

Opciones tecnológicas para el manejo integrado del cultivo y la poscosecha en cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento del Huila

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria
Agricultura
SENA
Gobernación del Huila
Universidad Surcolombiana
SGR
Sistema General de Regalías



Opciones tecnológicas para el manejo integrado del cultivo y la poscosecha en cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento del Huila

Eleonora **Rodríguez Polanco**

Jenifer **Criollo Núñez**

Edinson Bayardo **Parra Alferes**

Jhon Jairo **Zuluaga Peláez**

Diana Catalina **Cervera Bonilla**

Edgar Herney **Varón Devia**

Claudia Milena **Flórez Cárdenas**

Diego Alberto **Navarro Niño**

Gustavo **Zambrano Ríos**

Claudia Mercedes **Ordóñez Espinosa**

Nelson **Gutiérrez Guzmán**

Andrés Felipe **Bahamón Monje**



Opciones tecnológicas para el manejo integrado del cultivo y la poscosecha en cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento del Huila. / Eleonora Rodríguez Polanco [y otros once] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2025.

136 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-820-1

ISBN e-Book: 978-958-740-822-5

1. *Theobroma cacao* 2. Cultivo 3. Tecnología postcosecha 4. Control de enfermedades 5. Genotipo 6. Adopción de la innovación 7. Huila (Colombia)

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

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Esta publicación se deriva del proyecto "Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el Huila", BPIN 2021000100166, Convenio SGR-2096.

Colección: **Alianzas AGROSAVIA**
Tipología: Obras de Investigación

Fecha de recepción: 20/12/2024
Fecha de evaluación: 11/02/25
Fecha de aceptación: 04/03/25

Publicado: agosto 2025
Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Nathalie De la Cuadra N.
Corrección de estilo: Margarita Mejía Umaña
Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado
Diseño de pauta: Janduy Barreto Páez
Diagramación: María Paula Berón

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

Citación sugerida:
Rodríguez Polanco, E., Criollo Núñez, J., Parra Alferes, E. B., Zuluaga Peláez, J. J., Cervera Bonilla, D. C.,Varón Devia, E. H., Flórez Cárdenas, C. M., Navarro Niño, D. A., Zambrano Ríos, G., Ordóñez Espinosa, C. M., Gutiérrez Guzmán, N., & Bahamón Monje, A. F. (2025). *Opciones tecnológicas para el manejo integrado del cultivo y la poscosecha en cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento del Huila.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7408225

Cláusula de responsabilidad:
AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan 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 vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 01800 012 1515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Tabla de contenido

Agradecimientos 12

Autores 13

Introducción 21

Capítulo 1
Servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) 25

Introducción 25

Concepto *servicios ecosistémicos* 26

Clasificación de los servicios ecosistémicos 27

Los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) y los servicios ecosistémicos 27

Combate la desertificación y mejora los suelos 29

Restauración de la fertilidad y estructura del suelo 30

Sombra y creación de microclimas 31

Incremento de la productividad 32

Biodiversidad y corredores ecológicos 33

Regulación hídrica 34

Agentes polinizadores 34

Almacenamiento de carbono para la mitigación y adaptación al cambio climático 35

Ciclaje de nutrientes 35

Restauración del paisaje 36

Conclusión 37

Referencias 37

Capítulo 2
Manejo integrado de monilia y carmenta en cacao (*Theobroma cacao* L.) 43
Introducción 43
Monilia (*Moniliophthora roreri*) 44
Carmenta (*Carmenta foraseminis*) (Busck) Eichlin 54
Conclusión 63
Referencias 64

Capítulo 3
Genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) con atributos de producción y calidad sobresalientes en el Huila 67
Introducción 67
Metodología 69
Resultados 69
Conclusión 91
Referencias 91

Capítulo 4
Prácticas tecnológicas en campo para mejorar la calidad organoléptica del grano de cacao dirigido a mercados especializados 93
Introducción 93
Prácticas tecnológicas en la fermentación 95
Protocolo de implementación de la práctica tecnológica de inoculación natural 111
Conclusión 112
Referencias 112

Capítulo 5
Indicadores de la dinámica de innovación en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento del Huila 117

Introducción 117

Índices de adopción de innovaciones o prácticas en el cultivo de cacao en los municipios de Rivera, Campoalegre, Algeciras y Gigante, en el Huila 119

Consideraciones finales 129

Conclusión 129

Referencias 129

Conclusiones generales 131

Lista de figuras

Figura 1 Sistema agroforestal con cacao en el Centro de Investigación La Suiza - AGROSAVIA (Santander) 28

Figura 2 Principales servicios ecosistémicos en un sistema agroforestal con cacao 29

Figura 3 Cacao bajo sombrío en un sistema agroforestal con especies forestales y frutales, en la finca Maloka, Rivera (Huila) 31

Figura 4 Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales (SAF) con cacao y a plena exposición (EXP) en Rivera, Gigante y Campoalegre, en el departamento del Huila (Colombia) 36

Figura 5 Característica hemibiotrófica del hongo *M. roreri* 44

Figura 6 Ciclo de la monilia causado por el hongo *M. roreri* en cacao 45

Figura 7 Síntomas por la infección de monilia (*M. roreri*) en frutos de menos de tres meses 46

Figura 8 Síntomas de la infección monilia (por *M. roreri*) en frutos de más de tres meses 47

Figura 9 Signos de *M. roreri* 47

Figura 10 Remoción de fruta enferma por monilia (*M. roreri*) una vez aparecen los primeros síntomas visibles 48

Figura 11 Poda de mantenimiento al árbol de cacao realizada anualmente, una vez finaliza la cosecha principal 49

Figura 12 Etapas fenológicas de la floración o antesis a la madurez del fruto de cacao y aplicación de las prácticas de manejo culturales, químicas y biológicas diseñadas para el manejo integrado de la monilia 52

Figura 13 Porcentaje de incidencia promedio hallado en los tratamientos MT-7, MT-14, MIC-7, MIC-14 y MIC-21. De julio del 2023 a julio del 2024, Gigante (Huila) 53

Figura 14 Porcentaje de incidencia promedio hallado en los tratamientos MT-7, MT-14, MIC7, MIC-14 y MIC-21. De julio del 2023 a julio del 2024, Rivera (Huila) 54

Figura 15 Estados de desarrollo de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) 54

Figura 16 Daño en frutos de cacao originados por el ataque de carmenta negra 55

Figura 17 Monitoreo de carmenta negra empleando trampas McPhail. 56

Figura 18 Diferentes síntomas causados por carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) 56

Figura 19 Prácticas culturales para el manejo de carmenta negra 57

Figura 20 Aplicación por aspersión de hongos entomopatógenos sobre las mazorcas para el manejo de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) 58

Figura 21 Trampa artesanal hecha con botella plástica 59

Figura 22 Etapas fenológicas de floración a madurez del fruto de cacao y aplicación de las prácticas de manejo culturales y biológicas diseñadas para el manejo integrado de carmenta 61

Figura 23 Porcentaje de incidencia de *Carmenta foraseminis* en los tratamientos de AGROSAVIA (AC) y del productor (PC), municipio de Campoalegre, Gigante y Rivera (Huila). De 2023 a julio 2024 62

Figura 24 Porcentaje de daño por *Carmenta foraseminis* en peso fresco, predios de Campoalegre, Gigante y Rivera (Huila). De julio 2023 a julio 2024. AC: AGROSAVIA. PC: productor 63

Figura 25 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-2 71

Figura 26 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-3 72

Figura 27 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-11 73

Figura 28 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-15 74

Figura 29 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-17 75

Figura 30 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-18 76

Figura 31 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-19 77

Figura 32 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-23 78

Figura 33 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HLB-26 79

Figura 34 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-30 80

Figura 35 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-34 81

Figura 36 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HLB-56 82

Figura 37 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-68 83

Figura 38 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-71 84

Figura 39 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-74 85

Figura 40 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-76 86

Figura 41 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-81 87

Figura 42 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-82 88

Figura 43 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HET-103 89

Figura 44 Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HET-104 90

Figura 45 Atributos del chocolate 94

Figura 46 Dendograma de grupos por correlación de características fisicoquímicas 95

Figura 47 Asociatividad basada en el color del cotiledón 96

Figura 48 Índice de fermentación de los tratamientos en estudio 98

Figura 49 Mapa de correlaciones de variables fisicoquímicas y sensoriales de fermentaciones para establecer índices de asociatividad en el beneficio 99

Figura 50 Inóculos naturales evaluados 100

Figura 51 Dinámica bioquímica de la pulpa de cacao durante la microfermentación 102

Figura 52 Dinámica externa e interna de acidez volátil de fermentaciones preinoculadas a escala laboratorio; control (sin inoculación), inóculo líquido al 1% (LPF 1%), inóculo líquido al 2% (LPF 2%), inóculo líquido al 3% (LPF 3%), inóculo semisólido al 1% (SPF 1%), inóculo semisólido al 2% (SPF 2%), inóculo semisólido al 3% (SPF 3%) 103

Figura 53 Mapa de correlaciones de variables fisicoquímicas y sensoriales de fermentaciones preinoculadas a escala laboratorio 105

Figura 54 Dinámica de pH durante la validación de la práctica de inoculación natural 109

Figura 55 Perfil sensorial del licor de cacao al séptimo día de fermentación con inoculación y sin inoculación 110

Figura 56 INAI de los productores de cacao de Rivera, Huila 122

Figura 57 Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Rivera, Huila 122

Figura 58 INAI de los productores de cacao de Campoalegre, Huila 124

Figura 59 Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Campoalegre, Huila 124

Figura 60 INAI de los productores de cacao de Algeciras, Huila 125

Figura 61 Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Algeciras, Huila 126

Figura 62 INAI de los productores de cacao de Gigante, Huila 127

Figura 63 Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Gigante, Huila 128

Lista de tablas

Tabla 1 Productos químicos y biológicos utilizados en los tratamientos mic para el control de monilia (*M. roreri*) en plantaciones comerciales del clon ICS 39. Rivera y Gigante (Huila). De julio del 2023 a julio del 2024 50

Tabla 2 Tratamientos evaluados para el establecimiento de índices de asociatividad 97

Tabla 3 Poblaciones de microorganismos durante la fermentación del grano de cacao a escala laboratorio utilizando diferentes proporciones de inóculos naturales 104

Tabla 4 Perfil de compuestos aromáticos en pasta de cacao fermentada a escala laboratorio adicionando inóculos naturales sólidos y líquidos 107

Tabla 5 Catálogo de innovaciones de cacao para el departamento del Huila 120

Agradecimientos

Los autores expresan un especial agradecimiento al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), que dio el aval y puso a disposición los recursos del Sistema General de Regalías (SGR) asignados al departamento del Huila y a la Gobernación del Huila por financiar la ejecución del proyecto de investigación titulado "Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el Huila", BPIN 2021000100166 , Convenio SGR-2096, a partir del cual se materializó la publicación de este libro.

A las asociaciones de productores Asoprocar (Rivera), Asopeca (Campoalegre), Aprocalg (Algeciras) y Asocagigante (Gigante), las cuales junto con sus productores y familias mostraron su disposición y apoyo en el desarrollo de los ensayos experimentales en campo y en las centrales de beneficio. En especial, a sus representantes legales Orlando Escobar, Cristian Humberto Rojas, Luis Ernes Ibarra y Luis Felipe Trujillo, quienes con su conocimiento y gestión contribuyeron a la obtención de resultados de importancia para la sostenibilidad y competitividad del sistema productivo de cacao en el Huila, presentados en este libro.

Al Centro de Investigación Nataima (Tolima) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), a los investigadores, profesionales de apoyo, tesistas, asistentes de investigación de campo y laboratorio que participaron en la obtención de los resultados contenidos en esta publicación.

A las instituciones Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y Universidad Surcolombiana (USCO), aliadas que participaron en la obtención de algunos de los resultados que se presentan acá. En el SENA, en especial a la subdirectora (e) del centro de Formación La Angostura, doctora Gloria Maritza Sánchez; a los instructores, doctora Katrin Yadira Guzmán, doctor William Alexis Ochoa y doctor Helber Rivera Ríos; y a la líder de operaciones de campo, doctora Luz Ángela Mazabel, por su aporte en la toma de información, cursos de capacitación y logística en el establecimiento del jardín clonal de cacao. En la USCO, a los profesores doctor Néstor Enrique Cerquera, por su apoyo técnico en experimentos de secado de grano de cacao, y la doctora Jennifer Katiuska Castro, por el apoyo técnico en experimentos de secado de grano de cacao y dirección de tesis de pregrado.



Autores

Eleonora Rodríguez **Polanco**

Correo: *lrodriguezp@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0002-8553-2449*

Ingeniera agrónoma de la Universidad del Tolima; magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y PhD en Fitopatología de la Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Tiene veinte años de experiencia en el manejo integrado de enfermedades en cultivos, principalmente en cacao, y en frutales como mango, aguacate, cítricos, pasifloras y plátano. Está enfocada en el desarrollo de programas de manejo integrado de enfermedades foliares y radiculares limitantes en cultivos de clima cálido y medio; parte del conocimiento de la etiología y biología del patógeno, la comprensión de procesos de infección, mecanismos de defensa activados por la planta y aplicación de diferentes estrategias de manejo de enfermedades mediante el monitoreo y la consideración de las épocas de mayor susceptibilidad del huésped. En la actualidad es investigadora PhD asociada del Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Jenifer Criollo **Núñez**

Correo: *jcriollo@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0002-1623-4966*

Ingeniera de alimentos de la Universidad de la Amazonia, con maestría en Ciencias Agroalimentarias de la Universidad del Tolima y doctorado en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Alimentos, de la Universidad del Valle. Investigadora con experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación agropecuaria y vinculación de tecnologías en el área de cosecha, poscosecha, transformación, desarrollo de productos y procesos agroindustriales a partir de frutos tropicales, amazónicos y aromáticas; de proyectos para generar agregación de valor a través de tecnologías enzimáticas para la clarificación de pulpas de fruta y su aprovechamiento integral; y optimización de fases de fermentación y tostión, desarrollos biotecnológico a partir de residuos para la generación de iniciadores promotores de fermentaciones alimentarias semisólidas.

Edinson Bayardo **Parra Alferes**

Correo: *ebayardo@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0003-2494-0120*

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Pamplona. Cuenta con 10 años de experiencia en investigación, identificación, diagnóstico y control de enfermedades mediante esquemas de manejo integrado (control cultural, químico, biológico y genético) y manejo agronómico de sistemas productivos frutales (cacao, guayaba, aguacate, marañón, pasifloras y cítricos), así como en el área de agroforestería. En la actualidad, es profesional de apoyo en investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en las líneas de fitopatología, mejoramiento genético y manejo agronómico.

Jhon Jairo **Zuluaga Peláez**

Correo: j*zuluaga@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0001-8302-5227*

Ingeniero forestal con maestría en Agroforestería tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), de Costa Rica, y con doctorado en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Santa María (Brasil). Posee experiencia en áreas de agroforestería, silvicultura, ordenación de bosques, aprovechamiento forestal, manejo de plantaciones y bosques naturales, impacto ambiental, protección forestal, inventarios forestales, estudios de biomasa, captura de carbono, ciclaje y uso eficiente de nutrientes, productos maderables y no maderables, uso y manejo de agua y suelo, recuperación de áreas degradadas, manejo de cuencas hidrográficas, e investigación, extensión y participación comunitaria, entre otros. En la actualidad es investigador PhD asociado en el Centro de Investigación Nataima, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diana Catalina **Cervera Bonilla**

Correo: *dcervera@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0002-0909-8038*

Ingeniera forestal de la Universidad del Tolima, con 10 años de experiencia en investigación en silvicultura de especies forestales, introducidas y nativas; y en fitosanidad y fenología de especies perennes tanto en forestales, como en el cultivo de caucho. También cuenta con experiencia en propagación y manejo de especies forrajeras y forestales nativas en vivero y en evaluación de servicios ecosistémicos en bosque seco tropical (Bs-T). Tiene formación en manejo, conservación y restauración de ecosistemas tropicales y experiencia en el estudio de caracteres funcionales de especies de Bs-T.

Edgar Herney **Varón Devia**

Correo: *evaron@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0001-9964-6968*

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima; magíster en Agricultura Ecológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y PhD en Entomología, del CATIE en la Universidad de Idaho. Tiene experiencia de 17 años en el manejo integrado de plagas en frutales —como mango, aguacate, pasifloras, cítricos y plátano— y cacao. Está enfocado en el desarrollo de programas de manejo integrado de artrópodos plaga en cultivos de clima cálido y medio que incluyan estrategias de muestreo de poblaciones, control biológico, implementación de criterios de aplicación y desarrollo de herramientas alternativas a las tradicionales. En la actualidad es investigador PhD asociado del Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Claudia Milena **Flórez Cárdenas**

Correo: *cmflorez@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0001-9266-6018*

Ingeniera agrónoma de la Universidad del Tolima. Tiene experiencia de 9 años en el manejo integrado de plagas en cultivos como cacao, café, mango, cítricos y guayaba. Su interés está enfocado en desarrollar programas de manejo integrado de plagas que incluyan estrategias de uso de control biológico y desarrollo de herramientas que sustituyan manejo químico. En la actualidad ocupa el cargo de Profesional de Apoyo a la Investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diego Alberto **Navarro Niño**

Correo: *dnavarro@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0002-3811-1406*

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad del Tolima, especialista en Gerencia de Mercadeo de la Universidad del Rosario y magíster en Desarrollo Rural de la Universidad del Tolima. Ha dedicado su carrera a fomentar la innovación y la productividad en el sector agrícola, con enfoque en investigación y desarrollo, transferencia de tecnología y extensión rural. Coordina y lidera procesos de transferencia de tecnología y promoción de la oferta tecnológica del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) de Colombia, especialmente en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Su trabajo se dirige a agricultores, extensionistas, asistentes técnicos y al ámbito académico. Ha priorizado tanto la investigación cuantitativa como cualitativa, con énfasis en el análisis de adopción e impacto de tecnologías agropecuarias. Además, ha investigado los factores que influyen en los procesos de adopción y la caracterización de los productores, y ha diseñado estrategias para la gestión de la innovación y la creación de redes de conocimiento en diversos sistemas productivos. En la actualidad, desempeña el cargo de profesional de transferencia de tecnología en el Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA.

Gustavo Zambrano **Ríos**

Correo: *gzambranor@agrosavia.co*

Orcid: *https://orcid.org/0009-0000-1478-1053*

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima. Cuenta con experiencia en manejo de cultivos de exportación, como flores (*Rosa* spp.), palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y cacao (*Theobroma cacao*). Se centra en áreas de sanidad vegetal y producción; también desempeña actividades en el área de bancos de germoplasma vegetal y en proyectos relacionados con arracacha (material de semilla AGROSAVIA La 22) y en cacao enfocado a transferencia de tecnología. En la actualidad se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Claudia Mercedes **Ordóñez Espinosa**

Correo: *cordoneze@sena.edu.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0003-1095-4468*

Ingeniera agropecuaria de la Universidad del Cauca. Especialista en Métodos y Técnicas de Investigación de la Corporación para la Educación y el Desarrollo (CEDALC) y el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO). Magíster en Sistemas Sostenibles en la Universidad de la Amazonia y PhD en Ciencias Biología de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene experiencia de 15 años en sistemas agroforestales en café y cacao, calidad física y sensorial de café especial, cacao fino de aroma; en formulación y evaluación de proyectos de investigación e innovación, y trabajo con comunidades rurales, en especial, con caficultores y cacaocultores. En la actualidad es instructora del Centro de Formación Agroindustrial del Sistema Nacional de Aprendizaje (SENA), regional Huila.

Nelson Gutiérrez **Guzmán**

Correo: *ngutierrezg@usco.edu.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0003-2499-8066*

Ingeniero agrícola de la Universidad Surcolombiana (USCO), magíster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos, con doctorado y posdoctorado en Tecnología de Alimentos. Investigador Senior, Ministerio de Ciencia de Colombia. Profesor titular adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana. Es coordinador de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Café, director del Grupo de Investigación Agroindustria USCO y director del Centro de Investigación Cesurcafe, Universidad Surcolombiana. Cuenta con más de 20 años de experiencia docente y 15 años como investigador científico en manejo de poscosecha y control de calidad en cafés, con énfasis en cafés especiales; experiencia en ejecución de proyectos de investigación financiados con recursos del Sistema General de Regalías. Tiene más de 50 publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales; siete libros, resultado de investigación en café, que incluyen temas de beneficio de café y manejo de subproductos; y una patente en dispositivo para fermentación de café en finca. Conferencista internacional en Colombia, Brasil, Chile, España, Tailandia, Costa Rica en temas de cafés especiales.

Andrés Felipe **Bahamón Monje**

Correo: *andres.bahamon@usco.edu.co*

Orcid: *https://orcid.org/0000-0002-2620-148X*

Ingeniero agrícola, magíster en Ciencia y Tecnología del Café, Q Processing Professional por el Coffee Quality Institute. Es profesor del programa de Ingeniería Agroindustrial e investigador del Centro Surcolombiano de Investigación en Café (Cesurcafé), Universidad Surcolombiana. Desde el inicio de su carrera se ha interesado en la investigación y el desarrollo en el ámbito del café y el cacao, en busca de mejorar la calidad de estos granos y fortalecer los medios de vida de los productores de la región. Se ha enfocado en la poscosecha, el manejo de subproductos, el procesamiento y la química analítica relacionados con la producción de café. Ha liderado proyectos como la implementación de innovaciones en los procesos de poscosecha y el desarrollo de cafés especiales diferenciados para el mercado. Colabora con instituciones académicas e investigaciones financiadas por fondos del Sistema General de Regalías y proyectos con fondos internacionales para la creación de soluciones efectivas en la mejora de la calidad del café en Colombia.





Introducción

A pesar de que el cultivo de cacao posee una alta adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (400-1000 m s. n. m.), el área de cultivo en el departamento del Huila disminuyó considerablemente en los últimos años, pasando de 10.684 ha en 2007 a 8.534 ha en 2023. Si bien el rendimiento del cultivo subió de 0,48 t/ha a 0,62 t/ha durante este mismo periodo, continúa siendo bajo debido, principalmente, a la escasa tecnificación del cultivo, ya que la potencialidad productiva del cacao permite valores superiores a 1,2 t/ha de cacao seco.

Además, en las labores de transformación primaria existen bajos niveles de calidad en las etapas de fermentación y secado, lo que disminuye la calidad del cacao del departamento y limita su acceso a mercados especiales, como el cacao fino de sabor y aroma, con precios independientes a los del mercado internacional. En el Huila se observa también la reducción del área cultivada en cacao. Es así como el municipio de Rivera, donde el cultivo de cacao representaba la mayor área agrícola con el 26,52 % (1.024 ha) en 2018, esta se redujo a 16,28 % (889 ha) en 2023 (Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 "De Corazón por Rivera"). Una situación similar se observa en Gigante y Campoalegre, que pasaron de 911 ha y 547 ha en 2007, a 436 ha y 486 ha, respectivamente, en 2018.

La baja competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao tornan este cultivo en un negocio poco rentable y riesgoso para el productor. Por esta razón, se desarrolló el proyecto "Desarrollo y validación de tecnologías de manejo integrado del cultivo y agroindustria para incrementar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao en Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras en el Huila", enfocado en el desarrollo de prácticas de manejo integrado y agroindustrial que contribuyan a mejorar la competitividad y sostenibilidad del sistema productivo de cacao del norte y centro del departamento del Huila, específicamente en los municipios de Campoalegre, Gigante, Rivera y Algeciras. Esto, mediante el incremento en producción, calidad e inocuidad el grano y sus derivados a través de: 1) determinación de los sistemas productivos con cacao más eficientes en el almacenamiento de carbono, fitorremediación del cadmio y validación de dos esquemas de manejo sanitarios (monilia y carmenta) para reducción de pérdidas; 2) caracterización y selección de genotipos de cacao con atributos sobresalientes a nivel productivo, calidad y baja absorción de cadmio (Cd); 3) estandarización de prácticas de fermentación y secado para las condiciones agroecológicas de las cuatro centrales de beneficio, obtención del mapa sensorial en cada una de estas y generación de prácticas innovadoras de fermentación y secado, y 4) la transferencia de los resultados a productores y técnicos.

Por lo tanto, los temas abordados en este libro permiten contar con tecnologías adaptadas al departamento del Huila que permitan potencializar sus particularidades diferenciadoras, y así incrementar la producción y calidad del grano y sus derivados obtenidos en el departamento.

En el primer capítulo, el lector podrá conocer cuáles son los servicios ecosistémicos que prestan los sistemas agroforestales (SAF) con cacao. El segundo capítulo reúne las diferentes estrategias químicas y biológicas, y las prácticas culturales para un adecuado manejo de la monilia y la carmenta. El tercer capítulo identifica, a través de descriptores morfológicos y análisis químicos y físicos, cuáles son los genotipos nativos de cacao del Huila con características sobresalientes en producción y calidad. El cuarto capítulo aborda la validación de diferentes métodos y procesos de fermentación y secado que permiten potencializar los atributos particulares de calidad del cacao del Huila, y la obtención de cacao fino y de aroma. Y en el quinto y último capítulo, se presentan los aspectos relacionados con la caracterización o tipología de productores, de acuerdo con la utilización de prácticas tecnológicas en el cultivo y en la poscosecha.



Capítulo 1

Servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.)

Jhon Jairo Zuluaga Peláez, Diana Catalina Cervera Bonilla y Claudia Mercedes Ordóñez Espinosa

Introducción

En las últimas décadas, la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la conservación de la biodiversidad ha llevado a un renovado interés en los sistemas agroforestales como una alternativa viable para la producción agropecuaria. Entre estos sistemas, los agroecosistemas que integran el cultivo de cacao han demostrado ser particularmente prometedores, no solo por su capacidad de generar ingresos para los agricultores, sino también por su potencial para proporcionar una variedad de servicios ecosistémicos (François et al., 2023). Los servicios ecosistémicos —que incluyen la regulación del clima, la mitigación del cambio climático, la conservación del agua, la mejora de la calidad del suelo y la conservación de la biodiversidad— son fundamentales para el bienestar humano y la salud del planeta.



El cacao, un cultivo de gran importancia económica y cultural en muchas regiones en el país, tradicionalmente se cultiva en sistemas agroforestales que combinan árboles, frutales y musáceas, especies que aportan sombra a las plantas de cacao. Esta práctica puede mejorar la productividad del cacao y promover la resiliencia de los ecosistemas agrícolas frente a las amenazas del cambio climático y la degradación ambiental. Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, existe una necesidad urgente de investigar y comprender de manera más profunda cómo estos sistemas agroforestales contribuyen a los servicios ecosistémicos.

Este capítulo tiene como objetivo ilustrar las interacciones entre los sistemas agroforestales con cacao y los servicios ecosistémicos que estos pueden ofrecer. A través de una revisión de la literatura existente y estudios de caso, se analizarán los mecanismos a través de los cuales el cultivo de cacao en sistemas agroforestales puede mejorar los ecosistemas, fomentar la biodiversidad y proporcionar beneficios ambientales, económicos y sociales a las comunidades locales. Al hacerlo, se espera contribuir a un mayor entendimiento de la importancia de estos sistemas en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y en la conservación de los recursos naturales.

Concepto *servicios ecosistémicos*

Los servicios ecosistémicos o ambientales son los beneficios que las personas obtienen de la naturaleza y han sido reconocidos como el puente de unión entre la biodiversidad y el ser humano (Hombegowda et al., 2022). Dentro de los beneficios que brindan los ecosistemas están su aporte al ciclaje de nutrientes y al aumento en la capacidad para la captura del carbono, la regulación de plagas, el incremento en polinización y la mejora en la sostenibilidad de la productividad agrícola (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

En el 2023, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) inició el proceso de actualización y ajuste del Plan Nacional de Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) atendiendo a los compromisos adquiridos por el Gobierno nacional en el Convenio de Diversidad Biológica y en el Marco Global de Biodiversidad Kunming-Montreal. Dicho plan establece las medidas y acciones que deberá implementar el Gobierno nacional, tales como:

> La conservación y uso sostenible de la biodiversidad; el enfoque socioecológico, biodiversidad como fuente, base y garantía del suministro de servicios ecosistémicos, promueve la participación, la gobernanza y el carácter público y colectivo de las decisiones sobre biodiversidad; abordaje conceptual sólido, vigente y adaptable. (Chaves et al., 2024, p. 41)

Clasificación de los servicios ecosistémicos

El programa Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) identifica cuatro categorías de servicios ecosistémicos:

1. **Servicio ecosistémico de soporte:** Corresponde a procesos ecológicos que son vitales para la producción de los otros tres servicios ecosistémicos, como son: formación del suelo, ciclo de nutrientes y carbono, ciclo del agua, producción primaria (agricultura, piscicultura, ganadería, entre otros), fotosíntesis, hábitat de especies y conservación de la biodiversidad de genes y especies.

2. **Servicio ecosistémico de abastecimiento o provisión:** Constituido por el conjunto de bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas, como alimentos, fibras, maderas, productos forestales no maderables (ingredientes naturales, plantas medicinales, productos farmacéuticos, productos cosméticos, artesanías y construcción), leña, agua, suelo, recursos genéticos (variedades tradicionales que constituyen un servicio directo de la biodiversidad como base para la producción de alimentos), pieles, carne, peces ornamentales (provenientes de la zoocría) y mascotas, entre otros.

3. **Servicio ecosistémico de regulación:** Comprende aquellos procesos ecológicos que nos benefician a través de su sistema de regulación y ayudan a mitigar algunos impactos globales y locales como: regulación del clima (almacenamiento de carbono), regulación hídrica (ciclo del agua, y regulación de caudales en ríos y quebradas), mejora de la calidad del aire, control de la erosión, reducción de daños ante catástrofes naturales, control de enfermedades y plagas, mantenimiento de la fertilidad del suelo, regulación y saneamiento del agua, y polinización.

4. **Servicio ecosistémico cultural:** Se refiere a los beneficios no materiales que el ser humano obtiene a través de los ecosistemas: valor educativo, arraigo o pertenencia, patrimonio cultural, fuente de inspiración, recreación, ecoturismo, espiritualidad y valores religiosos, conocimiento científico, relaciones sociales, valor estético, paisajismo.

Los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) y los servicios ecosistémicos

Los sistemas agroforestales (SAF) son una alternativa importante para la producción de cacao, ya que representan una interfase entre la agricultura y la silvicultura al integrar prácticas culturales combinadas del uso del suelo (Nair, 1997). Los SAF se establecen en una misma área para integrar especies arbóreas con cultivos agrícolas o animales que integran entre sí un proceso temporal direccionado conforme a los objetivos de los productores (figura 1).

La producción de cacao bajo sistemas agroforestales presta una diversidad de servicios ambientales que proporcionan a los productores un modelo de sistema que garantiza la productividad y la conservación ambiental. El cultivo del cacao es uno de los cultivos importante para la economía de Colombia; posiciona al país entre los principales proveedores a nivel internacional de cacao fino y de aroma, y lo lleva a ocupar el décimo lugar en las exportaciones mundiales (FAO, 2022).



Figura 1. Sistema agroforestal con cacao en el Centro de Investigación La Suiza - AGROSAVIA (Santander).

Foto: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

Según la FAO (2017), los sistemas agroforestales pueden brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos, como el combate de la desertificación y la mejora los suelos, la restauración de la fertilidad y la estructura del suelo, los corredores ecológicos, el favorecimiento de la biodiversidad y la mejora de la calidad del agua, entre otros (figura 2). A continuación, se presentan algunos beneficios ambientales y servicios ecosistémicos que se prestan en los SAF con cacao.



Figura 2. Principales servicios ecosistémicos en un sistema agroforestal con cacao.

Fuente: Elaboración propia

Combate la desertificación y mejora los suelos

La desertificación es la última etapa del proceso de degradación de los suelos debida a las acciones antrópicas sobre ellos; sucede en especial cuando son utilizados de una manera equívoca que crea conflictos de uso, como cuando se emplean para ganadería, agricultura o minería, entre otros, usos que no corresponden a la oferta ambiental. Según el MADS (2022), estos procesos degradativos y de desertificación en Colombia se presentan en las zonas más secas del país, como la Orinoquia, la región Caribe y la región Andina.

Un estudio liderado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) —y efectuado por Garrido et al. (2022) en tres localidades del Caribe colombiano— evaluó la macrofauna del suelo como indicador de calidad edáfica, para lo cual se establecieron tres sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*), con plátano (*Musa paradisiaca*) y con las especies forestales caoba (*Swietenia macrophylla*), iguá (*Albizia guachapele*) y abarco (*Cariniana pyriformis*). A un año de la evaluación, se pudo determinar que se presentó un aumento en las comunidades de fauna edáfica propiciados por los hábitats de SAF con cacao; esto quiere decir que los SAF favorecen la presencia de diferentes comunidades de fauna edáfica, hecho evidenciado por el aumento del índice de diversidad.

Restauración de la fertilidad y estructura del suelo

En los sistemas agroforestales con cacao, se evidencia el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, como la estructura, la porosidad, la retención de humedad y la resistencia a la erosión. Además, la cubierta arbórea reduce la erosión del suelo protegiéndolo con la hojarasca, lo que permite la incorporación de materia orgánica.

En un estudio de Jagoret et al. (2012) sobre SAF con cacao en Camerún, se evidenciaron mejoras significativas en la estructura del suelo y un incremento en la cantidad de materia orgánica debido a la incorporación de árboles de sombra. Los SAF promueven la biodiversidad en el suelo, ya que incrementan la presencia de microorganismos beneficiosos que descomponen la materia orgánica y reciclan nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, elementos clave para la fertilidad del suelo.

Así mismo, en el estudio de Gomes et al. (2015), se demostró que los SAF con cacao no solo restauran tierras degradadas, sino que también mejoran la calidad del suelo al aumentar la retención de agua, reducir la erosión y mejorar la capacidad de intercambio de nutrientes. Los SAF promueven la formación de agregados en el suelo, lo que incrementa la porosidad y permite una mayor infiltración de agua y esto contribuye a la sostenibilidad del suelo a largo plazo.

Además, la inclusión de árboles en cultivos de cacao facilita la restauración de la fertilidad del suelo, ya que las raíces profundas de los árboles capturan nutrientes que de otra forma estarían fuera del alcance de las raíces del cacao (Blaser et al., 2017).

Para el caso de la estructura del suelo, el aporte que realizan los árboles en biomasa de raíces y la hojarasca permite la incorporación de materia orgánica al suelo, que actúa como agente aglutinante para formar y estabilizar agregados del suelo, los cuales permiten reducir la erosión y la compactación del suelo (Sekhar et al., 2024).

Respecto a la textura del suelo en los SAF, con la incorporación de materia orgánica se mejora la capacidad de retención de agua y de nutrientes en suelos de estructura arenosa, y en suelos arcillosos se reduce la densidad y se mejora su aireación. De igual manera, la acción de las raíces de los árboles y la descomposición de la materia orgánica permiten la formación de macroporos y microporos en la matriz del suelo (Hombegowda, et al., 2022).

Una alta densidad aparente es un indicador de compactación del suelo que puede impedir el movimiento del agua y el crecimiento de las raíces. Los SAF pueden reducir la densidad mediante la acción de la fauna del suelo, como las lombrices, y la incorporación de materia orgánica (Cardinael et al., 2019).

Sombra y creación de microclimas

En los sistemas agroforestales, la sombra reduce las temperaturas del suelo; y la regulación adecuada de la sombra permite al productor ajustar las condiciones de su sistema, al manejar las arvenses, la fertilidad del suelo y regular las poblaciones de plagas y microorganismos causantes de enfermedades (figura 3).



Figura 3. Cacao bajo sombrío en un sistema agroforestal con especies forestales y frutales, en la finca Maloka, Rivera (Huila).

Foto: Jhon Jairo Zuluaga Peláez

De acuerdo con Ordóñez-Espinosa (2019), la cobertura de sombra en los SAF con cacao depende de variables como

> La densidad de especies vegetales acompañantes del cacao, las características estructurales de los árboles, la arquitectura del dosel y la edad, que a su vez influyen sobre la estructura y composición florística del SAF, pero pueden ser el reflejo de las prácticas de manejo de los agricultores, quienes deciden sobre el tipo de especies y la distribución espacial en los SAF.

Según Sanial et al. (2020),

> Una cubierta de dosel de sombra del 30 % en sistemas agroforestales con cacao logra un equilibrio entre maximizar el potencial de productividad y diversificar los ingresos del agricultor, garantizando la seguridad alimentaria de las comunidades, y obteniendo los beneficios ambientales deseados.

De igual manera, Rajab et al. (2016) encontraron que, al contar con una cobertura de sombra de hasta el 93 %, los SAF con cacao permiten la regulación térmica y una mayor retención de agua, lo que protege las plantaciones contra el estrés hídrico y las temperaturas extremas.

En un estudio realizado por Zuluaga-Peláez et al. (2024) sobre la sombra generada por algunas especies forestales, se determinó que especies como el caracolí (*Anacardium excelsum*) y el machaco (*Simarouba amara*) generan un alto porcentaje de sombra, mientras que especies como la cañafístola (*Cassia moschata*) o el roble (*Tabebuia rosea*) generan una sombra más rala, lo que indica que, en el momento de establecer un SAF con cacao, se debe tener en cuenta el tipo de árbol que se va a asociar para sombrío del cultivo.

Ordóñez-Espinosa (2019) realizó estudios en el departamento del Huila, Colombia, en dos tipologías de SAF de cacao y en un sistema de producción de cacao a libre exposición durante dos épocas del año (mayor precipitación y época seca); encontró que, en la época seca, la estructura de las dos tipologías de SAF con cacao estudiadas favorecieron el comportamiento hídrico de las plantas de cacao, por los valores observados en flujo de savia (0,26 L h^{-1} y 0,27 L h^{-1}) y en el potencial hídrico (−0,47 y −1,07 MPa); por el contrario, en el sistema de producción de cacao a libre exposición se observó un menor flujo de savia (0,18 L h^{-1}) y un mayor potencial hídrico (−1,49 MPa).

Incremento de la productividad

Según Jezeer et al. (2017), los sistemas agroforestales de cacao pueden tener un rendimiento económico similar o incluso mejor en comparación con los sistemas convencionales y los sistemas a pleno sol. Investigaciones realizadas por AGROSAVIA en el occidente de Boyacá, para evaluar el uso de especies forestales maderables para sombrío del cultivo de cacao, encontraron que los árboles no solo mejoran la calidad del suelo, sino que también genera ingresos adicionales a los agricultores por la venta de madera fina. Estos sistemas agroforestales han sido clave para asegurar la sostenibilidad económica de las familias rurales, mientras se conservan los suelos y se favorece la biodiversidad (Palencia, 2005).

En el estudio de Niether et al. (2020), se realizó un metaanálisis de 52 estudios que comparó SAF con monocultivos de cacao; se mostró que los rendimientos de cacao en SAF son un 25 % menores que en monocultivos. Sin embargo, los SAF generaron un rendimiento total del sistema diez veces mayor, debido a la producción adicional de otros cultivos y productos forestales, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y a la diversificación de ingresos para los pequeños agricultores.

Por otro lado, Armengot et al. (2016) analizaron la productividad de los SAF con cacao en Bolivia y concluyeron que, aunque los rendimientos de cacao en los SAF fueron menores que en los monocultivos, los SAF ofrecieron ventajas claras en términos de estabilidad a largo plazo y salud del suelo.

La investigación de Sonwa et al. (2007) también destacó que los SAF contribuyen a la diversificación económica al incluir especies de árboles que ofrecen productos forestales no madereros, medicinas y carbón, lo que aumenta la productividad general del sistema. Esta diversidad de especies, en especial en las zonas más rurales, permite

a los agricultores no solo mantener el cultivo de cacao, sino también obtener ingresos complementarios de la venta de otros productos.

La investigación de Ordóñez-Espinosa (2019) en SAF con cacao en el departamento del Huila mostró que los rendimientos de cacao son muy cercanos en un arreglo de cacao a libre exposición (719 kg de cacao/ha) frente a un arreglo agroforestal tipo complejo simple con baja sombra especializada y dominado por especies como *Musa paradisiaca* (767 kg/ha) o como *Mangifera indica* (639 kg/ha).

Biodiversidad y corredores ecológicos

Según Haddad et al. (2015), la fragmentación de los bosques es uno de los resultados provocados por la tala de los bosques que induce a la destrucción de los hábitats, por lo que se transforman en fragmentos menores y aislados, separados por una matriz de cobertura modificada por el hombre, lo que causa un disturbio en el paisaje y, por lo tanto, una pérdida de la biodiversidad.

De ahí la importancia de los corredores biológicos que, según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2018), son los que se utilizan para destinar un área en donde se unen dos o más ecosistemas, paisajes o hábitats para proporcionar una conectividad, con el fin de asegurar la permanencia de la biodiversidad, y los procesos ecológicos y biológicos allí presentes.

Los agroecosistemas de cacao se han encontrado especialmente adecuados para los esfuerzos de reforestación y corredores biológicos, porque permiten la conectividad de agroecosistemas, y la repoblación de una variedad de flora y fauna. Además, el manejo de los cultivos de cacao y la inclusión de cultivos adicionales pueden generar ingresos significativos para los pequeños productores, al tiempo que contribuyen a la alimentación de fauna nativa, al secuestro de carbono y a la biodiversidad (Villanueva-González et al., 2024).

Estudios realizados por Ordóñez-Espinosa (2019) en el norte del departamento del Huila (Colombia), en diferentes tipologías de SAF con cacao, indican que estos sistemas, por su característica de riqueza de familia y especies, y distribución de los individuos en los estratos arbustivo y subarbóreo, se conviertan en áreas de conservación de especies y corredores biológicos.

Rice y Greenberg (2000) también sugieren que los SAF con cacao son esenciales para la conservación de especies en paisajes agrícolas tropicales, al actuar como áreas de refugio y zonas de regeneración para especies nativas. De igual forma, Parrish et al. (1999) indican que los cacaotales en el corredor biológico de Talamanca, Costa Rica, mantienen fragmentos de bosque natural, proporcionando conectividad entre hábitats y facilitando el movimiento de especies.

Regulación hídrica

El servicio ecosistémico de regulación hídrica hace referencia a la captación de precipitaciones por un ecosistema que, a través de su dosel, intercepta el agua lluvia y una parte la infiltra en el suelo y la otra se pierde por evaporación. La agroforestería puede tener un efecto muy positivo en el equilibrio hídrico del suelo, ya que al aumentar la capa vegetal y el contenido en materia orgánica del suelo se reducen la escorrentía y la evaporación del suelo, y se aumentan la infiltración y la capacidad de retención de agua en el suelo, características que incrementan la disponibilidad hídrica en el suelo para el crecimiento de las plantas y para alimentar los acuíferos subterráneos.

Zuluaga-Peláez et al. (2024) determinaron la precipitación efectiva para algunas especies forestales: para el caso del machaco (*Simarouba amara*), el roble (*Tabebuia rosea*), el camajón (*Sterculia apetala*) y del caracolí (*Anacardium excelsum*), el porcentaje de agua lluvia que transfieren al suelo es de 73,2, 70,2, 68,7 y 51,3 %, respectivamente. Pabon et al. (2023) determinaron que para especies como el frijolito (*Schizolobium parahyba)* y el samán *(Samanea saman)* la precipitación efectiva es de 78,3 y 84,7 %, respectivamente.

De acuerdo con François et al. (2023), los SAF mejoran la infiltración del agua y reducen la escorrentía superficial: observaron una reducción del 37,7 % en la pérdida total de suelo y del 19,1 % en el escurrimiento de agua en comparación con otros sistemas agrícolas.

Agentes polinizadores

En Colombia, a partir del 2018, y a través de la iniciativa Colombiana de Polinizadores, se ha reconocido la polinización como un servicio ecosistémico estratégico por su importancia en la conservación de la biodiversidad, por los aportes para el mantenimiento y sostenimiento de los ecosistemas, así como por su función en la producción de alimentos en el país (MADS, et al., 2018).

La polinización es un factor clave que limita el rendimiento del cacao. Groeneveld et al. (2010) demostraron que, en un experimento realizado en Sulawesi, Indonesia, la polinización manual aumentó el rendimiento de cacao hasta en un 200 %; así se resalta que el déficit de polinizadores puede ser un gran obstáculo para la productividad del cacao. Por su parte, Toledo-Hernández et al. (2017) señalaron que no solo los mosquitos del género *Forcipomyia*, sino también otros grupos de insectos, como abejas, hormigas y avispas parásitas desempeñan un papel importante en la polinización del cacao.

Finalmente, en el estudio de Salazar-Díaz y Torres-Coto (2017), se evaluó la dinámica de los polinizadores del cacao y encontraron insectos polinizadores de la familia Thysanoptera como los más comunes, mientras que las especies de la familia Ceratopogonidae, como *Forcipomyia*, fueron menos frecuentes, lo que sugiere que otros insectos, además de los microdípteros, pueden desempeñar un papel importante en la polinización del cacao.

Almacenamiento de carbono para la mitigación y adaptación al cambio climático

En sistemas agroforestales con cacao, el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el suelo juega un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Según un estudio de Avellán et al. (2020), en Nicaragua el sistema agroforestal como banco de almacenamiento de carbono capturó 1,44 Mg C ha^{-1} acumulados en biomasa aérea de especies forestales y frutales; y el componente cacao en su biomasa aérea, 1,47 Mg C ha^{-1}, con un total de 2,91 Mg C ha^{-1} en el SAF.

Aristizábal y Guerra (2002), en Caldas, Colombia, estimaron, usando ecuaciones alométricas, que el contenido de carbono en un SAF de laurel y cacao de 15 años fue de 22 Mg C ha^{-1} y la tasa de almacenamiento fue de 3,05 Mg C ha^{-1}.

Somarriba et al. (2013) mostraron que los SAF con cacao en América Central almacenan un promedio de 117 ± 47 Mg C ha^{-1}, con un 42 % del carbono total en la biomasa aérea, lo que sugiere que estos sistemas no solo permiten una producción sostenible, sino que también contribuyen en forma significativa a la captura de carbono, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Según Rajab et al. (2016), aunque los árboles de sombrío incrementan la biomasa y el almacenamiento de carbono, el rendimiento del cacao permanece estable (1,11,2 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$), lo que sugiere que los SAF no solo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que también aumentan la resiliencia de las plantaciones frente a las condiciones climáticas adversas.

Los SAF de cacao han demostrado ofrecer mayores almacenamientos de carbono en comparación con las plantaciones de cacao en monocultivo (Lojka et al., 2017). Así lo demuestra un estudio realizado por AGROSAVIA, en el que los autores de este capítulo, al comparar SAF con cacao y a plena exposición sin sombrío (EXP) de diferentes edades (40, 15 y 12 años) en Gigante, Campoalegre y Rivera, respectivamente; en el departamento del Huila (Colombia), encontraron que la biomasa y hojarasca de los SAF almacenaron 169,4, 70,6 y 48,9 Mg C ha-1, mientras que el cacao en EXP almacenó 33,6, 32,0 y 31,0 Mg C ha-1,respectivamente (figura 4).

Ciclaje de nutrientes

En los sistemas agroforestales (SAF) con cacao, el reciclaje de nutrientes juega un papel clave en la sostenibilidad del sistema productivo. Los árboles de sombra contribuyen de modo significativo a este ciclaje mediante la caída de hojas y restos vegetales que se descomponen y liberan nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio. Beer et al. (1998) señalan que los árboles de sombra pueden generar hasta 14 Mg ha^{-1} $año^{-1}$ de hojarasca, que proporcionan 340 kg N ha^{-1} $año^{-1}$, lo que beneficia la fertilidad del suelo y la salud del cultivo de cacao.

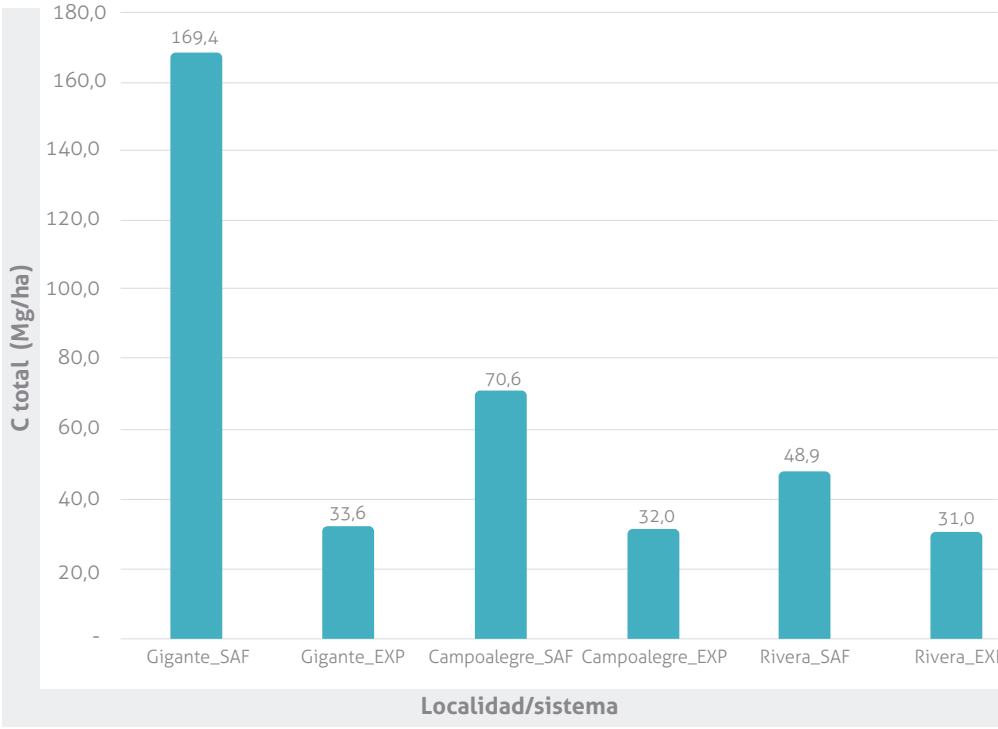


Figura 4.
Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales (SAF) con cacao y a plena exposición (EXP) en Rivera, Gigante y Campoalegre, en el departamento del Huila (Colombia).

Fuente: Elaboración propia

Estudios como el de Rojas-Molina et al. (2021) destacan que los SAF con cacao en Rionegro (Santander) en Colombia han mostrado una alta contribución de hojarasca en los tratamientos orgánicos, con hasta 992,11 kg ha^{-1} $año^{-1}$ de materia seca. Además, el sistema orgánico proporcionó 8,11 kg N ha^{-1} $año^{-1}$ y 7,74 kg Ca ha^{-1} $año^{-1}$, lo que evidencia que el reciclaje de nutrientes en estos sistemas mejora la fertilidad del suelo y puede reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

La mejora en el ciclaje de nutrientes en el suelo en un SAF se debe a las extensas y profundas raíces de los árboles, las cuales extraen nutrientes (como nitrógeno, fósforo y potasio) de zonas más profundas y los trasladan a las capas superficiales. Además, el aporte de hojarasca por parte de los árboles y la descomposición de las raíces permiten la liberación de nutrientes esenciales para mejorar la disponibilidad de nutrientes y fertilidad general del suelo (Sekhar et al., 2024).

Restauración del paisaje

Chazdon y Guariguata (2018) afirman que

> La restauración del paisaje proporciona un marco para implementar intervenciones de restauración que abordan colectivamente grandes desafíos ambientales, como la degradación de la tierra, la pérdida de biodiversidad, la escasez de agua, la falta de medios de vida rural sostenibles y la mitigación y adaptación al cambio climático. (p. 2)

La restauración del paisaje mediante los SAF con cacao ha demostrado ser una estrategia efectiva y sostenible en varios contextos ecológicos que proporciona beneficios tanto ambientales como socioeconómicos. En ese sentido, el estudio de Saputra et al. (2020) refuerza la relevancia de los SAF complejos con cacao en la restauración del paisaje. Aunque estos sistemas no logran imitar por completo las condiciones de los bosques naturales, representan una herramienta eficaz para regenerar paisajes agrícolas afectados.

Conclusión

Los sistemas agroforestales con cacao emergen como una estrategia integral y sostenible que no solo promueve la producción agrícola, sino que también potencia una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales. A lo largo de este capítulo, hemos explorado cómo la integración de cultivos de cacao con árboles de sombra y otras especies vegetales contribuye a la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad, la mejora de la calidad del suelo y la gestión eficiente del agua. Estos sistemas no solo favorecen la resiliencia de los ecosistemas frente a los desafíos ambientales, sino que también ofrecen beneficios económicos y sociales significativos para las comunidades locales.

Referencias

Aristizábal, J., & Guerra, A. (2002). *Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (Cordia alliodora), cacao (Theobroma cacao) y plátano (Musa paradisiaca)* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia].

Armengot, L., Barbieri, P., Andres, C., Milz, J., & Schneider, M. (2016). Los sistemas agroforestales de cacao tienen una mayor rentabilidad de la mano de obra en comparación con los monocultivos a pleno sol. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*, 1-10. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0406-6

Avellán Rivera, A. R., Barreto Dolin, E., & Peralta Tercero, E. de J. (2020). Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de *Theobroma cacao* L. laboratorio natural, los laureles 2018. *Revista Universitaria del Caribe*, *24*(01), 98-106. https://doi.org/10.5377/ruc.v24i01.9914

Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, *38*(1), 139-164. https://doi.org/10.1023/A:1005956528316

Blaser, W., Oppong, J., Yeboah, E., & Six, J. (2017). Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests. *Agriculture Ecosystems & Environment*, *243*, 8391. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.007

Cardinael, R., Hoeffner, K., Chenu, C., Chevallier, T., Béral, C., Dewisme, A., & Cluzeau, D. (2019). Spatial variation of earthworm communities and soil organic carbon in temperate agroforestry. *Biology and Fertility of Soils*, *55*(2), 171-183. https://doi.org/10.1007/s00374-018-1332-3

Chaves, M. E., Forero-Laverde, L., & Florián-Buitrago, M. (2024). *ABC del Marco Global de Biodiversidad Kunming-Montreal: agenda global, retos y oportunidades en Colombia*. WWF Colombia. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/abc-del-marco-global-de-biodiversidad-kunming-montreal-cop16.pdf

Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2018). *Herramientas de apoyo a decisiones para la restauración del paisaje forestal: Estado actual y futuro.* [Documentos ocasionales n.° 189]. Center for International Forestry Research (Cifor). https://doi.org/10.17528/cifor/007002

Fondo Mundial para la Naturaleza [WWF]. (2018). *Glosario ambiental: corredores biológicos, pasadizos de la naturaleza*. https://www.wwf.org.co/?328540/Glosario-ambiental-corredores-biologicos-pasadizos-de-la-naturaleza#:~:text=Corredores%20biol%C3%B3gicos%20en%20Colombia&text=Este%20corredor%2C%20que%20pasa%20por,y%20amaz%C3%B3nicos%20de%20la%20naci%C3%B3n

François, M., Gonçalves Pontes, M. C., Lima da Silva, A., & Mariano-Neto, E. (2023). Impacts of cacao agroforestry systems on climate change, soil conservation, and water resources: a review. *Water Policy*, *25*(6), 564-574. https://doi.org/10.2166/wp.2023.164

Garrido, J., Martínez, J., Contreras, J. L., & Rojas J. (2022). *Macrofauna como indicador de calidad del suelo en sistemas agroforestales con cacao en el norte de Colombia*. https://www.researchgate.net/publication/366230583

Gomes, C., Garcia, E., Alves, E., & Queiroz, M. (2015). Cocoa agroforestry system as an alternative for degraded pastureland restoration, food security and livelihoods development among smallholders in a Brazilian Amazon agricultural frontier. En C. Kumar, S. Begeladze, M. Calmon, & C. Saint-Laurent (Eds.), *Enhancing food security through forest landscape restoration: Lessons from Burkina Faso, Brazil, Guatemala, Viet Nam, Ghana, Ethiopia and Philippines* (pp. 42-69). https://www.researchgate.net/publication/290449305

Groeneveld, J., Tscharntke, T., Moser, G., & Clough, Y. (2010). Experimental evidence for stronger cacao yield limitation by pollination than by plant resources. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *12*(3), 183-191. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2010.02.005

Haddad, N., Brudvig, L., Clobert, J., Davies, K., González, A., Holt, R., Lovejoy, L., Sexton, J., Austin, M., Collins, C., Cook, W., Damschen , E., Ewers, R., Foster, B., Jenkins, C., King, A., Laurance, W., Levey, D., Margules, C., Melbourne, B. ... Nicholls, A. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, *1*(2). https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052

Hombegowda, H. C., Adhikary, P. P., Jakhar, P., & Madhu M. (2022). Alley Cropping Agroforestry System for Improvement of Soil Health. En P. K. Shit, P. P. Adhikary, G. S. Bhunia, & D. Sengupta (Eds.), *Soil Health and Environmental Sustainability* (pp. 529-549). https://doi.org/10.1007/978-3-031-09270-1_23

Jagoret, P., Michel, I., Snoeck, D., Ngnogué, H. T., & Malézieux, E. (2012). Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farmer innovation in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, *86*(3), 493-504. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9513-9

Jezeer, R. E., Verweij, P. A., Santos, M. J., & Boot, R. G. A. (2017). Shaded coffee and cocoa-double dividend for biodiversity and small-scale farmers. *Ecological Economics, 140*, 136-145. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.019

Lojka, B., Pawera, L., Kalousova, M., Bortl, L., Verner, V., Houška, J., Vanhove, W., & Van Damme, P. (2017). Multistrata Systems: Potentials and Challenges of Cocoa-based Agroforests in the Humid Tropics. En J. Dagar, & V. Tewari (Eds.), *Agroforestry* (pp. 587-628). https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_23

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being*: *Synthesis*. Island Press.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2022, 17 de junio). *Colombia le hace frente a la desertificación y la sequía*. https://www.minambiente.gov.co/colombia-le-hace-frente-a-la-desertificacion-y-la-sequia-minambiente/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2018). *Iniciativa colombiana de polinizadores*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Nair, P. (1997). *Agroforestería*. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible; Universidad Autónoma de Chapingo.

Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W. J., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, *15*(10). https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb053

Ordóñez-Espinosa, C. M. (2019). *Composición florística, estructura y servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con Theobroma cacao L. en el departamento del Huila* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78109/TESIS_FINAL_CLAUDIA_ORDO%c3%91EZ06092019ajuste.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. [2017]. *Agroforestería para la restauración del paisaje. Explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados*. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0411a141-b795-48a1-8b9b-f031d31a7e7c/content

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO]. (2022). *Crops and livestock products*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.

Pabón-Morales, M. Á., Prato, A. I., Tonello, K. C., Zuluaga-Peláez, J. J., Bucheli-León, P. E., & Winckler-Caldeira, M. V. (2023). Partición de la precipitación en dos arbóreas leguminosas nativas en la región Andina, Colombia. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *29*(2), 71-85. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.08.059

Palencia, G. E. (2005). *Establecimiento y manejo de sistemas agroforestales con cacao*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). http://hdl.handle.net/20.500.12324/13532

Parrish, J., Reitsma, R., Greenberg, R., McLarney, W., Mack, R., & Lynch, J. (1999). Los cacaotales como herramienta para la conservación de la biodiversidad en corredores biológicos y zonas de amortiguamiento. *Agroforestería en las Américas*, *6*(22), 1619.

Rajab, Y. A., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao Cultivation under Diverse Shade Tree Cover Allows High Carbon Storage and Sequestration without Yield Losses. *PLoS ONE*, *11*(2), e0149949. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149949

Rice, R. A., & Greenberg, R. (2000). Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *29*(3), 167-173. https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.167

Rojas-Molina, J., Ortiz-Cabralez, L., Escobar-Pachajoa, L., Rojas-Buitrago, M., & Jaimes-Suárez, Y. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización en Rionegro-Santander. *Agronomía Costarricense*, *45*(1), 193-206. http://dx.doi.org/10.15517/rac.v45i1.45790

Salazar-Díaz, R., & Torres-Coto, V. (2017). Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en tres sistemas de producción. *Revista Tecnología en Marcha*, *30*(1), 90-100. https://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i1.3088

Sanial, E., Fountain, A. C., Hoefsloot, H., & Jezeer, R. (2020). *La agroforestería en el sector del cacao. La necesidad de enfoques de paisaje colaborativos ambiciosos*. Red VOICE https://voicenetwork.cc/wp-content/uploads/2021/07/La-agroforesteria-en-el-sector-del-cacao-la-necesidad-de-enfoques-de-paisaje-colaborativos-ambiciosos.pdf

Saputra, D. D., Sari, R. R., Hairiah, K., Roshetko, J. M., Suprayogo, D., & Van Noordwijk, M. (2020). Can cocoa agroforestry restore degraded soil structure following conversion from forest to agricultural use? *Agroforestry Systems*, *94*(6), 2261-2276. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00548-9

Sekhar, M., Lallawmkimi, M. C., Vijaya Rani, D., Upadhyay, L., Tiwari, P., Verma, U., & Rajput, A. (2024). Agroforestry Practices and Their Impact on Soil Health and Fertility: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International 46*(9), 511-28. https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i92849

Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture Ecosystems & Environment, 173*, 46-57. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013

Sonwa, D. J., Nkongmeneck, B. A., Weise, S. F., Tchatat, M., Adesina, A. A., & Janssens, M. J. (2007). Diversidad de plantas en agroforesterías de cacao en la zona de bosque húmedo del sur de Camerún. *Biodiversity and Conservation*, *16*(8), 2385-2400. https://doi.org/10.1007/s10531-007-9187-1

Toledo-Hernández, M., Wanger, T. C., Tscharntke, T. (2017). Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields. A review? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 247*, 137148. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.021

Villanueva-G., C., Ruiz-Chután, J., Polesny, Z., Kalousova, M., Villanueva, C., & Lojka, B. (2024). Diversity and productive potential of timber trees in cocoa agroforestry systems in Alta Verapaz, Guatemala. *Revista de la Facultad de Agronomía, 41*(1), e244108. https://www.researchgate.net/publication/378528687_Diversity_and_productive_potential_of_timber_trees_in_cocoa_agroforestry_systems_in_Alta_Verapaz_Guatemala

Zuluaga-Peláez, J. J., Rivera-Rojas, M. Gutiérrez-Vanegas, A. J., Cervera-Bonilla, D. C. Arias-Rojas, J. A., Moreno-Barragán, J., & Flórez-Tuta, N. (2024). *Especies arbóreas con potencial de uso forestal y agroforestal en Tolima, Cesar y Meta*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7407440



Capítulo 2

Manejo integrado de monilia y carmenta en cacao (*Theobroma cacao* L.)

Eleonora Rodríguez Polanco, Edgar Herney Varón Devia, Edinson Bayardo Parra y Claudia Milena Flórez Cárdenas

Introducción

El cacao es un producto de referencia en Colombia; se siembra en 29 de los 32 departamentos del país. Según datos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2023), el 61,89 % de su producción se concentra en los departamentos de Santander (25,27 %), Antioquia (10,85 %), Arauca (9,13 %), Nariño (6,69 %), Tolima (4,62 %) y Huila (3,34 %).



Para 2023, en Colombia se tenían 256.324 hectáreas establecidas con el cultivo de cacao (UPRA, 2023). Y aunque existe un potencial de producción de granos de cacao de 1.000 kg/ha o más, para este mismo año en Colombia —con 229.254 hectáreas cosechadas— solo se produjeron cerca de 140.108 toneladas, con un rendimiento promedio estimado de 611 kg/ha (UPRA, 2023); es decir, menos de dos terceras partes del potencial de producción. Los bajos rendimientos en las plantaciones de cacao se atribuyen a factores como la alta prevalencia de plagas y enfermedades, pobres prácticas agronómicas, el declive en la fertilidad del suelo y el uso de variedades de baja productividad. Entre estos factores, el impacto de plagas y enfermedades se considera uno de los grandes desafíos para la producción del grano (Cilas & Bastide, 2020).

Dentro de las principales problemáticas sanitarias que atacan el cultivo de cacao en Colombia están: la monilia —enfermedad producida por un hongo patógeno (*Moniliophthora roreri*)— y la plaga por el insecto perforador de los granos de la mazorca carmenta negra (*Carmenta foraseminis*). Las pérdidas ocasionadas por monilia en el país son cercanas al 50 %; en el caso de carmenta, las pérdidas son considerables en los departamentos de Santander y Antioquia. El ataque por monilia o carmenta puede ocasionar pérdidas hasta del 100 % en la producción si no se aplican las medidas de control de forma oportuna y periódica, en especial durante los ciclos productivos (Carabalí-Muñoz et al., 2018; Rodríguez Polanco et al., 2024).

Monilia (*Moniliophthora roreri*)

Biología y ciclo de vida

M. roreri es un hongo hemibiotrófico, es decir, que forma una asociación con el tejido que ataca para desarrollarse, inicialmente, con el tejido vivo del fruto; pero, conforme avanza su desarrollo, continúa su ciclo con tejido muerto (figura 5) (Griffith et al., 2010).



Figura 5. Característica hemibiotrófica del hongo *M. roreri*. a. Asociación del hongo *M. roreri* con tejido vivo (aparecen gibas o jorobas); b. Asociación del hongo *M. roreri* con tejido vivo (islas verdes); c. Asociación del hongo *M. roreri* con tejido muerto (aparecen manchas).

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco

El hongo causante de la monilia ataca únicamente frutos durante todas las etapas de su desarrollo (Merchán Vargas, 1981). La infección comienza cuando las esporas (estructuras reproductivas) se adhieren al fruto, germinan y penetran en cerca de 7 horas; así inicia la colonización del tejido interno y la aparición de los síntomas externos perceptibles a la vista, que se dan unos 35 días después, según las condiciones ambientales. Los síntomas visibles se diferencian de acuerdo con la edad en que el fruto fue infectado: 1) giba o islas verdes en frutos menores de tres meses de edad, o 2) pequeñas manchas oscuras de aspecto aceitosas en frutos de más de tres meses de edad. Un mes después de la aparición de los primeros síntomas visibles se observa sobre el fruto una mancha o necrosis de gran tamaño, de color café oscuro; alrededor de 7 días después, sobre la mancha se forma una costra de color blanco y aspecto algodonoso (micelio y esporas inmaduras); y 2 días después, la costra se transforma en un polvo o ceniza de color marrón claro, que son las esporas maduras de *M. roreri* (figura 6) (Phillips-Mora, 2003).

Las esporas ya maduras son liberadas principalmente por el viento, infectan nuevos frutos y así inician un nuevo ciclo de infección (Merchán Vargas, 1981). El ciclo completo, desde la adhesión hasta la liberación de esporas, dura entre 68 y 74 días (Argüello Castellanos & Mejía Flórez, 2000; Merchán Vargas, 1981).



Figura 6. Ciclo de la monilia causado por el hongo *M. roreri* en cacao.

Fuente: Elaboración propia, con base en Merchán Vargas (1981) y Rodríguez Polanco et al. (2005).

Síntomas

Los síntomas varían con la edad del fruto al momento de la infección. En frutos menores de tres meses, ocurren malformaciones o sobrecrecimientos que generan apariencias de gibas o jorobas (figura 7a). A esta edad, algunos frutos enfermos presenten madurez prematura o islas verdes (figura 7b), aunque es poco frecuente este tipo de síntoma (Phillips-Mora, 2003). Los frutos jóvenes son más susceptibles a la infección por *M. roreri* y son más tolerantes a medida que maduran (Merchán Vargas, 1981).



Figura 7. Síntomas por la infección de monilia (*M. roreri*) en frutos de menos de tres meses. a. Deformaciones o gibas. b. Islas verdes.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco

En frutos de más de tres meses, el primer síntoma es la aparición de pequeñas lesiones aceitosas (figura 8a), por lo general, difíciles de detectar de forma visual. Su observación se hace posible cuando incrementan en tamaño y forman una mancha de color marrón oscuro o chocolate, de borde irregular, que no suele corresponder al mismo grado de daño interno (Phillips-Mora, 2003) (figuras 8b y 8c). En el interior del fruto se evidencia la necrosis marrón o rojiza que afecta los carpelos, la pulpa y los granos, lo cual los torna en una masa compacta (figura 8d) (Griffith et al., 2010).

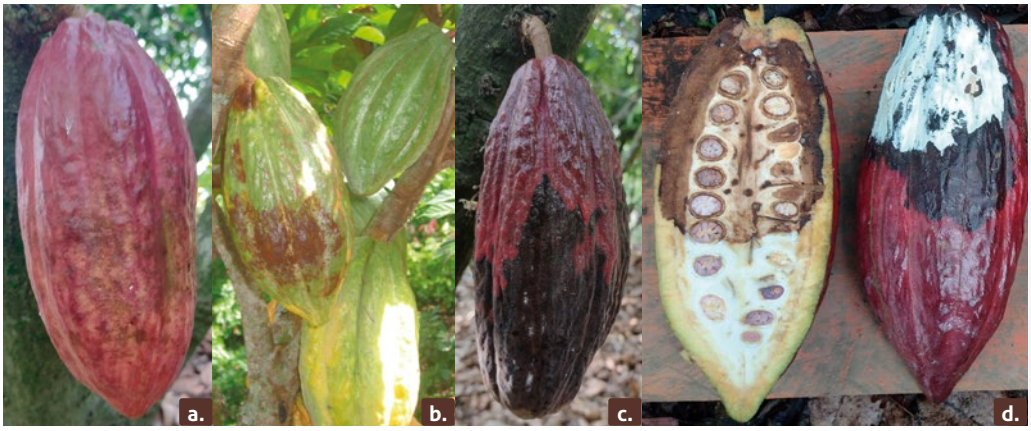


Figura 8. Síntomas de la infección monilia (por *M. roreri*) en frutos de más de tres meses. a. Puntos aceitosos; b. Aparición de la mancha chocolate; c. Mancha chocolate definida; d. Pudrición o necrosis interna.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco

Los signos son las esporas del hongo que se producen durante la etapa reproductiva (esporulación); inicialmente están presentes en estado inmaduro y aparecen sobre la superficie de la mancha como una costra blanca de textura algodonosa, que luego adquiere una coloración marrón claro que indica la madurez de las esporas; estas se desprenden con facilidad y constituyen la principal fuente de infección dentro de la plantación (figuras 9a y 9b) (Griffith et al., 2010). Se estima que en un centímetro cuadrado de este polvo o ceniza existen cerca de 44 millones de esporas (Campuzano, 1976). Un fruto en esporulación continúa produciendo esporas hasta que esté complemente seco (momificado) (figura 9c).



Figura 9. Signos de *M. roreri*. a. Esporas inmaduras; b. Esporas maduras; c. Esporas maduras en fruto momificado.

Fotos: Eleonora Rodríguez Polanco

Estrategia de manejo actual

La estrategia está basada en la aplicación de un manejo integrado de la enfermedad, en el que se considera la aplicación conjunta de diferentes prácticas de acuerdo con la época de mayor susceptibilidad de la fruta y se evita la esporulación del hongo con el objetivo de mantener bajos niveles de infección en los frutos y proteger la cosecha principal (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2023). Estas prácticas son:

1. *Remoción de frutas enfermas*

La remoción de las frutas enfermas es la práctica fundamental para el control de la monilia. Se debe realizar cuando aparecen los primeros síntomas visibles y tiene como objetivo evitar la esporulación del hongo (formación del polvo o ceniza), lo que disminuye el inóculo infectivo (esporas) dentro del cultivo. Esta medida está encaminada a proteger la cosecha principal, ya que evita la contaminación de los frutos con menos de tres meses de edad, que son los que se infectan de manera más fácil por ser su epidermis menos resistente a la penetración del hongo (figura 10) (Sánchez, 1983).

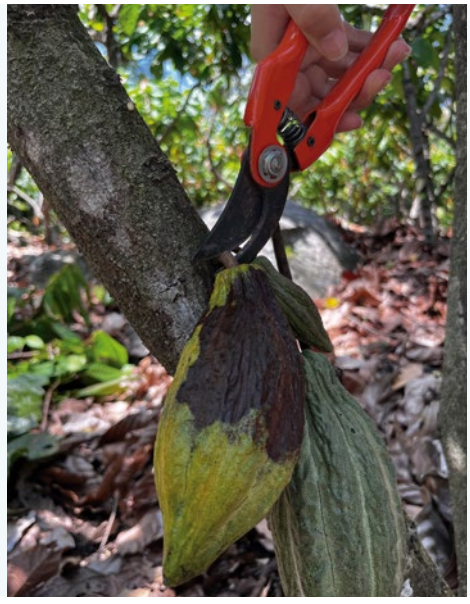


Figura 10. Remoción de fruta enferma por monilia (*M. roreri*) una vez aparecen los primeros síntomas visibles.

Foto: Eleonora Rodríguez Polanco

La remoción de las frutas enfermas una vez cuajados los frutos realizada cada 7 días hasta la finalización de la cosecha disminuye en un 40 % la pérdida en producción ocasionada por la monilia en el primer año de su implementación; este porcentaje se incrementa de forma gradual y puede llegar hasta el 90 % a partir del segundo año de su implementación (AGROSAVIA, 2023; Rodríguez Polanco, 2006).

Es aconsejable realizar la remoción de las frutas enfermas temprano en la mañana y cubrirlas con hojarasca para acelerar su proceso de descomposición, y evitar la formación y dispersión de las esporas.



Figura 11. Poda de mantenimiento al árbol de cacao realizada anualmente, una vez finaliza la cosecha principal.

Foto: Eleonora Rodríguez Polanco

2. *Prácticas al cultivo*

Estas prácticas están dirigidas a crear condiciones de ambiente que no favorezcan la multiplicación de *M. roreri*; de su implementación depende el éxito de la remoción de mazorcas enfermas. Estas prácticas son: poda a los árboles, control de arvenses y poda a los sombríos (AGROSAVIA, 2023; Rodríguez Polanco, 2006).

- **Poda a los árboles**: mantener los árboles a una altura máxima de 3 m, con una adecuada arquitectura, disminuye la humedad dentro del cultivo y facilita detectar la fruta enferma (figura 11).
- **Control de arvenses**: contribuye a disminuir la humedad dentro del cultivo.
- **Poda a los sombríos:** permite la entrada de luz, lo que estimula la floración y disminuye la humedad dentro del cultivo.

3. *Material de cacao tolerante*

En condiciones de ambiente cálido y húmedo, se recomienda la utilización de genotipos con tolerancia moderada, como ICS 95 y CCN 51 (Aime & Phillips-Mora, 2005; Rodríguez Polanco & Medina, 2005).

Acciones complementarias a la oferta tecnológica

Para disminuir el daño ocasionado por monilia y complementar la oferta tecnológica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, 2023) basada en la eliminación semanal de los frutos enfermos, se realizó la validación de un esquema de manejo integrado del cultivo (MIC) en plantaciones comerciales de una hectárea con árboles del ICA 39 en los municipios de Rivera (vereda: Riverita, finca: San José) y Gigante (vereda: Guandinosa, finca: La Batalla) en el departamento del Huila.

De acuerdo con el manejo al cultivo y la frecuencia de remoción de fruta enferma se diseñaron cinco tratamientos, donde MT-7 y MT-14 incluyeron el manejo tradicional del cultivo (MT) y la remoción de fruta enferma cada 7 y 14 días; y MIC-7, MIC-14 y MIC-21 incluyeron el manejo integrado del cultivo (MIC) y la remoción de frutos enfermos cada 7, 14 y 21 días, respectivamente. Cada tratamiento contó con 5 árboles o repeticiones.

El MT incluyó poda, control mecánico de arvenses, eliminación mecánica de renuevos y fertilización teniendo en cuenta los requerimientos del análisis de suelos; y el MIC incluyó las prácticas empleadas en el MT y otras más, como aplicaciones del potencializador de resistencia, de fungicidas protectante y curativo, y de mezcla de microorganismos benéficos. Los fungicidas fueron aplicados considerando su mecanismo de acción de acuerdo con la edad de mayor susceptibilidad en el fruto (tabla 1, figura 12).

Los productos químicos y biológicos evaluados fueron aplicados utilizando fumigadora a motor Stihl SR 450 para garantizar el máximo cubrimiento de los frutos y Agrotin SL fue utilizado como coadyuvante en dosis de 1 cc L^{-1} de agua.

En las parcelas experimentales se monitoreó la incidencia de la enfermedad, determinada inicial y periódicamente a partir del tiempo de eliminación de los frutos en cada tratamiento (0, 7, 14 y 21 días); para ello se realizaron conteos de frutos sanos y enfermos de acuerdo con la edad de los frutos: 0 a 2 meses, 2 a 4 meses y mayores de 4 meses; los frutos enfermos fueron retirados del árbol. La incidencia fue calculada a través de la fórmula: *Incidencia = (número de frutos con síntomas/número total de frutos) ×100*. Por medio de tablas dinámicas, se calcularon los promedios de incidencia para cada tratamiento y se presentaron en gráficos de barras.

Tabla 1. Productos químicos y biológicos utilizados en los tratamientos MIC para el control de monilia (*M. roreri*) en plantaciones comerciales del clon ICS 39. Rivera y Gigante (Huila). De julio del 2023 a julio del 2024

Edad del fruto*	Ingrediente activo	Clasificación	Modo de acción	Categoría toxicológica	Dosis (i. a.: g L-1)
2	Fosfito de potasio + ácido salicílico [Fuerza PK: (P_2O_5 450 g l^{-1}, K_2O 350 g l^{-1}; carbono orgánico oxidable 50 g l^{-1}]	Fertilizante e inductor de resistencia	Protectante	Sin categoría	2 cc/L
2,5	Tebuconazole + trifloxistrobina [Nativo SC 300 (200 + 100 g l^{-1})]	Fungicida	Sistémico	III - Ligeramente peligroso	1 cc/L
3	Difeconazole + azoxystrobin [Azoxytop SC 325 (20+12,5 g l^{-1})]	Fungicida	Sistémico	III - Ligeramente peligroso	1 cc/L
3,5	Tebuconazole + trifloxistrobina [Nativo SC 300 (200+100 g l^{-1})]	Fungicida	Sistémico	III - Ligeramente peligroso	1 cc/L
4	Sulfatos de cobre y calcio [Atrasin EC 300 ($CuSO_4.5H_2O$ 21g l^{-1}; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 18 g l^{-1})]	Fungicida	Protectante	IV -Ligeramente tóxico	4 g/L
4,5	Materiales orgánicos, sulfatos y microorganismos [Bioxinis (N 17,5 g l^{-1}; P_2O5 11,4 g l^{-1}; KO 19,4 g l^{-1}; CaO 3,84 g l^{-1}; MgO 0,76 g l^{-1}, S 1,66 g l^{-1}; carbono orgánico oxidable 40,9 g l^{-1}; *Trichoderma harzianum, Beauveria bassiana, Bacillus thurigiensis, Metarhizium anisopliae, Paecilomyces* sp., *Gliocladium* sp., Verticillium sp.)]	Fertilizante orgánico	Protectante	Sin categoría	10 cc/L

* Edad del fruto en meses en el momento de la aplicación; i. a.: ingrediente activo por L. volumen de agua aplicado 200 L ha^{-1}.
Fuente: Elaboración propia

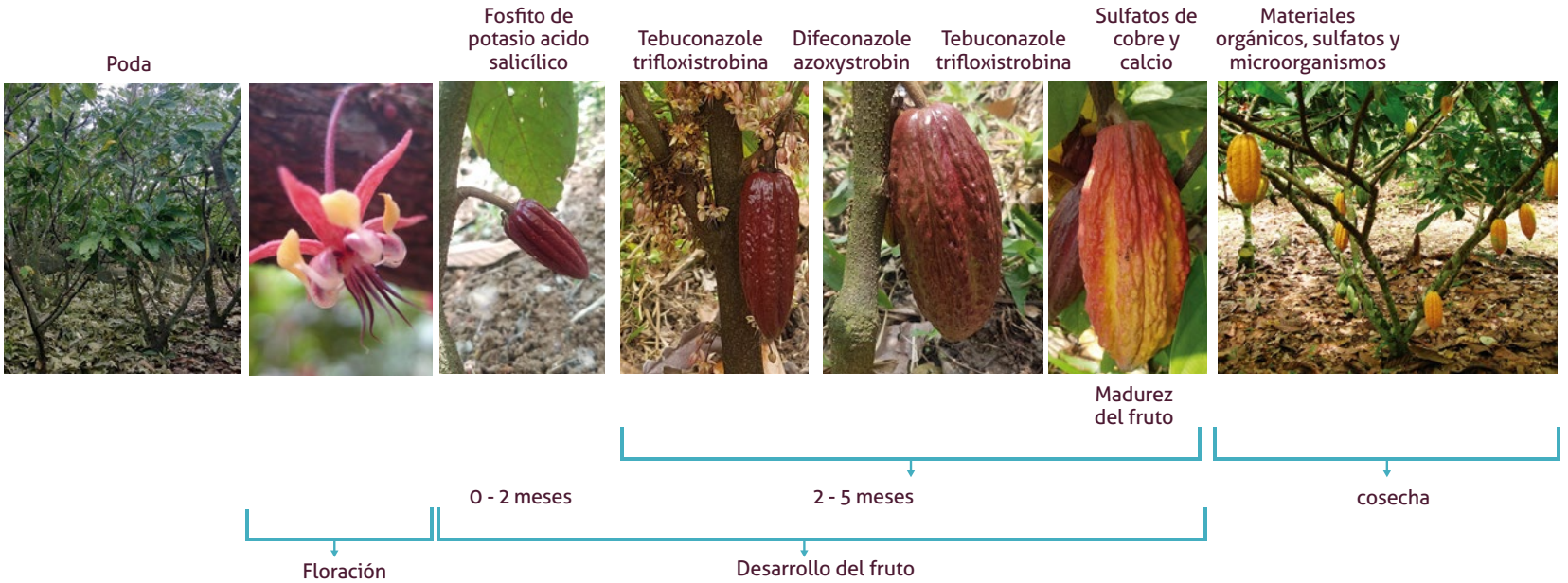


Figura 12. Etapas fenológicas de la floración o antesis a la madurez del fruto de cacao y aplicación de las prácticas de manejo culturales, químicas y biológicas diseñadas para el manejo integrado de la monilia.

Fuente: Elaboración propia, con base en López-Hernández et al. (2018).

Resultados

El monitoreo de la incidencia de monilia en frutos en Gigante y Rivera arrojó los siguientes resultados:

Gigante. Los valores de incidencia total de monilia en frutos, en orden ascendente, fueron MIC-7 (2,02 ± 1,3), MIC-14 (2,14 ± 1,2), MT-7 (2,46 ± 1), MT-14 (3,62 ± 2,6) y MIC21 (3,83 ± 2,7) (figura 13). Los resultados indican una reducción del 17,88 % en la incidencia cuando se comparan el MT-7 y el MIC-7, y una reducción del 40,88 % al comparar los tratamientos MT-14 y MIC-14; esta reducción es atribuida a la aplicación de defensivos químicos y biológicos. Por último, al comparar la incidencia MT-7 (2,46 ± 1) con el MIC-21 (3,83 ± 2,7), se encontró una incidencia 35,77 % menor en el MT-7 con relación al MIC-21, lo que indica que frecuencias de remoción semanal tienen mayor efecto en la reducción de monilia que frecuencias cada 21 días, aún con la aplicación de defensivos químicos y biológicos (figura 13).

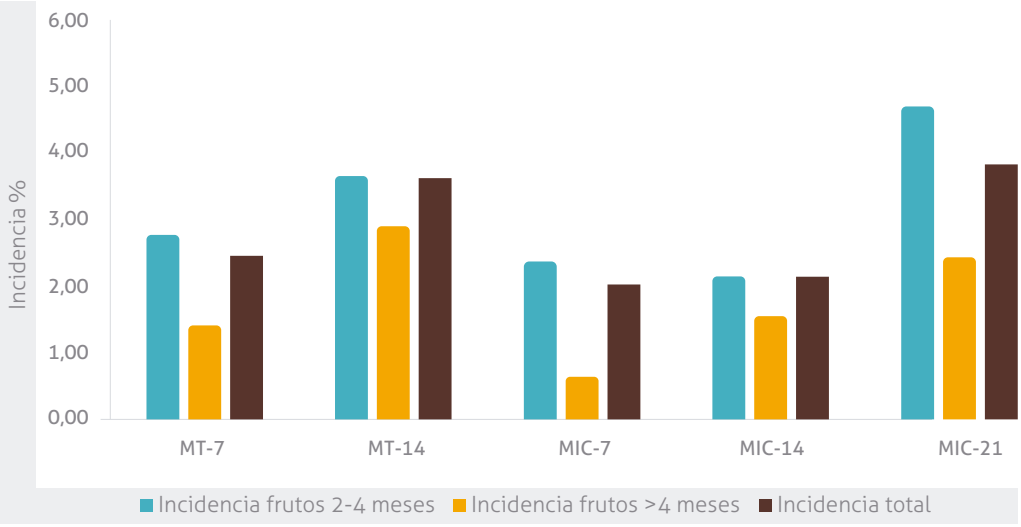


Figura 13. Porcentaje de incidencia promedio hallado en los tratamientos MT-7, MT-14, MIC-7, MIC-14 y MIC-21. De julio del 2023 a julio del 2024, Gigante (Huila).

Fuente: Elaboración propia

Rivera. Los valores de incidencia total de monilia en frutos en orden ascendente fueron MIC7 (1,55 ± 0,9), MIC-14 (2,31 ± 2,0), MT-7 (3,39 ± 1,2), MIC-21 (3,78 ± 3,5) y MT-14 (4,0 ± 2,1) (figura 13). Los resultados indican una reducción del 54,27 % de la incidencia cuando se comparan el MT-7 y el MIC-7, y una reducción del 42,25 % al comparar los tratamientos MT-14 y MIC-14; esta reducción es atribuida a la aplicación de defensivos químicos y biológicos. Por último, al comparar la incidencia MT-7 (3,39 ± 1,2) con el MIC21 (3,78 ± 3,5) se encontró una incidencia 11,50 % menor en el MT-7 con relación al MIC-21; esto indica que frecuencias de remoción semanal tienen mayor efecto en la reducción de monilia que frecuencias cada 21 días aún con la aplicación de defensivos químicos y biológicos (figura 14).

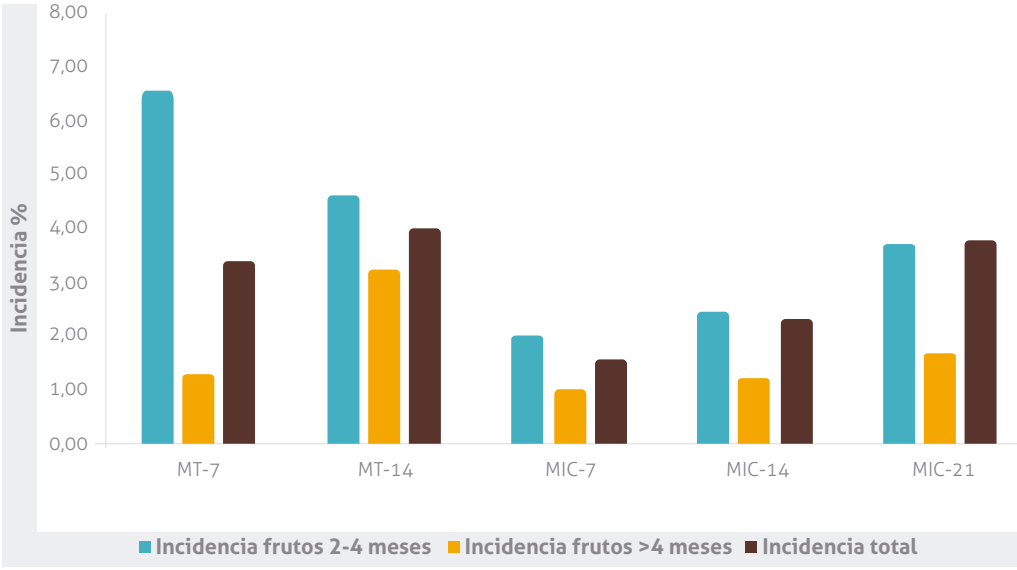


Figura 14. Porcentaje de incidencia promedio hallado en los tratamientos MT-7, MT-14, MIC7, MIC-14 y MIC-21. De julio del 2023 a julio del 2024, Rivera (Huila).

Fuente: Elaboración propia

Carmenta (*Carmenta foraseminis*) (Busck) Eichlin

Biología y ciclo de vida

El insecto carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) (Lepidóptera: Sesiidae) pasa por los estados de huevo, larva (figura 15a), pupa y adulto (figura 15b); el ciclo de huevo a adulto puede durar de 56 a 65 días dependiendo de la temperatura promedio. La hembra pone los huevos en la mazorca y una vez eclosiona la larva esta penetra en la pulpa buscando la semilla, que es de la que se alimenta (Carabalí-Muñoz et al., 2018).



Figura 15. Estados de desarrollo de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) a. Larva; b. Adulto.

Fotos: Edgar Herney Varón Devia y Claudia Milena Flórez Cárdenas

La carmenta negra se ha reportado en diferentes países productores de cacao, como Perú (Cabezas et al., 2017; Fachin et al., 2019; Mina Quispe, 2021), Venezuela (Delgado Puchi, 2005) y Panamá (Eichlin, 1995), entre otros. En Colombia, fue reportada en Antioquia por Moncayo (1957), pero se ha venido extendiendo a lo largo de las zonas productoras del país, como Boyacá, Cundinamarca, Tolima, Norte de Santander, Caquetá, Caldas, Risaralda, Valle del Cauca, entre otros (Carabalí-Muñoz et al., 2018).

Daño

La larva de carmenta negra causa daño en la mazorca al penetrar en la pulpa y llegar a la semilla (figuras 16a y 16b). El daño se produce porque la larva se alimenta de las semillas, y por la presencia de hongos y bacterias que producen pudrición (Cubillos, 2013; Carabalí-Muñoz et al., 2018).

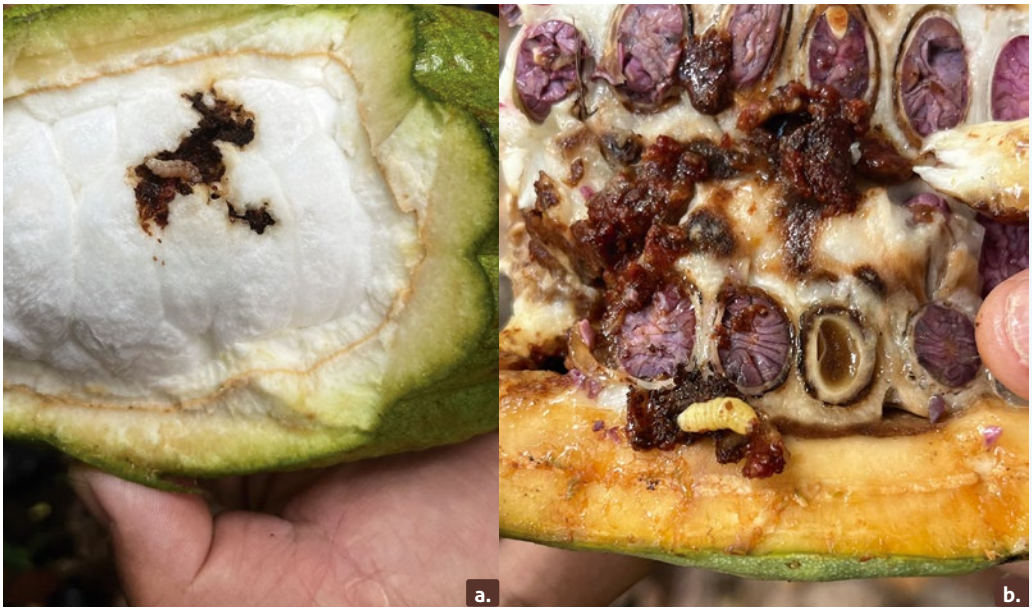


Figura 16. Daño en frutos de cacao originados por el ataque de carmenta negra**.** a. Daño interno en la mazorca causado por carmenta negra (*Carmenta foraseminis*), vista general; b. Vista en detalle.

Fotos: Edgar Herney Varón Devia

Estrategias de manejo

AGROSAVIA tiene una oferta tecnológica para el manejo de *Carmenta foraseminis* en cacao, la cual puede consultarse en AGROSAVIA (2024). Esta oferta tecnológica de manejo incluye el monitoreo de poblaciones y de daño, y el uso de prácticas culturales.

Monitoreo de poblaciones

La captura de adultos se lleva a cabo por medio de trampas McPhail cebadas con proteína hidrolizada de maíz o soya y mezclada con mucílago de cacao. La proporción usada es de 200 cc de agua + 50 cc de proteína hidrolizada + 10 cc de mucílago de cacao (figura 17a). La trampa McPhail se ubica en la parte media del árbol (figura 17b).



Figura 17. Monitoreo de carmenta negra empleando trampas McPhail**.** a. Cuerpo de trampa McPhail para el monitoreo de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*); b. Colocación de trampa McPhail en parte media del árbol.

Fotos: Claudia Milena Flórez Cárdenas

Monitoreo de daño

Para el monitoreo de daño se tiene en cuenta la presencia de síntomas de daño causados por carmenta, como peca, excreta y perforación (figura 18). Este monitoreo debe hacerse cada 7 días idealmente.



Figura 18. Diferentes síntomas causados por carmenta negra (*Carmenta foraseminis*). a y b. Síntoma de peca; c y d. Excreta; e. Perforación; f. Daño avanzado.

Fotos: Edgar Herney Varón Devia y Claudia Milena Flórez Cárdenas

Prácticas culturales

Las prácticas culturales son las principales medidas para el manejo de la carmenta negra en cacao.

1. Podas y manejo de arvenses.
   - Regulación de sombrío en cultivos diversificados con árboles forestales.
   - Realización de podas de mantenimiento para aumentar la entrada de luz y la circulación de aire en el interior del árbol. Estas medidas, indirectamente, pueden ocasionar la deshidratación de los huevos y la mortalidad de larvas de primer instar de *C. foraseminis*. Además, ayudan a la observación y al monitoreo de los árboles afectados.
   - Conservación de arvenses en el huerto como fuente de alimento y refugio de insectos, tanto controladores biológicos (enemigos naturales), como polinizadores.
2. Recolección, embolsado y solarización semanal de mazorcas con síntomas de daño por carmenta y de residuos de beneficio.

Una vez detectadas las mazorcas con síntomas como peca, excreta o perforación, se lleva a cabo la recolección de estas mazorcas. Las mazorcas con síntomas de daño por carmenta se deben embolsar y solarizar (figura 19a) en bolsas plásticas negras de arroba. Así mismo se debe hacer con las cacotas (cáscaras) que quedan después del beneficio en finca en tiempos de cosecha, cubriéndolas con plástico negro (figura 19b). Se recomienda que la solarización se haga en un área despejada con alta entrada de luz, y que las bolsas plásticas y el plástico que se utilicen sean de calibre grueso N.º 4, para disminuir la posibilidad de salida de los adultos por posibles perforaciones en las bolsas o en el plástico.



Figura 19. Prácticas culturales para el manejo de carmenta negra. a. Embolsado y solarización de mazorcas afectadas por carmenta; b. Cacotas cubiertas por plástico para prevenir la propagación de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*).
Fotos: Edgar Herney Varón Devia

Acciones complementarias a la oferta tecnológica

En casos en que las poblaciones de carmenta y sus daños asociados sean muy altos, y su manejo cultural sea insuficiente, se pueden considerar otras medidas complementarias para disminuir los efectos de las altas poblaciones. Estas medidas incluyen la aplicación de hongos entomopatógenos sobre las mazorcas, y el trampeo masivo con un atrayente como la proteína hidrolizada o la melaza mezcladas con mucílago de cacao.

- *Control biológico*

  Se puede utilizar un producto comercial con base en hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae, Lecanicillium lecanii* y la bacteria *Bacillus thuringiensis*). Este producto se debe aplicar sobre las mazorcas cada 7 días (figura 20). La aplicación se hace a nivel de los frutos, a partir de los 2 meses de desarrollo, en la dosis especificada (Jorge-Panduro, 2018).



Figura 20. Aplicación por aspersión de hongos entomopatógenos sobre las mazorcas para el manejo de carmenta negra (*Carmenta foraseminis*).

Foto: Claudia Milena Flórez Cárdenas

- *Trampeo masivo con atrayente*

  Se colocan trampas artesanales hechas con botellas plásticas tipo PET de 500 cc o de litro, cebadas con proteína hidrolizada de maíz o soya o melaza, idealmente mezcladas con mucílago de cacao, en cantidad de 100 cc de proteína y 10 cc de mucílago. A estas trampas se les hacen ventanas pequeñas y se les deja la parte superior para que proteja la trampa de llenarse de agua en caso de que llueva (figura 21).



Figura 21. Trampa artesanal hecha con botella plástica.

Nota: Pueden observarse las ventanas con "techo" en la parte superior.

Foto: Claudia Milena Flórez Cárdenas

Metodología de estudio

- *Tratamientos de manejo de carmenta*

En tres cultivos de cacao, ubicados en tres localidades del Huila (Campoalegre, Gigante y Rivera), se comparó el manejo integrado propuesto por AGROSAVIA en la oferta tecnológica (AGROSAVIA, 2024) —complementado con el uso de hongos entomopatógenos y el trampeo masivo (AC) y considerando para su aplicación la época de mayor susceptibilidad de los frutos al ataque por carmenta negra (figura 18)— con el manejo empleado por el productor (PC), que fluctuó entre la no aplicación de manejo y la aplicación de medidas (como el embolsado y la solarización), y la colocación de trampas artesanales. Cada tratamiento contó con 15 árboles en cada finca.

- *Monitoreo visual*

Se llevaron a cabo monitoreos visuales semanales del daño ocasionado por carmenta negra (*Carmenta foraseminis*) desde julio del 2023 hasta julio del 2024; se registró tanto el número de mazorcas sanas, como el número de mazorcas afectadas y se calculó el porcentaje a travez de la fórmula: *Incidencia* = (*número de mazorcas afectadas/número de mazorcas totales*) ×100. Estos monitoreos se realizaron en las tres localidades del departamento del Huila (Campoalegre, Gigante y Rivera) donde se establecieron los experimentos en las parcelas del productor (PC) y en las del manejo propuesto por AGROSAVIA (AC). En este último manejo las mazorcas afectadas fueron embolsadas y solarizadas.

Por medio de tablas dinámicas se calcularon los promedios de incidencia por tratamientos (AC = esquema de manejo de carmenta AGROSAVIA) y (PC = manejo del productor), los cuales se representaron en gráficos de barras.

- *Determinación del daño ocasionado por carmenta en frutos de cacao cosechados*

El daño ocasionado por *C. foraseminis* en frutos de cacao se determina por la aparición de la peca, perforación o excreta; sin embargo, la presencia de estos síntomas externos significa que ya hay daño, pero dentro de la mazorca, por lo que se realizó la cosecha de mazorcas de cacao teniendo en cuenta los tratamientos (AC; PC), se contaron las mazorcas por cada tratamiento y se registró el peso en baba de las mazorcas afectadas y de las mazorcas sanas. A cada una de las mazorcas afectadas se les determinó el peso de semillas afectadas por carmenta, y con estos datos se calculó el porcentaje de daño ocasionado por carmenta entre los tratamientos y por cada predio en el departamento del Huila (figura 22).



De floración a madurez del fruto+/- 150 días

Figura 22. Etapas fenológicas de floración a madurez del fruto de cacao y aplicación de las prácticas de manejo culturales y biológicas diseñadas para el manejo integrado de carmenta.

Fuente: Elaboración propia, con base en López-Hernández et al. (2018).

Resultados

En el predio de Campoalegre, se observó que el tratamiento de AGROSAVIA mostró un menor porcentaje de incidencia (0,49 ± 0,22) con respecto al manejo del productor (1,09 ± 0,53). En el predio de Gigante, se observó que el tratamiento de AGROSAVIA mostró un mayor porcentaje de incidencia (1,28 ± 0,57) con respecto al manejo del productor (1 ± 0,36). Y, finalmente, en el predio de Rivera se observó que el tratamiento de AGROSAVIA mostró un menor porcentaje de incidencia (0,09 ± 0,074) con respecto al manejo del productor (0,97 ± 0,36) (figura 23).

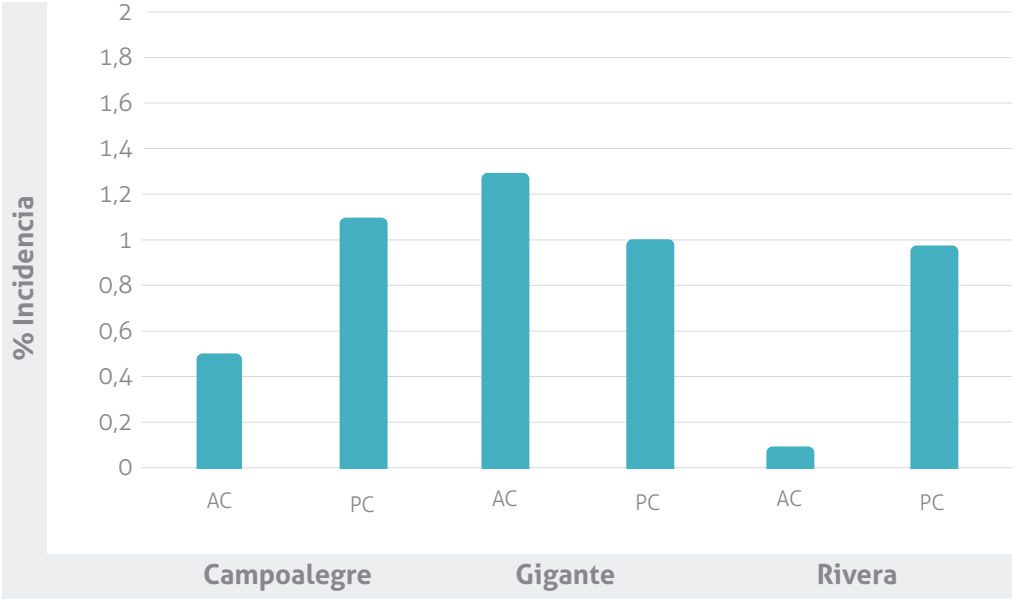


Figura 23. Porcentaje de incidencia de *Carmenta foraseminis* en los tratamientos de AGROSAVIA (AC) y del productor (PC), municipio de Campoalegre, Gigante y Rivera (Huila). De 2023 a julio 2024.

Fuente: Elaboración propia

En Campoalegre, el porcentaje de daño fue mayor en los frutos cosechados en el predio del productor (2,96 %) con respecto a la cosecha de los árboles pertenecientes al esquema de manejo de carmenta propuesto por AGROSAVIA (2,73 %). En el predio de Gigante se presentó diferencia entre tratamientos; allí, el tratamiento del productor mostró un mayor porcentaje de daño (11,89 %) con respecto a los árboles del esquema de manejo propuesto por AGROSAVIA (0,94 %). Finalmente, en el predio de Rivera se evidenció una diferencia entre tratamientos; allí, los árboles del productor presentaron un mayor porcentaje de daño en peso fresco (3,76 %) con respecto a los árboles en los que se aplicó el esquema de manejo de carmenta propuesto por AGROSAVIA (3,38 %) (figura 24).

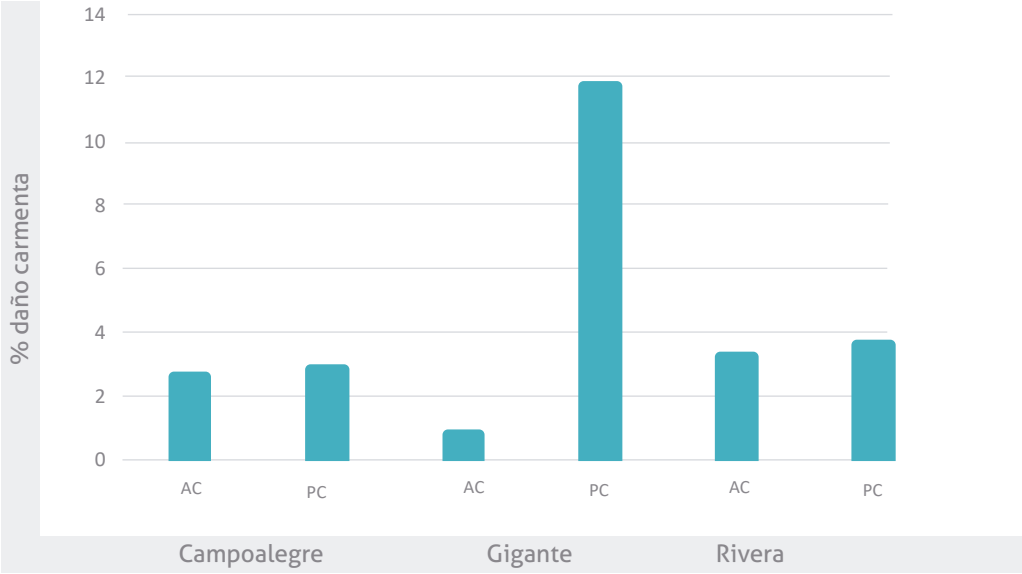


Figura 24. Porcentaje de daño por ***Carmenta foraseminis*** en peso fresco, predios de Campoalegre, Gigante y Rivera (Huila). De julio 2023 a julio 2024.
AC: AGROSAVIA.
PC: productor.
Fuente: Elaboración propia

Conclusión

Por una parte, el control de la monilia se basa en la identificación de síntomas iniciales o tempranos durante todas las etapas del desarrollo del fruto, en especial durante la época de mayor susceptibilidad (2-4 meses de edad), y en la eliminación de los frutos enfermos antes de su esporulación. Se encontró que la aplicación del MIC —que incluyó la aplicación de productos químicos como fosfito de K + ácido salicílico (2cc/L), tebuconazole + trifloxistrobina (1 cc/L), difeconazole + azoxystrobin (1 cc/L), sulfatos de Cu y Ca (2 g/L), materiales orgánicos, sulfatos y microorganismos (10 cc/L) a los 2, 2.5, 3, 3.5, 4 y 4.5 meses de desarrollo del fruto— unido con la remoción semanal de la fruta enferma dentro de la plantación permite una reducción entre 44,19 y 61,25 % de la fruta enferma en comparación con lo que hace el productor tradicional (MT-14).

Por otra parte, el monitoreo de daño por carmenta es fundamental para el manejo de este insecto en cacao. Por lo tanto, la recomendación más importante para el manejo de este insecto es el monitoreo constante tanto de síntomas de daño como de poblaciones, con el fin de detectar focos de presencia del insecto. Así mismo, se debe llevar a cabo la recolección, embolsado y solarización de estas mazorcas afectadas, así como el cubrimiento con plástico de los residuos de cosecha (cacotas). Se considera que con estas medidas se pueden mantener bajas poblaciones y daños asociados al insecto en condiciones normales. Si estas medidas son insuficientes, el agricultor puede acudir a medidas complementarias, como son la aplicación de hongos entomopatógenos sobre las mazorcas y la colocación de trampas artesanales cebadas con atrayente como proteína hidrolizada o melaza mezclada con mucílago de cacao.

Referencias

Aime, M. C., & Phillips-Mora, W. (2005). The causal agents of witches' broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycologia*, *97*(5), 1012-1022. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16596953/

Argüello Castellanos, O., & Mejía Flórez, L. A. (Comps.). (2000). Manejo integrado de monilia en cacao *Theobroma cacao* L. en Santander. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (Ed.), *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao* (pp. 7484). https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12526

Cabezas, O. E., Gil, J. L., Gómez, R., Dávila, C., Morón, S., & Ramírez, C. (2017, 13-17 de noviembre). *Estado fitosanitario en la producción de cacao (Theobroma cacao L.) en la región de Huánuco (Perú): incremento del impacto de Carmenta foraseminis Eichlin*. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Perú. https://www.icco.org/wp-content/uploads/T3.68.-ESTADO-FITOSANITARIO-EN-LA-PRODUCCION-DE-CACAO-Theobroma-cacao-L.-EN-LA-REGION-DE-HUANUCO-PERU-INCREMENTO-DEL-IMPACTO.pdf

Campuzano, L. (1976). Fluctuación de poblaciones de esporas de *Moniliophthora roreri* Cif. & Par. y viabilidad durante un ciclo completo de infección. *Noticias Fitopatológicas*, *5*, 107.

Carabalí-Muñoz, A., Senejoa Lizcano, C. E., & Montes Prado, M. (2018). *Reconocimiento, daño y opciones de manejo de Carmenta foraseminis Eichlin (Lepidóptera: Sesiidae), perforador del fruto y semilla de cacao Theobroma cacao L. (Malvaceae)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7402599

Cilas, C., & Bastide, P. (2020). Challenges to cocoa production in the face of climate change and the spread of pests and diseases. *Agronomy*, *10*(9), 1232. https://doi.org/10.3390/agronomy10091232

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2023). *Esquema para el manejo integrado de la moniliasis en cacao*. https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/cacao/recomendaciones-protocolos-y-metodolog%C3%ADas/558-esquema-para-el-manejo-integrado-de-la-moniliasis-en-cacao

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2024). *Opciones tecnológicas para el manejo del perforador de la semilla de cacao Carmenta foraseminis.* https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/cacao/recomendaciones-protocolos-y-metodolog%C3%ADas/345-opciones-tecnol%C3%B3gicas-para-el-manejo-del-perforador-de-la-semilla-de-cacao

Cubillos, G. (2013). *Manual del perforador de la mazorca del cacao Carmenta foraseminis (Busck) Eichlin.* Compañía Nacional de Chocolates. https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/manual-del-perforador-de-la-mazorca-del-cacao.pdf

Delgado Puchi, 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. *Entomotropica*, *20*(2), 97-111. https://www.bioline.org.br/abstract?em05015

Eichlin, T. D. (1995). A new panamanian clearwiing month (Sesiidae: Sesiinae). *Journal of the Lepidopterists' Society*, *49*(1), 39-42. https://images.peabody.yale.edu/lepsoc/jls/1990s/1995/1995-49(1)39-Eichlin.pdf

Fachin, G., Pinedo, K., Vásquez, J., Flores, E., Doria, M., Alvarado, J., Koch, C., & Bellido, J. J. (2019). Factores ambientales y su relación con la incidencia de *Carmenta foraseminis* (Busck) eichlin (Lepidóptera: Sesiidae) en frutos de *Theobroma cacao* "cacao" en San Martín, Perú. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural, 23*(2). Universidad de Caldas. https://doi.org/10.17151/bccm.2019.23.2.6

Griffith, G. W., Nicholson, J., Nenninger, A., Birch, R. N., & Hedger, J. N. (2010). Witches' brooms and frosty pods: Two major pathogens of cacao. *New Zealand Journal of Botany*, *41*(3), 423-435. https://doi.org/10.1080/0028825X.2003.9512860

Jorge-Panduro, A. B. (2018). *Efecto de entomopatógenos y un insecticida químico en el control del "Mazorquero del cacao" (Carmenta foraseminis Busck (Eichlin)) en el caserío de Pumahuasi* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de La Selva]. https://es.scribd.com/document/474579001/cacao

López-Hernández, J. G., López-Hernández, L. E., Avendaño-Arrazate, C. H., Aguirre-Medina, J. F., Espinosa-Zagaroza, S., Moreno-Martínez, J. L., Mendoza-López, A. & Suárez-Venero, G. M. (2018). Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agro Productividad*, *11*(9), 129-135. https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1225

Merchán Vargas, V. M. (1981). *Avances en la investigación de la moniliasis del cacao en Colombia*. Federación Nacional de Cacaoteros. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21917

Mina Quispe, M. (2021). *Determinación de la especie causante del mazorquero de cacao (Carmenta spp.) en Echarati-La Convención* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional se San Antonio Abad del Cusco]. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5849

Moncayo, E. (1957). *Plagas del cacao en Antioquia y Santander* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].

Phillips-Mora, W. (2003). *Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao fungus Moniliophthora roreri as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiologycal evidence* [Tesis doctoral, University of Reading]. https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Origin,_biogeography,_genetic_diversity_and_taxonomic_affinities_of_the_cacao.pdf

Rodríguez Polanco, E. (2006). Técnicas de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Revista Innovación & Cambio Tecnológico*, *4*(4), 68-78. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/750

Rodríguez Polanco, E., & Medina, J. (2005). Caracterización de clones de cacao por respuesta a monilia *Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans et al., en Santander. *Fitopatología Colombiana*, *28*(2), 61-64.

Rodríguez Polanco, E., Mujica Jaimes, J., & Cubillos, G. (2005). *Manejo integrado de la moniliasis en el cultivo de cacao.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1203

Rodríguez Polanco, E., Navarro Niño, D. A., Bermeo Fúquene, P. A., & Parra Alferes, E. B. (2024). *Ofertas tecnológicas para el manejo de la monilia y la pudrición parda en cacao (Theobroma cacao L.)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7406825

Sánchez L., J. A. (1983). *Reacción de cultivares de cacao a la inoculación artificial con Monilia roreri* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10520

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluación Agropecuaria Municipal-EVA 2023*. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2023.aspx

Capítulo 3

Genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) con atributos de producción y calidad sobresalientes en el Huila

Edinson Bayardo Parra Alferes y Eleonora Rodríguez Polanco

Introducción

El árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario de la cuenca del río Amazonas, conformada por países como Brasil, Ecuador, Perú y Colombia. La mayor biodiversidad se concentra en el alto Amazonas y abarca hasta el río Pará donde se ubica la probable área de domesticación del cacao tipo amelonado (Motamayor et al., 2008). De acuerdo con las características morfogenéticas, el cacao está clasificado en dos grupos: el "criollo" y el "forastero", cuyas mayores diversidades se encuentran en América Central y en la cuenca del Amazonas (Motamayor et al., 2008; Zhang, D., & Motilal, L. A., 2016); y hay un tercer grupo denominado "trinitario", el cual surge del cruce de los dos primeros. En Colombia predominan los grupos criollo y trinitario, los cuales producen granos de alta calidad sensorial en cuanto a aroma y sabor (Jaimes et al., 2022).



Por ser considerado como uno de los países centro de origen, Colombia dispone de una amplia diversidad genética de cacao (Osorio-Guarín et al., 2020). Esta diversidad se refleja en diferentes colecciones de germoplasma ubicadas en el país; unos de los más grandes son los bancos de germoplasma de AGROSAVIA: estos bancos están ubicados en los Centros de Investigación Palmira y La Suiza, con 514 y 463 accesiones, respectivamente (Rodríguez-Medina et al., 2023). Esta riqueza genética ha sido confirmada en diferentes caracterizaciones morfoagronómicas y moleculares que se han realizado a partir de las colecciones de germoplasma de cacao (Osorio-Guarín et al., 2020; Ruiz Erazo, 2014; Sánchez et al., 2007).

La selección masiva de árboles híbridos de cacao en plantaciones locales se ha aplicado en varios países productores, como Colombia, Brasil, Ecuador, Trinidad, Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún (Ahnert y Eskes, 2018). En Colombia, la recomendación para el establecimiento de cultivos comerciales era el uso de materiales híbridos; es decir, material proveniente de semilla (Ocampo et al., 1987). Ya en la década de 1990, Corpoica (ahora AGROSAVIA), la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) y empresas privadas locales iniciaron una nueva estrategia de mejoramiento basada en la selección masiva de árboles promisorios en plantaciones de cacao; este fue el primer esfuerzo de mejoramiento genético de cacao reportado, el cual consistió en la evaluación de árboles de cacao por criterios como número de mazorcas cosechadas por árbol y el peso de granos frescos por árbol. Sin embargo, para los mejoradores, estos criterios de selección eran insuficientes para la selección de árboles promisorios; entonces se incluyeron otros criterios, como autoincompatibilidad, número de flores por cojín floral, rendimiento de cacao seco por año y porcentaje de mazorcas sanas versus mazorcas dañadas por patógenos (Rodríguez-Medina et al., 2023). Como resultado de este trabajo, se identificaron y seleccionaron árboles promisorios de alto rendimiento y resistentes a enfermedades, los cuales fueron entregados a los agricultores como nuevo material de siembra (Perea et al., 2013; Palencia et al., 2008).

La selección de materiales promisorios es también una manera eficaz de conservar la variación genética de cacao que permitirá seguir trabajos o procesos de mejoramiento genético. Sin embargo, para que estos recursos fitogenéticos sean aprovechados, es indispensable que estén identificados y caracterizados de manera correcta, ya que existe una considerable brecha entre el número de materiales conservados y de los que se tienen datos de caracterización (Ruiz Erazo, 2014).

El uso de genotipos mejorados de cacao y de prácticas agronómicas adecuadas en arreglos agroforestales apropiados para las condiciones agroecológicas locales permitirá incrementar los rendimientos y disminuir las pérdidas ocasionadas por factores de estrés biótico y abiótico; esto repercutirá en la calidad de vida de los productores y otros integrantes de la cadena cacao-chocolate.

Metodología

Desde el año 2020, el departamento del Huila ha presentado un incremento en el área sembrada y en la productividad (toneladas de grano cosechado) de cacao (Agronet, 2024). Para 2023, al contrario que la mayoría de los departamentos a nivel nacional, el departamento del Huila elevó su producción a 5.137 toneladas, por lo que recuperó el cuarto lugar como departamento con mayor producción del país (Fedecacao, 2024). Para 2022, Gigante y Campoalegre se ubicaron en el top 5 de los municipios con mayor participación en productividad en el departamento del Huila (Agronet, 2024); el municipio de Hobo, a pesar de no estar en los primeros lugares en cuanto a producción, sí lo está en los concursos departamentales en calidad de chocolate (Gobernación del Huila, 2022).

En estos tres municipios: Gigante, Campoalegre y Hobo fueron identificados y seleccionados 100 árboles de cacao tipo híbrido con el fin de caracterizarlos morfoagronómicamente y determinar, de entre el total de genotipos seleccionados, los materiales con mayor potencial de producción. Para la selección de los genotipos, los productores de cacao de los predios seleccionados suministraron la información respecto a los atributos de interés, los cuales fueron: tamaño de grano, cantidad de mazorcas cosechadas, comportamiento sanitario, tamaño de grano y grosor de la cáscara, entre otros.

En cuanto a los descriptores para la caracterización, se usó el protocolo propuesto por la Compañía Nacional de Chocolates (2018); este protocolo plantea 55 descriptores, los cuales se agrupan por órgano así: planta (1), hoja (11), flor (12), fruto (25) y semilla (6).

En los descriptores de hojas, destacan algunos como: longitud y ancho de lámina foliar, forma del peciolo, su base y la hoja. En los descriptores de flores destacan: longitud de estaminodio, ovario y estilo; número de óvulos dentro del ovario, y presencia de antocianinas en sépalos, estaminodios, estambre y limbo del pétalo. En los descriptores del fruto destacan: forma del fruto y su ápice; tamaño y peso de la mazorca, rugosidad del fruto, grosor de los surcos y el lomo de la mazorca, y número y peso de semillas dentro de cada mazorca. Finalmente, en los descriptores de semilla destacan: longitud, diámetro y grosor de las semillas, forma de las semillas y el color predominante de los cotiledones.

Resultados

Una vez finalizó el proceso de caracterización de los materiales híbridos seleccionados, se procedió a identificar 20 materiales, de entre los 100 seleccionados que presentaron los valores más altos en atributos relacionados con la producción. Después de analizados los valores, se calcularon el índice de grano y el índice de mazorca; el primero es el peso de un grano seco, y el segundo índice corresponde al número de mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de grano seco. Estos dos índices son muy importantes para identificar el potencial de rendimiento de un genotipo de cacao.

De acuerdo con el sitio de origen de cada uno de los genotipos, se designó un código o nombre para el material seleccionado:

- **HLB**: Huila La Batalla. Materiales que fueron identificados en el predio La Batalla, ubicado en la vereda Pueblo Nuevo del municipio de Gigante; propietario: Camilo Manrique.
- **HCB**: Huila Casa Blanca. Materiales que fueron identificados en el predio Casablanca, ubicado en la vereda El Tendido del municipio de Gigante; propietario: Reinaldo Guzmán.
- **HET**: Huila El Triunfo. Materiales que fueron identificados en el predio El Triunfo, ubicado en la vereda El Palmar del municipio de Campoalegre; propietario: Orlando Fierro.
- **HCO**: Huila Cavocao Ocholate. Materiales que fueron identificados en el predio Santa María, ubicado en la vereda Las Vueltas del municipio de Hobo; propietario: Luis Fernando Muñoz.

A continuación, se presentan los resultados más relevantes de la caracterización morfoagronómica y la descripción de cada genotipo.

HCB-2

Huila Casa Blanca 2, genotipo con muy buen índice de mazorca de 14 y buen peso por cada mazorca o fruta cosechada. En promedio, las hojas miden 32,27 cm de largo y 10,09 cm de ancho; con forma elíptica, aguda en la base y acuminado largo del ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,57 mm y 46 óvulos en cada ovario, en promedio; libre de antocianinas en pétalo y ovario. La mazorca tiene, en promedio, 43 semillas, es oblonga, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intermedio cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con ausencia de constricción basal y fuerte rugosidad. La semilla es oblonga y redonda de color morado; índice de grano de 1,65 (figura 25).

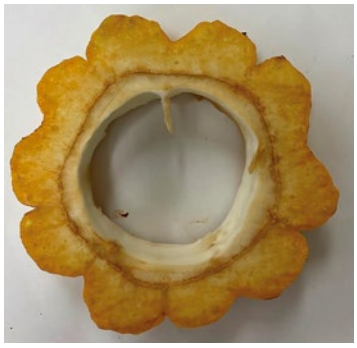
	Hoja	
	Longitud hoja	**32,27 cm**
	Ancho hoja	**10,09 cm**
	**Flor**	
	Color de la flor	**Crema**
	Longitud estaminodio	**7,57 mm**
	Nro. óvulos/ovario	**46**
 	**Fruto**	
	Longitud fruto	**21,25 cm**
	Ancho fruto	**9,79 cm**
	Grosor lomo	**2,3 cm**
	Nro. semillas/fruto	**43**
	**Semilla**	
	Longitud de semilla	**22,91 mm**
	Color cotiledón	**Morado**
	Índices de producción	
	Índice de grano	**1,65**
	Índice de mazorca	**14**

Figura 25. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-2.

Fuente: Elaboración propia

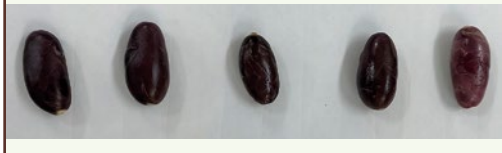
HCB-3

Huila Casa Blanca 3, genotipo con índice de mazorca de 17 y mazorca con buena longitud (22,75 cm). Las hojas miden en promedio 38,56 cm de largo y 11,86 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,71 mm, y 48 óvulos en cada ovario, en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene alrededor de 38 semillas; es oblonga de color verde intenso en estado inmaduro y amarillo intenso cuando ha llegado a la madurez; de forma aguda en el ápice, con ligera constricción basal e intermedia rugosidad. La semilla es oblonga y redonda, de color morado; índice de grano de 1,6 (figura 26).









Hoja	
Longitud hoja	**38,56 cm**
Ancho hoja	**11,86 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,71 mm**
Nro. óvulos/ovario	**48**
Fruto	
Longitud fruto	**22,75 cm**
Ancho fruto	**8,48 cm**
Grosor lomo	**1,63 cm**
Nro. semillas/fruto	**38**
Semilla	
Longitud de semilla	**22,87 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,6**
Índice de mazorca	**17**

Figura 26. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-3.

Fuente: Elaboración propia

HCB-11

Huila Casa Blanca 11, genotipo con índice de mazorca de 15 y semilla con buena longitud (2,7 cm). Las hojas miden en promedio 33,06 cm de largo y 9,01 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en su base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,39 mm y 50 óvulos en promedio en cada ovario; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene en promedio 38 semillas; es oblonga, de color violeta intermedio en estado inmaduro y amarillo naranja cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con ligera constricción basal y ligera rugosidad. La semilla es elíptica e intermedia en la forma transversal, de color morado; índice de grano de 1,7 (figura 27).









Hoja	
Longitud hoja	**33,06 cm**
Ancho hoja	**9,01 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,39 mm**
Nro. óvulos/ovario	**50**
Fruto	
Longitud fruto	**19,27 cm**
Ancho fruto	**8,39 cm**
Grosor lomo	**1,51 cm**
Nro. semillas/fruto	**38**
Semilla	
Longitud de semilla	**27,11 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,7**
Índice de mazorca	**15**

Figura 27. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-11.

Fuente: Elaboración propia

HCB-15

Huila Casa Blanca 15, genotipo con índice de mazorca de 15 y semilla con buena longitud (2,4 cm). Las hojas miden en promedio 34,21 cm de largo y 10,99 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,65 mm y 48 óvulos en cada ovario, en promedio; con presencia leve de antocianinas en el pétalo y ausencia de antocianinas en el ovario. La mazorca tiene en promedio 42 semillas; es oblonga, de color violeta intenso en estado inmaduro y amarillo naranja cuando llega a la madurez; de forma aguda en el ápice, con ligera constricción basal e intermedia rugosidad. La semilla es elíptica y aplanada, de color violeta; índice de grano es de 1,6 (figura 28).









Hoja	
Longitud hoja	**34,21 cm**
Ancho hoja	**10,99 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,65 mm**
Nro. óvulos/ovario	**48**
Fruto	
Longitud fruto	**24,56 cm**
Ancho fruto	**9,49 cm**
Grosor lomo	**1,56 cm**
Nro. semillas/fruto	**42**
Semilla	
Longitud de semilla	**24,81 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,6**
Índice de mazorca	**15**

Figura 28. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-15.

Fuente: Elaboración propia

HCB-17

Huila Casa Blanca 17, genotipo con índice de mazorca de 15 y con más de 200 gramos de masa húmeda por cada fruto cosechado. Las hojas miden en promedio 31,59 cm de largo y 9,63 cm de ancho; con forma ovalada aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,39 mm y 50 óvulos en cada ovario, en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y en ovario. La mazorca tiene 44 semillas en promedio; es elíptica, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intenso cuando llega a la madurez; de forma obtusa en el ápice, ausencia de constricción basal y ligera rugosidad. La semilla es elíptica y aplanada, de color violeta; el índice de grano es de 1,5 (figura 29).









Hoja	
Longitud hoja	**31,59 cm**
Ancho hoja	**9,63 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,39 mm**
Nro. óvulos/ovario	**50**
Fruto	
Longitud fruto	**17,33 cm**
Ancho fruto	**10,67 cm**
Grosor lomo	**1,63 cm**
Nro. semillas/fruto	**44**
Semilla	
Longitud de semilla	**22,20 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,5**
Índice de mazorca	**15**

Figura 29. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-17.

Fuente: Elaboración propia

HCB-18

Huila Casa Blanca 18, genotipo con índice de mazorca de 17. Las hojas miden en promedio 32,79 cm de largo y 8,84 cm de ancho; tienen forma ovalada aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,65 mm y 48 óvulos en cada ovario, en promedio; con presencia ligera de antocianinas en el pétalo y ausencia de antocianinas en el ovario. La mazorca tiene 44 semillas en promedio; es oblonga, de color violeta intenso en estado inmaduro y rojo intermedio cuando llega a la madurez; de forma atenuada en su ápice, ligera constricción basal e intermedia rugosidad. La semilla es elíptica e intermedia en su corte transversal, de color morado; el índice de grano es de 1,3 (figura 30).









Hoja	
Longitud hoja	**32,79 cm**
Ancho hoja	**8,84 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,65 mm**
Nro. óvulos/ovario	**48**
Fruto	
Longitud fruto	**20,74 cm**
Ancho fruto	**9,30 cm**
Grosor lomo	**1,6 cm**
Nro. semillas/fruto	**44**
Semilla	
Longitud de semilla	**24,46 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,3**
Índice de mazorca	**17**

Figura 30. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-18.

Fuente: Elaboración propia

HCB-19

Huila Casa Blanca 19, genotipo con índice de mazorca de 15 y buen índice de grano; de los genotipos evaluados, este es el de mayor longitud de mazorca: 27,37 cm. Las hojas miden en promedio 28,52 cm de largo y 9,28 cm de ancho; tienen forma ovalada aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 6,6 mm y 42 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 37 semillas en promedio, es ligeramente abovada, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intermedio cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, su constricción basal es intermedia e intermedia también su rugosidad. La semilla es oblonga y redonda, de color morado; el índice de grano es de 1,8 (figura 31).

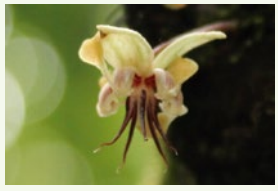
	Hoja	
	Longitud hoja	**28,52 cm**
	Ancho hoja	**9,28 cm**
	**Flor**	
	Color de la flor	**Crema**
	Longitud estaminodio	**6,6 mm**
	Nro. óvulos/ovario	**42**
 	**Fruto**	
	Longitud fruto	**27,37 cm**
	Ancho fruto	**11,52 cm**
	Grosor lomo	**2,4 cm**
	Nro. semillas/fruto	**37**
	**Semilla**	
	Longitud de semilla	**31,09 mm**
	Color cotiledón	**Morado**
	Índices de producción	
	Índice de grano	**1,8**
	Índice de mazorca	**15**

Figura 31. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-19.

Fuente: Elaboración propia

HCB-23

Huila Casa Blanca 23, genotipo con índice de mazorca de 16 y mazorca con buena longitud: 23,13 cm. Las hojas miden en promedio 35,23 cm de largo y 11,46 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color rosado, con longitud de estaminodio de 7,67 mm y 48 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 44 semillas en promedio; es oblonga, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo ligero cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, ligera constricción basal y fuerte rugosidad. La semilla es elíptica e intermedia en su corte transversal, de color violeta; el índice de grano es de 1,5 (figura 32).









Hoja	
Longitud hoja	**35,23 cm**
Ancho hoja	**11,46 cm**
Flor	
Color de la flor	**Rosada**
Longitud estaminodio	**7,67 mm**
Nro. óvulos/ovario	**48**
Fruto	
Longitud fruto	**23,13 cm**
Ancho fruto	**9,67 cm**
Grosor lomo	**2,10 cm**
Nro. semillas/fruto	**44**
Semilla	
Longitud de semilla	**22,01 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,5**
Índice de mazorca	**16**

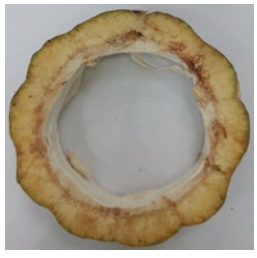
Figura 32. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCB-23.

Fuente: Elaboración propia

HLB-26

Huila La Batalla 26, genotipo con índice de mazorca de 18 y con un grosor de lomo de 1,4 cm, que es uno de los más bajos evaluados. Las hojas miden en promedio 34,04 cm de largo y 12,44 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 9,09 mm, y 42 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene en promedio 41 semillas, es oblonga, de color violeta intenso en estado inmaduro y amarillo naranja cuando llega a la madurez; de forma atenuada en su ápice, su constricción basal es intermedia e intermedia rugosidad. La semilla es irregular y redonda, de color morado; el índice de grano es de 1,4 (figura 33).









Hoja	
Longitud hoja	**34,04 cm**
Ancho hoja	**12,44 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**9,09 mm**
Nro. óvulos/ovario	**42**
Fruto	
Longitud fruto	**18,80 cm**
Ancho fruto	**8,77 cm**
Grosor lomo	**1,4 cm**
Nro. semillas/fruto	**41**
Semilla	
Longitud de semilla	**25,43 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,4**
Índice de mazorca	**18**

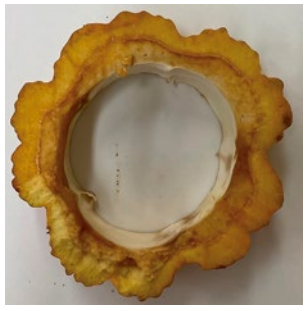
Figura 33. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HLB-26.

Fuente: Elaboración propia

HCO-30

Huila Cavocao Ocholate 30, genotipo con índice de mazorca de 14. Las hojas miden en promedio 32,77 cm de largo y 10,8 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,82 mm y 45 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 43 semillas en promedio, es oblonga, de color violeta intermedio en estado inmaduro y amarillo naranja cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad intermedia. La semilla es irregular y redonda, de color morado; índice de grano de 1,4 (figura 34).







Hoja	
Longitud hoja	**32,77 cm**
Ancho hoja	**10,8 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,82 mm**
Nro. óvulos/ovario	**45**
Fruto	
Longitud fruto	**20,93 cm**
Ancho fruto	**9,01 cm**
Grosor lomo	**1,79 cm**
Nro. semillas/fruto	**43**
Semilla	
Longitud de semilla	**24,25 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,6**
Índice de mazorca	**14**

Figura 34. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-30.

Fuente: Elaboración propia

HCO-34

Huila Cavocao Ocholate 34, genotipo con índice de mazorca de 14 y buen peso promedio por mazorca: 1.067 gramos. Las hojas miden en promedio 27,12 cm de largo y 8,53 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 6,69 mm y 47 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene en promedio 45 semillas, es oblonga, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intermedio cuando llega a la madurez; de forma atenuada en su ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad fuerte. La semilla es oblonga y redonda, de color morado; índice de grano de 1,6 (figura 35).









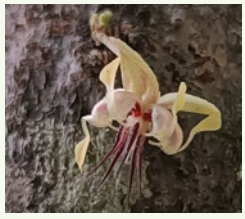
Hoja	
Longitud hoja	**27,12 cm**
Ancho hoja	**8,53 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**6,69 mm**
Nro. óvulos/ovario	**47**
Fruto	
Longitud fruto	**22,06 cm**
Ancho fruto	**9,98 cm**
Grosor lomo	**1,92 cm**
Nro. semillas/fruto	**45**
Semilla	
Longitud de semilla	**25,71 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,6**
Índice de mazorca	**14**

Figura 35. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-34.

Fuente: Elaboración propia

HLB-56

Huila La Batalla 56, genotipo con índice de mazorca de 15; las semillas son de color cremoso, lo que indica buena calidad sensorial. Las hojas miden en promedio 27,36 cm de largo y 9,52 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,28 mm y 55 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene en promedio 53 semillas, es oblonga, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo naranja cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad fuerte. La semilla es oblonga y redonda, de color blanco cremoso; su índice de grano es de 1,3 (figura 36).









Hoja	
Longitud hoja	**27,36 cm**
Ancho hoja	**9,52 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,28 mm**
Nro. óvulos/ovario	**55**
Fruto	
Longitud fruto	**21,37 cm**
Ancho fruto	**9,57 cm**
Grosor lomo	**1,98 cm**
Nro. semillas/fruto	**53**
Semilla	
Longitud de semilla	**22,98 mm**
Color cotiledón	**Blanco cremoso**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,3**
Índice de mazorca	**15**

Figura 36. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HLB-56.

Fuente: Elaboración propia

HCO-68

Huila Cavocao Ocholate 68, genotipo con índice de mazorca de 13 y con una alta cantidad de semillas por fruto cosechado: 54. Las hojas miden en promedio 30,95 cm de largo y 9,19 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,78 mm, y 58 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ligera presencia en el ovario. La mazorca tiene en promedio 54 semillas, es oblonga, de color verde rojizo en estado inmaduro y rojo naranja cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad ligera. Semilla ovada e intermedia, en corte transversal de color morado; índice de grano de 1,4 (figura 37).

	Hoja	
	Longitud hoja	**30,95 cm**
	Ancho hoja	**9,19 cm**
	**Flor**	
	Color de la flor	**Crema**
	Longitud estaminodio	**7,78 mm**
	Nro. óvulos/ovario	**58**
 	**Fruto**	
	Longitud fruto	**23 cm**
	Ancho fruto	**10,10 cm**
	Grosor lomo	**1,72 cm**
	Nro. semillas/fruto	**54**
	**Semilla**	
	Longitud de semilla	**26,49 mm**
	Color cotiledón	**Morado**
	Índices de producción	
	Índice de grano	**1,4**
	Índice de mazorca	**13**

Figura 37. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-68.

Fuente: Elaboración propia

HCO-71

Huila Cavocao Ocholate 71, genotipo con índice de mazorca de 17. Las hojas miden en promedio 41,27 cm de largo y 11,44 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en su base y acuminado largo en su ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,94 mm, y 47 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y presencia en el ovario. La mazorca tiene en promedio 41 semillas, es elíptica, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo ligero cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad ligera. La semilla es ovada e intermedia, en corte transversal de color morado; índice de grano de 1,4 (figura 38).









Hoja	
Longitud hoja	**41,37 cm**
Ancho hoja	**11,44 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,94 mm**
Nro. óvulos/ovario	**47**
Fruto	
Longitud fruto	**17,11 cm**
Ancho fruto	**9,28 cm**
Grosor lomo	**1,5 cm**
Nro. semillas/fruto	**41**
Semilla	
Longitud de semilla	**24,88 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,4**
Índice de mazorca	**17**

Figura 38. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-71.

Fuente: Elaboración propia

HCO-74

Huila Cavocao Ocholate 74, genotipo con índice de mazorca de 18. Las hojas miden en promedio 34,53 cm de largo y 11,49 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,44 mm y 47 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y presencia en el ovario. La mazorca tiene 47 semillas en promedio, es oblonga, de color verde rojizo en estado inmaduro y amarillo naranja ligero cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con ausencia de constricción basal y rugosidad ligera. La semilla es ovada e intermedia, en corte transversal de color morado; el índice de grano es de 1,2 (figura 39).









Hoja	
Longitud hoja	**34,54 cm**
Ancho hoja	**11,49 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,44 mm**
Nro. óvulos/ovario	**49**
Fruto	
Longitud fruto	**18,09 cm**
Ancho fruto	**9,13 cm**
Grosor lomo	**1,2 cm**
Nro. semillas/fruto	**47**
Semilla	
Longitud de semilla	**26,82 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,2**
Índice de mazorca	**18**

Figura 39. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-74.

Fuente: Elaboración propia

HCO-76

Huila Cavocao Ocholate 76, genotipo con índice de mazorca de 11, que correspondió al mejor índice de mazorca entre los materiales evaluados. Las hojas miden en promedio 33,84 cm de largo y 9,99 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color blanco, con longitud de estaminodio de 4,87 mm y 48 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 53 semillas en promedio, es oblonga, de color verde rojizo en estado inmaduro y rojo naranja cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con constricción basal intermedia y rugosidad ligera. La semilla es oblonga y redonda, de color morado; el índice de grano es de 1,7 (figura 40).









Hoja	
Longitud hoja	**33,84 cm**
Ancho hoja	**9,99 cm**
Flor	
Color de la flor	**Blanca**
Longitud estaminodio	**4,87 mm**
Nro. óvulos/ovario	**48**
Fruto	
Longitud fruto	**22,95 cm**
Ancho fruto	**9,96 cm**
Grosor lomo	**1,9 cm**
Nro. semillas/fruto	**53**
Semilla	
Longitud de semilla	**26,55 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,7**
Índice de mazorca	**11**

Figura 40. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-76.

Fuente: Elaboración propia

HCO-81

Huila Cavocao Ocholate 81, genotipo con índice de mazorca de 17. Las hojas miden en promedio 31,24 cm de largo y 10,82 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 6,69 mm y 49 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 45 semillas en promedio, es elíptica, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intermedio cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con constricción basal ligera y rugosidad ligera. La semilla es oblonga y redonda, de color violeta; índice de grano de 1,3 (figura 41).









Hoja	
Longitud hoja	**31,24 cm**
Ancho hoja	**10,82 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**6,69 mm**
Nro. óvulos/ovario	**49**
Fruto	
Longitud fruto	**19,56 cm**
Ancho fruto	**9,69 cm**
Grosor lomo	**1,9 cm**
Nro. semillas/fruto	**45**
Semilla	
Longitud de semilla	**25,67 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,3**
Índice de mazorca	**17**

Figura 41. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-81.

Fuente: Elaboración propia

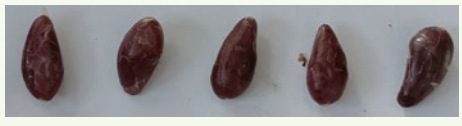
HCO-82

Huila Cavocao Ocholate 82, genotipo con índice de mazorca de 17; posee el menor grosor de lomo (1,1 cm) dentro de los materiales evaluados. Las hojas miden en promedio 33,44 cm de largo y 13,65 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 6,02 mm y 50 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y ovario. La mazorca tiene 47 semillas en promedio, es elíptica, de color violeta intermedio en estado inmaduro y rojo naranja cuando llega a la madurez; de forma dentada en el ápice, con constricción basal ligera y rugosidad ligera. La semilla es ovada y redonda, de color violeta; el índice de grano es de 1,3 (figura 42).









Hoja	
Longitud hoja	**33,44 cm**
Ancho hoja	**13,65 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**6,02 mm**
Nro. óvulos/ovario	**50**
Fruto	
Longitud fruto	**18,83 cm**
Ancho fruto	**8,66 cm**
Grosor lomo	**1,1 cm**
Nro. semillas/fruto	**47**
Semilla	
Longitud de semilla	**25,75 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,3**
Índice de mazorca	**16**

Figura 42. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HCO-82.

Fuente: Elaboración propia

HET-103

Huila El Triunfo 103, genotipo con índice de mazorca de 14; posee el mejor índice de grano dentro de los materiales evaluados: 2,3. Las hojas miden en promedio 28,38 cm de largo y 10,74 cm de ancho; con forma ovalada, redondeada en la base y acuminado corto en el ápice. Las flores son de color crema, con longitud de estaminodio de 7,1 mm y 54 óvulos en cada ovario en promedio; con presencia de antocianinas en el pétalo y ausencia de antocianinas en el ovario. La mazorca tiene 31 semillas en promedio, es abovada, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intermedio cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con constricción basal fuerte y rugosidad intermedia. La semilla es ovada y redonda, de color violeta; el índice de grano es de 2,3 (figura 43).









Hoja	
Longitud hoja	**28,38 cm**
Ancho hoja	**10,74 cm**
Flor	
Color de la flor	**Crema**
Longitud estaminodio	**7,1 mm**
Nro. óvulos/ovario	**54**
Fruto	
Longitud fruto	**20,41 cm**
Ancho fruto	**9,13 cm**
Grosor lomo	**1,24 cm**
Nro. semillas/fruto	**31**
Semilla	
Longitud de semilla	**31,61 mm**
Color cotiledón	**Violeta**
Índices de producción	
Índice de grano	**2,3**
Índice de mazorca	**14**

Figura 43. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HET-103.

Fuente: Elaboración propia

HET-104

Huila El Triunfo 104, genotipo con índice de mazorca de 15. Sus hojas miden en promedio 29,21 cm de largo y 11,63 cm de ancho; con forma ovalada, aguda en la base y acuminado largo en el ápice. Las flores son de color blanco, con longitud de estaminodio de 7,41 mm y 56 óvulos en cada ovario en promedio; con ausencia de antocianinas en el pétalo y presencia de antocianinas en el ovario. La mazorca tiene 42 semillas en promedio, es oblonga, de color verde ligero en estado inmaduro y amarillo intenso cuando llega a la madurez; de forma atenuada en el ápice, con constricción basal ligera y rugosidad intermedia. La semilla es ovada y aplanada, de color morado; índice de grano de 1,6 (figura 44).









Hoja	
Longitud hoja	**29,21 cm**
Ancho hoja	**11,63 cm**
Flor	
Color de la flor	**Blanca**
Longitud estaminodio	**7,41 mm**
Nro. óvulos/ovario	**56**
Fruto	
Longitud fruto	**22,66 cm**
Ancho fruto	**10,01 cm**
Grosor lomo	**1,8 cm**
Nro. semillas/fruto	**42**
Semilla	
Longitud de semilla	**25,07 mm**
Color cotiledón	**Morado**
Índices de producción	
Índice de grano	**1,6**
Índice de mazorca	**15**

Figura 44. Datos de la caracterización morfoagronómica del genotipo HET-104.

Fuente: Elaboración propia

Conclusión

El departamento del Huila posee una gran reserva de material híbrido trinitario y amazónico que data del establecimiento del cultivo en el municipio de Gigante a mediados del siglo XVIII. Este trabajo de investigación destaca los materiales HCO-76 y HCO-68, por tener índices de mazorca inferiores a 20, con valores de 11 y 13, respectivamente, lo que hace visible la existencia de clones promisorios de cacao de uso para el departamento con características sobresalientes en producción. Es necesario continuar la caracterización de estos materiales promisorios para establecer el índice de producción (número de frutos cosechados por árbol) en cada material y también para responder a las demandas actuales de calidad química y sensorial, tolerancia a factores de estrés abiótico (sequías, inundaciones, altas temperaturas, cadmio, etc.) y biótico (resistencia a limitantes sanitarias).

Referencias

Agronet. (2024). *Reporte: Área, Producción, Rendimiento y Participación Municipal en el Departamento por Cultivo*. Ministerio de Agricultura. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=4

Ahnert, D., & Eskes, A. B. (2018). Developments in cacao breeding programmes in Africa and the Americas. En P. Umaharan. (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (pp. 1-40). Burleigh Dodds Science Publishing, https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.06

Compañía Nacional de Chocolates. (2018). *Protocolo para la caracterización morfológica de árboles élite de cacao* (*Theobroma cacao L.*) https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2024/02/Cartilla_Protocolo_Cacao_dic20_VFF.pdf

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2024, 12 de marzo). Contrario al país, en Huila repuntó la producción de cacao. *La Nación.* https://www.lanacion.com.co/contrario-al-pais-en-huila-repunto-la-produccion-de-cacao/

Gobernación del Huila. (2022, 3 de octubre). 'La Montaña' ganador del Concurso Nacional de Chocolate de Oro. *Gobernación del Huila.* https://www.huila.gov.co/publicaciones/12988/la-montana-ganador-del-concurso-nacional-de-chocolate-de-oro/

Jaimes Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F., Coronado, R. A., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405590

Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008) Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, *3*(10), e3311. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311

Ocampo, R. F., Cadavid, V. S., Salazar, C. H., Sáenz, B., Agudelo, M. A., Grisales, A., & Caicedo, A. A. (1987). Aspectos genéticos relacionados con el mejoramiento y productividad del cacao. IV Reunión Técnica sobre el Cultivo de Cacao. *El Cacaotero Colombiano*, *34*, 1922.

Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J. A., Coronado-Silva, R. A., Báez, E., Jaimes, Y., & Yockteng, R. (2020). Genome-wide association study reveals novel candidate genes associated with productivity and disease resistance to *Moniliophthora* spp. in cacao (*Theobroma cacao* L.). *G3: Genes, Genomes, Genetics*, *10*(5), 1713-1725. https://doi.org/10.1534/g3.120.401153

Palencia, G. E., Coronado, R., Bastidas, S., & Mejía, L. A. (2008). *Identificación, selección y multiplicación de árboles élite o de alto rendimiento de cacao (Theobroma cacao L.) con la participación de los agricultores.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). http://hdl.handle.net/20.500.12324/13262

Perea, J. A., Martínez, N., Aranzazu, F., & Cadena, T. (2013) *Características de calidad del cacao de Colombia. Catálogo de 26 cultivares*. Federación Nacional de Cacaoteros. Universidad Industrial de Santander.

Rodríguez-Medina, C., Sounigo, O., Yockteng Benalcázar, R., Romero Guerrero, G. A., & Monsalve García, D. A. (2023). *Programa de mejoramiento genético de cacao en Colombia: una propuesta para aunar esfuerzos a nivel nacional en beneficio del productor de cacao colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406498

Ruiz Erazo, X. A. (2014). *Diversidad genética de cacao Theobroma cacao L. con marcadores moleculares microsatélites* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75268

Sánchez, I., Zárate, L. Á., Gallego, G., & Tohme, J. (2007). Análisis de la diversidad genética de accesiones de *Theobroma Cacao* L. del banco de conservación a cargo de Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *8*(2), 26-31. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num2_art:91

Zhang, D., & Motilal, L. (2016). Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. En B. A. Bailey, & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters* (pp. 3-31). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_1

Capítulo 4

Prácticas tecnológicas en campo para mejorar la calidad organoléptica del grano de cacao dirigido a mercados especializados

Jenifer Criollo Núñez, Nelson Gutiérrez Guzmán
y Andrés Felipe Bahamón Monje

Introducción

El sector cacaocultor le apuesta a una producción de cacao que atienda las exigencias de calidad de mercados diferenciados. Dentro del grupo de cacaos especiales se encuentran las categorías de cacao prémium de origen, cacao fino de aroma y cacao de producción sostenible, con precios superiores a los del cacao convencional (Ríos et al., 2017). Las etapas de cosecha y poscosecha son importantes para lograr el desarrollo de atributos y evitar defectos en el chocolate; durante fases como la fermentación, se generan precursores de aroma y sabor que forman los perfiles sensoriales del chocolate, y se expresan durante etapas posteriores, como la tostión.



Atributos básicos a cacao han sido relacionados con la genética del material (figura 45); por su parte, atributos complementarios —como frutal, floral, nuez, malta, entre otros— son reportados como producto del metabolismo de los microorganismos presentes en la fermentación (Purbaningrum et al., 2023; Tamimi et al., 2023; Ullrich et al., 2023). Esto conduce a puntualizar dos factores que pueden afectar la calidad del cacao y el desarrollo de atributos: el material genético y los microorganismos de la fermentación.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se estudió el efecto de prácticas innovadoras durante las fases de fermentación que mejoraron el desarrollo de las etapas y el perfil sensorial del chocolate; esto generó alternativas que impactan de manera positiva la calidad del cacao producido en los municipios productores de Algeciras, Rivera, Campoalegre y Gigante, en el Huila.



Figura 45. Atributos del chocolate.

Fuente: Elaboración propia

Indicadores de asociatividad en el beneficio

La diversidad genética en pequeñas extensiones productivas en Colombia puede afectar los procesos de fermentación; las características físicas y químicas del cacao varían entre materiales, y es esencial que los agricultores que participan en la cadena de producción consideren las diversas características del material genético de sus cultivos. Esto se debe a que, al llevar a cabo el proceso de fermentación, resulta crucial que los diferentes materiales genéticos compartan similitudes en sus características para garantizar una fermentación adecuada (López Hernández et al., 2021; López Hernández & Criollo Núñez, 2022).

Se analizaron las características fisicoquímicas de siete clones universales (CCN51, TSH565, EET8, ICS1, ICS39, ICS60, ICS95); tres regionales (FLE3, FEAR5, FSV41) y cuatro pertenecientes a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA): TCS01, TCS06, TCS13 y TCS19; se realizó un análisis de componentes principales y se formaron cuatro grupos homogéneos (figura 46). El primer grupo—conformado por los materiales EET8, FSV41, ICS39 y TCS01— se correlacionó por las variables: índice de grano, % de grasa, acidez y °Brix de la pulpa. El segundo grupo lo conformaron los materiales ICS01 y CCN51, asociados por el pH y la fibra del grano. El grupo tres asoció los materiales FLE3, ICS95, FEAR5, ICS60 y TSH565 correlacionando los contenidos de polifenoles y la relación teobromina-cafeína. Y el cuarto grupo correlacionó los materiales TCS06, TCS13 y TCS19 con base en las características químicas, el contenido de proteína del grano y el pH de la pulpa (figura 46).

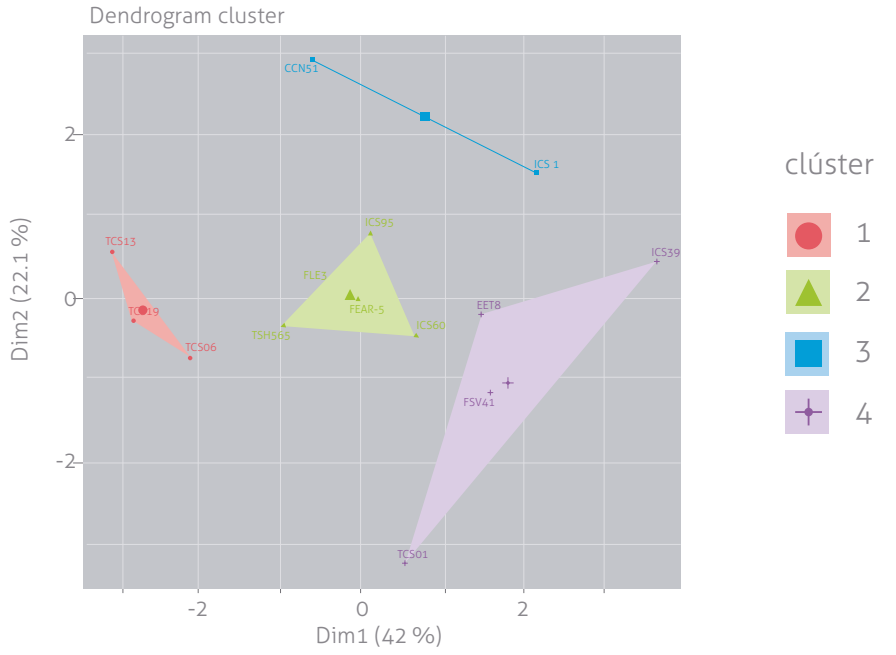


Figura 46.
Dendograma de grupos por correlación de características fisicoquímicas.

Fuente: Elaboración propia

El color de la semilla fue otra de las variables analizadas; esta variable generó tres grupos (figura 47).



Figura 47. Asociatividad basada en el color del cotiledón.

Fuente: Elaboración propia

Se evaluaron ocho grupos (tabla 2): los grupos del 1 al 4 fueron generados por correlaciones bioquímicas entre materiales; los grupos 5, 6 y 7 correlacionaron las características de color de la semilla, y se tomó como testigo el grupo 8, en el que se fermentaron la totalidad de los clones evaluados para establecer los índices de asociatividad en el beneficio.

Tabla 2. Tratamientos evaluados para el establecimiento de índices de asociatividad

CLON	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7	GRUPO 8
CCN51		X			X			X
TSH565			X		X			X
EET8	X					X		X
ICS 1		X			X			X
ICS39	X					X		X
ICS60			X		X			X
ICS95			X		X			X
FLE3			X		X			X
FEAR-5			X		X			X
FSV41	X					X		X
TCS01	X						X	X
TCS06				X			X	X
TCS13				X	X			X
TCS19				X		X		X

Fuente: Elaboración propia

Durante la fase de fermentación, el monitoreo se hizo mediante pruebas espectrofotométricas, como el índice de fermentación que determina la conversión de compuestos polifenólicos (antocianinas a antocianidinas), que posteriormente se polimerizan con catequinas simples para formar taninos complejos medidos en el espectrofotómetro empleando longitudes de onda (460 nm y 530 nm) que al alcanzar valores entre 1 y 1,5 indican granos bien fermentados (Romero-Cortes et al., 2013). Los grupos 3 y 5 registraron los índices de fermentación más altos a partir del quinto día, con valores superiores a 1 después del sexto día de fermentación (figura 48).

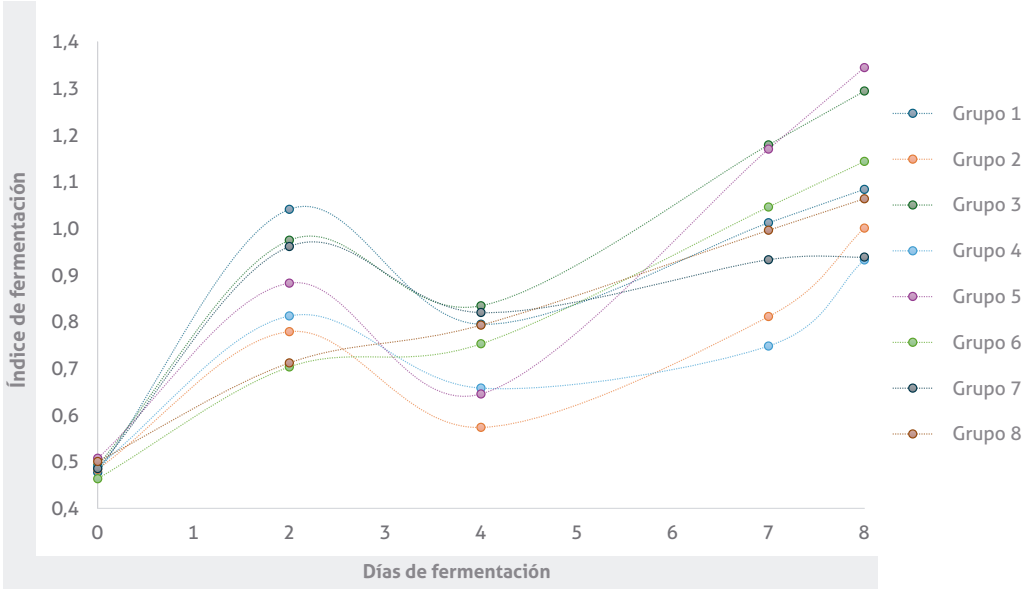


Figura 48. Índice de fermentación de los tratamientos en estudio.
Fuente: Elaboración propia

Las características bioquímicas y sensoriales de la pasta de cacao al final de las fermentaciones de los grupos evaluados fueron correlacionadas en cuatro cuartiles de acuerdo con el análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) y utilizando el paquete estadístico XLSTAT V.2024.3.0.1423 de Lumivero (Denver, CO, EUA). Se encontró alta similitud entre la variable fisicoquímica "índice de fermentación" y los grupos 3 y 5, donde fueron detectados en mayor intensidad atributos como cacao, frutas frescas, frutas marrones, especias y una mayor calidad global del licor (figura 49). Los grupos 1, 7 y 6 se correlacionaron con una mayor percepción de acidez durante la evaluación sensorial de los licores. El grupo 8, control del experimento, registró correlación con los grupos 2 y 4, en los que fueron detectadas en mayor intensidad sensaciones astringentes e intensidad de amargo en la pasta de cacao, que se relacionan con deficiente fermentación (Apriyanto & Novitasari, 2021).

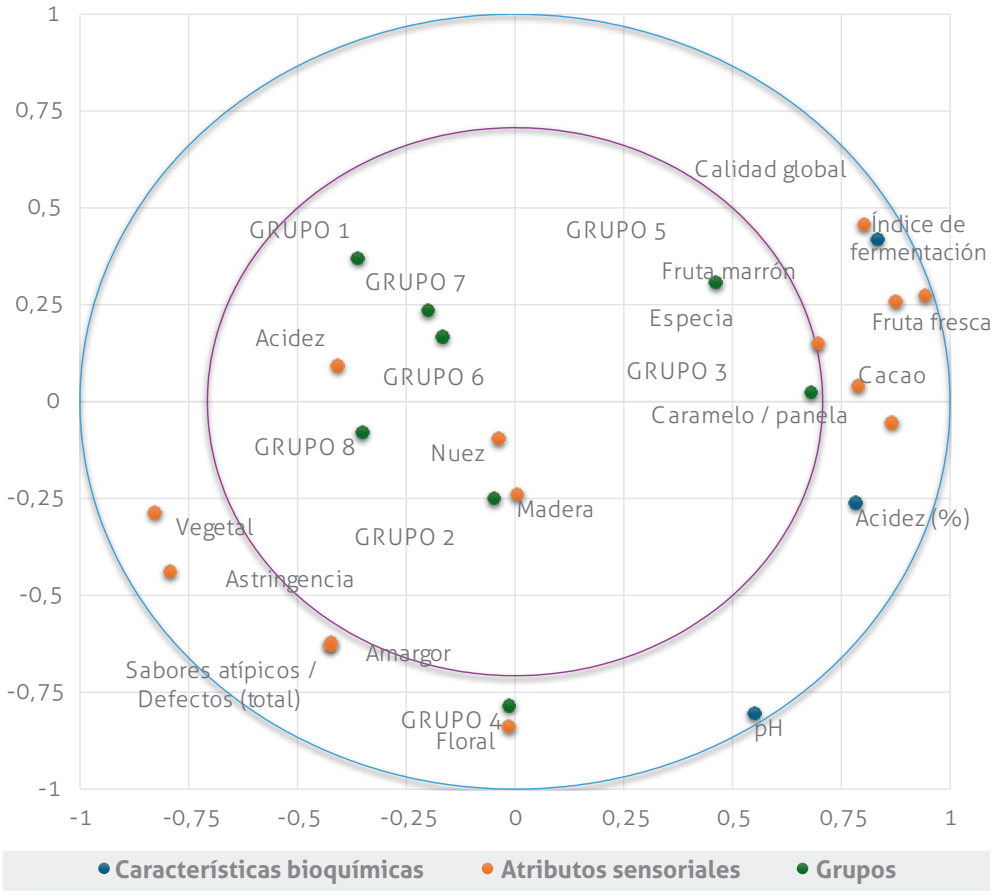


Figura 49. Mapa de correlaciones de variables fisicoquímicas y sensoriales de fermentaciones para establecer índices de asociatividad en el beneficio.

Fuente: Elaboración propia

El color, los contenidos de polifenoles y la relación teobromina-cafeína de la semilla son las variables promisorias para establecer asociatividad durante el beneficio, y lograr dinámicas durante la fermentación que facilitan la expresión sensorial y calidad global del licor. La mezcla de materiales con demandas de fermentación contrastantes puede generar la presencian de sabores atípicos, astringencia y amargo relacionados con falta de fermentación y defectos de sobrefermentación en el licor.

Práctica tecnológica de inoculación natural

- Selección del tipo de inóculo

La fermentación genera cambios fisicoquímicos a partir de las actividades microbianas donde interactúan tres consorcios prevalentes: levadura, bacterias acidolácticas y bacterias acidoacéticas, que contribuyen al desarrollo de sabor y aroma mediante el metabolismo y la producción de compuestos que transforman el grano, lo cual mejora los perfiles de sabor y aroma (Ghisolfi et al., 2023). Algunos estudios recomiendan el uso de cultivos iniciadores para reducir el tiempo del proceso de fermentación y homogenizarlo, para demostrar la efectividad de la inoculación microbiológica como promotora de la

dinámica bioquímica de la fermentación (Gutiérrez-Ríos et al., 2022). Teniendo en cuenta la importancia y dinámica de las poblaciones de microorganismos en la calidad de los granos de cacao y la presencia específica por zona, se evaluó la práctica de adición de dos tipos de inóculos naturales para mejorar el proceso y multiplicar la microbiota; esto servirá para promover la fermentación y obtener granos de mejor calidad.

Se utilizó la pulpa prefermentada (inóculo líquido), y la mezcla de la pulpa y el grano prefermentados (inóculo semisólido) durante 48 horas (figura 50). Los tratamientos en estudio fueron: control (sin inoculación), inóculo líquido al 1 % (LPF 1 %), inóculo líquido al 2 % (LPF 2 %), inóculo líquido al 3 % (LPF 3 %), inóculo semisólido al 1 % (SPF 1 %), inóculo semisólido al 2 % (SPF 2 %), e inóculo semisólido al 3 % (SPF 3 %). Se siguieron los contenidos de glucosa, fructosa, ácido cítrico y sólidos solubles en el lixiviado a las 0, a las 48 y a las 96 horas. Cada 24 horas fueron tomadas las variables de pH, antocianinas totales y porcentaje de fermentación. Al finalizar la fermentación, se cuantificó el contenido total de polifenoles, teobromina, cafeína, perfil de compuestos volátiles y evaluación sensorial.

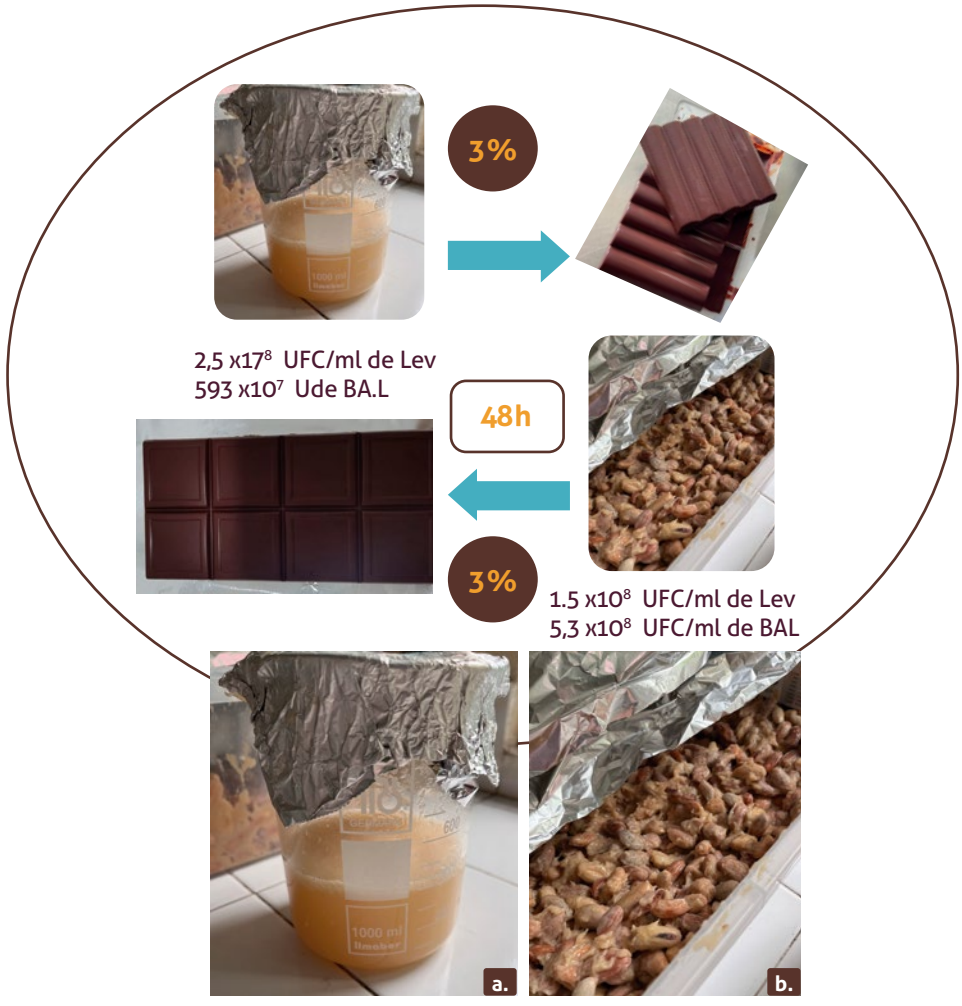


Figura 50. Inóculos naturales evaluados: a. Inóculo líquido (LPF); b. Inóculo semisólido (SPF).

Fotos: Jenifer Criollo Núñez

• *Desarrollo de la fermentación, con la adición de inóculos microbianos naturales*

El consumo de glucosa y sólidos solubles en el tratamiento control fue inferior al registrado en las fermentaciones adicionadas con inóculo durante las primeras 48 horas de la fase (Apriyanto & Novitasari, 2021; Subroto et al., 2023). Posteriormente, se mostró una tendencia ascendente en el contenido de sólidos solubles, glucosa y ácido cítrico que fue superior en los tratamientos inoculados (figura 51); esto es debido a una mayor actividad microbiana que metaboliza el sustrato de la pulpa y lo transforma en compuestos de interés, como azúcares sencillos y alcoholes, entre otros (Afoakwa, Quao, Budu, et al., 2011; Afoakwa, Quao, Takrama, et al., 2011).

La glucosa alcanzó valores de hasta 12,63 % (figura 51a), mientras que la fructuosa registró diferencias entre medias con un nivel de 95 % de confianza, y aumentó a diferencias altamente significativas en niveles del 99 % (figura 51b). Durante las primeras 48 horas de fermentación, el contenido de ácido cítrico no reflejó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (figura 51c); para las variables de respuesta contenido de glucosa y sólidos solubles, se formaron dos grupos homogéneos de acuerdo con la prueba de múltiples rangos LSD (del inglés *Least Significant Difference*, diferencia mínima significativa), que separó el tratamiento control de los tratamientos inoculados (figura 51d). Se encontró mayor consumo de glucosa y sólidos solubles cuando se realizaron inoculaciones líquidas y sólidas en 2 y 3 proporciones; ese comportamiento refleja mayor consumo del sustrato presente en la pulpa al aumentar la población microbiológica de consorcios como levaduras y bacterias durante la fermentación. Dicha población metabolizó la glucosa, fructosa, sacarosa y ácido cítrico de la pulpa transformándola, mediante reacciones exotérmicas, a etanol y ácidos orgánicos, como ácido acético y ácido láctico, que se difunden hacia los cotiledones (Apriyanto & Novitasari, 2021; Falconí et al., 2023; Kadow et al., 2015; Subroto et al., 2023; Van de Voorde et al., 2023).

El aumento de azúcares reductores como glucosa y fructosa a las 96 horas de la fermentación —los cuales reportaron hasta 12 % y 15,7 %, respectivamente— está asociado con la acción de la enzima invertasa producida por levaduras y bacterias, que catalizan la hidrolisis de sacarosa en glucosa y fructosa (Haruna et al., 2024; Purbaningrum et al., 2023; Sari et al., 2023). Estos consorcios también han sido asociados a la producción de ácido acético, cítrico y láctico, como producto de la fermentación de monosacáridos (Budi Tunjung Sari et al., 2023; Ghisolfi et al., 2023; Sari et al., 2023), que dan respuesta al comportamiento obtenido en los tratamientos en estudio, al ver aumentada la concentración de ácido cítrico a las 96 horas de la etapa (figura 51c).

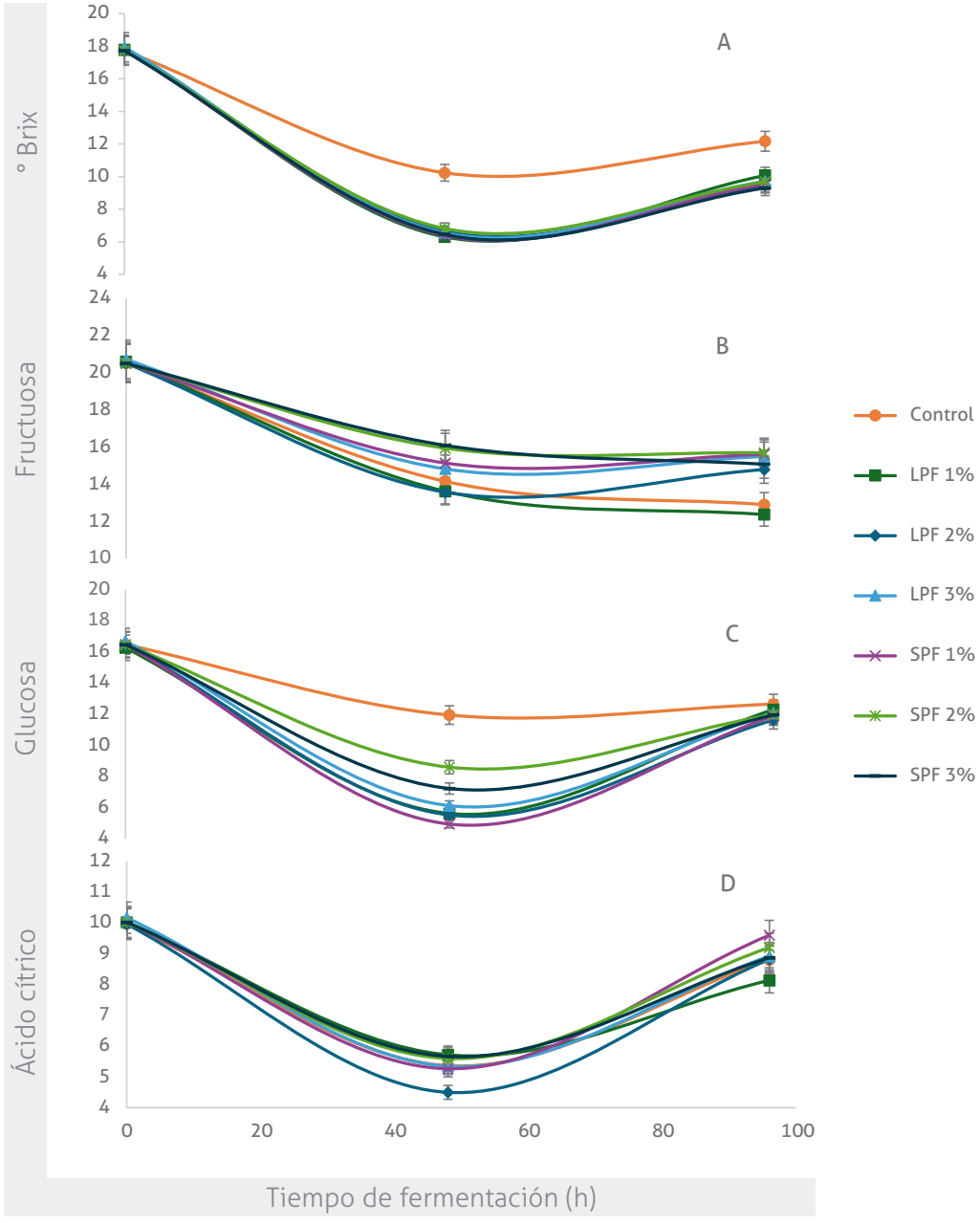


Figura 51. Dinámica bioquímica de la pulpa de cacao durante la microfermentación. a. Sólidos solubles (brix); b. Fructosa; c. Glucosa; d. Ácido cítrico.

Nota: Control (sin inoculación), inóculo líquido al 1% (lpf1%), inóculo líquido al 2% (lpf 2%), inóculo líquido al 3% (lpf3%), inóculo semisólido al 1% (spf1%), inóculo semisólido al 2% (spf2%), inóculo semisólido al 3% (spf3%).

Fuente: Elaboración propia

El pH externo registró un comportamiento ascendente que fue inversamente proporcional al pH registrado al interior del grano (figura 52); se encontraron diferencias significativas a las 96 y 144 horas de fermentación, a un nivel de confianza de 95%, que generaron dos grupos homogéneos de acuerdo con la prueba de múltiples rangos LSD, que agrupó los tratamientos inoculados y el tratamiento control. Se registró la acidificación del grano, posterior a la muerte del embrión como producto de la difusión de los ácidos generados durante la fermentación (Afoakwa et al., 2013).

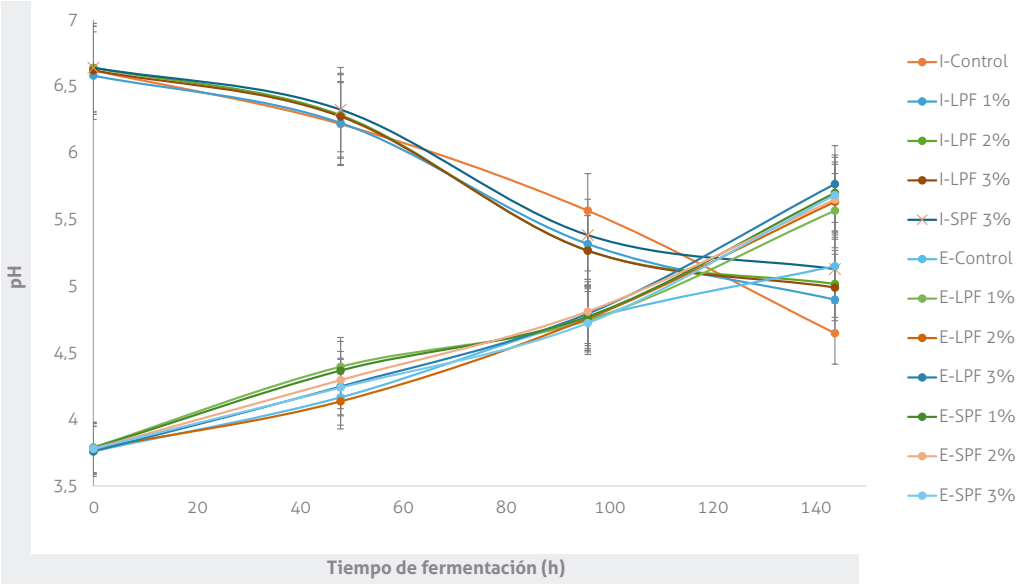


Figura 52. Dinámica externa e interna de acidez volátil de fermentaciones preinoculadas a escala laboratorio; control (sin inoculación), inóculo líquido al 1% (LPF 1%), inóculo líquido al 2% (LPF 2%), inóculo líquido al 3% (LPF 3%), inóculo semisólido al 1% (SPF 1%), inóculo semisólido al 2% (SPF 2%), inóculo semisólido al 3% (SPF 3%).

Fuente: Elaboración propia

- *Viabilidades microbiológicas durante la fermentación*

El análisis de viabilidad microbiológica del inóculo líquido fue de $2{,}5 \times 10^7$ UFC/ml (unidades formadoras de colonias por mililitro) de levaduras y de $5{,}9 \times 10^7$ UFC/ml de bacterias acidolácticas; el inóculo semisólido registró $1{,}5 \times 10^9$ UFC/ml de levaduras y $5{,}3 \times 10^8$ UFC/ml de bacterias acidolácticas. Esto indica una mayor población de microorganismos en el inóculo semisólido prefermentado. Los análisis estadísticos de las poblaciones de levaduras y bacterias lácticas durante la fermentación indicaron que a las 48 y 96 horas no se registraron diferencias estadísticas entre los tratamientos; sin embargo, a las 144 horas se encontraron diferencias tanto en la población de levaduras como en la de bacterias acidolácticas, donde el tratamiento adicionado con inóculo semisólido al 3 % (SPF 3 %) fue el que registró mayor población de levaduras (tabla 3).

La prueba de múltiples rangos LSD para la población de bacterias acidolácticas a las 144 horas generó dos grupos homogéneos, que asociaron los tratamientos que se inocularon con iniciador natural semisólidos en proporciones de 2 % y 3 %; estos registraron $8{,}9 \times 10^{11}$ y $10{,}5 \times 10^{11}$ UFC/ml, respectivamente, y fueron diferentes al control. Los tratamientos adicionados con inóculo líquido al 1 %, 2 % y 3 %, inóculo semisólido en proporción de 1 % y el control conformaron el segundo grupo. La menor población microbiológica de bacterias acidolácticas se registró en el control, con valores de $1{,}6 \times 10^6$ UFC/ml.

Tabla 3. Poblaciones de microorganismos durante la fermentación del grano de cacao a escala laboratorio utilizando diferentes proporciones de inóculos naturales

Tratamientos	48 horas		96 horas		144 horas	
	Levaduras UFC/ml	Bacterias acidolácticas UFC/ml	Levaduras UFC/ml	Bacterias acidolácticas UFC/ml	Levaduras UFC/ml	Bacterias acidolácticas UFC/ml
Control	$58x10^8$ a	$70,3x10^8$ a	$3,6x10^8$ a	$32,6x10^8$ a	$123x10^8$ b	$1.6x10^6$ b
LPF 1 %	$1x10^81$ a	$37,3x10^8$ a	$12x10^8$ a	$226,3x10^8$ a	$37x10^8$ b	$8,2x10^8$ b
LPF 2 %	$9x10^8$ a	$24x10^8$ a	$6x10^8$ a	$41x10^8$ a	$99,3x10^8$ b	$1,3x10^9$ b
LPF 3 %	$4x10^8$ a	$30,6x10^8$ a	$5,3x10^8$ a	$102,6x10^8$ a	$46,3x10^8$ b	$1,0x10^9$ b
SPF 1 %	$92,3x10^8$ a	$25,3x10^8$ a	$125,3x10^8$ a	$7x10^8$ a	$79,3x10^8$ b	$1,3x10^9$ b
SPF 2 %	$60x10^8$ a	$63x10^8$ a	$12,6x10^8$ a	$133,6x10^8$ a	$102,6x10^8$ b	$890x10^9$ a
SPF 3 %	$14x10^8$ a	$99x10^8$ a	$3,6x10^8$ a	$22,3x10^8$ a	$493,6x10^8$ a	$1050x10^9$a

Fuente: Elaboración propia

Las características bioquímicas y sensoriales de la pasta de cacao al final de las fermentaciones fueron correlacionadas en cuatro cuartiles de acuerdo con el análisis de regresión PLS. Se encontró alta similitud entre las variables fisicoquímicas, antocianinas totales y granos bien fermentados en los tratamientos con 3 % de inóculo natural líquido (LPF 3 %), semisólido (SPF 3 %) y 2 % de inóculo natural líquido (LPF 2 %), los cuales expresaron mejor calidad global a nivel sensorial, atributos principales a cacao y atributos complementarios a nuez, floral, fruta fresca y frutas marrón (figura 53), que coincide con mayores concentraciones de compuestos alcohólicos, como el 1-fenil-2-etanol asociado a descriptores de aroma floral, ésteres como el octanoato de etilo asociado a descriptores frutales y florales en el perfil de compuestos volátiles (tabla 3).

La pasta de cacao procedente de fermentaciones en las que se adicionó inóculo natural sólido en proporciones de 1 % (SPF 1 %) y 2 % (SPF 2 %) registró correlación con la variable fisicoquímica pH y el desarrollo de atributos complementarios, como caramelo, madera y especias.

El tratamiento control registró correlación entre las variables fisicoquímicas, teobromina, polifenoles y cafeína; mayor presencia de atributos principales, como amargo y ácido; y sensaciones como astringente, que se relacionan con deficiente fermentación (Apriyanto & Novitasari, 2021); se encontró presencia mayor de compuestos, como ácido acético, asociados a descriptores de aroma agrio y sensaciones astringentes; otros, como 1(1H-pirrol-2-il)1-etanona o 2-nonanol asociados a descriptores de amargo y verde. Se identificó así el efecto promotor de la fermentación con el uso de inóculos naturales sólidos y líquidos, y la expresión de atributos complementarios.

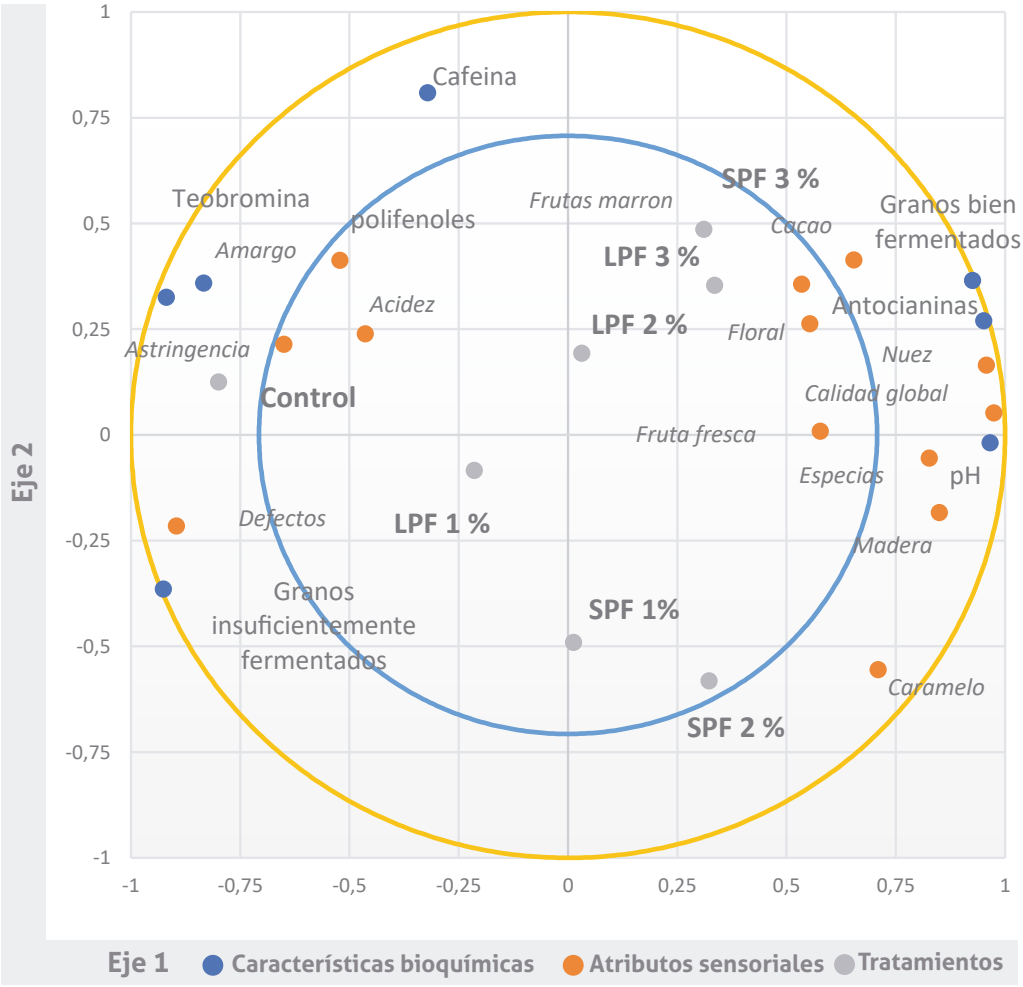


Figura 53. Mapa de correlaciones de variables fisicoquímicas y sensoriales de fermentaciones preinoculadas a escala laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

La producción de compuestos volátiles y precursores de aroma en el cacao está condicionada a múltiples factores, entre los que el metabolismo microbiano y su producción de compuestos constituyen el principal aportante en la formación del perfil sensorial del chocolate (Subroto et al., 2023; López Hernández et al., 2019). En la pasta de cacao del último día de fermentación se encontraron siete grupos de compuestos volátiles (tabla 4) correspondientes a alcoholes, ácidos, aldehídos, ésteres, cetonas, pirazinas y terpenos; se encontró mayor presencia del grupo químico alcohol para las fermentaciones inoculadas, que registraron concentraciones del 59,9 % y 57,9 % del compuesto 1-fenil-2-etanol en los tratamientos adicionados con inóculo semisólido (SPF 3 %) y líquido (LPF 3 %), respectivamente; mientras que para el control, la mayor concentración fue de 14,4 %. Este alcohol ha sido asociado con descriptores de aroma floral y miel en el cacao (Rottiers et al., 2019), mientras que compuestos como el ácido acético han sido relacionados con descriptores de aroma agrio y astringente; y el compuesto

1-(1H-pirrol-2-il)1-etanona, asociado a descriptores amargo terroso y tostado, se detectó solo en la pasta de cacao de las fermentaciones control. Los ésteres fueron el segundo grupo químico con mayor presencia en las muestras evaluadas; se encontraron compuestos como 2-hidroxi-4-metilpentanoato de etilo, que ha sido relacionado con descriptores de aroma a mora fresca (Fedrizzi et al., 2011), y octanoato de etilo, asociado a descriptores frutales y florales (Chagas Junior, Ferreira, & Lopes, 2021), que no fueron detectados en el tratamiento control.

La presencia y concentración de estos compuestos, junto a las características fisicoquímicas y sensoriales encontradas en el cacao, determinaron la efectividad de inocular promotores de la fermentación, haciendo uso del microbioma natural mediante su multiplicación previa, la que desencadenó transformaciones microbiológicas y cambios bioquímicos que mejoran la calidad del cacao.

Tabla 4. Perfil de compuestos aromáticos en pasta de cacao fermentada a escala laboratorio adicionando inóculos naturales sólidos y líquidos

Grupo químico	Compuesto volátil	Cantidad relativa (%)							Descriptor de aroma	Referencia
		0 %	LPF 1 %	LPF 2 %	LPF 3 %	SPF 1 %	SPF 2 %	SPF 3 %		
Ácidos	Ácido acético	16,2	0	0	0	0	0	0	Agrio, astringente	Da Veiga Moreira et al. (2018)
Alcoholes	2,3-butanodiol	18,9	12,9	15,4	14,9	7,8	9,9	13,2	Cremoso, graso	http://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1161171.html
	1-(5-metil-1H-pirrol-2-il) 1-etanona	3,5	0	0	0	0	0	0	Amargo, terroso, tostado	http://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1583541.html
	Decanoato de etilo	0	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	Dulce, cerosa, afrutada, manzana	http://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1015411.html#tophyp
	2-heptanol	4,4	3,5	4	3,6	3,3	4,3	2,9	Dulce, cítrico	Mota-Gutiérrez et al., (2019); Rodríguez-Campos et al. (2012)
	2-nonanol	4,6	2,3	3	2,3	2,3	2,1	2,1	Grasa, verde	Utrilla-Vázquez et al. (2020)
	1-fenil-2-etanol	14,4	56	51	57,9	57,2	57,5	59,9	Floral, miel	Rottiers et al. (2019)
Aldehídos	Fenil acetaldehído	4,5	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,9	Verde, floral	Crafack et al. (2014)
	Nonanal	2,9	1,1	1,2	1,3	1	0,7	0,8	Frutal	http://www.thegoodscentscompany.com/demos/df1000292.html
	Acetaldehído	0,7	0,7	1,3	0,8	1,3	1,2	1	Picante fresco aldehídico refrescante verde	http://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1019471.html

(Continúa)

Grupo químico	Compuesto volátil	Cantidad relativa (%)							Descriptor de aroma	Referencia
		0 %	LPF 1 %	LPF 2 %	LPF 3 %	SPF 1 %	SPF 2 %	SPF 3 %		
Esteres	2-hidroxi-4-metilpentanoato de etilo	0	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	1	Mora fresca zarzamora	www.thegoodscentscompany.com/data/rw1476881.html
	Octanoato de etilo	0	2,1	2,1	1,8	1,9	2	2,1	Frutal, floral	Chagas Junior, Ferreira, Andrade, et al. (2021)
	Fenilacetato de etilo.	14	9,9	0,7	0,5	0,5	0,3	0,7	Frutal, dulce, miel	Visintin et al. (2017)
	Acetato de β-fenil etilo	1,6	0,5	11,1	9,3	13,8	14,1	12	Miel, floral	Ramos et al. (2014)
	Benzoato de 2-pentilo	1,5	0,9	1	0,7	0,8	0,7	0,6	Floral	www.thegoodscentscompany.com/data/rw1047711.html
Cetonas	2-nonanona	4,1	3,8	3,8	2,6	3,3	3,3	2,7	Leche, verde, frutal	Gutiérrez Ríos, H.G., Suárez Quiroz, M.L., Hernández Estrada, Z.J., Castellanos Onorio, O.P., Alonso Villegas et al. (2022)
Pirazinas	2,3,5,6-tetrametilpirazina	4,5	1,1	0	0	0	0	0	Chocolate, café	Da Veiga Moreira et al. (2018)
Terpenos	Óxido de linalol trans	0	0,8	1,1	1	0,7	0,8	0,7	Dulce, floral	Owusu et al. (2011)
	Linalool	4,2	2,6	2,2	1,6	1,5	1,3	1,8	Floral, rosa, dulce, verde, cítricos	Rottiers et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia

Los iniciadores naturales líquidos y semisólidos —a partir de la multiplicación del microbioma (cacaobiota) disponible en el ambiente, mediante prefermentación por 48 horas— mejoraron la eficiencia de la fermentación a escala laboratorio y la calidad final de grano. El uso de inóculos naturales sólidos, en proporción de 3 % y líquidos en proporciones de 2 % y 3 % del peso total de la masa que se va a fermentar, constituye una alternativa promotora de la fermentación que aumenta la presencia de granos bien fermentados y mayores índices de fermentación; promueve el desarrollo de atributos básicos a cacao y atributos complementarios a nuez, floral, frutal, lo que mejora la calidad global de la pasta de cacao al final de la fermentación.

- *Validación de la inoculación natural en campo*

La práctica de inoculación natural fue validada en campo en la central de beneficio de la Asociación de Cacaoteros de Gigante (Asocagigante). Se realizó un proceso de inoculación a 250 kg de cacao en baba adicionando el 3 % de masa prefermentada durante 48 horas; la dinámica de pH durante la fermentación se muestra en la figura 54. El descenso del pH externo para las fermentaciones inoculadas se generó hasta las 48 horas de la fase, y se dio a las 72 horas en la masa donde no se adiciono inóculo; comportamiento que muestra una mayor conversión de sustratos a metabolitos de interés (López Hernández & Criollo Núñez, 2022). El pH interno registró diferencias significativas a las 144 horas de fermentación, registrando 5,1 en el pH (figura 54), que está asociado a granos bien fermentados (Purbaningrum et al., 2023). En el tratamiento sin inoculación, continuó por debajo de 5 en el séptimo día de la fase, lo que demuestra que la práctica de inoculación podría promover y reducir el tiempo de fermentación para obtener características de calidad sensorial en el grano, propias del cacao (figura 55).

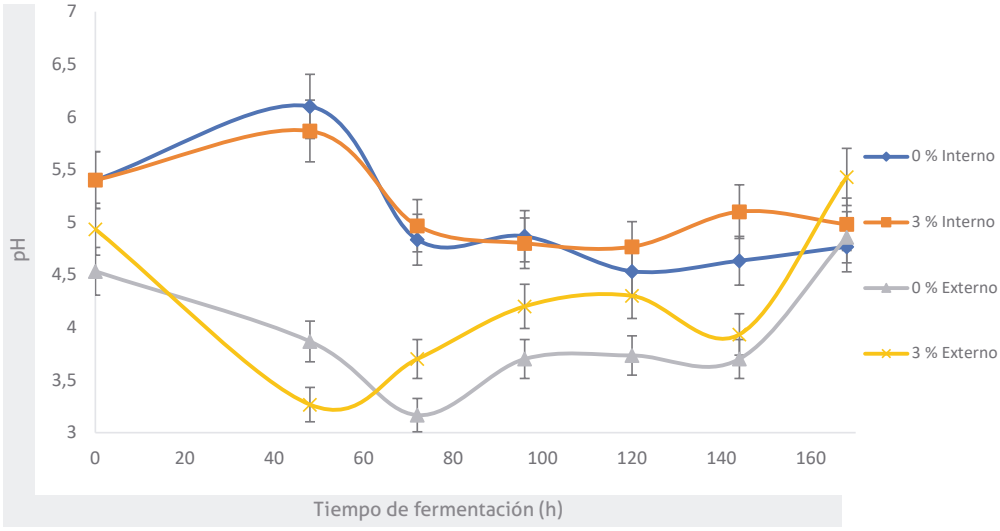


Figura 54. Dinámica de pH durante la validación de la práctica de inoculación natural.

Fuente: Elaboración propia

El perfil sensorial de la pasta de cacao donde se realizó la adición del inóculo mostró balance en los atributos principales y buena base de cacao; se destacaron atributos complementarios a fruta fresca tipo baya, fruta seca a uvas y ciruelas pasas, especias a vainilla y pimienta negra, madera blanca y parte interna de la nuez; el licor del séptimo día en el que no se realizó la adición de inóculo registró intensidades de amargo y sensación de astringencia superiores a las encontradas en el licor proveniente de proceso de fermentación donde se realizó la inoculación (figura 55). Los atributos complementarios, como fruta marrón y fruta fresca, fueron detectados por el panel en menor intensidad a la registrada en la muestra donde se inoculó.

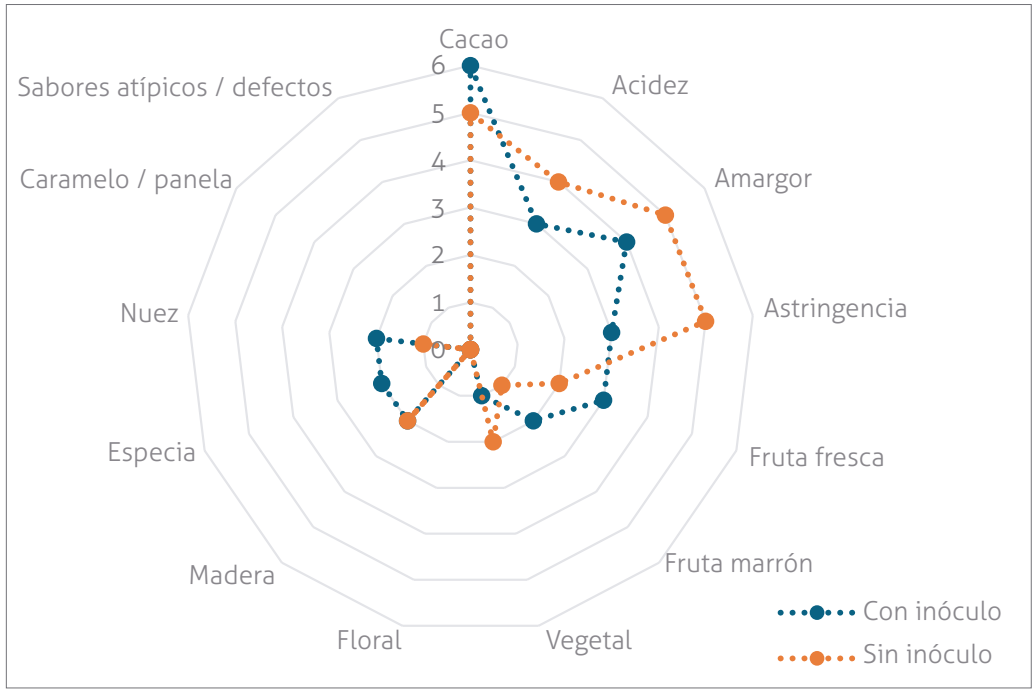


Figura 55. Perfil sensorial del licor de cacao al séptimo día de fermentación con inoculación y sin inoculación.

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados permitieron identificar la efectividad de implementar la práctica tecnológica de inoculación natural, donde se promueve la conversión de sustratos de la pulpa a metabolitos de interés durante la fermentación; la fase se favorece a través de la multiplicación previa de la cacaobiota nativa, que sirve como iniciador microbiológico. Es de resaltar la importancia de realizar la práctica siguiendo las recomendaciones del protocolo, manteniendo las condiciones sanitarias que eviten la colonización y multiplicación de patógenos, y evitando suministrar proporciones de inóculo superiores que puedan generar defectos por sobrefermentación.

Protocolo de implementación de la práctica tecnológica de inoculación natural

1. Elija el tipo de inóculo que va a utilizar. Recuerde que cuenta con dos opciones de inóculo: líquido y semisólido, los cuales se realizan con frutos sanos.

   Inóculo semisólido: A partir de frutos en estado de madurez optima, libres de daños mecánicos o microbiológicos; se separa la parte interna de la cáscara y placenta.

   Inóculo líquido: Con la pulpa obtenida del drenaje manual de masa joven de cacao (contenido interno del fruto separado de la cáscara, en un periodo no superior a 6 horas). La pulpa puede ser obtenida de la lixiviación de las primeras seis horas de fermentación de masas beneficiadas previamente.

2. Calcule la cantidad de inóculo líquido o semisólido que va a necesitar; recuerde que debe inocular el 3 % del total de la masa que va a fermentar. Por cada 100 kg de masa va a necesitar 3 kg de inóculo semisólido o 3 L de inóculo líquido.

3. En un recipiente plástico, limpio, sin aberturas o huecos, disponga la base del inóculo seleccionado (líquido o semisólido); tape con un velo o tela que permita el flujo de gases producidos por los microorganismos y déjelo fermentar durante 48 horas. No agite ni introduzca materiales que puedan contaminar el inóculo. Recuerde que en este proceso está multiplicando su cacaobiota nativa y, pasado este tiempo, tendrá listo su inóculo natural.

4. Incorpore vigorosamente el 3 % de inóculo a la masa que va a fermentar; mezcle para garantizar que su inóculo natural esté disperso por toda la masa, cubra y deje fermentar sin voltear.

5. Luego de 48 horas, mida la temperatura de la masa y realice el primer volteo, que a partir de aquí debe realizar cada 24 horas; si cuenta con equipos para medir el pH, mídalo dentro de la semilla, y lleve el registro de esta variable cada 24 horas. La temperatura, el pH interno y la prueba de corte serán indicadores del final de su fermentación.

6. A partir del quinto día de fermentación, complemente sus monitoreos con la prueba física de corte; internamente, su grano debe contener un líquido violeta que se va tornando café con el pasar de los días.

7. Para estimar el final de la fermentación, su pH interno debe estar entre 4,8 y 5,3; y el líquido interno debe ser café rojizo. Use sus sentidos, ya que son el mejor aliado para establecer el punto final de la fermentación; si presenta olores a descomposición o pH externo cercano a 7, saque inmediatamente a secar y revise los pasos para el desarrollo de su inóculo natural.

Conclusión

Tanto las prácticas tecnológicas de beneficio en campo como los índices de asociatividad basados en las características del grano y la práctica de inoculación natural atienden la demanda del sector cacaocultor de generar tecnologías que contribuyen a mejorar la calidad sensorial del cacao producido en el Huila. No obstante, su aplicación y uso recurrentes son esenciales para obtener los resultados positivos evaluados y validados en la investigación.

Referencias

Afoakwa, E. O., Kongor, J. E., Takrama, J., & Budu, A. S. (2013). Changes in nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp preconditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, *20*(4), 1843-1853.

Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *62*(7), 755-764. https://doi.org/10.3109/09637486.2011.581224

Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., & Budu, A. S. (2011). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, *50*, 1097-1105. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0446-5

Apriyanto, M., & Novitasari, R. (2021). During Fermentation, Microbiology and Biochemistry of the Cocoa Bean. *International Journal of Food Science and Agriculture*, *5*(4), 688-691. https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.12.016

Budi Tunjung Sari, A., Marwati, T., Farianti Djaafar, T., Utami Hatmi, R., Prestyaning Wanita, Y., Lisdiyanti, P., Perwitasari, U., Betha Juanssilfero, A., & Sutriswati Rahayu, E. (2023). Chemical composition and sensory profiles of fermented cocoa beans obtained from various regions of Indonesia. *Wiley Online Library*, *2023*. https://doi.org/10.1155/2023/5639081

Chagas Junior, G. C. A., Ferreira, N. R., Andrade, E. H., Nascimento, L. D., Siqueira, F. C., & Lopes, A. S. (2021). Profile of Volatile Compounds of On-Farm Fermented and Dried Cocoa Beans Inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* ky794742 and *Pichia kudriavzevii* ky794725. *Molecules*, *26*(2), 344. https://doi.org/10.3390/molecules26020344

Chagas Junior, G. C. A., Ferreira, N. R., & Lopes, A. S. (2021). The microbiota diversity identified during the cocoa fermentation and the benefits of the starter cultures use: an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, *56*(2), 544-552. https://doi.org/10.1111/ijfs.14740

Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saerens, S., Blennow, A., Skovmand-Larsen, M., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, *63*, 306-316. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032

Da Veiga Moreira, I. M., De Figueiredo Vilela, L., Santos, C., Lima, N., & Freitas Schwan, R. (2018). Volatile compounds and protein profiles analyses of fermented cocoa beans and chocolates from different hybrids cultivated in Brazil. *Food Research International*, *109*, 196-203. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.012

Falconí, C. E., Yánez-Mendizábal, V., Haro, R. J., & Claudio, D. R. (2023). Inoculum of a Native Microbial Starter Cocktail to Optimize Fine-Aroma Cocoa (*Theobroma cacao*) Bean Fermentation. *Agronomy*, *13*(10), 2572. https://doi.org/10.3390/agronomy13102572

Fedrizzi, B., Tosi, E., Simonato, B., Finato, F., Cipriani, M., Caramia, G., & Zapparoli, G. (2011). Changes in wine aroma composition according to botrytized berry percentage: A preliminary study on Amarone wine. *Food Technology and Biotechnology*, *49*(4), 529-535. https://hrcak.srce.hr/75194

Ghisolfi, R., Bandini, F., Vaccari, F., Bellotti, G., Bortolini, C., Patrone, V., Puglisi, E., & Morelli, L. (2023). Bacterial and Fungal Communities Are Specifically Modulated by the Cocoa Bean Fermentation Method. *Foods, 12*(10), 2024. https://doi.org/10.3390/foods12102024

Gutiérrez-Ríos, H. G., Suárez-Quiroz, M. L., Hernández-Estrada, Z. J., Castellanos-Onorio, O. P., Alonso-Villegas, R., Rayas-Duarte, P., Cano-Sarmiento, C., Figueroa-Hernández, C. Y., & González-Ríos, O. (2022). Yeasts as Producers of Flavor Precursors during Cocoa Bean Fermentation and Their Relevance as Starter Cultures: A Review. *Fermentation*, *8*(7), 331. https://doi.org/10.3390/fermentation8070331

Haruna, L., Abano, E. E., Teye, E., Tukwarlba, I., Adu, S., Agyei, K. J., Kuma, E., Yeboah, W., & Lukeman, M. (2024). Effect of partial pulp removal and fermentation duration on drying behavior, nib acidification, fermentation quality, and flavor attributes of Ghanaian cocoa beans. *Journal of Agriculture and Food Research*, *17*, 101211. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2024.101211

Kadow, D., Niemenak, N., Rohn, S., & Lieberei, R. (2015). Fermentation-like incubation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) - Reconstruction and guidance of the fermentation process. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 357-361. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.015

López Hernández, M. del P., & Criollo Nuñez, J. (2022). Cambios fisicoquímicos en la fermentación y secado de materiales de cacao en Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, *13*(2), 25-34. https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14140

López Hernández, M. del P., Criollo Núñez, J., Hernández Gómez, M. S., & Lozano Tovar, M. D. (2019). Physicochemical and microbiological dynamics of the fermentation of the CCN51 cocoa material in three maturity stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *41*(3). https://doi.org/10.1590/0100-29452019010

López Hernández, M. del P., Sandoval Aldana, A. P., García Lozano, J., & Criollo Núñez, J. (2021). Estudio morfoagronómico de materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes zonas productoras en Colombia. *Ciencia y Agricultura*, *18*(3), 98-109. https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12570

Mota Gutiérrez, J., Barbosa Pereira, L., Ferrocino, I., & Cocolin, L. (2019). Traceability of Functional Volatile Compounds and Its Potential Health Benefits. *Nutrients*, *11*(4), 884. https://doi.org/10.3390/nu11040884

Owusu, M., Petersen, M. A., & Heimdal, H. (2011). Effect of Fermentation Method, Roasting and Conching Conditions on the Aroma Volatiles of Dark Chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, *36*(5), 446456. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00602.x

Purbaningrum, K., Hidayat, C., Witasari, L., & Utami, T. (2023). Flavor precursors and volatile compounds improvement of unfermented cocoa beans by hydrolysis using bromelain. *Foods, 12*(4), 820. https://doi.org/10.3390/foods12040820

Ramos, L. C., Ribeiro Dias, D., Da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., & Schwan, R. F. (2014). Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. *Food Research International*, *64*, 908-918. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.033

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*. Foundation Swisscontact Colombia. https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/b/7/9/0/b7909c63ce01d3c0333defd340188b15376359d7/Estrategias_pais_para_la_oferta_de_cacaos_especiales.pdf

Rodríguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Contreras-Ramos, S. M., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry, 132*(1), 277-288. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078

Romero-Cortes, T., Salgado-Cervantes, M. A., García-Alamilla, P., García-Alvarado, M. A., Rodríguez-Jimenes, G., Hidalgo-Morales, M., & Robles-Olvera, V. (2013). Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(10), 2596-2604. https://doi.org/10.1002/jsfa.6088

Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., De Winne, A., Ruales, J., De Clippeleer, J., De Leersnyder, I., De Wever, J., Everaert, H., Messens, K., & Dewettinck, K. (2019). Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. *European Food Research and Technology*, *245*(9), 1917-1937. https://doi.org/10.1007/s00217-019-03307-y

Sari, A., Belgis, M., Amilia, W., & Murtadlo, F.M. (2023). The sensory profile of unfermented cocoa beans and its changes after moisture treatments. *AIP Conference Proceedings, 2583*(1). https://doi.org/10.1063/5.0117087

Subroto, E., Djali, M., Indiarto, R., Lembong, E., & Baiti, N. (2023). Microbiological Activity Affects Post-Harvest Quality of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Beans. *Horticulturae*, *9*(7), 805. https://doi.org/10.3390/horticulturae9070805

Tamimi, K. Al, Hidayat, C., Utami, T., & Witasari, L. D. (2023). Flavor precursor formation of non-fermented forastero cocoa beans after flavourzyme® and glucose treatment. *LWT*, *184*, 114910. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114910

Ullrich, L., Casty, B., André, A., Hühn, T., Chetschik, I., & Steinhaus, M. (2023). Influence of the cocoa bean variety on the flavor compound composition of dark chocolates. *ACS Food Science & Technology, 3*(3), 470-477. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00418

Utrilla-Vázquez, M., Rodríguez-Campos, J., Hugo Avendaño-Arazate, C., Gschaedler, A., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Analysis of volatile compounds of five varieties of Maya cocoa during fermentation and drying processes by Venn diagram and PCA. *Food Research International*, *129*, 108834. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108834

Van de Voorde, D., Díaz-Muñoz, C., Hernández, C. E., Weckx, S., De Vuyst, L., Erten, H., Gamero, A., Da, V., & Duarte, S. (2023). Yeast strains do have an impact on the production of cured cocoa beans, as assessed with Costa Rican Trinitario cocoa fermentation processes and chocolates. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1232323. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1232323

Visintin, S., Ramos, L., Batista, N., Dolci, P., Schwan, F., & Cocolin, L. (2017). Impact of *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii* starter cultures on cocoa beans fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, *257*, 31-40. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.06.004



Capítulo 5

Indicadores de la dinámica de innovación en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento del Huila

Diego Alberto Navarro Niño y Gustavo Zambrano Ríos

Introducción

La innovación en el sector agropecuario se define como la implementación de enfoques, tecnologías, procesos y estrategias novedosas destinadas a mejorar la productividad, la sostenibilidad y la calidad de vida en las áreas rurales. Esta innovación abarca desde la introducción de nuevas prácticas agrícolas y tecnologías hasta la adopción de modelos de gestión y comercialización más eficientes, con el objetivo de optimizar los recursos disponibles y fomentar el desarrollo integral de las comunidades rurales (Aguilar-Ávila et al., 2020).



La difusión de innovaciones implica comunicar a la sociedad la utilidad y los beneficios de nuevas ideas, tecnologías o prácticas, extendiéndolas entre los consumidores después de su introducción inicial. Sin este proceso, una innovación no logra un impacto económico significativo. Según la teoría de la difusión de innovaciones de Rogers (2003), la difusión es el proceso mediante el cual una innovación es comunicada en el tiempo a través de ciertos canales entre los miembros de un sistema social. Este proceso es una forma especial de comunicación, centrada en la propagación de nuevas ideas. La teoría de Rogers identifica cuatro elementos fundamentales en el proceso de difusión de innovaciones: la innovación misma, los canales de comunicación utilizados, el tiempo necesario para la difusión y el sistema social en el que se difunde la innovación.

Además, Rogers (2003) describe cinco etapas en el proceso de adopción de una innovación por parte de un potencial adoptante: *conocimiento*: el individuo se expone por primera vez a la innovación y toma conciencia de su existencia, aunque aún carece de información detallada sobre ella; *persuasión*: el individuo forma una actitud favorable o desfavorable hacia la innovación y busca más información para respaldar su interés; *decisión*: se evalúan las ventajas y desventajas de la innovación, y se toma una decisión sobre su adopción o rechazo; *implementación*: la innovación se pone en práctica en diversos grados, dependiendo de la situación, y se evalúa su utilidad, con la posibilidad de buscar información adicional, y *confirmación*: en esta fase, se ratifica la decisión de continuar usando la innovación, aprovechándola al máximo y reafirmando la elección de adoptarla. Este marco teórico proporciona una comprensión integral del proceso mediante el cual las innovaciones se difunden y se adoptan en diferentes contextos sociales.

En el ámbito de la agricultura —y específicamente en el cultivo del cacao—, la adopción de innovaciones es crucial para mejorar la productividad y la competitividad. En estudios recientes realizados en Nigeria, se encontró que el 84,5 % de los productores adoptan nuevas variedades de cacao, el 77 % implementa recomendaciones sobre la distancia de siembra de 3 × 3 metros, el 65,8 % utiliza el sistema de rehabilitación mediante el rebrote, y el 53 % realiza un control de monilia entre cada 21 y 28 días durante la temporada de lluvias. Estos datos destacan la dinámica de adopción en un territorio y subrayan la importancia de disponer de esta información para la toma de decisiones y la implementación de acciones estratégicas (Adebayo et al., 2022). Además, estudios recientes resaltan la importancia de que los agricultores de cacao tengan acceso a servicios de extensión rural, ya que el fortalecimiento de estos vínculos es crucial para facilitar la adopción de nuevas tecnologías (Djokoto et al., 2016).

La baja adopción de innovaciones en las unidades de producción agrícola es una de las principales causas de los ineficientes niveles de producción en productores de cacao (Aguilar-Gallegos et al., 2013) y la falta de información a nivel Colombia sobre

estos indicadores es la razón, en esta investigación, por lo cual se analizó y determino el índice de adopción de innovaciones de los agricultores dedicados al cultivo de cacao en los municipios de Rivera, Campoalegre, Algeciras y Gigante (Huila, Colombia). Para ello se usó la metodología de bola de nieve (Kouassi et al., 2019) para cada uno de los municipios, teniendo un número de agricultores de 38 para Campoalegre, 27 para Rivera, 40 para Algeciras y 41 para Gigante. Este enfoque metodológico permitió una evaluación precisa y confiable de las prácticas innovadoras adoptadas en la región de los productores involucrados.

Índices de adopción de innovaciones o prácticas en el cultivo de cacao en los municipios de Rivera, Campoalegre, Algeciras y Gigante, en el Huila

En este estudio se empleó la metodología desarrollada por Aguilar-Ávila et al. (2020) para analizar los procesos de innovación en el sector rural, y se enfocó en la producción de cacao. Se estableció una línea base para el análisis de innovación utilizando una clasificación de innovaciones por categorías, desarrollada mediante un taller con especialistas en el cultivo, incluidos investigadores y otros actores internos y externos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Estos especialistas, con amplio conocimiento sobre la producción de cacao, participaron en procesos de investigación y transferencia, lo que permitió la identificación y validación exhaustiva de la información recopilada.

Se definieron indicadores clave para el análisis a través de encuestas realizadas a los productores. El primer indicador, el Índice de Adopción de Innovaciones (INAI), mide la proporción de innovaciones tecnológicas adoptadas por los productores para mejorar su sistema productivo. El segundo indicador, la Tasa de Adopción de Innovaciones (TAI), evalúa el grado de adopción de las innovaciones en prácticas e innovaciones específicas (Aguilar-Ávila et al., 2020). Estos indicadores fueron clasificados en una escala binaria (empleado o no empleado). Esta técnica ha sido utilizada previamente para evaluar la adopción de prácticas o innovaciones tecnológicas en el ámbito agrícola (Aguilar-Gallegos et al., 2013; Navarro-Niño et al., 2024).

Para el cálculo de los indicadores de innovación se utilizó Microsoft Excel, siguiendo la metodología de análisis de innovación de Aguilar-Ávila et al. (2020). En el análisis se evaluaron 73 innovaciones, distribuidas en ocho categorías: nutrición, sanidad, manejo sostenible de recursos, establecimiento y manejo de la plantación, administración, organización, cosecha y poscosecha, y reproducción y mejoramiento genético. Esta clasificación permitió una evaluación detallada y estructurada de los distintos aspectos de la innovación para el sistema productivo de cacao; la información recopilada se observa en la tabla 5, donde se consolida el catálogo de innovaciones en el sistema productivo de cacao para el departamento del Huila.

Tabla 5. Catálogo de innovaciones de cacao para el departamento del Huila

Catálogo de innovaciones/prácticas
a. Nutrición
a. **01** Uso de análisis de suelo para la determinación de dosis de fertilización; **a. 02** Aplica abonos químicos foliares; **a. 03** Aplica fertilizantes químicos al suelo; **a. 04** Aplica abonos orgánicos; **a. 05** Aplica correctivos (enmiendas) al suelo.
b. Sanidad
b. **06** Hace monitoreo de plagas y enfermedades para el manejo; **b. 07** Usa trampas artesanales para manejar plagas; **b. 08** Usa trampas comerciales para manejo de plagas; **b. 09** Identifica la monilia en sus diferentes etapas de desarrollo y su daño; **b. 10** Identifica el perforador del fruto y semilla de cacao (*Carmenta foraseminis*) y su daño; **b. 11** Realiza el corte y la remoción de mazorcas afectadas por plagas y enfermedades de manera semanal (rondas sanitarias); **b. 12** Tapa con hojarasca los frutos afectados por enfermedades; **b. 13** Implementa prácticas de solarización para plagas, como cubrir con un plástico, preferible de color negro, de los frutos y cacota con síntomas de daño; **b. 14** Uso de fosas para poner los frutos afectados por enfermedades; **b. 15** Utiliza cal o deshidratantes para los residuos de cosecha; **b. 16** Utiliza productos biológicos para el control de plagas; **b. 17** Utiliza productos biológicos para el control de enfermedades; **b. 18** Utiliza productos químicos para el control de plagas; **b. 19** Utiliza productos químicos para el control de enfermedades; **b. 20** Realiza control y manejo de malezas; **b. 21** Hace aplicación de pasta cicatrizante; **b. 22** Realiza desinfección de herramientas de poda.
c. Manejo sostenible de recursos
c. **23** Utiliza coberturas para el establecimiento del cultivo; **c. 24** Recolecta envases de agroquímicos para su depósito o destrucción; **c. 25** Produce abonos orgánicos; **c. 26** Conserva la vegetación herbácea y flora nativa; **c. 27** Realiza manejo del agua (drenajes y riego).
d. Establecimiento y manejo de la plantación
d. **28** Establece su cultivo teniendo en cuenta la compatibilidad sexual de los clones; **d. 29** Cuenta con cultivos asociados/intercalados (agrícolas); **d. 30** Cuenta con cultivos maderables-frutales asociados/intercalados; **d. 31** Efectúa podas de formación al árbol de cacao; **d. 32** Efectúa podas de mantenimiento al árbol de cacao; **d. 33** Poda de sombrío en cultivos asociados con árboles forestales-frutales; **d. 34** Mantiene árboles de cacao a una altura máxima de 3,5 m; **d. 35** Uso de herramientas para la poda de cacao: tijera, serrucho.
e. Administración
e. **36** Cuenta con un calendario de actividades; **e. 37** Registra las labores efectuadas en el cultivo (fecha, insumos, prácticas); **e. 38** Registra los ingresos y gastos de la finca; **e. 39** Lleva un registro de la producción de la finca; **e. 40** Usó crédito agropecuario para el cultivo; **e. 41** Recibe asistencia técnica / extensión rural.
f. Organización
f. **42** Pertenece a una asociación o cooperativa; **f. 43** Vende el grano seco directamente a empresas transformadoras (agroindustria); **f. 44** Vende directamente al intermediario de manera individual; **f. 45** Ha participado en capacitaciones sobre el cultivo de cacao; **f. 46** Participa en intercambio de experiencias con otros productores; **f. 47** Accede a cartillas, libros, folletos y aplicaciones sobre el cultivo.

(Continúa)

Catálogo de innovaciones/prácticas	
g. Cosecha y poscosecha	
g.	**g. 48** Cosecha empleando criterios de madurez, tamaño y variedad; **g. 49** Programa las fechas de cosecha y venta de grano seco o cacao en baba; **g. 50** Realiza pruebas de calidad, como corte en cacao seco o grados brix del cacao en baba en el producto que vende; **g. 51** Separa el cacao sano o blanco del cacao negro que va a fermentar; **g. 52** Realiza pre secado o escurrido antes de la fermentación; **g. 53** Separa los materiales de cacao previos a la fermentación; **g. 54** Fermenta el cacao que cosecha; **g. 55** Realiza el primer volteo de la masa a los dos días de iniciada la fermentación; **g. 56** Realiza volteo de manera diaria a la masa durante la fermentación, luego de la fase anaeróbica (volteo de los días); **g. 57** Realiza seguimiento a la etapa de fermentación (temperatura, pH, corte en fresco); **g. 58** Realiza prueba de corte o la prueba del vaso con agua al grano húmedo para determinar el final de la fermentación; **g. 59** Realiza el mismo proceso de fermentación cada vez que cosecha; **g. 60** Realiza volteos periódicos para un secado adecuado; **g. 61** Realiza seguimiento a la etapa de secado (pH, humedad); **g. 62** Mide la humedad del grano al final del proceso de secado; **g. 63** Cuenta con un lugar exclusivo (aislado) para el almacenamiento del grano seco; **g. 64** Almacena el grano en un lugar ventilado separándolo del suelo (estibas); **g. 65** Almacena el grano seco de cacao en costales de fique; **g. 66** Realiza un proceso de transformación al cacao en chocolate.
h. Reproducción y mejoramiento genético	
h.	**h. 67** Propaga plantas por injerto; **h. 68** Identifica árboles campeones (rendimiento, resistencia) en la plantación; **h. 69** Renueva y rehabilita plantaciones de cacao envejecidas; **h. 70** Siembra nuevos clones; **h. 71** Establece la renovación de materiales teniendo en cuenta la compatibilidad sexual de los clones; **h. 72** Produce sus propias plantas (establece vivero); **h. 73** Compra las plantas de cacao en viveros certificados.

Fuente: Elaboración propia

Indicadores de adopción de innovaciones de cacao en Rivera, Huila

Como se muestra en la figura 56, el INAI promedio para este municipio es de 0,63, lo que equivale a un 63 % de adopción de las innovaciones propuestas entre los productores de cacao. Esto indica una brecha tecnológica del 37 %. Es importante destacar que solo diez productores, identificados como P11, P20, P12, P16, P03, P18, P10, P02, P25 y P09, superan el 70 % de adopción de las prácticas recomendadas en el catálogo. Estos productores desempeñan un papel crucial en los procesos de transferencia de tecnología y extensión rural, ya que pueden actuar como multiplicadores de nuevas prácticas en la región, desde un acompañamiento y seguimiento institucional con metodologías como la promotoría rural (Sánchez et al., 2021).

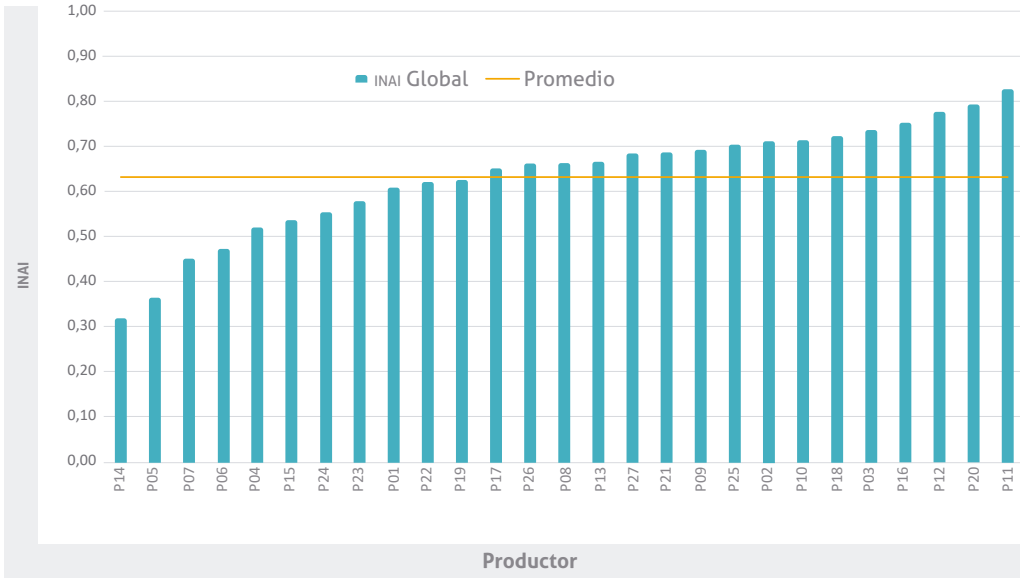


Figura 56. INAI de los productores de cacao de Rivera, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las categorías de innovaciones adoptadas por los productores de este municipio se encontró que la categoría de "establecimiento y manejo de la plantación" es la más adoptada, con un 82 % de adopción; le siguen las categorías de "organización", con un 76 %, y "manejo sostenible de recursos", con un 70 %. En contraste, las categorías con menor adopción son "cosecha y poscosecha", con un 40 %; y "administración", con un 52 % (figura 57).

Estos resultados indican la necesidad de fortalecer las temáticas relacionadas con las categorías de "cosecha y poscosecha", así como la de "administración" para este grupo de agricultores. Por lo tanto, es crucial mejorar los conocimientos y las habilidades de los productores en estas áreas para optimizar la eficiencia y sostenibilidad de sus prácticas para el cultivo de cacao.

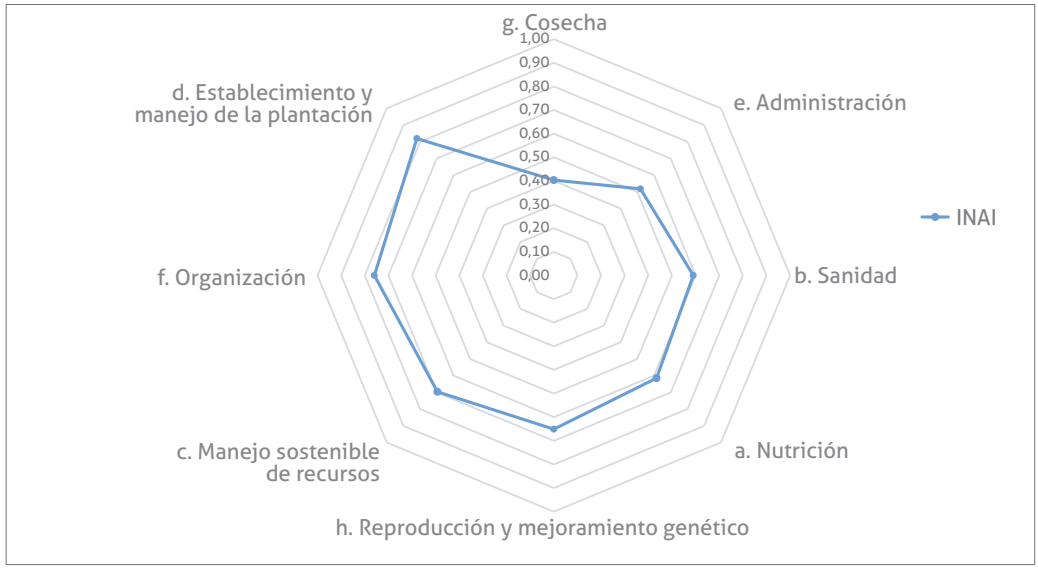


Figura 57. Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Rivera, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la TAI, en el municipio de Rivera (Huila) se encontró que ocho innovaciones superan el 90 % de adopción. Estas incluyen: pertenece a una asociación o cooperativa (100 %), efectúa podas de formación en árboles de cacao (100 %), manejo del agua (96,30 %), control y manejo de malezas (96,30 %), participación en capacitaciones sobre el cultivo de cacao (92,59 %), uso de herramientas para la poda de cacao como tijeras y serruchos (92,59 %), mantenimiento de árboles de cacao a una altura máxima de 3,5 metros (92,59 %) y realiza podas en los árboles de cacao (92,59 %). La mayoría de estas prácticas con altos niveles de adopción están relacionadas con el establecimiento y manejo de la plantación, prácticas que se promueven durante las jornadas de capacitación impartidas por entidades públicas y privadas en la región.

Por otro lado, las innovaciones con menos del 20 % de adopción entre los productores están relacionadas con prácticas de cosecha, sanidad y reproducción, tales como: uso de trampas comerciales para manejo de plagas (3,70 %); realiza seguimiento a la etapa de secado, pH, humedad (7,41 %); realiza un proceso de transformación al cacao en chocolate (7,41 %); realiza seguimiento a la etapa de fermentación (11,11 %) y realiza prueba de corte o la prueba del vaso con agua al grano húmedo para determinar el final de la fermentación (11,11 %); produce sus propias plantas para siembras (14,81 %), y uso de fosas para poner los frutos afectados por enfermedades (18,52). Estas prácticas con bajo nivel de adopción deben ser priorizadas en los proyectos que se implementen en el territorio, con el objetivo de cerrar las brechas tecnológicas entre los productores de este municipio.

Indicadores de adopción de innovaciones de cacao en Campoalegre, Huila

Como se muestra en la figura 58, el INAI promedio para este municipio es de 0,62, lo que equivale a un 62 % de adopción de las innovaciones propuestas entre los productores de cacao. Esto indica una brecha tecnológica del 38 %. Es importante destacar que solo once productores, identificados como P30, P21, P28, P01, P12, P30, P09, P14, P13, P08 y P38 superan el 70 % de adopción de las prácticas recomendadas en el catálogo.

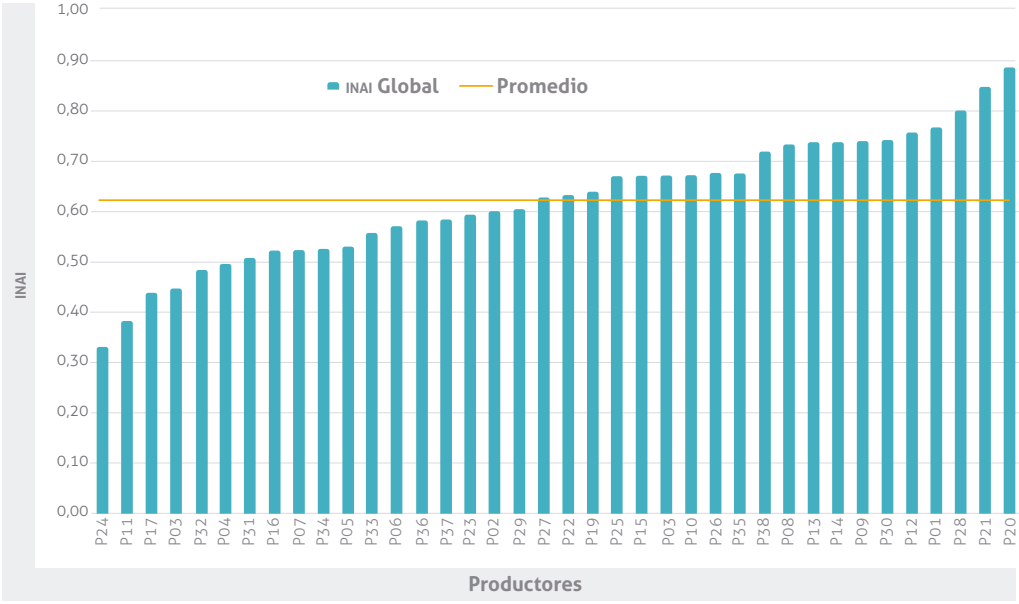


Figura 58. INAI de los productores de cacao de Campoalegre, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las categorías de INAI de los productores de este municipio se encontró que la categoría de "organización" es la más adoptada, con un 78 %; de "establecimiento y manejo de la plantación", con un 76 % de adopción. En cambio, las categorías con menor adopción son "administración", con un 46 %; y "reproducción y mejoramiento genético", con un 54 % (figura 59).

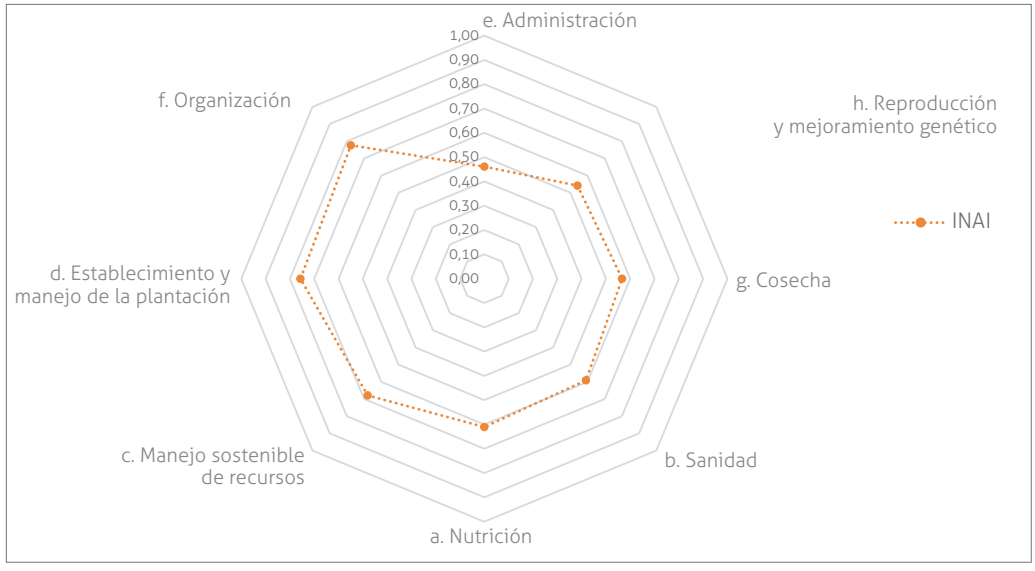


Figura 59. Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Campoalegre, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En el municipio de Campoalegre (Huila) se observó que cinco innovaciones superan el 90 % de adopción, según la TAI. Entre estas se incluyen: identifica el perforador del fruto y semilla de cacao *Carmenta foraseminis* y su daño (92,11 %); cuenta con cultivos asociados/intercalados-agrícolas (92,11 %); accede a cartillas, libros, folletos y aplicaciones sobre el cultivo (92,11 %); efectúa podas de mantenimiento al árbol de cacao (94.74 %), y realiza control y manejo de malezas (100 %).

Por otro lado, se identificó que las innovaciones con menos del 20 % de adopción entre los productores están asociadas a prácticas de sanidad y cosecha-poscosecha, tales como: usa trampas comerciales para manejo de plagas (5,26 %); usa fosas para poner los frutos afectados por enfermedades (18,42 %), y realiza seguimiento a la etapa de secado, pH, humedad (18,42 %).

Indicadores de adopción de innovaciones de cacao en Algeciras, Huila

Como se muestra en la figura 60, el INAI promedio para este municipio es de 0,64, lo que equivale a un 64 % de adopción de las innovaciones propuestas entre los productores de cacao. Esto indica una brecha tecnológica del 36 %. Es importante destacar que solo trece productores, identificados como P36, P21, P02, P05, P31, P03, P01, P12, P13, P04, P32, P07 y P10, superan el 70 % de adopción de las prácticas recomendadas en el catálogo.

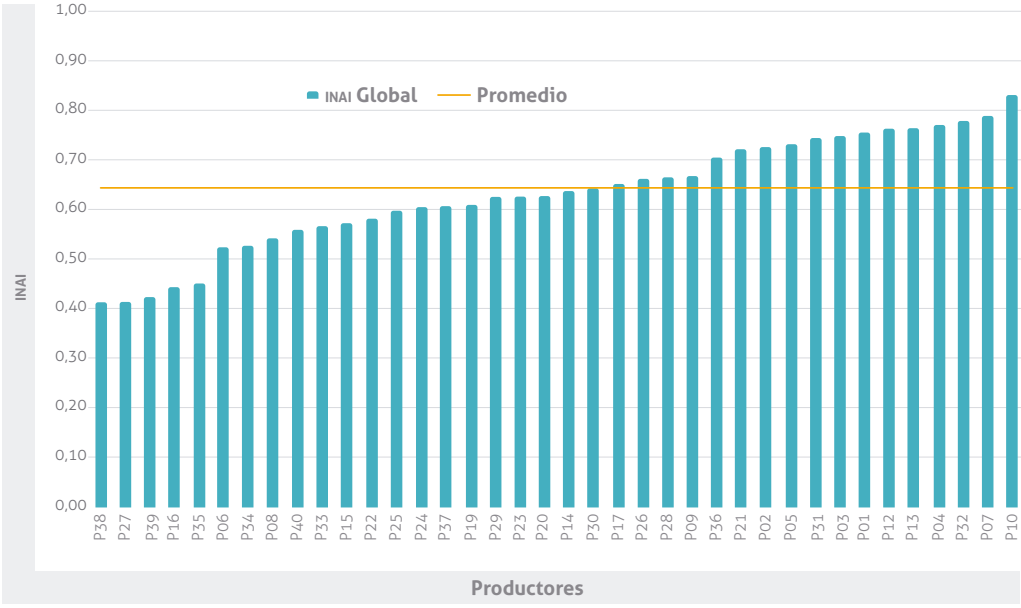


Figura 60. INAI de los productores de cacao de Algeciras, Huila.
Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las categorías de innovaciones adoptadas por los productores de este municipio se encontró que la categoría de "establecimiento y manejo de la plantación" es la más adoptada, con un 85 % de adopción; le siguen las categorías de "organización",

con un 79 %, y "reproducción y mejoramiento genético", con un 70 %. Las categorías con menor adopción son: "cosecha y poscosecha" con un 48 % y "nutrición" con un 55 % (figura 61). Estos resultados indican la necesidad de fortalecer las temáticas relacionadas con las categorías de cosecha y poscosecha, así como recalcar la importancia y el fortalecimiento de la nutrición en las plantaciones junto con una buena administración para este grupo de agricultores.

En relación con la TAI en el municipio de Algeciras (Huila), se encontró que trece innovaciones superan el 90 % de adopción. Entre estas innovaciones se incluyen: realiza control y manejo de malezas (100 %); efectúa podas de formación en árboles de cacao (100 %); efectúa podas de mantenimiento al árbol de cacao (100 %); uso de herramientas para la poda de cacao: tijera, serrucho (100 %); identifica la monilia en sus diferentes etapas de desarrollo y su daño (97,5 %); identifica el perforador del fruto y semilla de cacao (*Carmenta foraseminis*) y su daño (97,5 %); ha participado en capacitaciones sobre el cultivo de cacao (97,5 %); participa en intercambio de experiencias con otros productores (97,50 %), y accede a cartillas, libros, folletos y aplicaciones sobre el cultivo (97,50 %); cosecha empleando criterios de madurez, tamaño y variedad (97,50 %); mantiene árboles de cacao a una altura máxima de 3,5 m (92,5 %); hace monitoreo de plagas y enfermedades para el manejo (92,5 %); programa las fechas de cosecha y venta de grano seco o cacao en baba (92,5 %). La mayoría de estas prácticas con altos niveles de adopción se relacionan con el establecimiento y manejo de la plantación, con sanidad y organización; y con cosecha y poscosecha, que se promueven durante las jornadas de capacitación de entidades públicas y privadas de la región.

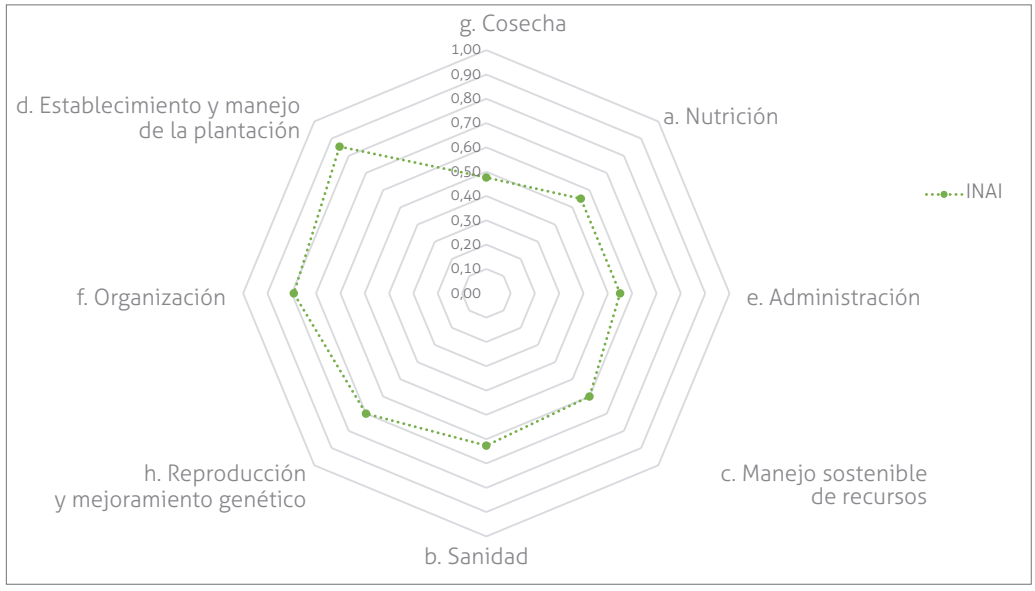


Figura 61. Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Algeciras, Huila.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se observó que las innovaciones con menos del 20 % de adopción entre los productores están relacionadas con nutrición, organización, sanidad, y cosecha y poscosecha; entre ellas: usa trampas comerciales para manejo de plagas (2,50 %); aplica abonos químicos foliares (17,50 %); realiza un proceso de transformación al cacao en chocolate (17,5 %), y vende el grano seco directamente a empresas transformadoras-agroindustria (20 %). Estas prácticas con bajo nivel de adopción deben ser priorizadas en procesos de transferencia de tecnología y de extensión a nivel local para promover el aumento de su adopción (Djokoto et al., 2016).

Indicadores de adopción de innovaciones de cacao en Gigante, Huila

Como se muestra en la figura 62, el INAI promedio para este municipio es de 0,61; esto equivale a un 61 % de adopción de las innovaciones propuestas entre los productores de cacao, lo que indica una brecha tecnológica del 39 %. Es importante destacar que solo nueve productores, identificados como P21, P37, P29, P24, P25, P06, P32, P33 y P18, superan el 70 % de adopción de las prácticas recomendadas en el catálogo.

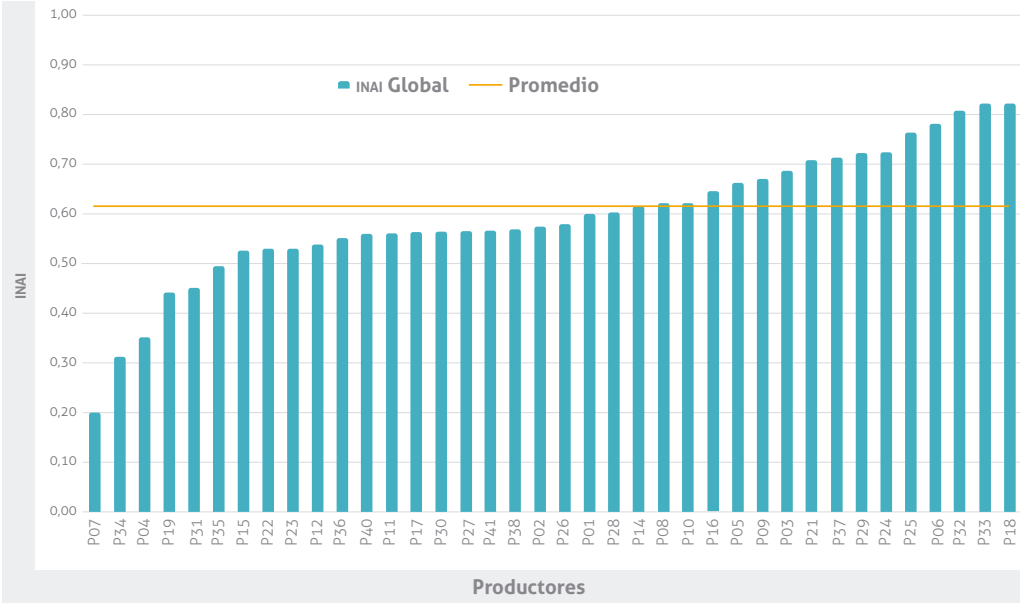


Figura 62. INAI de los productores de cacao de Gigante, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las categorías de innovaciones adoptadas por los productores de este municipio se encontró que la categoría de "establecimiento y manejo de la plantación" es la más adoptada, con un 82,5 % de adopción; le siguen las categorías de "organización", con un 76 %, y "manejo sostenible de recursos", con un 68 %. En cambio, las categorías con menor adopción son: "administración", con un 37,5 %, y "nutrición", con un 53,5 % (figura 63). Estos resultados muestran la necesidad de fortalecer para este grupo de agricultores las temáticas relacionadas con la categoría de "administración" para llevar una mejor trazabilidad de su cultivo, así como la "nutrición" en su cultivo.

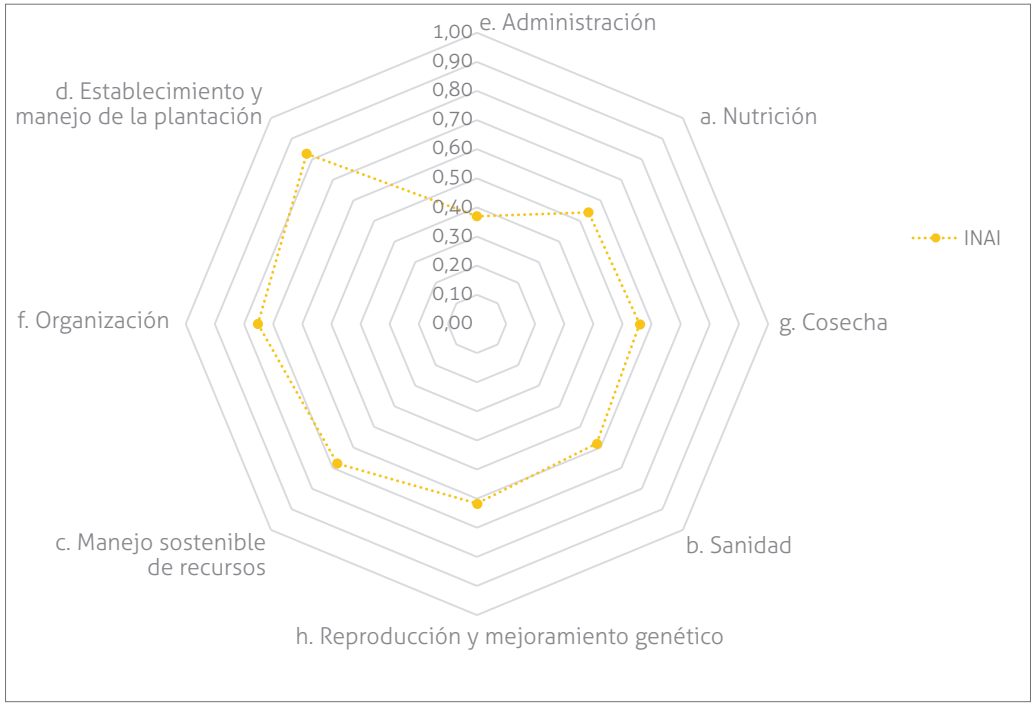


Figura 63. Adopción de innovaciones por categorías de los productores de cacao de Gigante, Huila.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la TAI, en el municipio de Gigante (Huila) se encontró que once innovaciones superan el 90 % de adopción. Estas incluyen: aplica pasta cicatrizante (90,24 %); identifica la monilia en sus diferentes etapas de desarrollo y su daño (92,6 %); identifica el perforador del fruto y semilla de cacao (*Carmenta foraseminis*) y su daño (95,12 %); cuenta con cultivos maderables-frutales asociados/intercalados (95 %); efectúa podas de formación al árbol de cacao (92,68 %); participa en intercambio de experiencias con otros productores (92,68 %); cosecha empleando criterios de madurez, tamaño y variedad (92,68 %); efectúa podas de mantenimiento al árbol de cacao (95,12 %); usa herramientas para la poda de cacao: tijera, serrucho (97,56 %); realiza control y manejo de malezas (97,5 %), y ha participado en capacitaciones sobre el cultivo de cacao (97 %). La mayoría de estas prácticas con altos niveles de adopción están relacionadas con "sanidad" y el "establecimiento y manejo de la plantación", las cuales son temáticas recurrentes en procesos de transferencia de tecnología y escuelas de campo de agricultores.

Por otro lado, se observó que las innovaciones con menos del 20 % de adopción entre los productores están relacionadas con prácticas de cosecha, sanidad y reproducción, tales como: usa trampas comerciales para manejo plagas (5 %); usa fosas para poner los frutos afectados por enfermedades (19,51 %), y utiliza productos biológicos para el control de plagas (19 %).

Consideraciones finales

Al comparar los índices INAI y TAI entre los cuatro municipios se observa que Rivera y Campoalegre tiene un número más alto de adopción de innovaciones del catálogo de prácticas, en especial, en manejo de plantación y organización. Algeciras y Gigante, aunque presentan adopción en áreas específicas, muestran una baja adopción de prácticas en el manejo de cosecha y poscosecha, y en administración. Esto indica una necesidad de intervención focalizada para mejorar la capacitación y el acceso a tecnologías y prácticas previamente identificadas, sobre todo en las áreas con menor adopción, para equilibrar el desarrollo y la competitividad del sector cacaotero en el Huila. Por otro lado, se requiere el fortalecimiento de la extensión rural y el acceso a tecnologías, que emergen como elementos cruciales para cerrar las brechas tecnológicas con las que se pueda articular toda la cadena productiva.

Conclusión

Los indicadores de índice de adopción de innovaciones y tasa de adopción de innovaciones obtenidos en este estudio permiten identificar la brecha tecnológica existente en cada uno de los municipios cacaoteros analizados en el departamento del Huila. Estos hallazgos constituyen un insumo fundamental para los extensionistas vinculados a los sectores gremial, público y privado, ya que evidencian las limitantes que enfrentan los procesos de transferencia de tecnología y extensión rural en los territorios. A menudo se asume que los productores poseen un conocimiento homogéneo, sin considerar las diferencias locales en la implementación de tecnologías y prácticas. Sin embargo, este estudio, realizado en estrecha colaboración con la comunidad, ha permitido identificar dichas diferencias y permite formular estrategias de intervención más precisas y contextualizadas, que contribuyan a una adopción efectiva de las innovaciones y al fortalecimiento del sector cacaotero en la región.

Referencias

Adebayo, S. T., Oyawole, F. P., Sanusi, R. A., & Afolami, C. A. (2022). Technology adoption among cocoa farmers in Nigeria: What drives farmers' decisions? *Forests, Trees and Livelihoods, 31*(1), 1-12. https://doi.org/10.1080/14728028.2021.2011789

Aguilar-Ávila, J., Martínez González, E., Aguilar-Gallegos, N., & Altamirano Cárdenas, J. R. (2020). *Análisis de procesos de innovación en el sector agroalimentario y rural*. Universidad Autónoma Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/3ae2c974-05e0-4bae-840e-8640b4d1f626

Aguilar-Gallegos, N., Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo-Cortés, V. H., & Aguilar-Ávila, J. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay: Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad, 4*(4), 208-228. https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/teu/article/view/1081

Djokoto, J. G., Owusu, V., & Awunyo-Vitor, D. (2016). Adoption of organic agriculture: Evidence from cocoa farming in Ghana. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1242181

Kouassi, G. F., Koné, G. A., Good, M., & Kouba, M. (2019). Factors Impacting Guinea Fowl (*Numida meleagris*) Production in Ivory Coast. *Journal of Applied Poultry Research*, *28*(4), 1382-1388. https://doi.org/10.3382/japr/pfz079

Navarro-Niño, D. A., & Jaramillo-Barrios, C. I. (2024). Análisis de innovaciones y prácticas en el cultivo de arracacha en Cajamarca, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, *14*(1), 179-200. https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v14.n1.2024.17628

Rogers, E. M., (2003). *Diffusion of Innovations* (5.ª ed.). The Free Press.

Sánchez-Gómez, J., Rendón-Medel, R., Cuevas-Reyes, V., & Díaz-José, J. (2021). El papel de los actores institucionales como fuente de innovación para los productores de maíz en México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *22*(2). https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1632



Conclusiones generales

El manejo integrado de la monilia se basa en el monitoreo y la eliminación de la fruta enferma antes de la esporulación del hongo, unido a prácticas de cultivo como poda de formación y de mantenimiento anual en el árbol y la aplicación de productos químicos de última generación con baja toxicidad, considerando su modo y mecanismo de acción de acuerdo con la época de mayor susceptibilidad del fruto. Por su parte, el manejo químico de la monilia combinado con la práctica de eliminación de frutos con síntomas está basado en la rotación de moléculas químicas de acuerdo con su modo y mecanismo de acción, y los estados de mayor susceptibilidad del fruto; esto permite un manejo racional de estos productos, enfocado en la disminución paulatina del número de aplicaciones.

El monitoreo y las prácticas culturales son las principales herramientas sobre las cuales se soporta el manejo integrado de la carmenta negra (*C. foraseminis*) en cacao; en condiciones extremas de altas poblaciones, se debe considerar el control etológico con trampas alimenticias y el manejo biológico con hongos entomopatógenos como medidas complementarias.

La amplia reserva genética de material híbrido trinitario y amazónico de cacao existente en el departamento del Huila es un acervo genético base para el mejoramiento genético actual y futuro. La gran mayoría de esta reserva genética, aún sin caracterizar, supone la presencia de diversos atributos de calidad y tolerancia a factores bióticos y abióticos, entre otros, que son de gran importancia para el desarrollo de la cacaocultura colombiana.

La selección participativa de árboles élite de cacao sigue siendo una estrategia efectiva para la identificación de genotipos promisorios con atributos de interés. Esta estrategia cobra mayor relevancia en áreas donde la cacaocultura lleva varias décadas, ya que el cruzamiento de genotipos de cacao permite identificar y caracterizar un mayor número de árboles élite.

La mezcla de clones de cacao con demandas de fermentación diferentes puede generar la presencian de sabores atípicos, astringencia y amargo relacionados con falta de fermentación y defectos de sobrefermentación en el licor. Los índices de asociatividad en el beneficio basados en las características bioquímicas y físicas

del grano permitieron establecer el color del grano, el contenido de polifenoles y la relación teobromina-cafeína como las variables promisorias para establecer asociatividad durante el beneficio; así se logran dinámicas durante la fermentación que facilitan la expresión sensorial y mayor calidad global del licor.

La práctica tecnológica de inoculación natural promueve la transformación de azúcares de la pulpa a compuestos de interés, como alcoholes y ácidos, durante la fermentación, lo que promueve la fase a través de la multiplicación previa del cacao biota nativa, que sirve como iniciador microbiológico. Es fundamental destacar la importancia de llevar a cabo la práctica de acuerdo con las recomendaciones del protocolo, asegurando el cumplimiento de las condiciones sanitarias necesarias para prevenir la colonización y proliferación de patógenos, así como evitar el suministro de dosis de inóculo excesivas que puedan ocasionar defectos debido a la sobrefermentación.

Asimismo, el uso de los indicadores de innovación en agricultores permite obtener una visión integral del grado de incorporación de nuevas tecnologías y prácticas en los sistemas productivos, y facilita la identificación de brechas tecnológicas y factores determinantes en el proceso de adopción. Estos indicadores son herramientas clave para diseñar estrategias de intervención más precisas y focalizadas, que respondan a las necesidades específicas de los productores, considerando aspectos socioeconómicos, culturales y de acceso a recursos. Además, su aplicación contribuye a optimizar los programas de extensión rural, ya que permite a los actores del sector tomar decisiones informadas para fomentar una adopción más eficiente y sostenible de las innovaciones. Finalmente, la medición periódica de estos indicadores posibilita un seguimiento continuo del impacto de las políticas y estrategias implementadas, favorece la adaptación de estas a los cambios del entorno productivo y fortalece la competitividad y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

Gracias a las diferentes actividades de investigación abordadas en este libro, se ha evidenciado que la diversidad biológica presente en los sistemas agroforestales con cacao no solo enriquece el entorno natural, sino que también actúa como un *buffer* contra plagas y enfermedades, al reducir la dependencia de insumos químicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles. La capacidad de los sistemas agroforestales para almacenar carbono y mitigar el cambio climático resalta su relevancia en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales contemporáneos.

Por lo anterior, es importante tener en cuenta, a medida que avanzamos hacia un futuro en el cual la sostenibilidad es cada vez más crucial, la necesidad de fomentar políticas y prácticas que apoyen la implementación y el mantenimiento de sistemas agroforestales con cacao. La investigación continua en este campo es vital para optimizar su diseño y gestión, y para asegurar que se maximicen los beneficios tanto para los agricultores, como para el medio ambiente. La promoción de estos sistemas no solo contribuirá a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural, sino que también jugará un papel fundamental en la conservación de nuestros recursos naturales y en la lucha contra el cambio climático.







Impresión y encuadernación.
DGP Editores S. A. S.

Terminó de imprimirse en agosto de 2025,
en Bogotá D.C., Colombia

El cacao constituye una de las apuestas de futuro más sólidas para el desarrollo económico y social de las zonas rurales de Colombia. En el país, el cacao y su agroindustria han sido priorizados como cadena productiva y una alternativa de enorme interés para la construcción de la paz en un escenario de posconflicto. El cacao colombiano tiene como ventaja comparativa que el 95 % del total producido se considera fino o de sabor, y del cual se obtienen "elaborados premium" o se emplea en mezclas para mejorar la calidad del cacao corriente, y solo el 5 % de la oferta mundial tiene esta característica, por lo que se convierte en un producto muy demandado. El país ocupa el décimo puesto en el mercado exportador del grano y sus derivados, y suple solo el 1 % de la demanda mundial; es en este mercado donde los productores colombianos pueden encontrar oportunidades para crecer con sus exportaciones.

No obstante, todavía hay retos importantes que debe asumir la cadena de cacao chocolate, en temas técnicos muy ligados al proceso productivo, que permitan incrementar la producción y calidad del grano. Por lo anterior, este libro presenta resultados de investigaciones recientes desarrolladas en el departamento del Huila (Colombia), en aspectos críticos del cultivo, como manejo de monilia y carmenta, estandarización de procesos poscosecha, selección de genotipos de cacao con atributos de rendimiento y calidad, contribución de especies forestales a la absorción de cadmio y carbono, y nivel de tecnología empleado por los productores. Los resultados que se presentan en esta publicación pueden ser extrapolados y aplicados en otras regiones del país.

Agricultura

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 601 914 4677

www.agrosavia.co
Distribución gratuita
Prohibida su venta