enrique Ramírez Chamorro

Figura 73. Equipo artesanal para limpieza y clasificación de los granos de cacao.

Los granos de cacao se deben empacar en sacos de cabuya o yute limpios, secos, en buen estado y exclusivamente destinados para almacenar cacao; los bultos se deben almacenar en lugares limpios, protegidos (con techos y paredes), secos, ventilados y separados del piso (sobre estibas, por ejemplo) y las paredes. Las estibas o estructuras de madera también deben estar en buen estado.

El periodo de almacenamiento del cacao empacado debe ser tan corto como sea posible, a fin de evitar el incremento de la humedad y la infestación de plagas y hongos; como se dijo, se deben almacenar granos con un nivel de humedad no mayor al 7,5 %, de acuerdo con lo establecido en la NTC 1252. Además, se debe evitar almacenar el cacao junto con otros granos, desechos orgánicos, cáscaras y materiales extraños (por ejemplo, productos químicos). Los materiales de embalado (incluyendo los sacos de fique o yute), antes de su uso, se deben almacenar en un área limpia para prevenir la contaminación posterior del producto.

Análisis físico o prueba de corte

La NTC 1252 registra el proceder para el desarrollo de las pruebas físicas de la almendra seca aplicadas por la industria nacional y que discriminan el estado de fermentación de una muestra de cacao seco. La prueba de corte es un análisis físico que, mediante las características de color y formación de espacios dentro del grano (arriñonamiento), califica su estado de fermentación y tiene como objetivo la clasificación del cacao en grano destinado a la industrialización para consumo humano. Es un método subjetivo utilizado por las grandes empresas para el control de calidad y está basado en el corte longitudinal a 100 granos secos; las características de color, formación de alveolos, apariencia y facilidad de desprendimiento de la cascarilla permiten determinar el grado de fermentación del grano. Según Criollo (2017), los 100 granos se examinan individualmente y se clasifican en tres categorías: bien fermentados, insuficientemente fermentados y pizarrosos. A continuación, en la tabla 24, se registran los parámetros de calidad de la almendra seca de cacao en Colombia:

Los productores pueden reconocer en campo si el cacao beneficiado es de primera cuando los granos presentan las siguientes características: son ovalados y con forma de riñón, están hinchados, externamente son de color marrón e internamente de color café achocolatado, su consistencia es crujiente y quebradiza, tienen aroma a chocolate y su sabor es medianamente amargo (Mejía & Argüello, 2000).

Tabla 24. Parámetros de calidad del cacao en grano en Colombia

Parámetro	Premio	Corriente	Pasilla	Autor
Porcentaje de humedad máximo	7 6-6,5	7 7-8	7 Mayor de 8	Icontec Fedecacao
Porcentaje máximo de impurezas	0	0,3	0,5	Icontec
Porcentaje máximo de granos mohosos	2	2	3	
Porcentaje máximo de granos dañados por insectos o germinados	1	2	2	
Porcentaje máximo de contenido de pasillas (número de granos/100 granos)	1	2	-	
Porcentaje mínimo de granos bien fermentados	65	65	60	
Porcentaje máximo de granos insuficientemente fermentados	25	35	40	
Porcentaje máximo de granos pizarrosos	1	3	3	
Cascarilla (%)	11	11-12	Mayor de 12	Fedecacao
Peso del grano (g)	1,05	1,05-1,2	Mayor de 1,2	
Grasa (%)	52	52-55	Mayor de 55	
pH	5,0	5-5,5	Mayor de 5,5	
Sabor	Amargo	Ácido	Neutro	

Fuente: Elaboración propia a partir de Icontec (2003) y Fedecacao (2015)

Capítulo XI

Transformación y valor agregado

La semilla de cacao es la parte comercial del fruto; sin embargo, se han realizado estudios sobre la valorización de la cascarilla y el lixiviado (producto de la fermentación). En este capítulo se indican algunas condiciones para el aprovechamiento integral del fruto del cacao. En la figura 74 se pueden observar las máquinas utilizadas en el proceso de poscosecha y valor agregado.



Fotos: Jenifer Criollo Cruz

Figura 74. Máquinas utilizadas en poscosecha de cacao. a. Máquina tostadora; b. Máquina mezcladora.

Chocolate de mesa

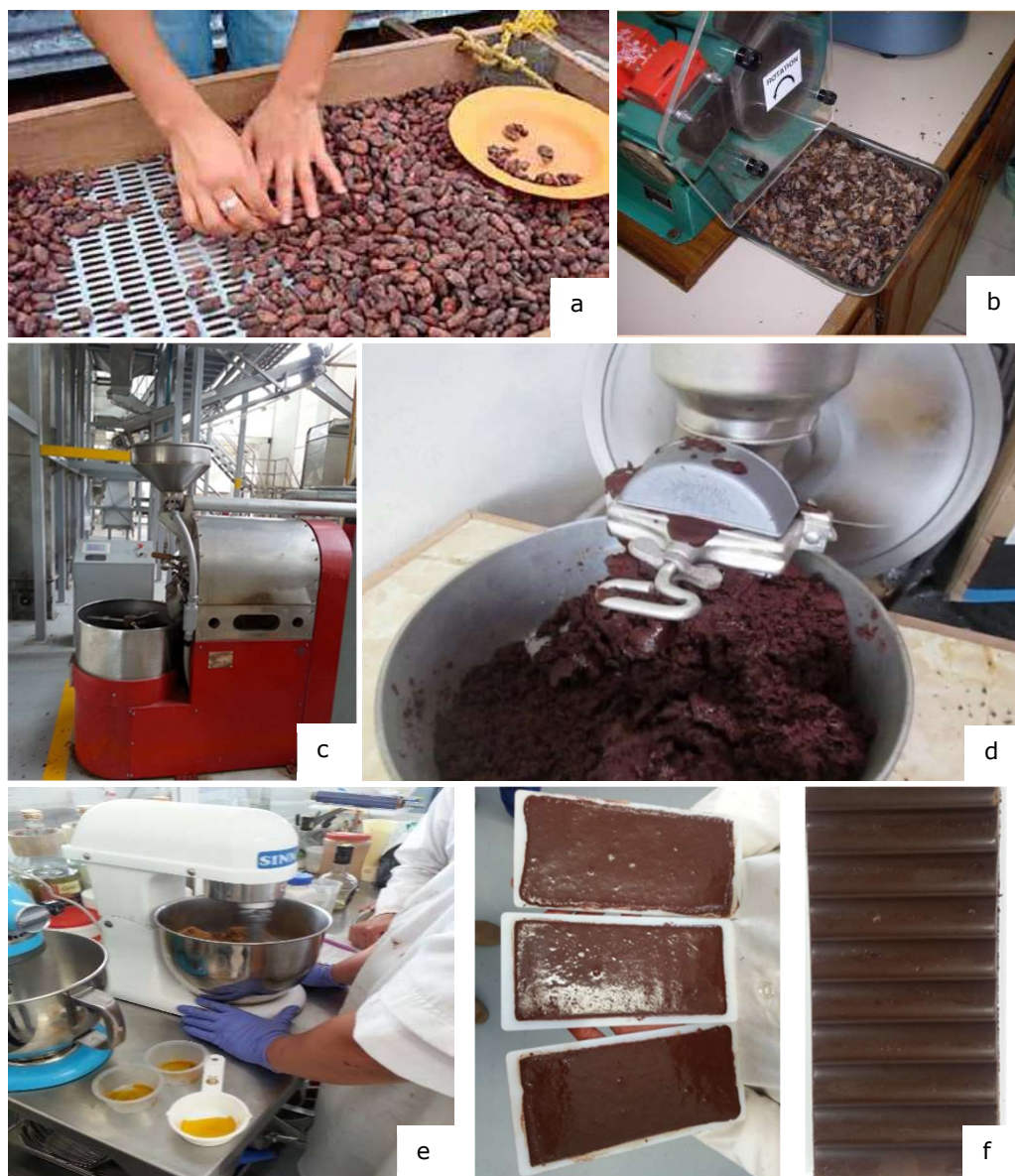
El chocolate de mesa es el producto de mayor interés por parte de los productores de cacao debido a su facilidad de producción y comercialización en el país. Según la NTC 793, el chocolate de mesa es la

masa o pasta o licor de cacao preparado por el molido de cacao fermentado y tostado, desprovisto de sus cubiertas y gérmenes, mezclado o no con una cantidad variable de azúcar como: sacarosa, dextrosa, maltodextrina y otros tipos de edulcorantes y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente. (Icontec, 2008)

Para su elaboración, preparación y manipulación, se debe tener en cuenta la legislación colombiana, que incluye normas como la NTC 1252, para el cacao en grano empleado en la fabricación, y la NTC-ISO 3951-1, "Procedimientos de muestreo para inspección por variables. Parte 1: Especificaciones para planes de muestreo simple clasificados por nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote a lote para una característica de calidad única y un solo NAC" (véanse en los Anexos, las tablas A1, A2 y A3).

El proceso de fabricación de chocolate de mesa consiste en los siguientes pasos (figura 75):

1. Limpieza: Para poder iniciar la transformación de las semillas de cacao, se deben eliminar todas las impurezas (alambres, piedras, semillas secas, etc.).
2. Descascarillado: Mediante aspiración, se separa la cascarilla de cacao de la parte aprovechable.
3. Tostión: Los granos se tuestan a una temperatura de 120 °C durante 40 minutos aproximadamente para eliminar la humedad y favorecer el desarrollo de los aromas.
4. Molido: Tras el tostado, se muele el cacao hasta convertirlo en una masa llamada *pasta de cacao*.
5. Mezclado: Se mezclan los diferentes ingredientes (pasta de cacao, azúcar, lecitina de soya, canela y clavos) en frío hasta conseguir una masa homogénea.
6. Moldeo: El chocolate se vierte en moldes preestablecidos.
7. Solidificación y desmolde: Se deja enfriar el chocolate, se realiza el desmolde y se prosigue con la fase de empaque.
8. Empaque: Esta es la etapa final del proceso productivo del chocolate de mesa; una vez secado el chocolate, su consistencia será sólida y se podrá empaquetar. Posteriormente, se realiza el envasado individual, que llevará la fecha de expedición, la fecha de vencimiento, el nombre y la dirección de la empresa.



Fotos: Jenifer Criollo Cruz

Figura 75. Proceso de fabricación del chocolate de mesa. a. Limpieza; b. Descas-carillado; c. Tostión; d. Molido; e. Mezclado; f. Moldeo; g. Solidificación y desmolde.

Aromática de cascarilla de cacao

La industria del té y las infusiones ha basado su mercado en plantas aromáticas y ha buscado darle un uso a un subproducto generado en la fabricación de chocolates de mesa, la cascarilla, que representa aproximadamente el 12 % del total de la semilla y actualmente no tiene un uso comercial.

La normatividad existente para su producción y manipulación contiene múltiples normas, como la NTC 5851, "Bebidas no alcohólicas; bebidas de té"; la NTC 440, "Productos alimenticios: métodos de ensayo", y la NTC 4433, "Microbiología: método para evaluar la esterilidad comercial en alimentos", entre otras (tabla A2)

El proceso de producción de infusiones aromáticas va desde su cultivo hasta su comercialización. A continuación, se describe con detalle cada uno de los pasos asociados a este proceso de producción.

1. Descascarillado: Se extrae la cascarilla de la semilla de cacao previamente secada.
2. Molido: Se tritura el material con un molino de martillos para disminuir su tamaño de partícula; esto se hace con el fin de que, al ser aplicada en la infusión, no modifique las características sensoriales del producto.
3. Tamizado: La cascarilla de cacao previamente molida se pasa por un tamiz de malla 70 (212 micras), y la cantidad resultante será la aplicada en la infusión.
4. Mezclado y dilución: Se mezclan las cantidades estándar de cascarilla de cacao y el resto de los ingredientes.
5. Pasteurizado: Esta operación se hace con el fin de eliminar ciertos microorganismos patógenos o de deterioro que puedan estar presentes en la infusión. Se realiza por un periodo de 15 minutos a 65 °C.
6. Enfriamiento: El enfriamiento del producto se hace con el fin de causar un choque térmico y de evitar la proliferación de microorganismos en el producto final.
7. Empacado: El producto final es empacado en bolsas *flex up* de 10 × 18 cm con cremallera de *flex vac* metalizada de 100 micras. Este empaque es una película multicapa cuya primera cara está laminada y metalizada; la segunda

cara está también metalizada y ofrece una barrera a aromas y gases, como oxígeno, nitrógeno y gas carbónico, y a la humedad.

8. Rotulado: Se rotula el producto con número de lote y fechas de fabricación y vencimiento.
9. Almacenamiento y distribución: Se almacena el producto para su posterior embarque, transporte y comercialización.

Bebida fermentada

El mucílago del cacao, que durante la fermentación provee el sustrato a los microorganismos, aunque es fundamental para la formación de los precursores del sabor y el aroma del chocolate, genera un exceso que se puede usar para la producción de bebidas alcohólicas, como los vinos (teniendo en cuenta que, a pesar de que este término es utilizado para las bebidas fermentadas a partir de la uva, en Colombia también es usado para hacer referencia a bebidas obtenidas por fermentación de otras frutas).

En Colombia, su producción y manipulación está regulada por cerca de ocho normas, entre las que se encuentran: la NTC 222, "Bebidas alcohólicas: definiciones generales"; la NTC 708 de 1998, "Bebidas alcohólicas: vinos de frutas", y la NTC 4676 de 1999, "Bebidas alcohólicas: rotulado" (tabla A3)

Su proceso de producción incluye los siguientes pasos:

1. Obtención del jugo: El lixiviado obtenido del proceso de fermentación se recolecta en un recipiente de acero inoxidable y se almacena en congelación.
2. Filtración: El lixiviado colectado se debe pasar por una malla previamente esterilizada para retirar los sólidos suspendidos provenientes de la pulpa y así obtener un mosto homogéneo.
3. Preparación del mosto: Se miden los grados brix del lixiviado y se ajustan con adición de agua pasteurizada, azúcar refinada o melaza; una vez hecho esto, se mide el pH y se lleva a 4,5 adicionando bicarbonato de sodio.
4. Preparación del inóculo: Se toma el mosto y se mezcla con levadura, cloruro de potasio, cloruro de amonio, sulfato de magnesio y dihidrogenofosfato de potasio, y después se inyecta aire con una bomba para iniciar la actividad fermentativa.

5. Fermentación: Una vez finalizada la inoculación, se agrega bisulfito de sodio para esterilizar el mosto, y posteriormente se lleva al fermentador en condiciones de anaerobiosis (ausencia de oxígeno) hasta que los grados brix se estabilicen con el paso del tiempo.
6. Clarificación: Una vez terminada la fermentación, se almacena el contenido del fermentador a 4 °C para precipitar los sólidos suspendidos y obtener un líquido claro.
7. Envasado: Se almacena la bebida fermentada en envases de vidrio previamente esterilizados, sellándolos herméticamente para evitar la contaminación por el contacto con el aire.
8. Pasteurización: La pasteurización se realiza en un baño con agua a 60 °C por 30 minutos; después, se hace un enfriamiento rápido en un recipiente con agua-hielo por 15 minutos para bajar la temperatura por debajo de los 15 °C; con este choque térmico lo que se busca es destruir los microorganismos presentes.
9. Añejamiento: Se almacena el producto bajo refrigeración durante 30 días, y una vez transcurrido este tiempo, se debe realizar un análisis microbiológico y sensorial.

Capítulo XII

Indicadores económicos

A nivel mundial, se destaca la producción de cacao de Costa de Marfil y Ghana, pues, entre los dos, alcanzan un 50 % de la producción mundial, mientras que Colombia produce menos de un 2 % (tabla 25); a nivel mundial, la producción de cacao ha venido incrementándose durante los últimos periodos, según lo reporta la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2018b); de hecho, ha habido crecimientos mayores al 20 % en este periodo hasta llegar al año cacaotero entre 2016 y 2017, con cifras estimadas en alrededor de 4,7 millones de toneladas de producción.

Tabla 25. Producción mundial de cacao por países, 2008/2009-2016/2017 (año cacaotero), en miles de toneladas

País	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017*
Costa de Marfil	1.223	1.242	1.511	1.486	1.449	1.746	1.796	1.581	2.020
Ghana	662	632	1.025	879	835	897	740	778	970
Indonesia	490	550	440	440	410	375	325	320	290
Ecuador	135	150	161	198	192	232	250	232	270
Camerún	224	209	229	207	225	211	232	211	240
Nigeria	250	235	240	245	238	248	195	200	230
Colombia	36	40	35	43	48	49	51	53	55
Total mundial	3.592	3.635	4.311	4.095	3.943	4.372	4.230	3.993	4.733

* Producción estimada.

Fuente: ICCO (2018b)

Mayormente, la producción de cacao se encuentra en los países africanos, que, en su totalidad, se acercan a un 75 % de la producción mundial. Sin embargo, a nivel regional, únicamente se destaca la producción de Ecuador, que acumula alrededor de un 5 % sobre la producción mundial, lo que lo ubica en el quinto país de mayor producción (ICCO, 2018b).

En cuanto a cantidad de cacao en grano exportado por los principales países a nivel mundial, resaltan los casos de Ecuador, Perú y República Dominicana, que se ubican entre los diez principales exportadores. Colombia, aunque ha venido incrementando su participación, representa un 0,02 % sobre el total de las exportaciones mundiales.

Durante los últimos cinco años, el incremento de las exportaciones ha venido creciendo en un 10 % aproximadamente, lo que refleja el aumento en su consumo. Igualmente, se destaca que, a pesar de que los países africanos siguen liderando las exportaciones de este producto, países europeos como Países Bajos y Bélgica ocupan el tercer y cuarto puestos, respectivamente, con un porcentaje cercano al 10 % sobre la exportación mundial de cacao en grano.

De las importaciones registradas para los últimos cinco años, y en comparación con las exportaciones, se destaca su crecimiento de cerca del 25 %, lo que refleja una tendencia de aumento del consumo mundial. Países Bajos, Estados Unidos, Alemania y Bélgica resaltan como los mayores importadores a nivel mundial del producto, ya que concentran más del 50 % de las importaciones (tabla 26).

Tabla 26. Países importadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado), 2013-2017, en miles de dólares

País	2013	2014	2015	2016	2017
Países Bajos	1.593.761	1.853.636	2.277.307	2.753.435	2.470.481
Estados Unidos	1.149.160	1.354.137	1.469.395	1.122.655	1.213.240
Alemania	805.960	764.841	903.709	1.095.164	951.561
Bélgica	674.929	873.249	831.292	997.110	805.534
Malasia	764.503	916.777	691.990	653.922	694.204
Indonesia	77.422	341.437	169.735	184.667	486.544
Francia	346.101	435.746	448.249	484.826	395.212
España	260.641	341.003	337.476	350.047	298.606
Italia	247.318	296.394	316.067	312.336	298.386
Turquía	222.428	266.702	263.600	281.924	290.959
Otros	1.782.268	2.089.936	1.900.283	2.093.395	1.796.303
Total mundial	7.924.491	9.533.858	9.609.103	10.329.481	9.701.030

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de Trade Map

En cuanto a los precios mensuales promedio por tonelada de cacao vendida en la Bolsa de valores de Nueva York, se observa que se pagó un precio de 2.012 dólares americanos en el año 2017; de este año se destacan los meses de julio y agosto por ser los que representaron los más altos valores. Por otro lado, los meses de fin de año, como noviembre, presentaron los precios más bajos a nivel mundial debido al nivel de producción y cosecha en algunos países africanos (tabla 27 y figura 76).

Tabla 27. Precios mensuales promedio por tonelada de cacao en grano, según la Bolsa de Nueva York, 2010-2017, en dólares

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
2010	3.345,26	3.047,42	2.861,65	3.015,43	2.967,60	2.976,95
2011	3.111,80	3.403,84	3.327,48	3.096,32	3.052,46	2.999,23
2012	2.279,51	2.332,57	2.331,49	2.206,30	2.240,50	2.196,89
2013	2.241,37	2.171,83	2.129,80	2.273,17	2.322,56	2.255,38
2014	2.766,00	2.938,00	2.983,00	2.981,00	2.960,00	3.090,00
2015	2.866,49	2.881,02	2.825,39	2.817,57	3.039,12	3.186,34
2016	2.904,04	2.854,94	3.005,73	3.014,46	3.018,79	3.053,11
2017	2.179,00	2.011,00	2.055,00	1.945,00	1.955,00	1.975,00
Año	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	2.995,24	2.867,36	2.724,95	2.814,43	2.783,57	2.965,05
2011	3.146,94	3.020,57	2.843,70	2.663,76	2.524,51	2.187,29
2012	2.284,59	2.456,97	2.578,92	2.420,46	2.445,64	2.379,38
2013	2.274,49	2.453,00	2.579,25	2.698,63	2.728,16	2.779,60
2014	3.115,00	3.203,00	3.221,00	3.061,00	2.853,00	2.919,00
2015	3.272,05	3.096,92	3.224,34	3.133,53	3.306,07	3.290,77
2016	2.983,78	2.978,91	2.827,10	2.680,59	2.464,24	2.266,51
2017	1.961,00	1.964,00	1.978,00	2.091,00	2.126,00	1.907,00

Fuente: ICCO (2018a)

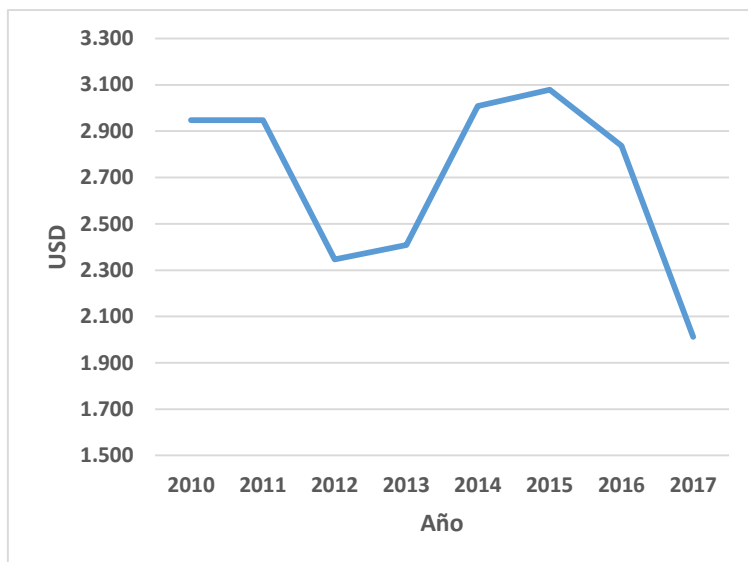


Figura 76. Precios anuales promedio por tonelada de cacao en grano, según la Bolsa de Nueva York, 2010-2017.

Fuente: ICCO (2018a)

En general, ha habido estabilidad en los precios del cacao para los últimos cinco años; en 2016, sin embargo, comenzaron a disminuir con una cifra considerable, y ya para 2017, se redujeron los respectivos precios nominales internacionales cotizados en Bolsa. En este periodo se destaca un precio promedio mínimo de 2.346 dólares americanos por tonelada, el cual se presentó en el año 2012, mientras que el precio promedio máximo registrado se presentó en el año 2015, con un valor de 3.078 dólares americanos por tonelada de cacao comercializada. Para los años 2018 y 2019, los precios presentaron un alza y se ubicaron en valores de 2.368 y 2.326, respectivamente ("Futuros cacao", s. f.).

En Colombia, para el año 2016, se encontraban sembradas 110.795 hectáreas del cultivo de cacao; el 85 % de estas estaban en edad productiva, es decir, 90.680 hectáreas, lo que significó un total de 71.143 t productivas, para un rendimiento nacional promedio de 800 kg/ha (DANE, 2016). El departamento del Huila se ubica como el séptimo departamento con mayores áreas sembradas y como el quinto con mayor producción, pues obtiene un rendimiento de 1,2 t/ha (tabla 28).

Tabla 28. Área plantada, área en edad productiva, producción y rendimiento del cultivo de cacao por departamento, año 2016

Departamento	Área plantada (ha)	Área en edad productiva (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Antioquia	10.847,3	9.424,0	6.073,0	0,6
Boyacá	4.860,2	3.741,1	3.888,6	1,0
Huila	3.811,8	3.538,3	4.160,2	1,2
Meta	3.102,1	2.575,4	2.026,4	0,8
Norte de Santander	5.395,8	4.625,5	5.038,8	1,1
Santander	35.078,2	33.190,2	28.474,0	0,9
Tolima	9.926,1	8.459,9	3.332,9	0,4
Arauca	17.522,8	12.267,4	9.132,3	0,7
Total nacional	110.795,5	90.679,7	71.143,2	0,8

Fuente: DANE (2016)

A nivel nacional, los departamentos de Santander, Arauca y Antioquia fueron los de mayor producción en toneladas para el año 2016, con cantidades de 28.474, 9.132,3 y 6.073 toneladas producidas (DANE, 2016).

Un análisis histórico a nivel nacional destaca que, desde 2011 hasta 2016, las áreas plantadas se han incrementado levemente. Solo en el año 2015 disminuyeron, pero para 2016 volvieron a incrementarse; mientras que, durante los últimos seis años registrados, las áreas en edad productiva han presentado una tendencia constante a aumentar, llegando a un porcentaje cercano al 30 % (DANE, 2016) (tabla 29).

Tabla 29. Área plantada, área en edad productiva, producción y rendimiento nacional del cultivo de cacao, 2011-2016

Año	Área plantada (ha)	Área en edad productiva (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
2011	107.021	63.680	34.929	0,5
2012	95.307	65.058	38.937	0,6
2013	96.789	68.703	72.956	0,9
2014	93.776	72.891	53.423	0,7
2015	90.008	74.880	55.299	0,7
2016	110.795	90.680	71.143	0,8

Fuente: DANE (2016)

El aumento constante de las áreas en edad productiva del país ha significado un aumento considerable en la producción y el rendimiento del cultivo desde 2011, lo que se explica por una mayor demanda mundial y nacional del producto debido a tendencias de consumo que se reflejan en precios nacionales e internacionales. De igual forma, es de resaltar el constante aumento que se ha presentado sobre el rendimiento promedio por hectárea en el cultivo desde 2011, y que llegó a 0,8 t/ha en 2016, lo cual se explica posiblemente por la mayor tecnificación y la mejor adopción de tecnologías específicas para el cultivo.

Por lo general, los precios de cacao en grano por kilogramo en el mercado nacional han venido incrementando en los últimos años, pues el kilogramo alcanzó un precio cercano a los \$ 4.500 a nivel nacional, y posteriormente, en el año 2012, alcanzó un mínimo cercano a los \$ 4.000; en 2016 presentó un incremento considerable, pues duplicó su precio hasta llegar a los \$ 8.000 (incremento del 100 %), y, finalmente, en 2017, se redujo nuevamente su precio hasta alcanzar cifras cercanas a los \$ 5.500 (Fedecacao, s. f.) (figura 77 y tabla 30).

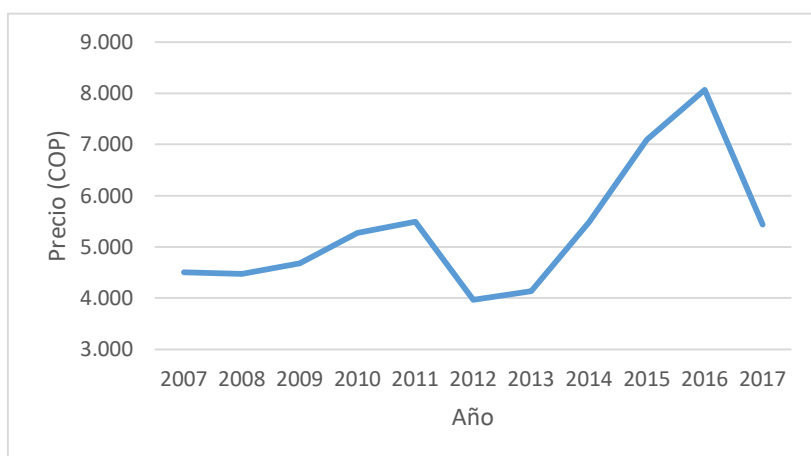


Figura 77. Precios anuales promedio por kilogramo de cacao en grano puesto en fábrica, 2007-2017.

Fuente: Elaboración propia a partir de Fedecacao (s. f.)

Tabla 30. Precios mensuales promedio por kilogramo de cacao en grano puesto en fábrica, 2007-2017, en pesos colombianos (COP)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio
Enero	4.178	4.323	4.639	5.078	5.406	4.688	3.702	4.989	6.413	8.575	6.297	5.299
Febrero	4.811	4.299	4.617	5.212	5.349	4.148	3.632	5.232	6.019	7.962	5.989	5.206
Marzo	5.140	4.154	4.639	5.044	5.388	3.960	3.651	5.553	6.408	8.439	5.843	5.293
Abril	4.908	4.293	4.538	5.181	5.535	3.704	3.699	5.661	6.123	8.027	5.589	5.205
Mayo	4.688	4.459	4.543	5.256	5.583	3.669	3.947	5.465	6.116	8.281	5.022	5.184
Junio	4.640	4.463	4.574	5.345	5.541	3.614	3.940	5.322	6.557	8.418	5.014	5.221
Julio	4.485	4.607	4.602	5.270	5.664	3.625	3.855	5.315	6.907	8.209	5.027	5.233
Agosto	4.351	4.656	4.612	5.262	5.686	3.792	4.072	5.389	7.302	8.186	5.188	5.318
Septiembre	4.265	4.525	4.820	5.417	5.787	4.228	4.398	5.518	8.034	8.273	5.140	5.491
Octubre	4.188	4.662	4.829	5.442	5.605	4.174	4.741	5.644	7.948	8.158	5.288	5.516
Noviembre	4.194	4.588	4.901	5.409	5.433	4.032	4.918	5.687	8.202	7.487	5.580	5.494
Diciembre	4.224	4.632	4.837	5.387	4.977	3.990	5.039	6.107	9.085	6.807	5.285	5.488

Fuente: Fedecacao (s. f.)

En cuanto al mercado exterior del país, las exportaciones de cacao y sus variedades se centran en el chocolate y en el cacao en grano, los cuales sumados representan cerca del 80 % de las exportaciones en toneladas del producto, mientras que productos como la pasta de cacao y la manteca de cacao le siguen en proporción, con porcentajes menores tanto en moneda como en cantidad.

La tabla 31 muestra las exportaciones colombianas de los diferentes subproductos del cacao desde 2015 hasta 2019. En ella se aprecia que en el año 2015 se exportaron 27.071 t por un valor de USD 27.071.000, siendo la mayor cantidad en grano seco de cacao, con 13.688 t por un valor de USD 8.149.000; en contraste con el chocolate, del que se exportó menos (10.039 t), pero a un mayor precio de venta (USD 49.859.000), seguido de la manteca de cacao, de la cual se exportaron 2.016 t, por un valor de USD 16.191.000.

Similar situación se presentó en los años siguientes, cuando la cantidad exportada del subproducto chocolate fue levemente mayor, pero a un precio muy superior: en los cinco años, alcanzó un total de 51.621 t por un valor de USD 227.850.000. La mayor cantidad de subproductos exportados se realizó en el año 2017, pero el valor recaudado fue menor; mientras que en 2016 la cantidad fue menor, 1.957 t, pero el valor representó USD 22.475 millones más.

En los cinco años de estudio se logró exportar, de los cuatro subproductos, un total de 125.554 t por un valor de USD 377.033 millones. En conclusión, según los registros de exportación, se puede decir que el subproducto de mayor acogida en el mercado externo fue el chocolate.

La principal empresa exportadora en el año 2017 fue Colcocoa; sin embargo, la Compañía Colombiana Agroindustrial es la empresa que más ha exportado en los últimos años; otras empresas exportadoras son Casa Luker, Fedecacao, GCT y Mariana Cocoa, entre otras, las cuales efectúan el acopio en las regiones productoras y lo llevan directamente a Bogotá (Fedecacao & Fondo de Estabilización de Precios del Cacao, 2018).

Tabla 31. Exportaciones de cacao y sus variedades desde Colombia, 2015-2019, en miles de dólares

Subproducto	Subpartida arancelaria	2015		2016		2017		2018		2019	
		USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas
Cacao en grano	1801001900	41.493	13.680	31.319	10.389	26.543	11.793	15.693	6.939	22.404	9.066
	1801002000	61	8	200	35	783	83	1.087	117	376	49
	Total	41.554	13.688	31.519	10.424	27.326	11.876	16.780	7.056	22.780	9115
Manteca de cacao	1804001200	7.181	1.138	10.700	1.606	8.598	1.486	9.291	1.584	7.623	1.352
	1804001100	9.010	1.481	13.035	1.984	8.601	1.680	12.473	2.140	13.436	2.481
	Total	16.191	2.619	23.735	3.590	17.199	3.166	21.764	3.724	21.059	3.833
Cacao en polvo	1806100000	167	43	61	11	67	12	194	50	252	79
	1805000000	2.536	682	3.267	947	3.261	1.012	2.665	810	2.945	1.186
	Total	2.703	725	3.328	958	3.328	1.024	2.859	860	3.197	1.265
Chocolate	1806900090	43.316	8.614	51.475	8.751	28.125	8.503	27.340	7.636	21.237	7.199
	1806320090	6.543	1.425	6.132	1.413	13.502	2.524	14.831	2.777	15.349	2.779
	Total	49.859	10.039	57.607	10.164	41.627	11.027	42.171	10.413	36.586	9.978

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Regional de Oportunidades

El incremento en los últimos años en las exportaciones de cacao se explica, principalmente, por el aumento en las exportaciones de chocolate y demás preparaciones, que han tenido un incremento constante desde 2013. Así, de 2013 a 2014, hubo un aumento considerable en las exportaciones de chocolate, mientras que las exportaciones de grano han tenido un comportamiento constante cercano a las 8.000 t durante los últimos cinco años; para el año 2019, el cacao en grano ha tenido un repunte en exportaciones, aunque el precio no ha subido significativamente (figura 78).

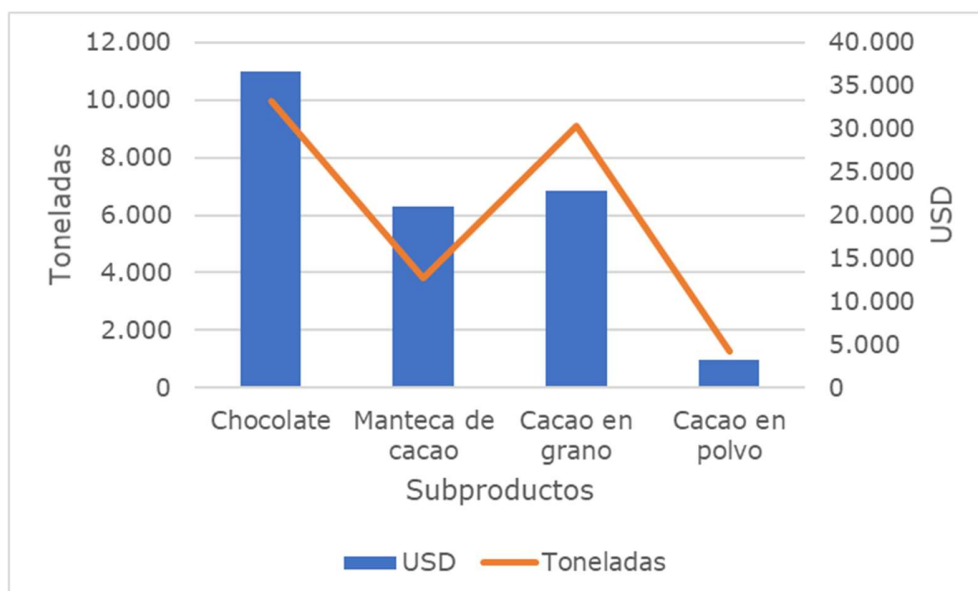


Figura 78. Exportaciones de cacao y sus derivados desde Colombia, año 2019, en miles de dólares

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Regional de Oportunidades

En Colombia, durante los últimos cinco años, han incrementado en miles de dólares las importaciones, lo que equivale al 40 % del valor en unidades monetarias. Además, se evidencia un cambio estructural en cuanto a los países importadores del cacao exportado por Colombia; países como México y España hace solo cinco años se ubicaban en los primeros lugares, respectivamente, pero ahora son superados o están a la par con países europeos como Países Bajos, Bélgica e Italia (tabla 32). Sobre esto, es considerable el gran aumento que ha tenido la participación de Países Bajos en las exportaciones del país, lo que muy

seguramente se debe a la necesidad de materia prima que tiene este país en la agroindustria del chocolate por la preferencia del cacao colombiano, ya que se considera fino en su aroma y sabor, sumado al aumento del producto en el consumo mundial.

Tabla 32. Países importadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado) exportado por Colombia (2013-2017) en miles de dólares

País	2013	2014	2015	2016	2017
México	6.688	7.917	7.135	3.466	5.911
Países Bajos	361	1.007	5.833	1.617	5.587
Italia	1.377	911	1.626	2.639	4.198
España	4.744	8.362	9.010	7.038	3.535
Malasia	1.036	0	6.389	4.837	3.263
Bélgica	131	1.451	2.251	5.749	1.657
Otros	3.974	4.705	9.496	6.234	3.175
Total mundial	18.311	24.353	41.740	31.580	27.326

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de Trade Map 2018

En cuanto a las cifras de importaciones de cacao y sus variedades, Colombia, en los últimos cinco años, se ha convertido en exportador neto de cacao. Para algunos tipos, la cantidad y el valor exportado es casi total, como es el caso del cacao en grano, el cual ha tenido una considerable reducción en su cantidad y valor importado casi del 90 % en este periodo evaluado, mientras que la cantidad de chocolate y sus variedades ha registrado cantidades constantes desde 2013, que rondan las 8.000 t exportadas al año. Este comportamiento se destaca debido a que el país ha remplazado con su producción interna las importaciones de grano durante los últimos cinco años y se ha convertido en exportador de chocolate y sus variedades. Por otro lado, ha mantenido constantes las importaciones de este mismo bien agroindustrial; esto es relevante ya que el país ha logrado aprovechar el reciente aumento en la demanda mundial, que se refleja en el aumento de los precios, especialmente en este tipo de bienes, y su diferencial en valor agregado en los productos agroindustriales. Igualmente, es de destacar el comportamiento del cacao en polvo, ya que, como producto agroindustrial de medio valor, se ubica en el segundo renglón de importaciones de cacao por tipo mientras tiene un comportamiento mínimo en términos de exportaciones (tabla 33 y figura 79).

Tabla 33. Importaciones de cacao y sus derivados a Colombia, 2015-2019, en miles de dólares

Subproducto	Subpartida arancelaria	2015		2016		2017		2018		2019	
		USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas	USD	Toneladas
Cacao en grano	1801001900	16.724	5.891	13.186	4.643	877	488	1.481	670	1.037	402
	1801002000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	16.724	5.891	13.186	4.643	877	488	1.481	670	1.037	402
Manteca de cacao	1804001200	70	6	74	8	28	4	126	17	4	0
	1804001100	68	5	68	6	99	7	5	0	13	1
	Total	138	11	142	14	127	11	131	17	17	1
Cacao en polvo	1806100000	956	168	390	77	654	133	317	108	297	72
	1805000000	7.078	2.500	9.707	3.447	8.055	3.595	8.758	3.898	10.202	4.842
	Total	8.034	2.668	10.097	3.524	8.709	3.728	9.075	4.006	10.499	4.914
Chocolate	1806900090	26.970	3.744	25.057	3.324	22.883	3.580	29.437	4.931	30.465	5.117
	1806320090	4.825	655	4.953	627	4.347	576	4.568	585	4.126	560
	Total	31.795	4.399	30.010	3.951	27.230	4.156	34.005	5.516	34.591	5.677

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Regional de Oportunidades

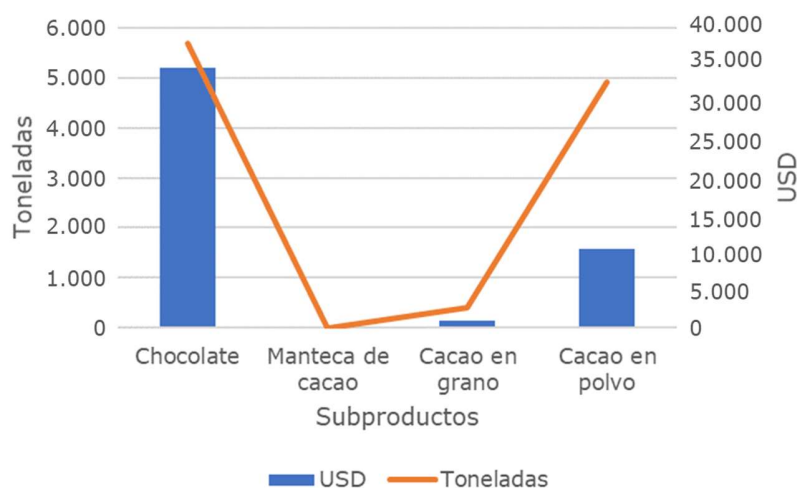


Figura 79. Importaciones de cacao y sus derivados a Colombia, año 2019, en miles de dólares.

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Regional de Oportunidades

Cabe destacar que los volúmenes de cacao en grano, en los últimos cuatro años, se han reducido considerablemente, en un porcentaje cercano al 95 %, sobre la cantidad inicial importada. Los principales países de donde provienen las importaciones de cacao en grano, en su orden de importancia en cantidades, son Venezuela, Ecuador y Perú; los dos primeros son países tradicionalmente productores de cacao fino en sabor y aroma, el cual, en la mayoría de los casos, se mezcla con la producción nacional por parte de empresas procesadoras y agroindustriales del sector (tabla 34 y figura 80).

Tabla 34. Países exportadores de cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado) hacia Colombia, 2015-2019, en miles de dólares por toneladas (t)

País	2015		2016		2017		2018		2019	
	USD	t	USD	t	USD	t	USD	t	USD	t
Perú	475	179	4.877	1.648	56	44	1.064	460	962	372
Venezuela	1.612	660	0	0	511	284	345	180	0	0
Ecuador	14.510	5.002	8.308	2.996	310	145	72	30	76	30

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de Trade Map

Los principales productos exportados por el departamento de Huila se concentran en productos agrícolas, de acuicultura y de minería; en cuanto al cacao, apenas corresponde al 1,4 % (Cámara de Comercio de Neiva, 2017) sobre el total de las exportaciones hechas por el departamento en el año 2017 (figura 80).

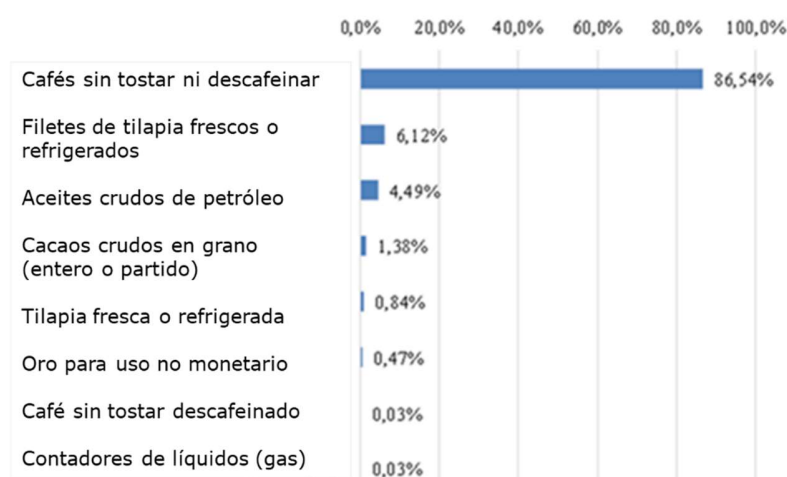


Figura 80. Principales productos exportados desde el Huila, año 2017.

Fuente: Cámara de Comercio de Neiva (2017)

En 2017, cerca de un 90 % de los costos unitarios de producción para cacao en el departamento del Huila se originaron por costos directos, especialmente en insumos, mientras que aproximadamente el 10 % restante se centró en los respectivos costos indirectos de producción representados principalmente por los costos de asistencia técnica. Para este análisis, se resalta que el modelo productivo de cacao para la zona estudiada combina la producción temprana de plátano con la de cacao para que este se desarrolle y alcance su etapa productiva. Los precios por kilogramo de plátano y cacao se tomaron con base en promedios nacionales para cada uno de estos cultivos, siendo de \$ 5.490 para el caso del cacao y de \$ 650 para el caso del plátano.

Este total se encuentra representado principalmente por el rubro de insumos, que alcanza un porcentaje cercano al 50 % sobre el total de costos para el año de establecimiento, seguido por el rubro de mano de obra, representado en 120 jornales pagados al año, los cuales tuvieron un precio de \$ 30.000 cada uno,

exceptuando aquellos destinados a la poda, que se pagaron a \$ 40.000 cada uno. Cabe señalar que el rubro correspondiente a maquinaria y herramientas tiene un valor menor, con un porcentaje cercano al 5 % sobre los costos totales, mientras que, con respecto a los costos indirectos, los servicios de análisis de suelos, asistencia técnica y administración tienen costos más elevados. Por último, el respectivo costo de oportunidad se calculó con base en la tasa de captación a término fijo a 90 días establecida para esa fecha: este fue de 6,6 % (tabla 35).

De acuerdo con el ejercicio realizado en conjunto con la Secretaria Técnica de Cacao del departamento de Huila y con la información de productores clave de la zona, así como con reportes recientes de Fedecacao para el año 2017, los resultados del análisis económico elaborado desde el Centro de Investigación Nataima, de AGROSAVIA, establecen que para una hectárea, a precios corrientes de 2017 para el cultivo de cacao, se requieren aproximadamente \$ 11.595.403 para su siembra y establecimiento (tabla 35).

Tabla 35. Costos de producción para siembra y establecimiento de un cultivo de cacao de una hectárea en el Huila, a precios de 2017, en COP

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor
Mano de obra	Jornal	125	3.810.000
Insumos			6.153.240
Herramientas y equipos			545.000
Subtotal de costos directos			10.508.240
Subtotal de costos indirectos			1.087.163
Total de costos			11.595.403
Producción de cacao	Toneladas	0	0
Producción de plátano	Toneladas	0	0
Ingresos			0
Margen bruto de ganancia			-11.595.403

Fuente: Elaboración propia a partir de Gobernación del Huila (2018)

Para el presente ejercicio se analizaron los resultados de los periodos posteriores en los que se desarrolla el cultivo y se examinaron los primeros cinco años de desarrollo. Así, en el año cinco se logró obtener un promedio de los siguientes 15 años de la producción, ya que el análisis de costos unitarios de producción se hizo a 20 años, por ser el cacao un cultivo permanente que logra su etapa

productiva después de algunos años de su establecimiento. En general, podemos observar que los costos directos y, por ende, los costos totales, poseen una tendencia a reducirse, mientras que los costos indirectos se mantienen constantes. Es de resaltar que, a diferencia del año de establecimiento, en los años de mantenimiento el rubro de mano de obra concentra la mayor proporción en relación con los costos directos, contrario a lo que sucede con el rubro de insumos en el año de establecimiento (tabla 36).

Tabla 36. Costos de producción para mantenimiento de un cultivo de cacao de una hectárea en el Huila, a precios de 2017, en COP

Actividades	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5 en adelante
Mano de obra	2.580.000	2.450.000	2.310.000	2.578.125
Insumos	1.155.300	1.060.500	670.000	717.344
Herramientas y equipos	480.000	205.000	445.000	576.250
Subtotal de costos directos	4.219.300	3.763.500	3.456.000	3.931.719
Subtotal de costos indirectos	1.013.948	1.078.638	963.189	1.000.762
Total de costos	5.233.248	4.842.138	4.419.189	4.932.481
Producción de cacao	439.200	5.270.400	6.588.000	6.588.000
Producción de plátano	5.850.000	3.900.000	1.950.000	0
Ingresos	6.289.200	9.170.400	8.538.000	6.588.000
Margen bruto de ganancia	1.055.952	4.328.262	4.118.811	1.655.519
Relación beneficio-costeo	0,20	0,89	0,93	0,34
Punto de equilibrio (kg)	953,23	881,99	804,95	898,45

Fuente: Elaboración propia a partir de Gobernación del Huila (2018)

La cantidad promedio aproximada producida tanto de plátano como de cacao varía inversamente entre una y otra, debido a que el cultivo de plátano, en su mayoría, se utiliza como fuente alternativa de ingresos, mientras que el cultivo de cacao se desarrolla y se establece en su etapa productiva. Tomando el año de establecimiento como año 1, la producción de plátano inicia con 9 toneladas y llega a ser nula a partir del quinto año, mientras que la producción de cacao inicia con 80 kg a partir del segundo año y alcanza su máximo rendimiento a partir del cuarto año, cuando se alcanzan 1,2 t/ha; estos rendimientos se fundamentan en la metodología seguida por el presente estudio con base en los datos ofrecidos por la Encuesta Nacional Agropecuaria del DANE en el año 2016 para el departamento del Huila.

Los resultados del margen bruto de ganancia (MBG) muestran que los mayores márgenes se alcanzan en el tercer y cuarto años, con respectivas relaciones beneficio-costos (RBC) de 0,89 y 0,93, respectivamente, lo que indica que por cada peso invertido en el cultivo se obtienen 0,93 pesos de ganancia en el año cuatro, por ejemplo; sin embargo, el MBG y el RBC disminuyen considerablemente a partir del año cinco en adelante. Es de destacar que el punto de equilibrio para el respectivo cultivo se encuentra aproximadamente en los 900 kg, cantidad que indica el punto en el que el productor no obtiene ganancias ni pérdidas en su inversión.

Análisis de la cadena de valor

La cadena de valor del cacao en Colombia se reconoce como una cadena productiva por la Ley 811 de 2003 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y cuenta con el Consejo Nacional Cacaotero (CNC), que está conformado por los principales comercializadores y productores: Casa Luker, Compañía Nacional de Chocolates, Fedecacao (como gremio de productores); instituciones públicas y privadas (como la ANDI), y de investigación. Además, la respectiva cadena se suscribió al acuerdo nacional de competitividad en el año 2001, que fue posteriormente actualizado en 2013. La figura 81 resume el modelo de cadena para el cacao.

El consejo tiene diferidos varios núcleos a nivel nacional. Por ejemplo, el departamento del Huila pertenece al núcleo Tolima-Huila. Asimismo, el cultivo de cacao está distribuido a nivel nacional aproximadamente en 35.000 pequeños y medianos agricultores de no más de 20 ha en promedio, quienes representan cerca del 98 % de los cultivadores de todo el territorio nacional (Contreras, 2017).

La cadena productiva del cacao está conformada por siete eslabones clave, que son: proveedores de insumos, productores, comercializadores de grano, industria, comercializadores mayoristas y minoristas y consumidor final (figura 81).

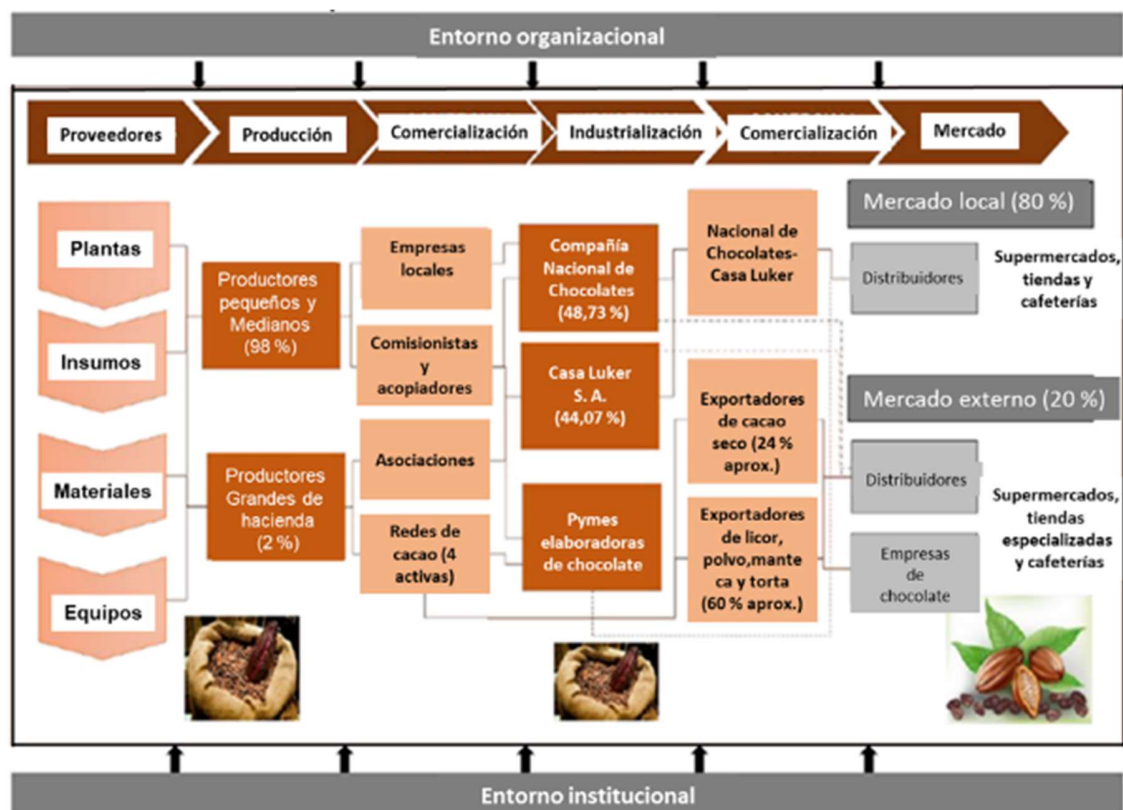


Figura 81. Modelo de cadena productiva.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ríos, Ruiz, Lecaro y Rehpani (2017)

A nivel nacional, el 56 % de los productores se apoyan en los proveedores de insumos, maquinaria y equipo para financiar sus inversiones. No obstante, se destaca que el 30 % del total de los productores no llevan ninguna clase de registro, libro o factura de la producción, mientras que el porcentaje restante registra datos básicos de nombre, cantidad, precio y valor de compras y ventas del cultivo. Igualmente, a nivel nacional se resalta que, en promedio, cada productor cultiva 3 ha, pero el nivel general de tecnificación es bajo, por lo que se limita la obtención de mayores ingresos vía aumentos de productividad. Fedecacao es la organización que agremia a los productores cacaoteros en el país y, además, administra el Fondo Nacional del Cacao y el Fondo de Estabilización de Precios del Cacao (Contreras, 2017).

Los productores, en general, obtienen sus ingresos de la actividad cacaotera, especialmente del proceso de transformación y poscosecha, aunque, en algunos momentos, complementan esta actividad principal con la venta de otros productos, como frutas, verduras, madera y cría de animales, con el fin de complementar los ingresos requeridos para el sostenimiento de su núcleo familiar y su finca. Aproximadamente el 67 % de los productores de cacao se encuentran asociados o agremiados de alguna forma o en alguna institución, lo que permite una mejor organización, políticas de control de producción y seguimiento de precios, así como beneficios como la asistencia técnica e investigación para toda la cadena.

En el departamento del Huila se encuentra en proceso de consolidación una asociación de segundo nivel llamada Aprocahuila, la cual reúne los intereses y las necesidades de 600 productores ubicados en 16 municipios y 18 agremiaciones que cuentan con aproximadamente 2.000 ha sembradas. La asociación se generó con el fin de que exista un mayor poder de negociación en la venta y comercialización para la agroindustria. Además de esto, existe un proyecto en el departamento que busca crear cuatro centrales de beneficio; es liderado y acompañado por la Cámara de Comercio de Neiva y Ecopetrol y pretende mejorar la calidad del producto, permitiendo mayores volúmenes homogéneos para poder negociar de mejor manera, en mayores volúmenes y en mejores condiciones con los comercializadores, la industria y los exportadores.

En cuanto al proceso específico de comercialización, este ha sido tradicionalmente manejado por el acopiador o intermediario, que compra de finca en finca y en veredas para posteriormente vender el volumen acopiado en las cabeceras municipales (figura 82).

El canal que continua en la cadena productiva es aquel que hace referencia a las cooperativas y agremiaciones, las cuales surgen por la necesidad de lograr mejores condiciones de representación por parte de los productores, quienes obtienen mayor poder al momento de negociar y recibir beneficios adicionales que mejoren su producción. Después le siguen las casas comerciales, que poseen puntos de compra cerca del productor, que se caracterizan por exigir mayores estándares de calidad al momento de acopio en comparación con los acopiadores y que son un canal directo con los compradores de la agroindustria nacional.



Figura 82. Canales de comercialización del cacao en grano.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ríos et al. (2017)

Otro canal comercial de importancia son los *trader*, que son compradores nacionales que buscan productores específicos con el fin de abastecerse de cacao de calidad con miras a la exportación. De esta forma, y debido a que el cacao colombiano se ha venido posicionando a nivel mundial por aroma y sabor, estos compradores pagan precios más altos que los demás comercializadores. Esta forma de comercialización ha sido promovida por instituciones como Fedecaco, Procolombia y Swisscontact. Por último, se encuentra el canal de comercialización directo entre el productor y la pequeña industria regional, el cual se caracteriza por los acuerdos que la empresa hace directamente con el productor para la compra de la producción.

En general, los criterios que se tienen en cuenta al momento de definir la calidad y, por ende, el precio que se paga al productor al momento de la comercialización son el tamaño de grano, la humedad y la limpieza, aunque para ciertos casos se tiene en cuenta el genotipo, la fermentación, el olor y la cata. El cacao tipo premio obtiene una bonificación de \$ 100 a \$ 500 por kilogramo, mientras que la penalización por humedad, por lo general, es del 10 % a 1 kg por bulto.

En el departamento del Huila se identificó una estructura de comercialización basada en la conformación de casas comerciales, asociaciones y muchos intermediarios que tienen poder sobre el establecimiento del precio, y por eso otros actores se ven en la necesidad de acogerse a las decisiones que ellos tomen, lo que impide una libre competencia que se refleje en mejores precios para los consumidores finales.

En el departamento, estas asociaciones otorgan beneficios a los productores asociados, como la donación de agroinsumos, asistencia técnica y capacitación en el manejo del cultivo. También se destaca que, en muchas ocasiones, en esta región el fenómeno del contrabando se origina desde Ecuador, lo que disminuye los precios en la región. Finalmente, se destaca que un 92 % de los comercializadores realiza el proceso de compra en los lugares establecidos para ello y un 45 % lo hace directamente en la finca.

El precio del grano es establecido por la Compañía Nacional de Chocolates y Casa Luker, y cabe señalar que, con base en este precio, se descuentan costos de fletes, administración y transporte.

Sobre la distribución proporcional de este precio cabe agregar que, aunque el cacao colombiano está denominado como fino en sabor y aroma y se paga en mercados internacionales hasta en USD 1.000, el precio interno pagado al agricultor por kilogramo es menos del 90 % de ese valor. La distribución aproximada de ingresos de la cadena de valor de cacao se refleja en la figura 83.

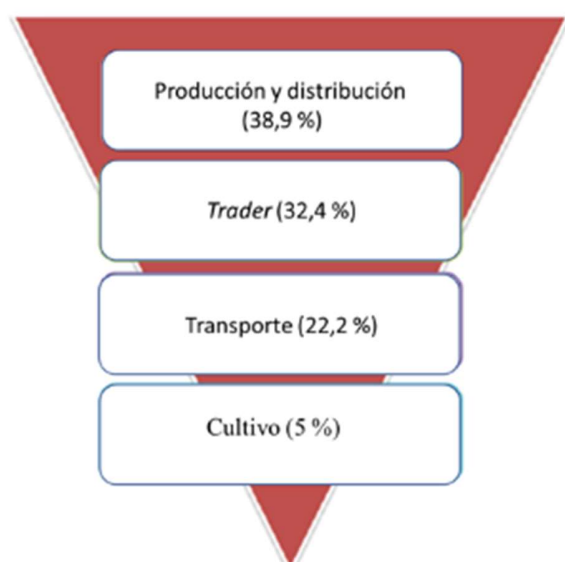


Figura 83. Distribución aproximada de ingresos de la cadena de valor del cacao.
Fuente: Elaboración propia a partir de Ríos et al. (2017)

Las principales compradoras de la producción de grano nacional y regional son las mismas industrias nacionales y locales de procesamiento y producción de productos terminados y agroindustriales como chocolate y sus diferentes presentaciones, principalmente Casa Luker, la Compañía Nacional de Chocolates, Italo y Tolimax.

Para el departamento del Huila, el 25 % de los encuestados comercializan mensualmente entre 1 y 10 t; el 50 %, de 10 a 20 t, y el restante 25 % comercializa cantidades mayores a 20 t. Así, en perspectiva, a nivel nacional, el 46 % de los encuestados comercializan cantidades menores a 20 t; el 41 %, entre 20 y 100 t, y el 7,3 %, más de 100 t al mes. Por último, se resalta que en el país un 17,5 % de los comercializadores hacen parte de alguna asociación o agremiación.

Agroindustria

Según la Agenda Interna-Plan Regional de Competitividad del Huila (Gobernación del Huila & Cámara de Comercio de Neiva, 2015), se afirma que la cacaocultura del departamento requiere dar un salto en la cadena de valor

frente a la posición en la que actualmente se encuentra, pues debido a los altos estándares de calidad tiene potencialidad para incrementar el valor agregado a los productos finales. La almendra que produce la zona, aunque de baja calidad, se reconoce por su sabor excelso y su fino aroma, de carácter orgánico y sin trazas de elementos metálicos, en la que el licor de cacao proveniente presenta alta concentración de grasa, que alcanza niveles de hasta un 70 %.

En el departamento del Huila se identifican dos agroindustrias regionales (Tolima y Superior) que solamente acaparan un porcentaje cercano al 20 % de la producción total de grano de la región. Sin embargo, en los últimos años no se han producido cambios claros o iniciativas que conlleven a una obtención de productos de mayor valor agregado (tabla 37), como en el caso del licor de cacao, el cual es la base de posteriores procedimientos agroindustriales, como la chocolatería fina. Tampoco hay iniciativas con miras a la exportación, a pesar de que el mercado nacional esté dominado por dos productores nacionales.

El sector agroindustrial en Colombia está dominado por dos grandes empresas nacionales: Nacional de Chocolates y Casa Luker, mientras que otras 30 empresas medianas y 20 pequeñas representan la porción restante del mercado; entre estas se destacan Colombina S. A., Italo, Chocolate Andino, Tolima, Chocolate Gironés y Chocolates Tumaco, entre otras.

Tabla 37. Productos de cacao con valor agregado en diferentes niveles

Productos de valor agregado bajo	Productos de valor agregado medio-bajo	Productos de valor agregado medio-alto	Productos de valor agregado alto
• Cacao a granel sin procesar • Grano • Cáscara (alimento para animales rumiantes)	Pasta y licor de cacao	• Cacao en polvo (cocoa) • Manteca de cacao • Cacao orgánico • Productos de confitería y repostería	• Antioxidantes • Alimentos nutraceuticos • Serotonina • Bases para cosméticos • Esencias para perfumería • Cacao fino (100 %)

Fuente: Gobernación del Huila y Cámara de Comercio de Neiva (2015)

En la industria del chocolate resaltan dos grandes modalidades de transformación de los granos de cacao: la primera hace referencia a los subproductos del cacao, como es el licor de cacao, maneca de cacao y torta, y la segunda, con mayor valor agregado, es la que está conformada por los productos de chocolatería, barras de chocolate, chocolate de mesa, bombonería, chocolate artesanal y coberturas.

Tanto la Compañía Nacional de Chocolates como Casa Luker suministran la producción al mercado del país, principalmente en productos de chocolate para mesa y barras para chocolate caliente, y exportan granos de cacao y productos semielaborados y elaborados. Asimismo, la Nacional de Chocolates importa cacao en grano de Ecuador y Perú en algunas épocas del año, cuando hay escasez de producto nacional, para satisfacer la demanda nacional e internacional, y por la similitud en variedades, sabor, olor y calidad del grano. La Casa Luker no realiza ningún tipo de importación (Contreras, 2017). Igualmente, se encontró que el 83% de las empresas procesadoras agroindustriales tienen consumos menores a 1 t mensual y solo la mitad de ellas cuenta con algún certificado de calidad, incluido el registro Invima

Referencias

- Aldana, M. (2008). *El injerto lateral o malayo: una práctica eficiente para la rehabilitación de árboles de cacao en Colombia*. Colombia. Recuperado de [https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/El Injerto Lateral o Malayo.pdf](https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/El_Injerto_Lateral_o_Malayo.pdf)
- Álvarez Carrillo, F., Rojas Molina, J., & Suárez Salazar, J. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 307-314. Recuperado de <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/375>
- Alvim, P. de T. (1977). Cacao. En P. de T. Alvim y T. T. Kozlowski (eds.), *Ecophysiology of tropical crops* (279-313). Manaus, Brasil: Academic Press. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-055650-2.50015-0>
- Alvim, P. de T. (1987). Relaciones entre factores climáticos y producción de cacao. En *10th International Cocoa Research Conference* (pp. 34-42). Santo Domingo, República Dominicana: Cocoa Producers' Alliance.
- Alvim, P. de T., Machado, A., & Vello, F. (1972). Physiological responses of cacao to environmental factors. En *Proceedings of the Fourth International Cocoa Research Conference* (pp. 210-225). Trinidad, Trinidad y Tobago: Cocoa Research Unit.
- Aranzazu, F. (1996). Comportamiento de la llaga estrellada *Rosellinia pepo* Pat. Sobre raíces de cacao. *Fitopatología Colombiana*, 20, 7-10.
- Aranzazu, F. (2000). Escoba de bruja en Colombia: su impacto económico y manejo. En L. A. Mejía y O. Argüello (comps.), *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao* (pp. 85-90). Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Aranzazu, F., Martínez, N., Rincón-Guarín, D. A., & Palencia, G. (2009). *Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra*. Bucaramanga, Colombia: Federación Nacional de Cacaoteros; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Arciniegas, A. M. (2005). *Caracterización de árboles superiores de cacao* (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del Catie (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4571/Caracterizacion de arboles superiores de cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4571/Caracterizacion%20de%20arboles%20superiores%20de%20cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Argüello, O., Mejía, L. A., & Palencia, G. (2000). Origen y descripción botánica. En L. A. Mejía y O. Argüello (comps.), *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao* (pp. 10-12). Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Arosemena, G. (1991). *El fruto de los dioses. El cacao en Ecuador, desde la colonia hasta el ocaso de su industria, 1600-1983* (vol. 1). Guayaquil, Ecuador: Graba.
- Arvelo, M. A., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: buenas prácticas para América Latina*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (Anecacao). (s. f.). Floración, fructificación y cosecha del cacao. *Anecacao*. Recuperado de <http://www.anecacao.com/index.php/es/servicios/218rticulos-tecnicos/floracion-fructificacion-y-cosecha-del-cacao.html>
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., & Streit, C. (2000). Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico. Cacao. En *Guías de 18 cultivos*. Alemania: Asociación Naturland. Recuperado de <https://www.naturland.de/images/SP/Productores/cacao.pdf>
- Barragán, E., Caicedo, A., Jaramillo, C., Rojas, J., & Ramírez, L. E. (2012). *Informe final. Establecimiento de estrategias de manejo del agua de riego para la producción sostenible y competitiva en las zonas productoras de Tolima, Huila y Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

- Barragán, E., Gómez, L. E., Lozano, M. D., Mendoza, L. A., Ramírez, L. E., & Rivera, J. J. (1999). *Manejo integrado del cultivo de la mora* (módulo instruccional). Tecnimpresos; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Barros, N. O. (1981). *Cacao. Manual de asistencia técnica n.º 23*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Bartley, B. G. D. (2001). The origin and compatibility relationships of the Scavina variety of *Theobroma cacao* L. *Ingenic Newsletter*, 6, 23-24.
- Bastos, C. N. (1996). Potencial de *Trichoderma viride* no controle da vassourade-bruxa (*Crinipellis perniciososa*) do cacaueiro. *Fitopatologia Brasileira*, 21, 509-512.
- Batista, L. (2009). *Guía técnica: el cultivo de cacao em la República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (Cedaf). Recuperado de <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>
- Bolaños, A. (1991). *Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DO2003100666>
- Cámara de Comercio de Neiva. (2017). *Informe de coyuntura económica 2017*. Recuperado de <https://ccneiva.org/wp-content/uploads/2018/01/Informe-de-Coyuntura-Econ%C3%B3mica-2017.pdf>
- Cárdenas, S., Bustamante, E., Rivas, G., Rivillas, C., & Pérez, C. (1998). Aislamiento de pseudomonas fluorescentes antagonista potencial de *Rosellinia bunodes* en raíces de café en Colombia. *Manejo Integrado de Plagas*, (49), 35-41.
- Carr, M. K. V. & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Experimental Agriculture*, 47(4), 653-676. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Castro, B. L. (1995). Antagonismo de algunos aislamientos de *Trichoderma koningii*, originados en suelo colombiano contra *Rosellinia bunodes*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Pythium ultimum*. *Fitopatología Colombiana*, 19, 7-18.

- Castro, O. E. (1989). *Dinámica de la población de conidios e incidencia de moniliasis a diferentes alturas a partir del suelo en un cacaotal de Matina, Limón, 1988* (tesis). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cheesman, E. E. & Pound, F. J. (1934). Further notes on criteria of selection in cacao. En *Annual Report on Cacao Research* (pp. 21-24). Trinidad, Trinidad y Tobago: Third Annual Report on Cocoa Research (ICTA).
- Comisión Europea. (2014, 12 de mayo). Reglamento (UE) n.º 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) n.º 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>
- Consejo Nacional Cacaotero (CNC). (2010). *Acuerdo 003: modificado el 18 de marzo de 2010 por el Comité Técnico Nacional*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
- Consejo Nacional Cacaotero (CNC) & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (s. f.). *Plan Decenal de Desarrollo Cacaotero 2012-2021*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/javierivan39/plan-nacional-de-desarrollo-cacaotero-2012-2021>
- Contreras, C. A. (2017). *Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Contreras, F., Herrera, T., e Izquierdo, A. (2011). Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de cadmio. *Venezuelos*, 13(1), 52-63. Recuperado de http://190.169.30.98/ojs/index.php/rev_venes/article/view/979
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016). Análisis de resultados de suelos (informe 2600-S16 [24650]). Informe no publicado.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2003). *Caracterización y zonificación de áreas potenciales para el cultivo del cacao en Colombia*. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1907>

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Fondo Adaptación. (2015). *Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático. Producto 1: Caracterización de la variabilidad climática y zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos. Departamento de Huila*. Documento no publicado.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Fondo Adaptación. (2016). *Sistema de apoyo para la toma de decisiones agroclimáticamente inteligente*. Recuperado de <http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Inicio/>
- Corporación PBA. (2012). *Guía técnica para el establecimiento y manejo del cultivo de cacao*. Bogotá, Colombia: Ecopetrol. Recuperado de <http://www.corporacionpba.org/portal/sites/default/files/Gu%C3%ADa%20t%C3%A9cnica%20para%20el%20manejo%20del%20cultivo%20de%20cacao.pdf>
- Criollo, J. (2017). *Determinación del tiempo óptimo de fermentación y evaluación de los parámetros de tostión sobre las propiedades del licor de copoazú Theobroma grandiflorum* (tesis de maestría). Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- Crone, L. J. & Bachelder, S. (1961). Insect transmission of canker stain fungus *Ceratocystis fimbriata* f. platani. *Phytopathology*, 51.
- Cruz-Crespo, E., Sandoval-Villa, M., Volke Haller, V., Ordaz-Chaparro, V., Tirado-Torres, J. L., & Sánchez-Escudero, J. (2010). Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 219-229. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300004
- Cubillos, G. (2013). *Manual del perforador de la mazorca del cacao Carmenta foraseminis (Busck) Eichlin*. Medellín, Colombia: Compañía Nacional de Chocolates. Recuperado de <https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/manual-del-perforador-de-la-mazorca-del-cacao.pdf>

- DANE. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Históricos. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena/encuesta-nacional-agropecuaria-por-departamentos>
- De Oliveira, M. L. & Luz, E. D. M. (2005). *Identificação e manejo das principais doenças do cacaueteiro no Brasil*. Ilhéus, Brasil: Centro de Pesquisas do Cacau (Cepec); Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac).
- Delgado, N. (2005). Caracterización morfológica de los Sesiidae (Insecta: Lepidoptera) perforadores del fruto del cacao (*Theobroma cacao* L.), presentes en la región costera del estado Aragua, Venezuela. *Entomotrópica*, 20(2), 97-111.
- Desrosiers, R. & Suárez, C. (1974). Monilia pod rot of cacao. En P. H. Gregory (ed.), *Phytophthora disease of cocoa* (pp. 273-277). Londres, Inglaterra: Logman Group.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., & Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: cacao*. Lima, Perú: Proyecto Perúbiodiverso; Botconsult GmbH; Museo de Historia Natural.
- Duke, J. A. (1983). *Theobroma cacao* L. Recuperado de https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Theobroma_cacao.html
- Eichlin, T. D. (1995). A new Panamanian clearwing moth (Sesiidae: Sesiinae). *Journal of the Lepidopterists Society*, 49(1), 39-42. Recuperado de [http://images.peabody.yale.edu/lepsoc/jls/1990s/1995/1995-49\(1\)39-Eichlin.pdf](http://images.peabody.yale.edu/lepsoc/jls/1990s/1995/1995-49(1)39-Eichlin.pdf)
- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. San José, Costa Rica: Centro Agroquímico Tropical de Investigaciones y Enseñanza.
- Erwin, D. C. & Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora diseases worldwide*. Saint Paul, Estados Unidos: The American Phytopathological Society.
- Eslava, M. (2011). 5. *Huila: cacao fino y de aroma*. Secretaría Técnica de la Cadena de Cacao en el departamento del Huila. Recuperado de <http://www.huila.gov.co/publicaciones/5067/cadena-productiva-cacao/descargar.php?idFile=7277>
- Evans, H. C. (1981). Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora* (Monilia) *roreri*. *Phytopathological Papers*, (24), 1-44.

- Evans, H. C., Holmes, K. A., & Reid, A. P. (2003). Phylogeny of the frosty pod rot pathogen of cocoa. *Plant Pathology*, 52, 476-485.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2003.00867.x>
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (s. f.). Economía nacional. Recuperado de <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2015). *Guía técnica para el cultivo del cacao* (6.ª ed.). Bogotá, Colombia: Autor.
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) & Fondo de Estabilización de Precios del Cacao. (2018). *Informe de gestión año 2017*. Bogotá, Colombia: Autores: Recuperado de <http://www.fepcacao.com.co/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-DE-GESTION-VIGENCIA-2017-FEPCACAO.pdf>
- Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) & Pronatta. (1998). *Guía técnica para el cultivo del cacao*. Bogotá, Colombia: Autores. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/3666>
- Figuerola, W., Ramírez, J., & Sigarrosa, A. (2013). Efecto de las cepas nativas *Paecilomyces* sp. (Bainier) y *Lecanicillium* sp. (Zimm) en el control de *Carmenta foraseminis* Eichlin (Lepidoptera: Sesiidae) en cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 62(3), 279-286.
<https://doi.org/10.15446/acaq>
- Futuros cacao EE. UU. Jul 2020 (CCN0). (s. f.). *Investing.com*. Recuperado de <https://es.investing.com/commodities/us-cocoa-historical-data>
- Galindo, J. J. (1984). Programa de cacao investiga moniliasis. *Actividades en Turrialba Catie*, 12(2), 8-9.
- García, J. (2015). *Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (Theobroma cacao L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico* (tesis). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- García, J. & Moreno, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50. <https://doi.org/10.15446/acaq.v65n1.48161>

- García, J., Romero, M., & Ortiz, L. (2007). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189>
- García, J. & Sandoval, A. P. (2011). *Recomendaciones para la implementación de buenas prácticas agrícolas en la producción de mango en el Tolima (primera versión)*. El Espinal, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Gastal, F. & Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 789-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>
- Gobernación del Huila. (2015). Evaluación Agropecuaria 2015. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5032/evaluaciones-agropecuarias-476/>
- Gobernación del Huila. (2017). Evaluación Agropecuaria 2017. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5032/evaluaciones-agropecuarias-476/>
- Gobernación del Huila. (2018). Evaluación Agropecuaria 2018. Recuperado de <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5032/evaluaciones-agropecuarias-476/>
- Gobernación del Huila & Cámara de Comercio de Neiva. (2015). *Agenda Interna-Plan Regional de Competitividad del Huila. Actualización de la Agenda Interna de Productividad y Competitividad del Huila*. Recuperado de <https://ccneiva.org/servicios-empresariales/informes-economicos/?b5-file=4587&b5-folder=7588>
- Gómez, A. & Rivera, H. (1987). *Descripción de malezas en plantaciones de café*. Cali, Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Cenicafé); Carvajal.
- Gómez, W. (2011). *Agroforestería y cambio climático. Incluye el sistema agroforestal Quesungual*. San Salvador, El Salvador: Cesta. Recuperado de <http://www.cesta-foe.org.sv/areas-de-trabajo/Pubs/cuadernillo%20CESTA%20agroforestales.pdf>

- González, C., Thompson, J., Martínez, Y., & Sánchez, N. (2010). Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la Cuenca del Lago de Valencia. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 25(2), 73-80. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262651978_Concentracion_de_cadmio_en_particulas_de_diferentes_tamanos_de_un_suelo_de_la_Cuenca_del_Lago_de_Valencia
- Gregory, P. H. & Maddison, A. C. (eds.). (1981). *Epidemiology of Phytophthora on cocoa in Nigeria*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Grisales, A. & Cubillos, Z. J. (1986). Rehabilitación de plantaciones de cacao deterioradas por escoba de bruja, mediante el método de renovación de copa. *Revista El Cacaotero Colombiano*, (31), 36-41.
- Guest, D. I., Anderson, R. D., Foard, H. J., Phillips, D., Worboys, S., & Middleton, R. M. (1994). Long-term control of Phytophthora diseases of cocoa using trunk-injected phosphonate. *Plant Pathology*, 43(3), 479-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x>
- Gutiérrez Hernández, B. E. (2011). *Estudio agronómico y fisicoquímico de los ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Izalco y Nahuilingo, en el departamento de Sonsonate, en El Salvador* (tesis de pregrado). Universidad Dr. José Matías Delgado, Antiguo Cuscatlán, El Salvador.
- Harrington, T. C. & Harrington, T. (2004). *Ceratocystis fimbriata*. Recuperado de <http://www.public.iastate.edu/~tcharrin/CABIinfo.html#anchor209249>
- Hernández, C. (2010). *Determinación del momento óptimo de cosecha de copoazú (Theobroma grandiflorum Widd ex Spreng Schum) en la amazonia occidental colombiana* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/6808>
- Hernández, M., Barrera, J., Martínez, G., & Fernández-Trujillo, J. (2006). Maduración y métodos de conservación de arazá. En M. S. Hernández, J. A. Barrera y M. Carrillo (eds.), *Arazá* (pp. 67-104). Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
- Icontec. (2003). *Norma Técnica Colombiana NTC 1252*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/151950183/NTC-1252>

- Icontec. (2008). *Norma Técnica Colombiana NTC 793*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/151782918/NTC-793>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.). Medidas para la temporada invernal*. Bogota, Colombia: Produmedios.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2013a). El ICA apoya Plan Nacional de Renovación de Cacao. *ICA Comunica*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Periodico-Virtual/Prensa/2013/El-ICA-apoya-Plan-Nacional-de-Renovacion-de-Cacao.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2013b). Resultados vigilancia del barrenador de la mazorca del cacao *Carmenta foraseminis* Einchlin en Colombia. *Boletín Informativo*. Recuperado de [https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologia-agricola/boletines/nacionales/2013/vigilancia-barrenador-de-la-mazorca-del-cacao-\(1\).aspx](https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologia-agricola/boletines/nacionales/2013/vigilancia-barrenador-de-la-mazorca-del-cacao-(1).aspx)
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). *Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, Colombia: Ideam; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/preliminares.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1994). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Huila*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Iton, E. F. (1966). Ceratocystis wilt. En *Annual Report on Cacao Research* (pp. 44-56). Saint Augustine, Trinidad y Tobago.
- Iwaro, A. D., Sreenivasan, T. N., & Umaharan, P. (1997). Foliar resistance to Phytophthora palmivora as an indicator of pod resistance in *Theobroma cacao*. *Plant Disease*, 81(6), 619-624. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619>

- Jaimes, Y., Aranzazu, F., Rodríguez, E., & Martínez, N. (2011). Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 171-178. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/15678/30361>
- Knoke, J. (1967). *Biology, behavior and control of insects attacking Theobroma cacao*. Turrialba, Costa Rica, y Madison, Estados Unidos: IICA; Department of Entomology, University of Wisconsin Turrialba.
- Kongor, J., Hinneh, M., Van de Walle, D., Ohene, E., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile: A review. *Food Research International*, 82(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Krauss, U. & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological Control*, 22(2), 149-158. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0956>
- Leal, C. & Hernández, M. L. (1990). *Aspectos bionómicos del perforador de la mazorca del cacao Synanthedon theobromae (Busck) (Lepidoptera: Sesiidae)*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Leite, R. M., Alvim, R., & Alvim, P. (1981). Effects of wind and solar radiation on the mechanical rupture of the cacao pulvinus. En *7th International Cocoa Research Conference* (pp. 129-130). Duala, Camerún: Cocoa Producers' Alliance.
- Llerena, L. T., Bermeo, C. R., & Plaza, P. M. (2017). Evaluación de diferentes tipos de sustratos en vivero de cacao (*Theobroma Cacao* L.). *International Journal of Science and Engineering Invention*, 3(1), 156-165. Recuperado de <https://docplayer.es/79510459-Evaluacion-de-diferentes-tipos-de-sustratos-en-vivero-de-cacao-theobroma-cacao-l.html>
- Lora, R. & Bonilla, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Revista UDCA: Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 61-70. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a08.pdf>
- Lutheran World Relief (LWR). (2013). *Caja de herramientas para cacao*. Recuperado de <http://cacaomovil.com/>

- Martínez, G. N. C. (2016). *Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (Theobroma cacao L.) en las zonas productoras de Santander, Arauca y Huila* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Martínez, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (2.^a ed.). Tepatitlán de Morelos, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Martínez, P. F. & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En V. J. Flórez (ed.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37-77). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Mejía, L. A. & Argüello, O. (comps.). (2000). *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Mejía, L. A. & Palencia, G. E. (2000). *Manejo integrado del cultivo de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Mejía, L. A., Palencia, G. E., & Ramírez, N. (2003). *Manual para la renovación y rehabilitación de plantaciones de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Méndez, H., Palencia, G. E., Ramírez, M., & Roveda, G. (2006). *Zonificación de tierras por su aptitud para el cultivo de cacao en el occidente del departamento de Boyacá*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Mendoza, R. A. (2000). *Aislamiento selectivo y pretamizado en bioensayos de micoparásitos contra Rosellinia spp.* (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica.
- Merchán, V. M. (1990). La *Rosellinia* del cacao. *El Cacaotero Colombiano*, (13), 13-19.
- Merchán, V. M. (1993). Experiencias en el manejo de *Rosellinia*. *Ascolfi Informa*, (19), 23-24.

- Ministerio de Agricultura del Perú. (2004). *Manual de cultivo del cacao*. Lima, Perú: Autor.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jeréz, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191. Recuperado de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1186/1185
- Moncayo, E. (1957). *Plagas del cacao en Antioquia y Santander* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Montes de Oca, H. A. (1975). *Estudio de la resistencia a Ceratocystis fimbriata Ellis y Halst., en híbridos y clones de cacao (Theobroma cacao L.), utilizando dos métodos de evaluación* (tesis de maestría). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1783/Estudio_de_la_resistencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morillo, F., Sánchez, P., Herrera, B., Liendo-Barandiaran, C., & Muñoz, W. (2009). Pupal development, longevity and behavior of *Carmenta theobromae* (Lepidoptera: Sesiidae). *Florida Entomologist*, 97, 355-361. <https://doi.org/10.1653/024.092.0222>
- Muñoz, J. A., Vásquez, Y., & Muriel, S. B. (2017). Estimación de pérdidas generadas por *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin (Lepidoptera: Sesiidae) en el grano comercial de cacao (*Theobroma cacao* L.) y registro de controladores biológicos en la granja "Rafael Rivera", San Jerónimo (Antioquia-Colombia). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 17(2), 29-36. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/11655/1/Estimacion%20de%20perdidas%20generados.pdf>
- Navarro, R., Clavijo, J., Vidal, R., & Delgado, N. (2004). Nuevo insecto perforador del fruto del cacao de importancia económica en Venezuela. *INIA Divulga*, (2), 27-30.
- Nowell, W. (1916). Rosellinia root diseases in the Lesser Antilles. *West Indian Bull*, (16), 31-77.

- Orellana, R. G. (1956). Estado de las investigaciones sobre la enfermedad del cacao. *Cacao (Costa Rica)*, 3(11), 10.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. *Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*, (90). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-s8630s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, (56). Recuperado de <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). El suelo es un recurso no renovable. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/276277/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) & Organización Mundial de la Salud (OMS). (2015). *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao*. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCCF/cccf9/cf09_06s.pdf
- Organización Internacional del Cacao (ICCO). (2018a). ICCO Monthly Averages of Daily Prices. Recuperado de <https://www.icco.org/statistics/cocoa-prices/monthly-averages.html>
- Organización Internacional del Cacao (ICCO). (2018b). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. Recuperado de https://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/46-statistics-production.html?limit=35&limitstart=0&order=hits&dir=ASC
- Orozco, L. & López, A. (2015). Cacao y contenido de metales pesados. *Esquina Técnica*, (12). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281210344_Esquina_Tecnica_12_Agosto_2015_Cacao_y_contenido_de_metales_pesados

- Orozco, L. & López, A. (2016). *Balance de agua y requerimientos de riego en cacao*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/306079740_Balance_de_agua_y_requerimientos_de_riego_en_cacao/download, Consultado octubre 2018
- Ortiz, K. L. & Álvarez, R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 19(1), 65-84. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.1.5>
- Osorio, M., Leiva, E., & Ramírez, R. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 73-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.73>
- Ospina, C. M., Posada, F. J., Gil, Z. N., & Castro, B. L. (2003). *Especies forestales nativas: el tambor. Aspectos fitosanitarios (en Colombia)*. Chinchiná, Colombia: Cenicafé.
- Palencia, G. E., Gómez, R., Díaz, N. H., Contreras, M. N., & Tolosa, J. A. (2006). *Rehabilitación de plantaciones de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Palencia, G. E., Gómez, R., Martín, J. E., & Guiza, O. (2006). *Especies forestales para uso en sistemas agroforestales con cacao: una alternativa para el occidente de Boyacá*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Palencia, G. E. & Mejía, L. A. (2003). *Producción masiva de materiales clonados de cacao* (*Theobroma cacao* L.). Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Palencia, G. E. & Mejía, L. A. (2004). *Injertación temprana en la producción masiva de clones de cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Pedraza, R. & Pichimata, M. (2013). *Diagnóstico de fertilidad de suelos y de disponibilidad y calidad de forrajes del municipio de Monterrey, departamento de Casanare*. Casanare, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Phillips-Mora, W. (2003). *Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (Theobroma cacao L.) fungus Moniliophthora roreri (Cif.) Evans et al. as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence* (tesis de doctorado). Universidad de Reading, Reading, Reino Unido.
- Phillips-Mora, W. (2004). La moniliasis del cacao: una seria amenaza para el cacao en México. En *Simposio Nacional sobre Enfermedades Tropicales. Resúmenes de ponencias* (pp. 91-99). Tabasco, México.
- Prabhakaran, K. (2010). Cocoa (*Theobroma cacao* L.). En *The agronomy and economy of important tree crops of the developing world* (pp. 131-180). Londres, Inglaterra: Elsevier.
- Programa para el Desarrollo de la Amazonía (Proamazonía). (2003). *Manual del cultivo del cacao*. Perú: Ministerio de Agricultura.
- Ramírez, L. E. (2006). *Manual técnico: producción de clones de cacao de calidad para el departamento del Huila*. Ibagué, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ramírez Gil, J. G. (2016). Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en la hacienda Theobroma, Colombia. *Revista de Protección Vegetal*, 31(1), 42-49. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522016000100006&lng=pt&nrm=iso
- Rincón, S. (1979). *Manual del cacaotero. Temas de orientación agropecuaria*. Bogotá, Colombia: Incora.
- 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*. Bogotá, Colombia: Fundación Swisscontact Colombia.
- Rodríguez, E. (2006). Técnica de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 4(4), 68-78. Recuperado de https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/T%C3%A9cnica_de_reduccion.pdf
- Rodríguez, E. & Medina, J. (2005) Caracterización de clones de cacao por respuesta a monilia (*Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans et al.) en Santander (Colombia). *Fitopatología Colombiana*, 28(2), 61-64.

- Rodríguez, E., Mujica, J., & Cubillos, G. (2005). *Manejo integrado de la moniliasis en el cultivo del cacao*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1203/4_1712_43683.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, E. & Vera, A. (2015). *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (Phytophthora sp.) en cacao*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rodríguez Albarracín, H. S. (2017). *Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rojas, F. & Sacristán Sánchez, E. J. (2013). *Guía ambiental para el cultivo del cacao*. Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao); Fondo Nacional del Cacao. Recuperado de https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnico_s/fedecacao-pub-doc_05B.pdf
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Rondón, G. & Gómez, R. (1993). Manejo productivo de plantaciones de cacao. *Boletín de Sanidad Vegetal (Instituto Colombiano Agropecuario)*, (3).
- Rorer, J. B. (s. f.). *Enfermedades y plagas del cacao en el Ecuador y métodos modernos apropiados al cultivo del cacao*. Informe presentado a la Asociación de Agricultores del Ecuador. Documento no publicado.
- Ruiz, F. (2010). *Escenarios de cambio climático en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/350328436/3-Escenarios-CC-IDEAM-Franklin>
- Sáenz, B. & Cabezas, M. (2007). Un acercamiento a la ecofisiología del cacao. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 6(6), 44-50.
- Salazar, L. F. & Hincapié, E. (2007). Las arvenses y su manejo en los cafetales. En H. F. Ospina y S. M. Marín (eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 101-130). Chinchiná, Colombia: Cenicafé.

- Salinas, G. (1997). Biología y ecología del chinche del cacao *Monalonion dissimulatum* Distant, 1883 (Hemiptera: Miridae) en la región de Sapecho, Alto Beni. *Journal en Agricultura y Desarrollo Sostenible*, (5), 19-31.
- Silva, M. (2013). *Consumo hídrico de cacaueiros jovens irrigados por gotejamento em consórcio com bananeira e pau-Brasil* (tesis de maestría). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Brasil. Recuperado de <http://nbcgib.uesc.br/ppgpv/painel/paginas/uploads/e52f7c0b9c68dd4aef5920cd0d7866cd.pdf>
- Silva, P. (1994). Insects pests of cacao in the State of Bahia, Brazil. *Tropical Agriculture*, 21(1), 8-14. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19440500556>
- Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SIOC). (2018). *Cadena de cacao. Indicadores e instrumentos. Marzo 2018*. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2018-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Soberano, M. I. (2012). *Producción de endoproteasa ácida extracelular (mrAE) por el hongo fitopatógeno Moniliophthora roreri cultivado en el sistema de fermentación en estado sólido con bagazo de caña de azúcar como sustrato* (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, México.
- Sosa-Madrado, M. O., Ortega-Meseguer, I., Díaz-Peña, M., & Castellanos-González, L. (2011). *Identificación de malezas invasoras en los cultivos en los municipios Lajas, Cruces y Palmira* (tesis de maestría). Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Strasburger, E. (1994). *Tratado de botánica* (8.ª ed.). Barcelona, España: Omega.
- Suárez, C. (1971). *Estudio del mecanismo de penetración y del proceso de infección de Monilia roreri Cif y Par en frutos de cacao (Theobroma cacao L.)* (tesis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

- Tourvieille de Labrouhe, D. (1982). Pénétration de *Rosellinia necatrix* (Hart.) Berl. dans les racines du pommier en conditions de contamination artificielle. *Agronomie*, 2(6), 553-560. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00884417/document>
- Tovar, G. (1991). La investigación sobre la epidemiología de la escoba de bruja del cacao [*Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer] en el Piedemonte Llanero de Colombia: consideraciones generales. *Agronomía Colombiana*, 8(1), 31-57. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25162>
- Vargas, A., Somarriba, E., & 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. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6053/Dinamica_poblacional_del_chinche.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vásquez, Y., Muñoz, J., Muriel, S., & Hernández-Baz, F. (2015). Ocurrencia de los barrenadores *Carmenta foraminis* Eichlin y *Carmenta theobromae* (Busck) (Lepidoptera: Sesiidae) en *Theobroma cacao* L., en el departamento de Antioquia-Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 16(1), 34-38.
- Vélez, R. & Cubillos, G. (1989). El perforador de la mazorca del cacao. *El Cacaotero Colombiano*, 12(37), 43-47.
- Yin, H., Tan, N., Liu, C., Wang, J., Liang, X., Qu, M., ... Liu, F. (2016). The associations of heavy metals with crystalline iron oxides in the polluted soils around the mining areas in Guangdong Province, China. *Chemosphere*, (161), 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.018>

Anexos

Tabla A1. Normatividad colombiana para la elaboración, preparación y manipulación de chocolate de mesa

Norma	Descripción
NTC 1252	Para el cacao en grano empleado en la fabricación
NTC 486	Para la masa (pasta) o licor de cacao empleado en la fabricación
NTC 793	Se recomienda no adicionar cascarilla de cacao, sustancias inertes, dextrinas, sustancias conservantes, almidones, harinas o materias extrañas en la fabricación del chocolate de mesa
NTC 512-1	Industrias alimentarias: rotulado o etiquetado. Parte 1: Norma general
NTC 512-2-2006	Industrias alimentarias: rotulado o etiquetado. Parte 2: Rotulado nutricional de alimentos envasados
NTC 4132	Microbiología: guía general para el recuento de mohos y levaduras. Técnica de recuento de colonias a 25 °C
NTC 4458	Microbiología de alimentos y alimentos para animales: guía general para el recuento de coliformes. Técnica de recuento de colonias
NTC 4491-1	Microbiología de alimentos y alimentos para animales: preparación de muestras para ensayo, suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológico. Parte 1: Reglas generales para la preparación de la suspensión inicial y de diluciones decimales
GTC 99	Guía para la selección de un plan, un esquema o un sistema de muestreo para aceptación en la inspección de ítems individuales en lotes
GTC 125:2005	Guía de referencias de métodos horizontales de análisis microbiológicos para bebidas, alimentos y alimentos para animales

NTC 4491-4	Microbiología de alimentos y alimentos para animales: preparación de muestras para ensayo, suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológicos. Parte 4: Reglas específicas para la preparación de productos diferentes de leche, productos lácteos, carne, productos cárnicos, pescados y productos de la pesca
NTC 4519	Microbiología de alimentos: guía general para el recuento de microorganismos. Técnica de recuento de colonias a 35 °C
NTC 4574	Microbiología de alimentos y alimentos para animales: guía general sobre métodos de detección de salmonella
NTC-ISO 2859-1	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo determinados por el nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote a lote
NTC-ISO 2859-2	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 2: Planes de muestreo determinados para la calidad límite (CL) para la inspección de un lote aislado
NTC-ISO 2859-3	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 3: Procedimientos de muestreo intermitentes
NTC-ISO 2859-4	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 4: Procedimientos para evaluación de niveles de calidad establecidos
NTC-ISO 3951-1	Procedimientos de muestreo para inspección por variables. Parte 1: Especificaciones para planes de muestreo simple clasificados por NAC para inspección lote a lote para una característica de calidad única y un solo NAC

Fuente: Elaboración propia

Tabla A2. Normatividad colombiana para la producción y manipulación de aromática de cascarilla de cacao

Norma	Descripción
NTC 5851	Bebidas no alcohólicas; bebidas de té
GTC 99-1	Orientación sobre la selección y el uso de los sistemas de muestreo de aceptación para la inspección de elementos discretos en lotes. Parte 1: Muestreo de aceptación
NTC-ISO 2859-1	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo determinados por el NAC para inspección lote a lote (ISO 2859-1:1999: Sampling procedures for inspection by attributes. Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit [AQL] for lot-by-lot inspection)
NTC-ISO 2859-2	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 2: Planes de muestreo determinados por la calidad límite (CL) para la inspección de un lote aislado (ISO 2859-2:1985: Sampling procedures for inspection by attributes. Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality [LQ] for isolated lot inspection)
NTC-ISO 2859-3	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 3: Procedimientos de muestreo de lotes intermitentes (ISO 2859-3: Sampling procedures for inspection by attributes. Part 3: Skip-lot sampling procedures)
NTC-ISO 2859-4	Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 4: Procedimientos para la evaluación de los niveles de calidad establecidos (ISO 2859-4:2002: Sampling procedures for inspection by attributes. Part 4: Procedures for assessment of declared quality levels)
NTC-ISO 3951-1	Procedimientos de muestreo para inspección por variables. Parte 1: Especificaciones para planes de muestreo simple clasificados por NAC para inspección lote a lote para una característica de calidad única y un solo NAC
NTC 4772	Calidad del agua: detección y recuento de <i>Escherichia coli</i> y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración por membrana
NTC 512-1	Industrias alimentarias: rotulado o etiquetado. Parte 1: Norma general

NTC 512-2	Industrias alimentarias: rotulado o etiquetado. Parte 2: Rotulado nutricional de alimentos envasados
NTC 440	Productos alimenticios: métodos de ensayo
NTC 4433	Microbiología: método para evaluar la esterilidad comercial en alimentos

Fuente: Elaboración propia

Tabla A3. Normatividad colombiana para bebidas fermentadas

Norma	Descripción
NTC 222	Bebidas alcohólicas: definiciones generales
NTC 708 de 1998	Bebidas alcohólicas: vinos de frutas
GTC 4 de 1994	Manual de métodos analíticos para el control de calidad de las bebidas alcohólicas
NTC 173 de 1998	Bebidas alcohólicas: extracción de muestras
NTC 223 de 1980	Bebidas alcohólicas: vinos. Prácticas permitidas en la elaboración
NTC 1853 de 1992	Embalajes: envases de vidrio para vinos y licores
NTC 4118 de 1997	Determinación de metanol y congéneres en bebidas alcohólicas y en etanol empleado en su elaboración mediante cromatografía de gases
NTC 4676 de 1999	Bebidas alcohólicas: rotulado

Fuente: Elaboración propia

Glosario

Autocompatibilidad (AC): Es la alta probabilidad que tienen los clones de cacao de autofecundarse, es decir, la probabilidad de que la planta pueda utilizar su mismo polen para fecundarse y formar frutos.

Autoincompatibilidad (AI): Es la baja probabilidad que tienen los clones de cacao de autofecundarse o autopolinizarse, por lo que requieren del polen de otros clones.

Capacidad de campo: Contenido de agua que retiene el suelo luego de haber sido regado abundantemente y de drenarse libremente.

Caulinar: Dicho de las flores, cuando se ubican en las partes leñosas del tallo y las ramas.

Clon: Organismo genéticamente idéntico derivado de una planta madre y originado a partir de la reproducción asexual o vegetativa.

Hidroperiódico: Control en las plantas de los procesos vegetativos debido a la sequía periódica.

Humedad disponible: Cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas; se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Injerto: Unión de tejidos jóvenes de dos plantas que continúan su desarrollo como una sola; una de ellas es la yema, que, al progresar, se convierte en la copa o clon y corresponde a la parte aérea (ramas, follaje y frutos), y la otra es el patrón o soporte, que se constituye en parte del tronco y en la totalidad de sistema radical (Mejía & Argüello, 2000; Palencia & Mejía, 2003; Ramírez, 2006).

Intercompatibilidad (IC): Se presenta cuando los clones de cacao tienen la posibilidad de fecundar y ser fecundados por otros clones.

Interincompatibilidad (II): Indica una reducida probabilidad de que los clones de cacao sean polinizados por unos u otros clones; es decir, una variedad de cacao puede ser incompatible con una o más variedades específicas, pero no con otras.

Punto permanente de marchitez: Contenido insuficiente de agua en el suelo para un cultivo, así este se encuentre en condiciones de humedad ambiental saturada.

Rehabilitación: Es la aplicación de una serie de prácticas de manejo que conllevan a la reducción de altura o al cambio total de la arquitectura de la planta (Mejía et al., 2003). Es el proceso para restaurar la producción mediante técnicas de manejo del cultivo, como las podas y la fertilización, conservando los mismos árboles (Fedecacao, 2015). La rehabilitación de una plantación consiste en recuperar o reactivar la producción sin cambiar el material genético (Arvelo et al., 2017).

Renovación: Cambiar o sustituir una planta por una nueva con características de mayor productividad y evaluada y adaptada al área agroecológica a intervenir (Mejía et al., 2003). Es la siembra de nuevas plantas en el mismo sitio del anterior cultivo o el cambio del material genético, aunque en muchos casos se utilizan las raíces y los troncos de los mismos árboles viejos o improductivos (Fedecacao, 2015). La renovación contempla el cambio del material viejo e improductivo por uno nuevo con mejores características productivas, con tolerancia a enfermedades y que cumpla con los mejores estándares de calidad (Arvelo et al., 2017).

Umbrófilo: Dicho de un organismo o una planta que puede desarrollarse en lugares umbrosos o sombreados.

Uso consuntivo: Agua consumida por el cultivo para equilibrar la pérdida de agua por evapotranspiración; está relacionado estrechamente con el régimen climático y puede permitir identificar la necesidad de agua de un cultivo.

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura