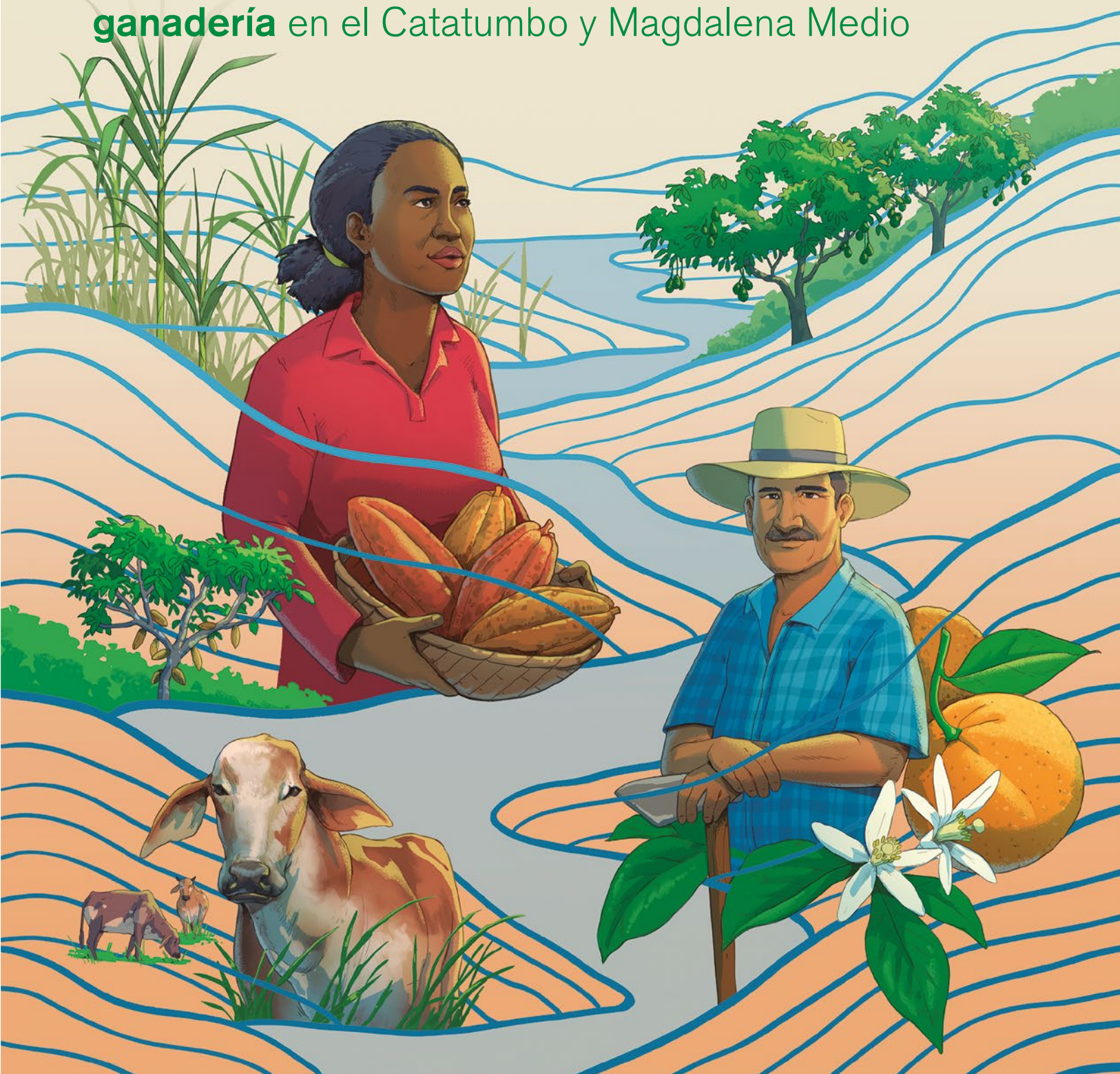
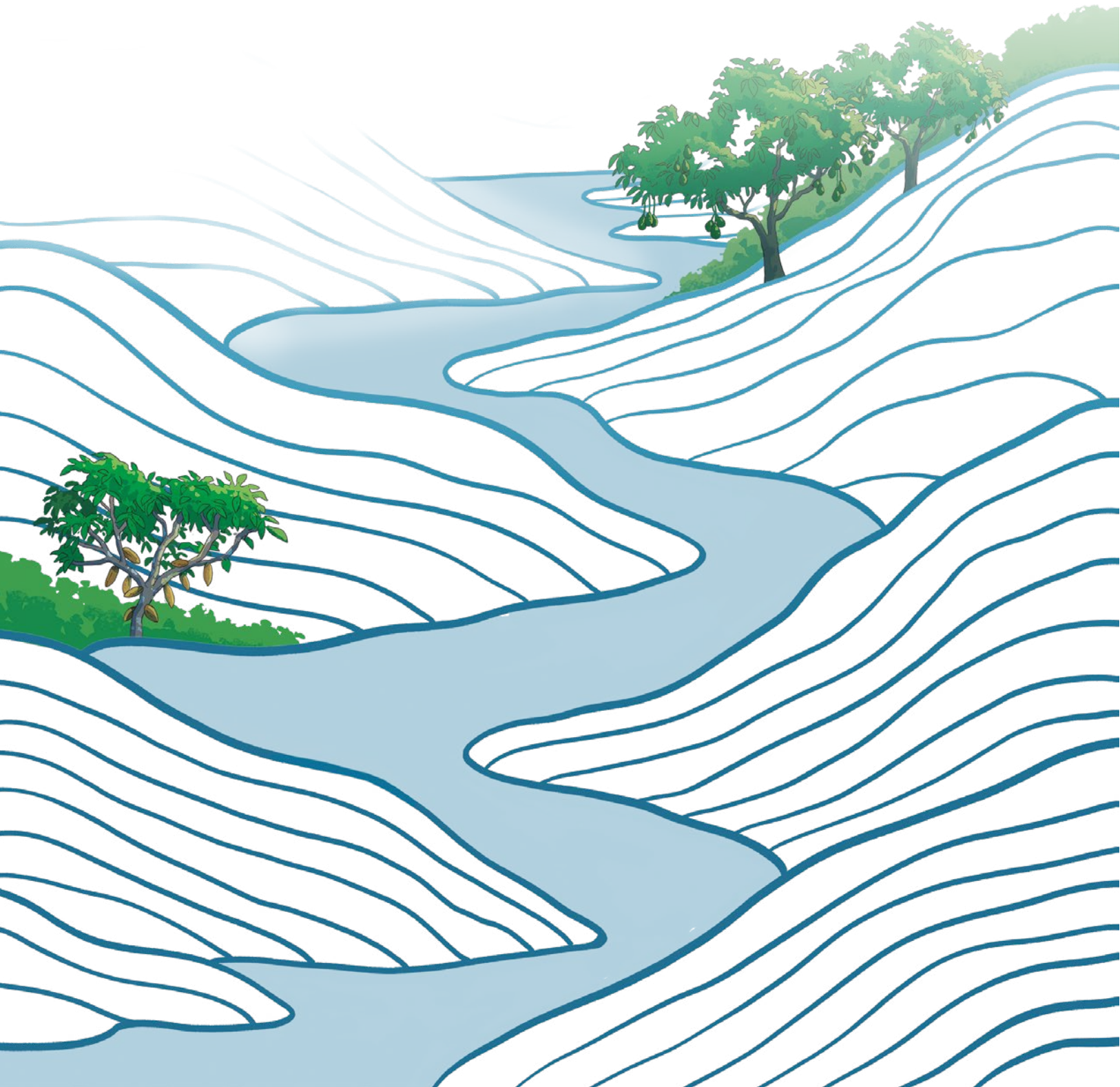
AGROSAVIA
EDITORIAL

Agricultura

Recomendaciones tecnológicas para fortalecer capacidades de productores y extensionistas en **cacao, aguacate, cítricos, caña panelera** y **ganadería** en el Catatumbo y Magdalena Medio





Recomendaciones tecnológicas para fortalecer capacidades de productores y extensionistas en **cacao, aguacate, cítricos, caña panelera** y **ganadería** en el Catatumbo y Magdalena Medio

Autores

Juan Leonardo Cardona Iglesias • Claudia Maria Holguín Aranzazu
Jairo Rojas Molina • Alexandra Estefania Fajardo Rojas
José Mauricio Montes Rodríguez • Felipe Montealegre Bustos • Yeirme Yaneth Jaimes Suárez
Fabricio Eulalio Leite Carvalho • Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Eliana Yadira Báez Daza • Gersain Antonio Rengifo Estrada • Ayda Fernanda Barona Rodríguez
Diomedes de Jesús Díaz Díaz • Juan Ricardo Zambrano Ortiz • Mahavisnu Bonza Espinoza
Leonardo Villalba Campos • Jorge Andrés Castillo Acosta

AGROSAVIA EDITORIAL

Agricultura

Recomendaciones tecnológicas para fortalecer capacidades de productores y extensionistas en cacao, aguacate, cítricos, caña panelera y ganadería en el Catatumbo y Magdalena Medio. / Juan Leonardo Cardona Iglesias [y otros dieciséis] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2025.

180 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN e-Book: 978-958-740-868-3

1. *Theobroma cacao* 2. *Persea americana* 3. *Saccharum officinarum* 4. Frutas cítricas 5. Ganadería 6. Cambio tecnológico 7. Extensión agrícola 8. Manejo del cultivo 9. Control de plagas 10. Norte de Santander (Colombia) 11. Magdalena (Colombia).

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

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
Centro de Investigación La Suiza. Kilómetro 32 Vía al Mar, vereda Galápagos, Ríonegro-Santander.
Código postal 687511, Colombia
Centro de Investigación Tibaitatá. Sede Cimpa. Kilómetro 2 vía antigua a Cipe, Barbosa, Santander.
Código postal 051020, Colombia

Esta publicación se deriva del proyecto "Plan de vinculación para fortalecer sistemas agroalimentarios en los Santanderes, Bolívar y Boyacá", ID 1002884.

Colección: Prácticas Agropecuarias
Tipología: Manual

Publicado: diciembre de 2025

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Nathalie De la Cuadra N.
Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.
Diseño de pauta: Mónica Cabiativa
Diagramación: María Paula Berón
Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado
Fotos: Juan Leonardo Cardona Iglesias, Alexandra Estefanía Fajardo Rojas, Silvia Juliana Flórez y Claudia María Holguín Aranzazu

Citación sugerida: Cardona Iglesias, J. L., Holguín Aranzazu, C. M., Rojas Molina, J., Fajardo Rojas, A. E., Montes Rodríguez, J. M., Montealegre Bustos, F., Jaimes Suárez, Y. Y., Leite Carvalho, F. E., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Rengifo Estrada, G. A., Barona Rodríguez, A. F., Díaz Díaz, D. de J., Zambrano Ortíz, J. R., Bonza Espinoza, M., Villalba Campos, L., & Castillo Acosta, J. A. (2025). *Recomendaciones tecnológicas desde el Plan de Vinculación Agroalimentario, para fortalecer capacidades de productores y extensionistas en cacao, aguacate, cítricos, caña panelera y ganadería en el Catatumbo y Magdalena medio.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7408683

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.

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

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Contenido

Agradecimientos 13

Autores. 15

Presentación 27

Introducción. 31

Cacao

Capítulo I. Recomendaciones generales y buenas prácticas para el cultivo de cacao frente a condiciones de cambio climático 35

Contexto nacional y regional del sector cacaotero 35

El cultivo del cacao en el contexto del cambio climático. 37

Alternativas de manejo del cultivo de cacao para mitigar el estrés asociado al cambio climático 41

Uso de sistemas agroforestales como adaptación al cambio climático 52

Consideraciones generales sobre el comportamiento del material genético del cacao en sistemas agroforestales y en monocultivo. 54

Consideraciones finales 56

Aguacate

Capítulo II. El cultivo de aguacate en Santander. Situación actual y recomendaciones de manejo con énfasis en aguacates criollos 59

Contexto del sector aguacate en Santander 59

Caracterización núcleo productivo de aguacates criollos: estudio de caso en la provincia de Yariguíes del departamento de Santander 60

Identificación de las plagas y enfermedades asociadas a la mortalidad de las plantaciones de aguacates criollos en la provincia de Yariguíes, Santander 67

Identificación de brechas en el cultivo de aguacates en la provincia de Yariguíes, Santander 73

Recomendaciones para el manejo de las plantaciones de aguacates criollos 74

Capacitaciones y acompañamiento a los productores de aguacate 79

Caña

Capítulo III. Establecimiento de semilleros comunitarios de caña de azúcar para producción de panela en los municipios de Convención y Teorama en el Catatumbo, Norte de Santander 81

Caña panelera en la región del Catatumbo 82

Importancia de la selección del material de siembra 84

Características de la variedad CC93-7711 85

Tipo de siembra: planta obtenida a través de yemas individuales de caña. 88

Establecimiento de semilleros 90

Siembra de las plantas en campo 91

Parámetros técnicos para el manejo de los semilleros 93

Manejo integrado del cultivo 95

Transferencia de tecnología y fortalecimiento comunitario . . . 99

Cítricos

Capítulo IV. Reconocimiento de insectos y ácaros asociados a cítricos de Santander 103

Importancia del cultivo de cítricos a nivel regional 103

El manejo de plagas y enfermedades comienza con un buen manejo agronómico 104

El manejo integrado de plagas es más efectivo que las estrategias aisladas 105

Para monitorear las plagas hay que conocerlas y también conocer sus enemigos naturales 106

Biología de *Diaphorina citri* y pautas para su manejo 115

Ganadería

Capítulo V. Importancia de los sistemas ganaderos para la seguridad alimentaria y las economías campesinas, indígenas y afrodescendientes en Colombia. 123

El manejo del suelo es importante para mejorar la productividad de los forrajes. 125

Importancia de realizar el análisis de fertilidad de los suelos ganaderos 128

Toma de muestras de suelo 128

¿Como interpretar de manera general un análisis de suelo? 131

Interpretación del pH 131

Interpretación de la materia orgánica 131

Interpretación del aluminio y hierro 133

Interpretación de bases intercambiables 133

Interpretación de la CIC-CIA 133

Saturación de bases 134

Características generales de los suelos muestreados en el Magdalena Medio y el Catatumbo durante la ejecución del Plan de Vinculación Agroalimentario 134

Recomendaciones generales en el manejo del suelo para sistemas ganaderos en Magdalena Medio y el Catatumbo. 140

Importancia del diagnóstico y acompañamiento técnico . . . 141

Importancia de conocer la calidad nutricional de los forrajes que consume el ganado 142

Principales nutrientes de importancia para alimentar el ganado 143

Importancia de los análisis de calidad composicional de forrajes 146

Importancia del análisis composicional en forrajes. 149

Consideraciones finales 160

Glosario 163

Referencias. 165

Lista de figuras

Figura 1. Podas, reducción de inóculo de enfermedades y mejora en la circulación de aire y luz en la planta. 43

Figura 2. Punto de captación de agua con geomembrana de capacidad de 36 m3 47

Figura 3. Sistema agroforestal de abarco (*Cariniana pyriformis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en Rionegro, Santander 54

Figura 4. Plantaciones de aguacates criollos en El Carmen de Chucurí y Simacota 67

Figura 5. Síntomas asociados a la muerte descendente de árboles de aguacate en El Carmen de Chucurí y Simacota 68

Figura 6. Aislamientos de microorganismos obtenidos en muestras colectadas en árboles con sintomatología de muerte descendente 69

Figura 7. Pruebas de patogenicidad 70

Figura 8. Daño ocasionado por los insectos-plaga predominantes en árboles de aguacate en El Carmen de Chucurí 72

Figura 9. Árbol de aguacate criollo con sintomatología de muerte descendente ocasionada por *Lasiodiplodia* spp. 77

Figura 10. Jornada de entrega de semilla de caña de azúcar para panela en el marco del Plan de Vinculación Agroalimentario en Convención, Norte de Santander 82

Figura 11. Pántula de caña 86

Figura 12. Producción de plantas obtenidas a través de yemas individuales de caña en el Centro de Investigación Tibaitatá, sede Cimpa 89

Figura 13. Siembra de semillero comunitario, municipio de Teorama 92

Figura 14. Marcación de distancia de siembra en semilleros comunitarios, municipio de Teorama 93

Figura 15. Aplicación de enmiendas en el momento de la siembra del semillero comunitario, municipio de Convención 96

Figura 16. Recomendaciones generales para el manejo de *Diatraea* spp. 97

Figura 17. Trabajo colaborativo en el establecimiento de semilleros comunitarios 100

Figura 18. Manejo integrado de plagas con énfasis en control biológico y control cultural 105

Figura 19. Hemípteros asociados a cultivos de cítricos en Santander 108

Figura 20. Insectos asociados a los cítricos de Santander 109

Figura 21. Ácaros asociados al cultivo de cítricos 110

Figura 22. Enemigos naturales en cultivo de cítricos 113

Figura 23. Psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* 115

Figura 24. Enemigos naturales específicos del psílido *Diaphorina citri* 118

Figura 25. Transferencia de tecnología en el municipio de Cimitarra-Santander. Socialización de la oferta tecnológica para determinar grados Brix en forrajes 125

Figura 26. Jornadas de actualización tecnológica en muestreo de suelos en finca ganadera para asistentes técnicos, extensionistas y pequeños productores 127

Figura 27. Pasos para la toma de muestras de suelo 130

Figura 28. Resultado de un análisis de suelos en finca ganadera del Magdalena Medio santandereano. Valores e interpretación de los principales factores analizados (determinación analítica) 132

Figura 29. Distribución del pH en algunos de los municipios evaluados 136

Figura 30. Distribución de pH en municipios PV 137

Figura 31. Contenido de bases intercambiables en los suelos evaluados 139

Figura 32. Concentración de micronutrientes en los suelos evaluados (expresados en ppm) 139

Figura 33. Bovinos de la raza criolla Chino Santandereano 142

Figura 34. Algunos factores que afectan la calidad composicional de los forrajes tropicales 147

Figura 35. Etapas de crecimiento de pasturas tropicales 148

Figura 36. Formas para determinar la toma de submuestras de forraje en un potrero 151

Figura 37. Pasos básicos para recolección de muestras de forrajes tipo pasturas 153

Figura 38. Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) establecido en Rionegro, Santander, en el Centro de Investigación La Suiza 154

Figura 39. Ejemplo de formato de resultados de análisis de forrajes hechos con la tecnología NIRS de AGROSAVIA 156

Figura 40. Determinación de grados Brix en forrajes durante actividades de transferencia tecnológica. 158

Figura 41. Calidad composicional de gramíneas para pastoreo en diferentes municipios del Magdalena Medio y el Catatumbo 159

Lista de tablas

Tabla 1. Costos estimados de sistema de riego para 1 ha de SAF de cacao (precios en pesos colombianos 2025) 48

Tabla 2. Variables recolectadas a partir de las encuestas realizadas a los productores de aguacate del municipio El Carmen de Chucurí 61

Tabla 3. Enfermedades presentes en el cultivo de aguacate de acuerdo con la percepción de los productores 65

Tabla 4. Características agronómicas de la variedad CC93-7711 88

Tabla 5. Información climática y de suelo en las localidades de establecimiento de los semilleros 91

Tabla 6. Plan de fertilización calculado a partir de los resultados obtenidos en los análisis de suelos por localidad 98

Tabla 7. Aporte de nutrientes en kg/ha al aplicar un plan de fertilización basado en las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar para producción de panela 99

Tabla 8. Insectos y ácaros más comunes en cultivos de cítricos de Santander 107

Tabla 9. Principales artrópodos benéficos en cultivos de cítricos de Santander 112

Tabla 10. Clasificación de los principales nutrientes de importancia para la nutrición de rumiantes encontrados en forrajes tropicales 144




Agricultura

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del "Plan de vinculación para fortalecer sistemas agroalimentarios en los Santanderes, Bolívar y Boyacá", a través de la Transferencia Variable-TV24, y a La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA por la ejecución del proyecto. Asimismo, a las productoras y los productores campesinos, afrodescendientes e indígenas de las pequeñas y medianas asociaciones de las cadenas productivas de cacao, aguacate, caña panelera, cítricos y ganadería por su participación activa en las diferentes actividades del plan de vinculación, y por aportar información para la consecución de este manuscrito. También expresamos nuestro agradecimiento a las diferentes gobernaciones, alcaldías municipales, secretarías de agricultura, Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata) y gremios, quienes a través de sus asistentes técnicos y extensionistas se vincularon a las diferentes actividades del PV en Santander, Norte de Santander, Boyacá y Bolívar. También expresamos un agradecimiento sincero a diferentes universidades y al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), por su apoyo como aliados territoriales; a los grupos de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA): Microbiología y Nutrición Animal del Trópico, Espacio Temporal y Manejo de Fenómenos Fitosanitarios, Investigación en Frutas del Trópico, Raíces del Futuro-Manejo de suelo, agua y planta, y Mejoramiento Genético Vegetal, Uso y Aprovechamiento de la Agrobiodiversidad (MGVA), por el aporte técnico-científico de sus investigadores para la construcción de esta publicación.



Autores

Juan Leonardo Cardona Iglesias

Correo: jlcardona@agrosavia.co

Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5225-8108

Zootecnista y magíster en Ciencias Animales con énfasis en Sistemas Sostenibles de Producción Animal de la Universidad de Antioquia. Integrante del grupo de investigación Microbiología y Nutrición Animal del Trópico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Tiene experiencia en investigación sobre nutrición animal, manejo de pasturas y forrajes, establecimiento, manejo y uso de sistemas silvopastoriles, y evaluación de estrategias nutricionales para la mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas pastoriles. Ha sido docente universitario y trabaja en proyectos de investigación y extensión con comunidades campesinas e indígenas. Actualmente, investiga en las áreas de ganadería de leche, doble propósito y especies menores, con énfasis en sistemas productivos sostenibles, marcos de economía circular a escala de agricultura campesina familiar, étnica y comunitaria (ACFEC).

Claudia María Holguín Aranzazu

Correo: cholguin@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-6498-3195

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas, magíster en Entomología y doctora en Ciencias Ambientales y de Plantas con énfasis en Nematología de Clemson University, Estados Unidos. Sus principales líneas de investigación son identificación y caracterización molecular de insectos-plaga y nematodos fitoparásitos, así como el estudio de la dinámica y estructura poblacional, y el desarrollo de métodos de monitoreo y manejo. En la actualidad, es investigadora PhD asociada en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde está vinculada a proyectos de investigación en el desarrollo de programas de monitoreo y manejo integrado de problemas fitosanitarios, principalmente en frutales, así como en la identificación y estructura poblacional de nematodos fitoparásitos en especies hortofrutícolas.

Jairo Rojas Molina

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

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima, magíster en Agroforestería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Costa Rica, y candidato a doctor del programa de Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de la Producción Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia. Trabaja como investigador máster senior en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) desde 2007. Ha recibido entrenamiento en investigación en cacao, en el Centro de Investigación en Cacao (Ceplac), en el Estado de Bahia, Brasil. Se ha desempeñado como profesor en las maestrías en Sistemas Agroforestales de la Universidad de la Amazonia, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) y la Universidad de los Llanos. En cacao, ha trabajado

con diseños de sistemas agroforestales, fertilidad en suelos, manejo de cultivos y determinación de servicios ecosistémicos para los sistemas agroforestales (carbono, biodiversidad, etcétera), y ha participado en la construcción del modelo productivo de cacao Huila, modelo productivo cacao Santander y modelo productivo cacao Boyacá. Ha publicado en revistas internacionales, como *Crop Protection*, *Plant Desease*, *Environmental and Experimental Botany*, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *Floresta e Ambiente*, *Tropical and Subtropical Agroecosystems* y *Frontiers in Plant Science*, y en revistas nacionales, como *Agronomía Colombiana*, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *Acta Agronómica*, *Revista de Ciencias Agrícolas*, entre otras, sobre temas relacionados con el cultivo de cacao. En la actualidad, está vinculado a la Red de Innovación de Cacao y trabaja en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, Rionegro, Santander.

Alexandra Estefanía Fajardo Rojas

Correo: afajardo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4707-5467

Ingeniera Agrónoma de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, máster en Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona y en Ingeniería de Software de la Universidad de los Andes. Cuenta con una sólida trayectoria en investigación aplicada a la variabilidad climática, la teledetección y el análisis geoespacial, con énfasis en el uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV, por sus siglas en inglés) espectrorradiómetros e índices de vegetación para el monitoreo de cultivos, enfermedades y procesos de cambio ambiental. Ha publicado diversos artículos científicos en revistas nacionales e internacionales sobre percepción remota, modelación climática e hidroclimática y resiliencia de agroecosistemas. Desde 2014 hace parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde ha participado en proyectos orientados a la sostenibilidad agrícola, la gestión integral del agua y la innovación tecnológica en sistemas agropecuarios de diferentes regiones del país.

José Mauricio Montes Rodríguez

Correo: jmontesr@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9281-2991

Ingeniero Agrónomo con maestría en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en taxonomía de insectos con énfasis en insectos escama de la superfamilia Coccoidea y moscas de las frutas del género *Anastrepha*, con lo cual ha generado nuevos registros de insectos para el país de importancia agrícola. Asimismo, ha trabajado en el manejo integrado de plagas evaluando prácticas de manejo sostenibles económica y ambientalmente; también en biología de la conservación, con el uso de insectos, especialmente hormigas y escarabajos coprófagos como bioindicadores de impacto antrópico. Cuenta con una trayectoria laboral de seis años en el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), sede Cúcuta, y con algunos trabajos en Organizaciones no Gubernamentales dedicadas al desarrollo de planes de ordenamiento territorial. Desde 2016 trabaja con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander.

Felipe Montealegre Bustos

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

Economista de la Universidad del Tolima y magíster en Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción, Chile. Cuenta con una sólida fundamentación teórico-práctica en investigación económica, en especial, en las áreas de socioeconómica, economía ambiental, economía de recursos naturales y valoración económica. En Chile y Colombia se ha desempeñado como docente en varias universidades e investigador en proyectos financiados por entidades públicas y privadas

de orden nacional e internacional. Desde 2018 hace parte del equipo de investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Suiza. Hace parte de Red de Innovación de Cacao y participa en procesos de investigación relacionados con cultivos de cacao y frutales, y de agricultura familiar.

Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

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

Microbióloga con énfasis en Alimentos de la Universidad de Pamplona, magíster en Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada y doctora en Agronomía Protección de Plantas de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Brasil. Trabaja como investigadora PhD Asociada en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) desde 2008. Ha recibido entrenamiento en fitopatógenos del cacao en el Centro de Investigación en Cacao (Ceplac), en Itabuna (Bahía, Brasil) y en modelos de predicción de plagas en North Caroline State University (NCSU), Estados Unidos. En cacao, ha trabajado en el diseño de esquemas para el manejo de enfermedades del cultivo del cacao; también trabaja con la biología de poblaciones de patógenos como *Moniliophthora roreri*, *Moniliophthora perniciosa*, *Lasiodiplodia* sp., Phytophthora sp. y *Rosellinia* sp. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas sobre temas relacionados con el cultivo del cacao y otros sistemas productivos como aguacate y cebolla ocañera.

Fabricio Eulalio Leite Carvalho

Correo: fcarvalho@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7815-0082

Biólogo y doctor en Bioquímica de la Universidad Federal de Ceará (Brasil), con estancia doctoral en Queen Mary University of London. Actualmente se desempeña como investigador PhD en Fisiología Vegetal en el Centro de Investigación La Suiza de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Su trayectoria combina investigación básica y aplicada en fisiología del estrés en plantas, metabolismo redox, fotoprotección y eficiencia en el uso de la luz, con énfasis en cultivos de importancia económica y social como cacao, arroz, papa, cáñamo y marañón. Coordina y participa en proyectos sobre mitigación de cadmio en sistemas cacaoteros, mejoramiento de batata, adaptación de cáñamo, sistemas agroforestales y uso de tecnologías emergentes (sensores remotos, espectroscopía, drones, imágenes satelitales y LiDAR) para agricultura sostenible. Asimismo, ejerce como orientador de estudiantes de posgrado, revisor y miembro editorial en diversas revistas internacionales. Su enfoque comprende la articulación entre ciencia, sostenibilidad y comunidades rurales en Colombia.

Genaro Andrés Agudelo Castañeda

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

Ingeniero Agrónomo con maestría en Fisiología Vegetal con énfasis en Ecofisiología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Es integrante del grupo de investigación "Mejoramiento Genético Vegetal, Uso y Aprovechamiento de la Agrobiodiversidad (MGVA)". Cuenta con experiencia en la evaluación y selección de genotipos de cacao adaptados a diferentes condiciones agroecológicas, estrés abiótico en plantas, modelos agroforestales de cacao con maderas finas tropicales, manejo agronómico del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales, rehabilitación de cultivos

improductivos, manejo de viveros y producción de material vegetal para el establecimiento de nuevos cultivos. Es autor de cuatro variedades de cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y de diferentes ofertas tecnológicas. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas, videos, pódcast, manuales y libros con resultados de investigación relacionados con el cultivo de cacao. Actualmente, se desempeña como investigador máster asociado, vinculado a la Red de Innovación de Cacao en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, Rionegro, Santander.

Eliana Yadira Báez Daza

Correo: ebaez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002

Ingeniera Agrónoma de la Universidad de Pamplona con maestría en Agroforestería Tropical con énfasis en Manejo Integrado de Sistemas Agroforestales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Cuenta con experiencia en manejo de recurso genético como curador del Banco de Germoplasma Vegetal (BGV) de la colección de cacao y caña panelera, caracterización morfológica de materiales, selección de materiales genéticos de cacao con requerimientos de producción, calidad y factores climáticos, manejo de cosecha y poscosecha de cacao, modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales y manejo productivo del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales (SAF). Es autora de dos variedades de cacao de Agrosavia TCS (Theobroma Corpoica La Suiza), ha publicado artículos científicos en revistas indexadas y es autora de diferentes publicaciones referentes al cultivo de cacao. Actualmente, se desempeña como investigadora máster vinculada a la Red de Innovación de Cacao del Centro de Investigación La Suiza de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Rionegro, Santander.

Gersain Antonio Rengifo Estrada

Correo: garengifo777@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8716-6040

Licenciado en Ciencias Naturales de la Universidad de Pamplona e ingeniero ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña (UFPSO), magíster en Ciencias Agrarias (línea de investigación en manejo de suelos) de la Universidad Nacional de Colombia, y curso en Sistemas Agroforestales y Rasgos Funcionales en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Costa Rica. Cuenta con experiencia de 42 años de trabajo en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en temas de extensión rural, transferencia de tecnología e investigación agropecuaria orientada a la búsqueda del equilibrio entre la seguridad alimentaria, la biodiversidad y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales, con énfasis en agroecología, agroforestería, manejo y conservación de suelos y aguas en sistemas productivos como pasturas, hortalizas, cacao, plátano, sistemas agroforestales con énfasis en caucho, entre otros. Tiene experiencia en docencia universitaria como profesor catedrático en las carreras de Tecnología Agropecuaria e Ingeniería ambiental en la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña (UFPSO) y la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Ayda Fernanda Barona Rodríguez

Correo: abarona@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8487-2727

Ingeniera agrónoma, especialista en Educación Ambiental y Desarrollo de la Comunidad de la Universidad de Cundinamarca, y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos y Aguas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Actualmente lidera la evaluación de nuevos materiales de caña para la producción de panela, así como procesos de

evaluación de impacto de tecnologías orientadas al fortalecimiento del sector panelero. Además, participa en la ejecución de planes de vinculación al servicio del sector, y de esta manera promueve el trabajo colaborativo con comunidades rurales y fomenta su desarrollo técnico, productivo y social. Se encuentra vinculada como investigadora máster de la Red de Innovación de Cultivos Transitorios y Agroindustriales del Centro de Investigación Tibaitatá, sede Cimpa, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diomedes de Jesús Díaz Díaz

Correo djdiazd@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0009-0001-1368-6721

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Pamplona. Tiene experiencia en la caracterización morfológica de árboles élite de cacao, el manejo y la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal, así como en el diseño y la implementación de sistemas agroforestales con cacao. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), sede Cúcuta, del Centro de Investigación La Suiza, donde contribuye al desarrollo de proyectos de investigación en Santander y Norte de Santander, especialmente con comunidades campesinas e indígenas del Catatumbo, enfocados en el mejoramiento genético, el manejo sostenible del cultivo, la transferencia tecnológica y la fertilización integrada en cacao.

Juan Ricardo Zambrano Ortiz

Correo: jzambrano@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3748-6211

Zootecnista egresado de la Universidad Libre, seccional Socorro, estudiante de la Maestría en Salud y Producción Animal, línea de profundización en nutrición animal, de la Universidad Cooperativa de Colombia. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Innovación de Ganadería y Especies Menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander. Es integrante del grupo de investigación Microbiología y Nutrición Animal del Trópico de AGROSAVIA. Cuenta con habilidades y experiencia en apoyo a las investigaciones en la línea de nutrición animal de ganadería bovina, ovina y caprina. También tiene experiencia en el establecimiento y manejo de pasturas y forrajes, sistemas silvopastoriles y cultivos transitorios para la alimentación animal.

Mahavisnu Bonza Espinoza

Correo: mbonza@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0009-0008-6038-0902

Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y estudiante de la Maestría en Biología en la Universidad Industrial de Santander. Cuenta con experiencia en el manejo de suelos tropicales ácidos, cultivos transitorios de clima frío y frutales como fresa, arándanos, uchuva y maracuyá. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación La Suiza, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en diferentes proyectos orientados a la investigación, vinculación y ampliación de oferta tecnológica en sistemas productivos de papa, cacao y ganadería.

Leonardo Villalba Campos

Correo: lvillalbac@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0299-446X

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia y estudiante de la Maestría en Biología de la Universidad Industrial de Santander. Trabaja como profesional de apoyo a la investigación desde 2015 en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y ha trabajado en proyectos de investigación enfocados en la biología de insectos y el manejo integrado de plagas en frutales; también en proyectos relacionados con la identificación molecular de nematodos fitoparásitos en especies hortofrutícolas.

Jorge Andrés Castillo Acosta

Correo: Jacastillo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5705-6484

Ingeniero agrónomo con especialización en Gestión Ambiental y está cursando la Maestría en Extensión y Desarrollo Rural. Actualmente se desempeña como profesional de transferencia de tecnología en la Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (AGROSAVIA) desde 2014. Cuenta con sólida experiencia en el diseño, el desarrollo y la implementación de estrategias de vinculación y apropiación social del conocimiento, la articulación de redes de innovación y el liderazgo de proyectos orientados a productores, extensionistas y comunidades rurales en los departamentos de Santander, Norte de Santander, sur de Bolívar y Boyacá.


AGROSAVIA
AGROSAVIA

Presentación

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) presenta este manual como resultado del trabajo realizado en la ejecución del Plan de Vinculación para Fortalecer Sistemas Agroalimentarios en los Santanderes, Bolívar y Boyacá, liderado desde el Centro de Investigación La Suiza y cuyo objetivo fue: "Fortalecer las capacidades de extensionistas y promotores campesinos por medio de actividades de transferencia tecnológica en sistemas agroalimentarios de importancia en municipios priorizados". Se trabajó con comunidades en 20 municipios con connotación de Núcleo de Reforma Agraria Integral o Programas de Desarrollo con Enfoque Diferencial (PDET), de Santander: Puerto Parra, Cimitarra, Simacota, Puerto Wilches, Sabana de Torres, Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí, El Carmen de Chucurí y Rionegro; de Norte Santander: Tibú, Sardinata, Convención, Teorama, Cúcuta y Ocaña; de Bolívar: San Pablo, Cantagallo, Santa Rosa del Sur y Simití, y de Boyacá: Puerto Boyacá. En las estrategias del plan de vinculación, es importante reconocer el concepto de *transferencia de tecnología* como un proceso fundamental para asegurar que las nuevas tecnologías y conocimientos sean comprendidos, adaptados y aplicados por los productores. Esto no solo se traduce en un aumento en la producción, sino también en procesos más sostenibles, que conserven los ecosistemas locales y favorezcan el bienestar de las comunidades rurales. El Magdalena Medio y el Catatumbo son regiones que, por su riqueza natural y su diversidad de sistemas productivos, ofrecen grandes oportunidades para el desarrollo agropecuario regional y nacional. La ganadería, el cultivo de cacao con sistemas agroforestales, los cítricos, el aguacate y la caña para la producción de panela son pilares fundamentales de la seguridad alimentaria y economías locales. Sin embargo, para potenciar el aprovechamiento de estos recursos, después de años de investigación y generación de tecnologías disponibles por parte de AGROSAVIA, es esencial el acceso y la adopción de dichas tecnologías

para los pequeños y medianos productores, así como para los extensionistas locales, con el fin de mejorar la calidad de vida de las familias campesinas, indígenas y afrodescendientes. Es importante resaltar en la ejecución de este PV el enfoque diferencial, al hacer partícipes a mujeres, jóvenes, comunidades étnicas, población victima del conflicto y personas en proceso de reincoporación a la vida civil, provenientes del proceso de paz de 2016.







Introducción

La seguridad y soberanía alimentaria mundial están cada día en riesgo. Los efectos del cambio climático sobre los sistemas agroalimentarios, la incertidumbre económica y la escasa vinculación de tecnologías, sobre todo para pequeños productores, contribuyen a la disminución de la oferta de alimentos provenientes del sector agropecuario (Moreno Turriago, 2022; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). Si se tiene en cuenta que en el mundo hay alrededor de 570 millones de sistemas productivos agropecuarios y que el 90 % de estos son manejados por pequeños productores, es necesario fortalecer las tecnologías y los conocimientos de pequeños productores, y así aumentar la producción de alimentos de buena calidad para una población que a finales del 2025 puede llegar a 943 millones de personas (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], 2024). En Colombia existen alrededor de 4,4 millones de personas subalimentadas, la mayoría es población rural, parte de la cual habita en municipios del Magdalena Medio y del Catatumbo comunidades indígenas y afro, especialmente. En estas regiones, las mujeres, los niños y los adultos mayores son los que más sufren de inseguridad alimentaria, y la disponibilidad de alimentos, así como el beneficio por recursos económicos derivado de ventas de productos, se ve afectada por la baja calidad de las cosechas y de productos como la carne y leche.

Este manual tiene como objetivo brindar a los productores de sistemas agroalimentarios del Magdalena Medio y del Catatumbo, así como a extensionistas, herramientas prácticas de transferencia de tecnología, orientadas a la optimización de sus sistemas productivos. A través de la incorporación de técnicas innovadoras y de conocimiento actualizado en el manejo de cultivos y ganadería, se busca fortalecer las capacidades de los productores para enfrentar los desafíos de un mercado cada vez más competitivo y exigente, y mejorar su eficiencia en el uso de los recursos naturales.

El manual está diseñado para ser una guía accesible y práctica, que acompañe a los productores y extensionistas en el proceso de adopción de tecnologías adecuadas a las particularidades de su territorio. Se abordan, entre otros, aspectos relacionados con el manejo de sistemas agroforestales con cacao, suelos y forrajes para una ganadería más sostenible, aspectos sanitarios y manejo sostenible en los cultivos de aguacate y cítricos, así como las buenas prácticas en la producción del cultivo de la caña panelera. A través de este esfuerzo realizado por AGROSAVIA desde el Centro de Investigación la Suiza, se espera contribuir a un desarrollo agropecuario más dinámico, competitivo y respetuoso con el entorno, y de esta manera favorecer la transferencia de conocimiento y fortalecer las capacidades de los pequeños y medianos productores, y de los extensionistas agropecuarios del Magdalena Medio y del Catatumbo.





Cacao

CAPÍTULO I.

Recomendaciones generales y buenas prácticas para el cultivo de cacao frente a condiciones de cambio climático

Jairo Rojas Molina, Fabricio Eulalio Leite Carvalho,
Felipe Montealegre Bustos, Genaro Andrés Agudelo Castañeda,
Eliana Yadira Báez Daza, Gersain Antonio Rengifo Estrada

Contexto nacional y regional del sector cacaotero

El sector cacaotero en Colombia es de gran relevancia para la economía agrícola del país, debido a que aproximadamente 68.816 familias distribuidas en 88.567 unidades de producción agropecuaria se encuentran vinculadas a este cultivo (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], s. f.). Es una agricultura familiar de pequeña escala en su gran mayoría, con uso de mano de obra familiar, productores con áreas de cultivo de 3 ha en promedio y la cual genera alrededor de 174.000 empleos directos e indirectos (Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia [Fedecacao], 2025).

La forma más común de siembra del cacao en Colombia es bajo sistemas agroforestales, que corresponden a la asociación del cacao con especies acompañantes que propician sombríos permanentes y transitorios, principalmente forestales, frutales, palmas y otras especies de pancoger que se emplean en la fase de establecimiento, como fríjol (*Phaseolis* spp.), maíz (*Zea mays*) y ahuyama (*Cucurbita maxima*). Lo anterior tiene como objetivo el aumento del manejo eficiente de la tierra a través del uso de estos cultivos intercalados (Alfonso-Alfonso et al., 2024).

Además de los ingresos derivados del sistema agroforestal, este provee varios servicios ecosistémicos, como secuestro de carbono, regulación del recurso hídrico y conservación de la biodiversidad (Mortimer et al., 2018; Vaast & Somarriba, 2014). El sistema agroforestal también brinda beneficios ambientales como reducción en el uso de fertilizantes de síntesis química y un uso más eficiente de la tierra (Koko et al., 2013).

En estudios como el de León Fajardo (2024), hay una correlación positiva en el crecimiento de la producción del sistema diversificado de cacao y la reducción de la pobreza, lo que mejora la calidad de vida de los productores. Esto sucede no solo por los ingresos que genera el cultivo de cacao, el cual durante 2024 y 2025 ha aumentado de forma significativa con respectos a años anteriores (Asociación Nacional de Comercio Exterior [Analdex], 2025), sino también por los otros productos que genera el sistema agroforestal. Por lo anterior, el cacao es un motor para el crecimiento y desarrollo de la economía del país, ya que aporta a la seguridad alimentaria de las familias de los agricultores en las zonas donde se establece este cultivo, genera ingresos adicionales y empleo, y sirve como materia prima para la producción de productos de excelente calidad para la exportación; además, contribuye a la conservación de la biodiversidad y al progreso en el sector agrícola de Colombia.

El cultivo del cacao en el contexto del cambio climático

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.), en la actualidad, es vulnerable a las variaciones climáticas, especialmente a los cambios en la temperatura, la disponibilidad hídrica y la incidencia de plagas y enfermedades. En el contexto del cambio climático, estas alteraciones representan una amenaza directa para la sostenibilidad y productividad de las zonas cacaoteras, en particular en regiones tropicales. Frente a este escenario, los sistemas agroforestales con cacao (SAF-cacao) se convierten en una estrategia de adaptación y mitigación eficaz.

Eventos extremos asociados al cambio climático

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un evento climático de gran importancia y posiblemente uno de los mejor estudiados del planeta. Se origina a partir de cambios inesperados de temperatura que generalmente ocurren en el Pacífico oriental, lo que implica aumentos y disminuciones en la temperatura del agua del océano (Builes-Jaramillo et al., 2023). Este fenómeno puede manifestarse en tres fases: El Niño, neutral y La Niña, según las fluctuaciones de la temperatura en el océano Pacífico oriental. Estos cambios están directamente asociados con variaciones de presión al nivel del mar, cambios en la temperatura superficial del mar (TSM), que a su vez afectan los vientos y las precipitaciones en el trópico, lo cual genera efectos climáticos en diferentes partes del mundo, incluida Colombia (Alizadeh, 2022; Builes-Jaramillo et al., 2023)

Así, los cambios asociados al ENOS están directamente correlacionados con los patrones de precipitación en Colombia, lo que puede llevar a periodos de sequía más severos durante los eventos de El Niño y lluvias más abundantes, con posibles inundaciones, durante los periodos de La Niña. Se cree que el fenómeno está relacionado con sequías devastadoras en muchas partes del mundo (Roa-Ortiz et al., 2024); de esta

manera, el mayor riesgo para el cacao son las sequias prolongadas en épocas secas (Farrell et al., 2018), lo cual, combinado con altas temperaturas, ha demostrado que puede reducir el rendimiento de las cosechas (Daymond & Hadley, 2004, 2008).

En eventos de sequía prolongada, las plantas de cacao pueden experimentar estrés debido al déficit hídrico. Este estrés se caracteriza especialmente por el cierre de estomas, la reducción de la actividad fotosintética y una mayor susceptibilidad al exceso de luz, temperatura y deficiencia nutricional, y además a una mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades. Además, el déficit hídrico severo puede provocar pérdida de turgencia foliar, lo que genera marchitez permanente, clorosis y amarillamiento de las hojas y abscisión foliar. Esto afecta de forma negativa la cantidad y la calidad de la producción y, en casos más extremos, causa la muerte de la planta (De Almeida et al., 2016; Tezara et al., 2020).

Durante los eventos de La Niña, el exceso de lluvia puede provocar inundaciones en el suelo, y esto daña la planta de cacao debido al estrés del exceso de agua. Teniendo en cuenta estas condiciones, las raíces de las plantas de cacao son incapaces de obtener la cantidad de oxígeno necesaria para su desarrollo, lo que resulta en una mayor producción de etileno, amarillamiento de las hojas, reducción de la actividad fotosintética y senescencia foliar temprana; esto afecta negativamente el crecimiento y la productividad de la planta de cacao (De Almeida et al., 2016). Además, el exceso de humedad puede favorecer la propagación de plagas y enfermedades, lo que puede hacer que el cultivo sea más susceptible a estas pérdidas (Monteiro Galvão et al., 2022).

Fisiología del cacao

Ecológicamente, el árbol de cacao es reconocido como una especie de sotobosque. En condiciones naturales, el cacao crece bajo la sombra de árboles más grandes, y se considera una especie típicamente umbrófila;

es decir, adaptada a los ambientes sombreados, donde la radiación fotosintéticamente activa (RFA) permite mantener la actividad fotosintética de la planta constante sin alcanzar el punto de saturación del aparato fotosintético de la planta (De Almeida & Valle, 2007).

Desde el aspecto histórico, el cacao ha sido cultivado bajo la sombra de una especie forestal, con múltiples diseños de siembra (por ejemplo, plantaciones rústicas de cacao) que ofrecen resultados variables sobre la cantidad y calidad de la radiación fotosintéticamente activa que alcanza la planta de cacao (Somarriba et al., 2018). Algunas investigaciones acerca de los requerimientos de sombra del cacao en diferentes estados del desarrollo de la planta han mostrado que, en sus estados tempranos, la planta necesita cerca de un 70 % de sombra, mientras que gradualmente, a medida que crece, la planta requiere menos sombra (hasta un 30 % cuando la planta entra en producción) (Niether et al., 2018). En general, las plantas de cacao son altamente sensibles a los excesos de RFA. Cuando la densidad de flujo fotónico supera los 600 µmol m^{-2} s^{-1} se presenta una saturación en la planta (25 % y 30 % de la radiación máxima en un día despejado). En este caso, las tasas máximas de asimilación de CO_2 no sobrepasan entre 6 y 7 µmol m^{-2} s^{-1}, debido posiblemente a la reducida conductancia estomática (80-150 µmol m^{-2} s^{-1}) y alta sensibilidad al déficit hídrico y la irradiancia (DaMatta, 2007).

Fisiológicamente, se ha establecido que los árboles asociados a los cultivos de cacao reducen los excesos de RFA, y de esta manera se protegen las plantas de los daños metabólicos por excesos de radiación y se regula la eficiencia en la asimilación de agua al reducir el estrés hídrico y la conductancia estomática (Jaimez et al., 2008); asimismo, los requerimientos nutricionales son menos demandantes. Bajo sombrío, el cacao optimiza el uso de nutrientes acorde a la fotosíntesis; por lo tanto, no necesita tanto nitrógeno o fósforos para la formación de proteínas, ni tanto potasio para estimular el crecimiento y acelerar la translocación de carbohidratos hacia el sistema radicular de la planta (Van Vliet & Giller, 2017).

Otras investigaciones sugieren que es posible cultivar cacao sin sombra, bajo condiciones climáticas específicas (por ejemplo, en Ecuador), donde incluso la productividad puede superar los árboles con sombrío (Jaimez et al., 2018). Sin embargo, existe evidencia experimental que ha demostrado que los árboles de cacao a plena exposición tienen ciclos de producción más cortos, lo cual lleva al deterioro progresivo de la planta, a la pérdida de vigor (proliferación de enfermedades y ataques de insectos) y a su muerte. A plena exposición (monocultivo), factores como la alta radiación y la temperatura del aire pueden generar efectos negativos sobre las plantas de cacao (déficit hídrico y respiración de las hojas) (DaMatta, 2007). El estrés hídrico es común cuando el cultivo de cacao está expuesto directamente al sol. En estas condiciones, el cierre estomático es un proceso fisiológico normal para evitar la pérdida de agua (Medrano et al., 2002; Parry et al., 2002), puesto que la conductancia estomática y el metabolismo se reducen, y esto afecta la anatomía, la morfología y la fisiología de la planta (Flexas & Medrano, 2002; Rada et al., 2005; Tezara et al., 2020). No obstante, las altas densidades de siembra sobre la plantación de cacao y prácticas agronómicas apropiadas pueden reducir notablemente el efecto negativo de la exposición directa al sol (Niether et al., 2018).

La estructura o arreglo agroforestal, a través de la sombra, modifica el microclima asociado al cultivo de cacao. Factores como la humedad relativa, temperatura, evapotranspiración y disponibilidad de agua en el suelo cambian conforme incremente o disminuya la intensidad de radiación y temperatura dentro del cultivo. Por ejemplo, en un cultivo sin sombra, al aumentar el flujo fotónico sobre el cultivo, la temperatura interna de la hoja incrementa, se produce una mayor diferencia de presión de vapor (DPV) entre la hoja y el aire, y aumenta la evaporación (Ev). Esto promueve el cierre estomático al reducir la conductancia estomática (gs) y, como resultado, disminuye la tasa fotosintética (A), lo cual reduce la producción (Jaimez et al., 2008).

Cuando las hojas de cacao están expuestas directamente al sol, incrementa la temperatura de la hoja (40 %), en relación con las hojas que están bajo sombra. Esto trae como consecuencia un elevado aumento de la transpiración de las hojas expuestas al pleno sol, lo que aumenta la posibilidad de estrés hídrico. En plantas severamente estresadas, se ha evidenciado una reducción de 25 % en las tasas de asimilación de CO_2, mientras que las tasas de transpiración disminuyen un 39 % por el cierre estomático, lo cual afecta la productividad de la planta (Rada et al., 2005). Asimismo, se ha demostrado que la floración del cacao puede ser inhibida durante los periodos de estrés hídrico; esto resulta ser un factor importante para la rentabilidad del cultivo. Cabe resaltar que las plantas de cacao manifiestan ajustes osmóticos en la medida que el déficit de agua es mayor o menor (García Lozano & Moreno Fonseca, 2016).

Alternativas de manejo del cultivo de cacao para mitigar el estrés asociado al cambio climático

El cultivo de cacao en Colombia, y especialmente en Santander, se encuentra cada vez más expuesto a la inestabilidad climática marcada no solo por las tendencias globales del cambio climático, sino también por la recurrencia e intensidad creciente de los eventos extremos asociados a El Niño y La Niña. Estos fenómenos generan fluctuaciones abruptas en la disponibilidad hídrica, la temperatura y la humedad relativa, lo que altera la fisiología del cacao y compromete la productividad de las fincas. En los periodos de sequia, una de las estrategias más prometedoras son los sistemas de riego, particularmente aquellos basados en la programación por evapotranspiración y monitoreo climático local, que permiten aplicar el agua de forma precisa y eficiente. De manera complementaria, la mejora del drenaje mediante zanjas de infiltración, canales de desagüe y prácticas de manejo de escorrentías se ha vuelto fundamental para mitigar los impactos del exceso de lluvia durante La Niña. Estas soluciones, sumadas al uso de co-

berturas vegetales, la diversificación de sombra en sistemas agroforestales y las prácticas de conservación del suelo, permiten estabilizar el microclima, reducir la evapotranspiración y mejorar la capacidad del cacao para enfrentar fluctuaciones extremas

Recomendaciones generales para eventos: La Niña

En caso de cambios asociados al fenómeno La Niña (exceso de agua), se recomienda llevar a cabo las siguientes acciones en el cultivo de cacao:

- Revisar y adecuar el sistema de drenaje (canales principales y secundarios) para garantizar la evacuación de agua y humedad excesivas en el suelo, y así evitar los encharcamientos dentro de los lotes de producción.
- Evitar la siembra en zonas donde los suelos estén muy compactados o se puedan encharcar fácilmente.
- Realizar fertilización de manera oportuna y adecuada, teniendo en cuenta el análisis de fertilidad del suelo y atendiendo a los requerimientos del cultivo.
- Hacer prácticas culturales como podas de formación y mantenimiento en las plantas de cacao para fomentar una arquitectura productiva adecuada; además, realizar podas en el forestal de sombrío una vez al año, con el fin de evitar excesos de humedad en el interior de la plantación que lleven al surgimiento exponencial de enfermedades en el cacao, como Monilia o Fitóftora (figura 1).
- Incrementar el monitoreo de síntomas y signos de las principales enfermedades limitantes, con el fin de prevenir la dispersión de las plagas y los patógenos.
- Adecuar la disposición de los residuos de cosecha para disminuir las fuentes de inóculos de posibles microorganismos fitopatógenos.

- Realizar las podas sanitarias antes del inicio del pico de lluvias y desinfectar las herramientas que se utilicen en esta actividad.
- Evitar programar la cosecha durante los picos de alta humedad o lluvia.
- Hacer un manejo de arvenses o malezas adecuado y frecuente en los lotes, procurando conservar las especies de cobertura del suelo que no sean invasivas, con el objetivo de disminuir las pérdidas por erosión y escorrentía.



Figura 1. Podas, reducción de inóculo de enfermedades y mejora en la circulación de aire y luz en la planta.

Foto: Laura Dayana Escobar

Recomendaciones generales para eventos: El Niño

De manera general, se recomiendan las siguientes actitudes inmediatas ante eventos de sequía relacionados con El Niño en el cultivo del cacao:

- Por pérdidas en germinación y muerte de plantas, no es conveniente hacer semilleros ni realizar siembras en esa fase.
- Si ya están establecidos los semilleros, recurrir al riego (por goteo o microaspersión); para esto, se pueden usar coberturas e hidrorretenedores.
- Construir reservorios para almacenar el agua (preferiblemente cubiertos).
- Identificar fuentes alternativas de agua como pozos y aljibes, y realizar el mantenimiento periódico de estas fuentes hídricas.
- No realizar podas fuertes. Si es estrictamente necesario, se puede hacer la actividad en horas de menor temperatura.
- Mantener la cobertura viva o muerta entre árboles. Es importante prestar atención especial al manejo de plagas y enfermedades.
- En cultivos nuevos (recién establecidos), se debe conservar el sombrío transitorio y utilizar fracciones del pseudotallo del plátano o banano, colocados a cinco centímetros de la raíz del cacao para conservar la humedad. De igual manera, se puede hacer uso de hidroretenedores realizando recargas hídricas periódicas para mantener la humedad en el suelo.
- Verifique las condiciones de humedad del suelo antes de llevar a cabo labores de fertilización.
- Priorizar el uso de diseños de siembra basados en sistemas agroforestales, ya que estos modelos pueden generar microclimas con temperaturas y humedad más favorables al cacao, lo cual evita o reduce la incidencia del déficit hídrico.

Recomendaciones generales sobre prácticas de riego en el cultivo de cacao

Los cultivos de cacao en su mayoría se establecen bajo sistemas agroforestales en los cuales las condiciones de sombra ayudan al desarrollo y desempeño adecuados de las plantas, lo que permite que estas no presenten estrés en momentos de déficit hídrico. Por ello, se han implementado sistemas de riego para momentos de alta radiación y demanda hídrica, previendo que esta práctica compense el costo de la implementación del riego, debido a que se pueden obtener incrementos de producción superiores al 30 % con esta técnica

Teniendo en cuenta el requerimiento hídrico del sistema productivo de cacao, se puede implementar un sistema de riego localizado por goteo que funciona por gravedad; esto permite la tecnificación del cultivo, con un ahorro entre el 40 % y 60 % de agua respecto a los sistemas tradicionales de riego y una reducción significativa de la mano de obra empleada, ya que se controla la frecuencia y la cantidad de agua aplicada. Asimismo, la humedad del suelo se optimiza, pues las variaciones en la humedad edáfica causan estrés a las plantas, lo cual afecta el crecimiento y la producción.

En algunas fincas de ladera en Santander se puede aprovechar la pendiente, pues en muchos casos la baja presión hidráulica disponible y la falta de puntos de conexión eléctrica dificultan la implementación de sistemas de riego; por eso se implementa el sistema de riego por goteo que cubre los momentos críticos de escasez de agua. Para calcular las necesidades de riego en el cultivo, se tiene en cuenta su requerimiento hídrico para su óptimo desarrollo, las condiciones de textura y estructura del suelo, las pérdidas de agua por evapotranspiración del cultivo (ETc) y las ganancias de humedad del suelo por precipitación (P); de esta manera, se determina la lámina de riego que se va a aplicar. La determinación del número de emisores por planta se realiza en función del estado de desarrollo del

cultivo y su distancia de siembra; por ejemplo, en el caso particular de una finca típica en Santander las distancias son de tres metros entre surcos por tres metros entre plantas, con una densidad de 1.000 plantas/ha.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) implementó un sistema de riego en el municipio de Rionegro, Santander, en el marco de un proyecto de investigación financiado por el Gobierno coreano con su Iniciativa de Cooperación para la Alimentación y la Agricultura de Corea-América Latina (KoLFACI). Este proyecto estuvo coordinado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), con el fin de realizar prácticas de agricultura climáticamente inteligente como el riego, el cual permitió garantizar el suministro de agua al cultivo de cacao en periodos de escasez hídrica asociados al fenómeno de El Niño. Para ello, se hizo un reservorio recubierto con geomembrana con una capacidad de 36 m^3, con el que se aprovechó el desnivel natural con una cota máxima de captación de 957 m s. n. m, y desde el cual se condujo el agua con una tubería de polietileno hasta la cota 945 m s. n. m donde se encontraba el reservorio. Desde este punto se realizó la aplicación del riego por goteo a toda la parcela a través de dos módulos de riego (figura 2).

Para realizar los cálculos, se estimó un tiempo de riego y, teniendo en cuenta que las plantas estaban separadas por tres metros, se colocó una tubería de seis goteros por planta con una dosis de 32,4 litros/planta por día. El tiempo de riego requerido fue:

Tr: Tiempo de riego

Dr: Dosis de riego

#g: Número de goteros por planta

Qg: Caudal del gotero

$$Tr = \frac{Dr}{\#\ g\ .Qg}$$

$$\boldsymbol{Tr} = 3{,}37 \frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{día}} \textbf{\textit{(etapa de máximo desarrollo)}}$$



Figura 2. Punto de captación de agua con geomembrana de capacidad de 36 m³. a. Fase inicial de construcción; b. Instalación de las paredes del reservorio e inicio de la colocación de la geomembrana; c. Llenado del reservorio.

Nota: Proyecto KoLFACI-AGROSAVIA, Catie.
Fotos: Equipo de trabajo

En la tabla 1, se hace una estimación aproximada de los elementos y costos de un sistema de riego para una hectárea de sistemas agroforestales (SAF) de cacao, el cual tiene un valor aproximado de $17,5 millones; sin embargo, estos elementos pueden presentar algunos ajustes, dependiendo de las características del terreno, del punto de aprovisionamiento del agua, entre otros. Por ejemplo, en el sistema de riego estimado se considera la adquisición de una bomba para impulsar el agua, para zonas planas, pero en caso de terrenos inclinados este equipo no es necesario.

Tabla 1. Costos estimados de sistema de riego para 1 ha de SAF de cacao (precios en pesos colombianos 2025)				
Material o accesorio	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Adaptador macho rápido interplas de 63 mm x 2"	2	Unidad	$ 24.000	$48.000
Adaptador hembra PVC de 2"	4	Unidad	$ 9.800	$39.200
Codo PVC presión de 2"	3	Unidad	$12.800	$38.400
Adaptador macho PVC peresión de 2"	2	Unidad	$5.200	$10.400
Válvula de cortina de bronce de 2" (cheque)	1	Unidad	$180.000	$180.000
Tee PVC de 2"	1	Unidad	$11.900	$11.900
Buje o reducción roscada de PVC de 2" x 1"	1	Unidad	$12.500	$12.500
Válvula ventosa de triple acción marca bermad 1"	1	Unidad	$35.000	$35.000
Filtro de anillos marca Arkal 2 super de 120 mesh	1	Unidad	$140.000	$140.000
Collarin de 2" x 1/2"	2	Unidad	$15.000	$30.000
Reducción galvanizada de 1/2" x 1/4"	2	Unidad	$4.500	$9.000
Manometro de glicerina de 0 a 70 PSI	2	Unidad	$50.000	$100.000
Unión universal PVC de 2"	1	Unidad	$29.800	$29.800
Tubería PVC presión RDE 21 de 2" tubo x 6 m	1	Unidad	$12.800	$12.800
Tubería de polietileno OP de 63 mm	280	Metros	$8.600	$2.408.000
Unión rápida interplast de 63 mm	2	Unidad	$41.000	$82.000
Adaptador macho rápido interplast de 63 mm x 1" NPT	1	Unidad	$29.000	$29.000

Tabla 1. Costos estimados de sistema de riego para 1 ha de SAF de cacao (precios en pesos colombianos 2025)

Material o accesorio	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Válvula de bola PVC de 1"	1	Unidad	$9.000	$9.000
Tee PVC presión de 2"	3	Unidad	$12.800	$38.400
Buje de compresión de 2" x 63 mm	4	Unidad	$24.000	$96.000
Adaptador macho rápido interplas de 50 mm x 1"	3	Unidad	$20.500	$61.500
Válvula de bola PVC roscada de 1"	3	Unidad	$9.000	$27.000
Buje o reducción lisa PVC de 2" x 1/1/2"	3	Unidad	$6.500	$19.500
Codo PVC presión de 1 1/2"	6	Unidad	$6.900	$41.400
Tee PVC presión de 1 1/2"	3	Unidad	$8.200	$24.600
Buje o reducción PVC roscada de 1 1/2" x 1"	3	Unidad	$6.000	$18.000
Adaptador hembra PVC presión 11/2"	3	Unidad	$7.800	$23.400
Adaptador macho rápido interplast de 50 mm x 11/2" NPT	6	Unidad	$29.000	$174.000
Válvula ventosa de triple acción marca Bermad	3	Unidad	$84.700	$254.100
Adaptador macho PVC presión de 1 1/2"	6	Unidad	$4.800	$28.800
Válvula de cortina de bronce de 1 1/2"	3	Unidad	$195.000	$585.000
Unión universal PVC de 1 1/2"	3	Unidad	$26.000	$78.000
Tubería PVC presión RDE 21 de 1 1/2" tubo x 6 m	2	Unidad	$8.950	$17.900

Tabla 1. Costos estimados de sistema de riego para 1 ha de SAF de cacao (precios en pesos colombianos 2025)				
Material o accesorio	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Tubería de polietileno OP de 50 mm	240	Metros	$4.800	$1.152.000
Unión rápida interplast de 50 mm	3	Unidad	$26.800	$80.400
Silleta de goma larga de 16 mm	90	Unidad	$500	$45.000
Conector inicial de riego de 16 mm	90	Unidad	$800	$72.000
Tubería de polietileno OP de riego de 16 mm	4000	Metros	$540	$2.160.000
Conjunto de microaspersor marca Netafim, referencia supernet LRD PC autocompensado, caudal de 30 lph que incluye: deflector de chorro, estaca, microconector y 60 cm de microtubo	1.200	Unidad	$4.600	$5.520.000
Obturador de 16 mm	90	Unidad	$400	$36.000
Broca de 16 mm	1	Unidad	$12.000	$12.000
Cinta teflón industrial de 3/4”	2	Unidad	$4.200	$8.400
Soldadura PVC frasco x 1/8 galón	1	Unidad	$48.000	$48.000
Limpiador PVC x frasco de 1/16 de galón	1	Unidad	$19.000	$19.000
Adaptador hembra PVC de 2”	1	Unidad	$9.500	$9.500
Adaptador macho PVC presión de 2”	1	Unidad	$4.900	$4.900
Codo PVC presión de 2”	8	Unidad	$12.500	$100.000
Unión universal PVC de 2”	2	Unidad	$28.000	$56.000

Tabla 1. Costos estimados de sistema de riego para 1 ha de SAF de cacao (precios en pesos colombianos 2025)				
Material o accesorio	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Buje o reducción lisa PVC de 2" x 1/1/2"	4	Unidad	$7.500	$30.000
Adaptador macho PVC presión de 1 1/2"	2	Unidad	$4.500	$9.000
Válvula de bola PVC radial de 1 1/2"	1	Unidad	$18.500	$18.500
Tee PVC presión de 2"	2	Unidad	$7.800	$15.600
Válvula de bola PVC soldar de 1 1/2"	1	Unidad	$73.800	$73.800
Electrobomba Barnes, modelo HE-1.5 30-1, referencia 1E0559	1	Unidad	$2.885.000	$2.885.000
Riel omega por 30 cm	1	Unidad	$10.000	$10.000
Termomagnético tipo riel de 2*20	2	Unidad	$30.000	$60.000
Cable encauchado 3*12 por metros AWG x metro	4	Metros	$13.571	$54.284
Arrancador directo para motor de 3 hp- entre 12 y 15 amperios	1	Unidad	$210.000	$210.000
				$17.401.984

Fuente: Elaboración propia

Uso de sistemas agroforestales como adaptación al cambio climático

Los sistemas agroforestales generan sistemas de producción diversos y, por ende, más resilientes. El diseño de estos sistemas de cultivo de cacao bajo sistema agroforestal promueve un clima moderado a la sombra de los árboles que disminuye la temperatura de 2 °C a 5 °C. La exposición del cacao a periodos largos de escasez hídrica afecta los procesos fisiológicos (reducción de fotosíntesis, cierre de estomas, entre otros), lo cual provoca un menor crecimiento de la planta y, a largo plazo, menor producción (Cilas & Bastide, 2020).

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) crece generalmente bajo sistemas agroforestales, en compañía de muchas especies de anuales y de perennes. Los árboles sombra tienen varias funciones: 1) modificar el régimen de luz, tanto en calidad como en cantidad, la temperatura del aire, la humedad y el movimiento del viento dentro de la plantación, lo cual afecta la fotosíntesis, el crecimiento y la producción de cacao (De Almeida & Valle 2007; Zuidema et al., 2005); 2) favorecer o disminuir la dinámica poblacional y la incidencia de plagas y enfermedades (y de sus enemigos naturales) que reducen la producción de cacao y de sus especies acompañantes (Schroth et al., 2000); 3) producir cantidades significativas de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, y ayudar a mantener la fertilidad natural del sitio (Hartemink, 2005), aspecto de suma importancia en las plantaciones de cacao que no son fertilizadas; 4) producir bienes, madera, leña, resinas, productos medicinales, servicios culturales y valores estéticos, así como conservar la biodiversidad, el suelo y el agua, y ayudar al secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático (Rice & Greenberg, 2000; Ruf & Schroth, 2004; Schroth & Harvey, 2007).

Lo anterior ha hecho que la implementación de los sistemas agroforestales con cacao sea una buena manera de adaptación a lugares con climas adversos y con periodos secos prolongados, ya que favorecen la producción del cultivo. Asimismo, durante periodos de exceso de lluvias asociadas al fenómeno de La Niña, se recomienda tener mayores cuidados en el manejo de poda de especies forestales y del cacao, y así evitar el exceso de sombra y una mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades (Monteiro Galvão et al., 2022). Entre los muchos beneficios del sistema agroforestal con cacao se destacan los siguientes:

- Protege el cultivo de los cambios climáticos extremos, protege el cacao de temperaturas extremas y de precipitaciones fuertes; además, ayuda a preservar el suelo, principalmente en regiones con pendientes fuertes, como es el caso de los cultivos en Santander (figura 3).
- Sirve como medio para incrementar la fertilidad del suelo a través del ciclaje de nutrientes y a conservar el agua en el perfil del suelo.
- Aumenta la sostenibilidad del cultivo del cacao y su producción, y así disminuye su vulnerabilidad a cambios climáticos extremos.
- Ayuda a la diversificación de la producción y al uso de especies transitorias que tengan una mayor eficiencia en el empleo de agua.
- Conserva el agua en las plantas de cacao al modificar las condiciones microclimáticas dentro de la plantación, pues reduce la transpiración y, por ende, el uso del agua por parte del cultivo.



Figura 3. Sistema agroforestal de abarco (*Cariniana pyriformis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en Rionegro, Santander.

Foto: Laura Dayana Escobar

Consideraciones generales sobre el comportamiento del material genético del cacao en sistemas agroforestales y en monocultivo

En el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, entre 2014 y 2017, se realizó una evaluación del comportamiento dasométrico, fisiológico y productivo de diez genotipos de cacao (SCC61, SCC 64, SCC19, SCC83, SCC52, CCN51, ICS95, ICS1, EET8 y THS565), establecidos en un arreglo experimental a libre exposición solar y bajo sombrío, con tres niveles

de fertilización (Lamos-Díaz et al., 2020). Como resultado general, se encontró que las variedades de cacao responden de manera diferencial al modelo de siembra (con y sin sombra); así, variedades como SCC61 y SCC19, con un modelo bajo sombra, mostraron los más altos niveles de fotosíntesis y una mejor eficiencia en el uso de agua. Asimismo, las plantas de cacao respondieron de manera diferencial al nivel de fertilización empleado según el modelo de siembra. Se encontró que las plantas que están a libre exposición responden mejor a un nivel de fertilización del 150 % sobre el análisis edáfico que las plantas bajo sombra (50 % y 100 %). Estos resultados confirman la necesidad de entender el comportamiento agronómico y fisiológico de las variedades de cacao bajo diferentes condiciones, con el objetivo de implementar nuevas alternativas tecnológicas y recomendaciones que mejoren la competitividad y calidad de vida del productor.

Los experimentos a partir de condiciones contrastantes de radiación (efecto térmico y luminoso) o nutrición pueden determinar la respuesta fisiológica y productiva de las plantas. Típicamente, se ha considerado al cacao como una especie adaptada a la sombra, ya que es altamente sensible al exceso de radiación y déficit hídrico (De Almeida & Valle, 2007). En la actualidad, se reconoce que la sombra provista por los árboles en los SAF asociados a los cultivos de cacao reducen los excesos de luz, y así protegen las plantas de daños metabólicos, además de regular la eficiencia en la asimilación de agua, al reducir el estrés hídrico y la conductancia estomática (Agudelo-Castañeda et al., 2018; Jaimez et al., 2008). Por ejemplo, Agudelo-Castañeda et al. (2018) encontraron que especies forestales como el abarco (*Cariniana pyriformis*), la teca (*Tectona grandis*) y el caucho (*Hevea brasiliensis*) proveen la sombra necesaria (60 % y 70 %) para que las plantas de cacao logren mayores tasas fotosintéticas (570-697 µmoles m^{-2} s^{-1}), dadas las condiciones de alta luminosidad (1.800 µmoles m^{-2} S^{-1}) en un cultivo desprovisto de sombra.

Al respecto, se ha reportado que las plantas de cacao de los tipos criollo y forastero, incluyendo el híbrido entre estos dos tipos (trinitario), se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre 400 y 600 µmol m^{-2} s^{-1}. Estas intensidades constituyen entre el 25 % y el 30 % de la radiación máxima en un día despejado (Balasimha et al., 1991; Suárez Salazar et al., 2018), donde las tasas máximas de asimilación de CO_2 no sobrepasan los 6 o 7 µmol m^{-2} s^{-1}, debido posiblemente a la reducida conductancia estomática (80-150 mmol m^{-2} s^{-1}) y alta sensibilidad al déficit hídrico y la irradiancia (Bae et al., 2008; DaMatta, 2007). Como resultado, el exceso de luz resulta ser un factor limitante para el crecimiento y la eficiencia de la tasa fotosintética en plantas C3.

Consideraciones finales

El sistema de producción de cacao enfrenta algunos desafíos ante el cambio climático, como:

1. Reducción de zonas aptas para el cultivo debido a un cambio en los patrones de precipitación, lo cual alterara los lugares donde se puede sembrar el cultivo. Esta situación se ha evidenciado en África occidental, especialmente en los principales países productores, como Costa de Marfil y Ghana, y está asociada a la disminución de las precipitaciones (Kongor et al., 2024), y también en algunas zonas costeras de Ecuador, donde se registra un aumento de estas. Lo anterior provocara desplazamiento del cultivo a otras zonas; por ejemplo, en el caso de Colombia en las zonas marginales cafeteras con alturas entre 1.200-1.500 m s. n. m., el cultivo del cacao está desplazando al cultivo del café.

2. El aumento de las temperaturas y del CO_2, y la reducción en la disponibilidad de agua afectarán la fisiología del cultivo y, por ende, la producción. Por ello, es necesario realizar una cacaocultura adecuada para ese tipo de condiciones, adoptando sistemas agroforestales y prácticas agrícolas

resilientes para mitigar los impactos del cambio climático, como el uso de riego y de sistemas agroforestales, la fertilización adecuada y oportuna, entre otras.

3. Aumento en los riesgos fitosanitarios, que son provocados por los cambios en los patrones de lluvia y los aumentos en la temperatura, que altera la distribución de las enfermedades (monilia, fitóftora, entre otras); esto aumenta su incidencia y severidad en muchas regiones productoras.

Teniendo en cuenta lo anterior, las soluciones que se plantean para reducir la vulnerabilidad al cambio climático son: 1) implementar programas de mejoramiento genético que entreguen a los agricultores materiales resistentes a la sequía, con germoplasma mejorado (Cilas & Bastide, 2020; Kongor et al., 2024); 2) adoptar tecnologías de riego, aunque en algunos casos los costos no permiten que muchos productores puedan contar con estas tecnologías (Carr & Lockwood, 2011; Läderach et al., 2013), y 3) emplear sistemas agroforestales con árboles sombra que protejan los cacaotales de la luz solar directa y del aumento de las temperaturas, aunque puede presentarse competencia por agua y nutrientes; por ello, es importante una buena selección de la especie arbórea de acuerdo con la zona agroecológica.



Aguacate

CAPÍTULO II.

El cultivo de aguacate en Santander. Situación actual y recomendaciones de manejo con énfasis en aguacates criollos

Claudia María Holguín Aranzazu, Fe1ipe Montealegre Bustos,
Yeirme Yaneth Jaimes Suárez, Leonardo Villalba Campos

Contexto del sector aguacate en Santander

Santander es el principal departamento productor de aguacates criollos en Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). Actualmente, los principales municipios productores de la fruta en el departamento en términos de área sembrada y cosechada son Rionegro, El Carmen de Chucurí y San Vicente de Chucurí (MADR, 2023). Sin embargo, en términos de productividad, San Vicente de Chucurí es el mayor productor con 9.500 toneladas en 2023, seguido por Rionegro, Landázuri y El Carmen de Chucurí con 4.857, 3.780 y 3.615 toneladas, respectivamente, para el mismo año (MADR, 2023).

El departamento de Santander se caracteriza por producir aguacates criollos y antillanos (MADR, 2021). En los últimos años, estos aguacates han enfrentado una disminución en la productividad, debido a la mortalidad inesperada de árboles especialmente en municipios como El Carmen de Chucurí y Simacota. Por lo anterior, el municipio de El Carmen de Chucurí entre 2017 y 2021 presentó una caída del 40 % en el área sembrada de aguacate, y una disminución del 31 % en el área cosechada y del 21 % en la producción de la fruta.

Los aguacates criollos de El Carmen de Chucurí y los municipios aledaños ubicados en la provincia de Yariguíes, en el Magdalena Medio santandereano, son reconocidos en la región por su alta palatabilidad y sabor al consumirlo en fresco. Esta fruta es uno de los aliados importantes de la economía de las veredas productoras de la fruta en estos municipios.

Caracterización núcleo productivo de aguacates criollos: estudio de caso en la provincia de Yariguíes del departamento de Santander

Teniendo en cuenta que la problemática de la mortalidad de árboles en el sector aguacatero de El Carmen de Chucurí se extendió en varias veredas y municipios aledaños, y considerando que diferentes factores pueden estar ocasionando la mortalidad de las plantaciones de aguacate según la literatura reportada (Burbano- Figueroa et al., 2018; Carrillo, 2016; Intagri, 2017; Ramírez-Gil, 2018), se realizó una caracterización del sistema de producción de aguacate en las principales veredas productoras de la fruta en El Carmen de Chucurí y Simacota, que incluyó aspectos sociales, económicos y de manejo del cultivo, con el fin de determinar los factores predisponentes que están ocasionando la mortalidad de aguacates en la zona.

En los talleres realizados para la caracterización de los productores, se utilizó un instrumento de recolección de información primaria que estaba conformado por las variables que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Variables recolectadas a partir de las encuestas realizadas a los productores de aguacate del municipio El Carmen de Chucurí

Variables de análisis	
1. Información socioeconómica del hogar (edad, nivel educativo, ingresos y gastos del hogar).	**2.** Descripción del predio (área de la finca, uso del suelo, vías e acceso).
3. Conocimiento de inocuidad (manejo de insumos, prácticas de desinfección).	**4.** Producción (experiencia del productor, cultivo, entidades de capacitación, personal que trabaja en el cultivo, valor del jornal).
5. Prácticas de manejo de cultivo desde la siembra hasta la poscosecha (topografía del cultivo, variedades sembradas, edad del cultivo, origen del material de siembra).	**6.** Manejo fitosanitario del cultivo (plagas y enfermedades más comunes en el cultivo, manejo de las plagas y enfermedades).

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los resultados de cada una de las variables caracterizadas.

Información socioeconómica

Las fincas en la región se caracterizan por tener una extensión promedio de 1 a 10 hectáreas. Los hogares están conformados hasta por cuatro personas, y la mayor parte de las familias afirma tener ingresos inferiores a un salario mínimo legal vigente. La principal fuente de ingresos es la venta de aguacate en fresco, seguido del cacao; el aguacate, en la mayoría de los casos, se encuentra bajo sistemas agroforestales en asocio con cacao principalmente. También se evidencia otro tipo de ingresos que provienen de la producción de leche y de la venta de ganado.

El nivel educativo alcanzado por los productores de la región es la primaria completa o solo algunos años, y su edad oscila entre los 35 años y 64 años. Estos productores viven en la región desde hace más de diez años, lo que les ha permitido evidenciar la problemática que se ha presentado durante los últimos años en el cultivo de aguacate relacionada con la mortalidad progresiva de las plantaciones.

Respecto a las vías terciarias y las vías de acceso a las fincas, estas son destapadas y están en malas condiciones, lo cual se debe a la presencia de riachuelos y quebradas que en las épocas de lluvia bloquean las vías y dejan incomunicadas a varias veredas. Por tal razón, el medio de transporte más utilizado por los productores es la motocicleta.

Características de manejo del cultivo

Área de siembra. El área sembrada de aguacate en las fincas de la región corresponde a 1-2 hectáreas en promedio; no obstante, el aguacate en estos municipios se cultiva en asocio con cacao. El número de árboles de aguacate sembrados por finca aproximadamente es de 100 árboles por hectárea, con excepciones de hasta 800 árboles/ha. El cultivo de aguacate está sembrado principalmente en terrenos con pendientes u ondulados. Los árboles pueden llegar a tener hasta 25 o 30 m de altura, y en la mayoría de los casos su edad supera los 10-15 años.

Variedades sembradas en la zona. Las variedades de aguacate que se siembran en esta región son principalmente criollas; también se siembran, aunque en menor proporción, Choquette, Papelillo y Santa Cruz. Los productores mencionan que siembran las variedades criollas debido a la tradición y al conocimiento que tienen sobre estos materiales, así como a la facilidad en la comercialización, la durabilidad en la poscosecha, la facilidad para su

manejo y para adquirir la semilla, la productividad, la resistencia a enfermedades, el sabor y el tamaño; además, porque no requieren abono y se adaptan muy bien a la zona. Las variedades que los productores consideran nuevas son Choquete, Lorena, Santa Cruz y Papelillo.

Manejo de insumos agrícolas. Se evidencia por parte de los productores un desconocimiento del grado de toxicidad de los plaguicidas que utilizan y la fecha de carencias de estos; asimismo, desconocen el concepto de *inocuidad* y las buenas prácticas agrícolas (BPA). Los envases los queman y no cuentan con lugares de mezcla para los insumos, almacenan fertilizantes y plaguicidas en el mismo lugar y no realizan desinfección de las herramientas. En relación con los elementos de protección, lo que más usan para la aplicación de plaguicidas son las botas, la mascarilla y los guantes.

Acompañamiento y capacitaciones. Los productores cuentan con más de ocho años de experiencia con el cultivo de aguacate; sin embargo, son pocas las capacitaciones que han recibido en el manejo integrado del cultivo de aguacate, y las que se han hecho han estado relacionadas con el manejo del cultivo, como análisis de suelos, fertilización, BPA, plagas, asociatividad, entre otros. Estas capacitaciones las desarrollaron instituciones como AGROSAVIA, la Alcaldía de El Carmen de Chucurí, la Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol), Corporación Tierra para la Paz del Magdalena Medio (Cortipaz), Desarrollo y Paz, la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umata). Es importante mencionar que los productores afirman que no cuentan con asistencia técnica para su cultivo de aguacate, lo cual es preocupante dado que el apoyo a los productores a través de la asistencia técnica y las capacitaciones es de suma importancia para el manejo del cultivo y la generación de mejores rendimientos de producción.

Asociatividad. En la región existen algunas asociaciones como Acuasar, Asoagropalta, Corpored, Cortipaz, Redesc y Redcampesina; sin embargo, debido a la falta de asistencia técnica y acompañamiento a los productores, muchas de estas asociaciones han ido perdiendo representatividad en el territorio.

Mano de obra. La mano de obra que predomina en el cultivo de aguacate en la zona de El Carmen de Chucuri y en Simacota es familiar y contratada; esta última se utiliza principalmente a través de jornales, en las temporadas de cosecha.

Manejo fitosanitario. En los últimos años, en la región se ha presentado una alta mortalidad de árboles de aguacate. Según los productores, esto se debe a enfermedades, microbios, pestes, hongos, plagas, al riego o al suelo. Las plagas que los productores consideran que más afectan al cultivo de aguacate son: chiza, hormiga, comején, perforadores de tallos y frutos (tabla 3).

Para el control de estas plagas, los productores utilizan productos químicos como Lorsban y Regent. Según los productores, la transmisión de las enfermedades en sus cultivos se debe a problemas en los suelos, a prácticas inadecuadas, al clima, la contaminación del aire, la fumigación de cultivos ilícitos, los animales, el asocio con el cultivo de cacao o el agua. Sin embargo, aunque los productores entienden que tienen problemas fitosanitarios en sus cultivos, las prácticas fitosanitarias son casi inexistentes en el cultivo de aguacate, pues solo realizan revisión de los lotes para el proceso de cosecha.

Respecto a la identificación de síntomas ocasionados por plagas y enfermedades, es común que para los productores todas las enfermedades generen amarillamiento o secado del árbol. Esta situación obedece al limitado conocimiento con el que cuentan acerca de estas temáticas, debido a la escasa asistencia técnica y jornadas de transferencia tecnológica sobre el manejo integrado del aguacate en el territorio.

Tabla 3. Enfermedades presentes en el cultivo de aguacate de acuerdo con la percepción de los productores

Enfermedad	Presencia	Edad	Síntomas
Phytophthora	Alta	Adulta-joven	Amarillamiento, secamiento del árbol, pérdida de color y pudrición del tallo.
Pudrición de la raíz	Alta	Adulta-joven	Amarillamiento, secamiento del árbol, escasez de hoja y pudrición de la raíz.
Peca del fruto	Alta	Cosecha	Daño del fruto y amarillamiento.
Fusarium	Alta	Adulto	Amarillamiento, secamiento del árbol, presencia de gusanos, pudrición de gajos y ramas.

Fuente: Elaboración propia

Cosecha y comercialización. Los productores afirman tener dos periodos de cosecha en el año: uno en el primer trimestre y otro en el último trimestre del año; estos periodos comienzan para algunos en enero y para otros en febrero o marzo. Los productores señalan que, una vez cosechada y comercializada, la fruta presenta una vida útil máxima de dos días, debido a la ausencia de infraestructura adecuada para su acopio, almacenamiento o transformación. Asimismo, manifiestan que el empaque se realiza en costales, los cuales son utilizados para su venta a intermediarios, lo que puede afectar la calidad y conservación del producto. En el proceso de cosecha, la herramienta más utilizada por los productores es el chumbo, un dispositivo tipo canastilla con pinza diseñado para sujetar y desprender el fruto directamente de las ramas. Dado que los árboles pueden superar los diez metros de altura, los cosecheros deben subirse a los árboles y utilizar esta herramienta para cosechar el fruto, lo que incrementa los riesgos asociados a la labor. El principal destino de la producción es el centro de abastos de Bucaramanga y los intermediarios de la zona.

Un factor relevante que consideran los productores es el estado de madurez; luego de este proceso, la gran mayoría de ellos clasifica el aguacate por tamaño, grado de madurez, estado sanitario y malformaciones. Respecto a los compradores, estos exigen que el aguacate esté sano, que tenga cierto grado de madurez, que no tenga daños mecánicos, que esté limpio, sin quemaduras de sol y sin deterioro microbiológico.

A partir de esta caracterización, se puede concluir que los productores de aguacate en las veredas productoras de aguacates criollos de los municipios El Carmen de Chucurí y Simacota carecen de BPA, ya que son principalmente recolectores del fruto en periodos de cosecha, y no realizan prácticas agronómicas para el manejo de sus cultivos. Asimismo, se identifica un desconocimiento acerca del manejo integral del cultivo de aguacate. Estos factores influyen en las prácticas de manejo fitosanitario y, por lo tanto, los cultivos se exponen a una gran variabilidad de plagas y enfermedades.

También se observó que el sistema productivo de aguacates criollos en este núcleo productivo del país se siembra en sistemas agroforestales, en asocio principalmente con cacao; para este caso, el aguacate es el sombrío para el cultivo de cacao. Por esta razón, el aguacate está sembrado aleatoriamente, con áreas de siembra de una hectárea en promedio, con árboles de aguacate de porte alto, de más de 15 o 20 m de altura, con cultivos que, en su mayoría, tienen más de 10 a 15 años de edad, y que cuentan con manejo agronómico deficiente y limitada tecnificación (figura 4).



Figura 4. Plantaciones de aguacates criollos en El Carmen de Chucurí y Simacota. a Sistemas agroforestales de aguacates criollos en asocio con cacao; b. Árbol de aguacate criollo con altura superior a los 15 metros.

Fotos: Claudia María Holguín Aranzazu

Identificación de las plagas y enfermedades asociadas a la mortalidad de las plantaciones de aguacates criollos en la provincia de Yariguíes, Santander

Para identificar las plagas y enfermedades asociadas a la muerte de los árboles de aguacates criollos, se realizaron los siguientes pasos después de llevar a cabo los talleres con los productores:

- Selección de 16 fincas que presentaban mortalidad de árboles de aguacates criollos en sus plantaciones. Las fincas seleccionadas pertenecen a las veredas El Líbano, Sinaí, Honda, Santo Domingo y El Indio, en el municipio El Carmen de Chucurí, y las veredas El Reposo y El Guamo, en el municipio de Simacota.

- Identificación de enfermedades. En cada finca, se colectaron muestras de raíces, tronco, ramas y frutos en árboles de aguacate con mortalidad. En el momento de la colecta, se identificaron síntomas de cánceres (lesiones hundidas de color oscuro) en tronco y ramas, daño en haces vasculares, necrosamiento (muerte de tejido de color marrón oscuro a negro) de frutos y árboles con muerte descendente y con inicio de defoliación (caída prematura de las hojas), defoliación severa y necrosis a nivel del cuello y las raíces de plantas de aguacate (figura 5).



Figura 5. Síntomas asociados a la muerte descendente de árboles de aguacate en El Carmen de Chucurí y Simacota. a. Necrosis avanzada en raíces; b. Daño en haces vasculares color rojizo. Cáncer en corteza con agrietamientos longitudinales; c. Daño en haces vasculares color rojizo.

Fotos: Claudia María Holguín Aranzazu

- Las muestras colectadas se transportaron a los laboratorios del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, ubicado en Rionegro, Santander. Allí, a partir del tejido muestreado, se obtuvieron aislamientos de diferentes microorganismos (figura 6), con los cuales se realizaron pruebas a nivel de invernadero para verificar la patogenicidad (capacidad de causar la enfermedad) de los aislamientos y se identificaron a nivel de especie mediante la caracterización morfológica y molecular.

- Después de realizar las pruebas en laboratorio, se identificaron, como patógenos foliares (de hojas y ramas) causantes de necrosis y daño de haces vasculares (tejidos internos de ramas y troncos con cambios de coloración entre marrón, rojizo y negro) en las plantas de aguacate, hongos que pertenecen a los géneros *Lasiodiplodia*, *Bionectria* y *Colletotrichum* (figura 7). Al realizar la caracterización molecular, se identificaron las especies *Lasiodiplodia theobromae*, *L. brasiliensis*, *Colletotrichum viniferum* y *Bionectria ochroleuca*, y los patógenos más predominantes fueron *L. theobromae* y *L. brasiliensis* (Holguín Aranzazu et al., 2025).

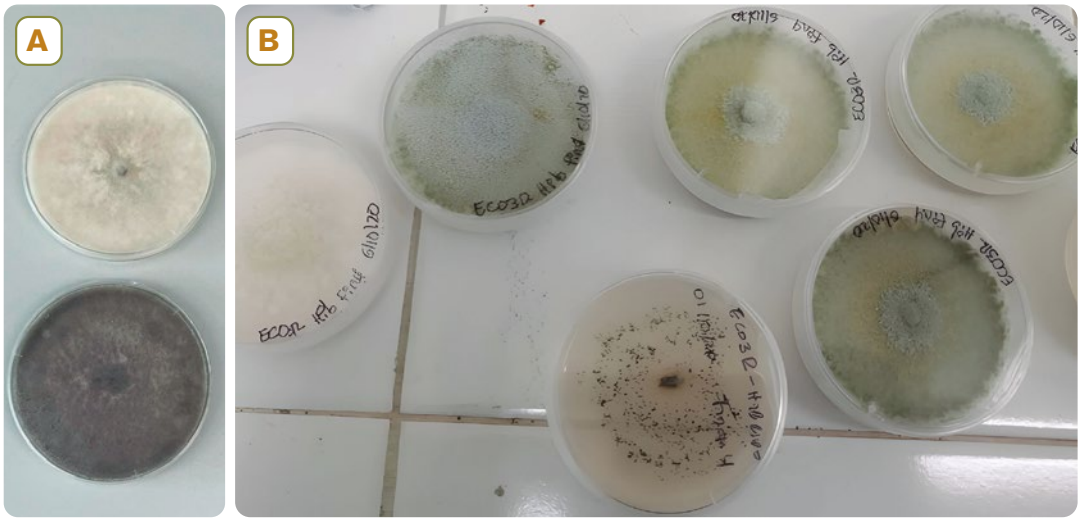


Figura 6. Aislamientos de microorganismos obtenidos en muestras colectadas en árboles con sintomatología de muerte descendente.

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez



Figura 7. Pruebas de patogenicidad. a. Área necrótica en punto de inoculación de planta de aguacate donde se realizó la inoculación; b. Comparación entre plantas y control inoculadas con diferentes aislamientos (Fol8 y Fol6).

Fotos: Yeirme Yaneth Jaimes Suárez

- Identificación de insectos-plaga. En los árboles de aguacate muestreados, se encontraron insectos-plaga asociados a las raíces y a los troncos de los árboles con sintomatología de daño. La mayor incidencia fue de insectos como comején (Isoptera) y barrenadores del tallo (Coleoptera: Curculionidae) presentes, principalmente, en árboles de avanzada edad.

- Identificación de especie de comején. La especie que se observó fue *Microcerotermes exiguus* (Hagen, 1858) (Isoptera: Termitidae). El daño se caracterizó por nidos grandes con coloración café claro y apariencia seca, ubicados especialmente en el tronco del árbol; en el interior se encontraron las galerías o los caminos dejados por los diferentes instares del insecto (figura 8).

- Identificación del barrenador del tallo. Se encontró la especie *Heilipus elegans* Guérin-Méneville y se observó que el daño lo causaron las larvas, principalmente en el tronco y base del árbol. Los daños se caracterizaron por perforaciones de color café oscuro o negro con bordes rojizos, las cuales variaban de tamaño dependiendo del avance del daño; estas se encontraban usualmente asociadas a un exudado color café, y al retirar la corteza del árbol se pudieron ver las larvas del insecto formando galerías a medida que se alimentaba del tronco del árbol (figura 8).

- Otros insectos observados fueron las brocas en proceso de identificación (Coleoptera: Scolitynae), que estaban principalmente en las ramas de los árboles asociadas a la muerte descendente.

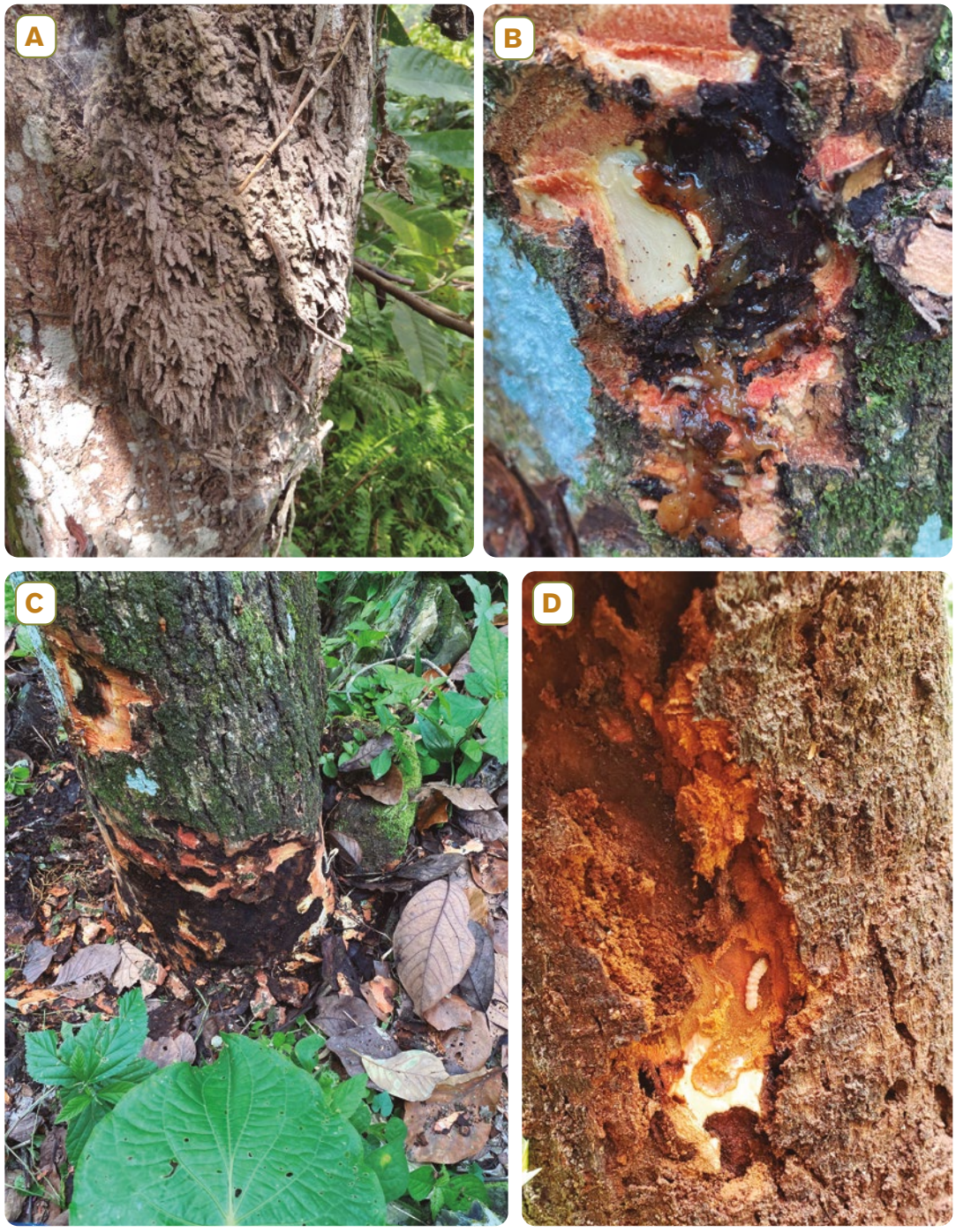


Figura 8. Daño ocasionado por los insectos-plaga predominantes en árboles de aguacate en El Carmen de Chucurí. a. Daño por comején; b. y c. Daño por *Heilipus elegans*; d. Larva de *H. elegans*.

Fotos: Claudia María Holguín Aranzazu

Teniendo en cuenta lo anterior, en el estudio realizado en la provincia de Yariguíes (municipios de El Carmen de Chucurí y Simacota) se identificaron las siguientes limitantes:

- Altos niveles de mortalidad de árboles de aguacate.
- Cultivos en sistemas agroforestales asociados principalmente con cacao con manejo limitado.
- Falta de renovación de cultivos, mala disposición de residuos y baja tecnificación.
- Presencia de enfermedades severas (necrosis en raíces, cáncer en tronco, muerte descendente).
- Presencia de insectos plaga asociados a tejidos de raíces y troncos con hábito de consumo de tejidos maderables.

Identificación de brechas en el cultivo de aguacates en la provincia de Yariguíes, Santander

Después de realizar la caracterización del sistema productivo de aguacates criollos en la provincia de Yariguíes, se hizo un taller de identificación de brechas tecnológicas con 35 productores, a partir del cual se evidenció lo siguiente:

1. La falta de mano de obra calificada de aguacate y de conocimiento tecnológico en el manejo integrado del cultivo.
2. La falta de asociatividad, debido a que las asociaciones que existen poco a poco han dejado de funcionar.
3. La falta de asistencia técnica ha hecho que la presencia de plagas y enfermedades sea una amenaza constante para el cultivo.

4. La baja participación de los jóvenes en el sistema productivo por causa de la migración del campo a la ciudad y al exterior, y la participación en otros sectores de la economía presentes en el territorio, como la minería.

Recomendaciones para el manejo de las plantaciones de aguacates criollos

Con base en la caracterización y la identificación de brechas en el núcleo productivo de aguacate en la provincia de Yariguíes, se recomiendan las siguientes prácticas de manejo

Uso de materiales de aguacate adaptados a condiciones ambientales de la zona

Se recomienda emplear variedades criollas u otras adaptadas al entorno local, ya que estas han demostrado ser resistentes a enfermedades y a estrés; además, son productivas y tienen buena aceptación comercial. Esto quiere decir que son materiales que han sido tradicionalmente sembrados en la zona, ya que son genéticamente adecuados para el clima, los suelos y las condiciones topográficas del Magdalena Medio santandereano.

Renovación de plantaciones (>15 de años)

La mayoría de los cultivos en la región tienen 15 o más años, y alcanzan los 20 metros de altura, lo cual complica el manejo fitosanitario y de cosecha. Por esto, se recomienda la renovación progresiva de los cultivos envejecidos por árboles más jóvenes, vigorosos y con buen potencial productivo, lo que permitirá tecnificar el cultivo y facilitar las labores agronómicas.

Fertilización de acuerdo con análisis de suelos

La fertilización debe estar basada en análisis de suelos previos para aplicar únicamente los nutrientes que el cultivo necesita, en cantidades y momentos adecuados; es decir, de acuerdo con las etapas de desarrollo del cultivo, las fases de siembra o el establecimiento, la etapa vegetativa y las épocas de floración, de llenado y formación de frutos. Estas prácticas mejoran la eficiencia en el uso de insumos, reducen costos y mitigan impactos ambientales, mientras se fortalece la salud de los árboles, se garantiza una buena producción y se contribuye a la resistencia a plagas y enfermedades, y a estrés generado a la planta por variación climática.

Manejo de podas sanitarias y altura adecuada de los árboles de aguacate

Dentro de las principales prácticas recomendadas para el manejo sanitario de los cultivos de aguacate se encuentra la eliminación de tejidos dañados y muertos afectados por plagas, enfermedades y otros factores como el clima, a través de podas y de una adecuada disposición del tejido removido. Estas prácticas permiten reducir la cantidad de inóculo o población (refiriéndose a estructuras del patógeno o a estados del insecto que permiten iniciar un nuevo ciclo de la enfermedad o ciclo de vida del insecto), ya que en estos tejidos se pueden conservar o multiplicar hasta encontrar un nuevo hospedero.

Las podas pueden ser de formación o de mantenimiento; las primeras se deben realizar en las etapas vegetativas de crecimiento del árbol, con el fin de darle una estructura y altura adecuadas al árbol de aguacate, que faciliten el manejo agronómico y las labores culturales relacionadas con el manejo de problemas fitosanitarios como la muerte descendente, y que mejoren la producción.

Las podas de mantenimiento se deben realizar después de finalizar la cosecha, cuando el árbol entra en un periodo de descanso o dormancia productiva (etapa vegetativa), mejor al final del periodo seco. Posterior a las podas, las heridas realizadas se deben cicatrizar. Antes de realizar esto, el tejido vegetal que se va a tratar se debe limpiar, para lo cual se retiran los restos de corteza seca y el tejido enfermo hasta encontrar tejido sano. Esto se hace con la ayuda de una navaja o cuchillo, y con una brocha se cubre toda el área con la pasta cicatrizante. Esta práctica no se debe realizar en épocas de lluvia.

La herramienta que se emplea para esta y otras labores del cultivo se debe limpiar antes y después de la poda para evitar la dispersión de patógenos o diseminación de insectos plaga. Además, después de realizar, la poda los árboles se deben fertilizar y regar para favorecer la recuperación del árbol y su crecimiento.

Eliminación de árboles con síntomas de muerte descendente

Los árboles o las partes que presenten síntomas graves de muerte descendente (figura 9) se deben remover por completo del lote, y este material vegetal se debe destruir y retirar fuera del cultivo. Esto evita la diseminación de inóculos de patógenos como *Lasiodiplodia theobromae*. La madera seca se puede utilizar como leña o se debe tratar con fungicidas e insecticidas en mezcla con cal viva para facilitar su descomposición.



Figura 9. Árbol de aguacate criollo con sintomatología de muerte descendente ocasionada por *Lasiodiplodia* spp.

Foto: Claudia María Holguín Aranzazu.

Desinfección de la herramienta

La limpieza y desinfección de herramientas y maquinaria agrícola son una práctica fundamental para prevenir la dispersión y propagación de patógenos e insectos plaga. El protocolo de limpieza y desinfección incluye los siguientes pasos:

- Remover de forma manual cualquier tejido o suciedad visible adherida a la superficie de la herramienta y luego hacerlo con la corriente de agua.
- Preparar la solución de desinfección. El producto por emplear se debe seleccionar considerando su eficacia y no deterioro de la herramienta. Dentro de los productos recomendados están:
  - Solución de yodo agrícola: al prepararse debe quedar con una concentración del 3 % de yodo activo.
  - Solución de amonio cuaternario: se debe preparar en agua para que quede con una concentración del 1 % del ingrediente activo (sustancia que tiene el efecto deseado, es decir, elimina los gérmenes) del producto comercial.
  - La herramienta se debe sumergir en la solución desinfectante por aproximadamente 3 o 5 min, y después se enjuaga con agua corriente y se deja secar.
- Al final, se almacena la herramienta limpia y seca.

Usar control con productos recomendados en acompañamiento de personal capacitado

Es fundamental que los insumos fitosanitarios (fungicidas, insecticidas) se apliquen bajo supervisión o capacitación técnica, para asegurar su correcta dosificación, frecuencia y momento de aplicación. El uso empírico de productos de manera continua y sin supervisión puede generar resistencia o contaminar el ambiente si no se manejan adecuadamente.

Capacitaciones y acompañamiento a los productores de aguacate

Una de las principales debilidades en la región es la escasa capacitación y falta de asistencia técnica especializada. Es urgente desarrollar e implementar programas continuos de capacitación para los productores sobre:

- BPA.
- Manejo integrado de plagas y enfermedades.
- Uso adecuado de insumos.
- Técnicas de poda, fertilización, cosecha y poscosecha.

Lo anterior permitirá mejorar la cultura de producción de aguacates criollos en la provincia de Yariguíes, y así optimizar su productividad, rendimiento y calidad.



Caña

CAPÍTULO III.

Establecimiento de semilleros comunitarios de caña de azúcar para producción de panela en los municipios de Convención y Teorama en el Catatumbo, Norte de Santander

Alexandra Estefanía Fajardo Rojas, Diomedes de Jesús Díaz Díaz,
Ayda Fernanda Barona Rodríguez

Con el propósito de fortalecer el sistema productivo de caña de azúcar para producción de panela y promover el desarrollo sostenible en el Catatumbo, se establecieron semilleros comunitarios con material vegetal de calidad; de esta manera, se contribuyó a la renovación y sostenibilidad del cultivo panelero de la región. Paralelamente, la iniciativa impulsó dinámicas comunitarias basadas en la cooperación, el intercambio de conocimientos tradicionales y el trabajo asociativo a través de jornadas de capacitación y actualización tecnológica (figura 10), lo cual favoreció el fortalecimiento del tejido social y la consolidación de vínculos entre los productores. Los semilleros no solo representan una apuesta por la productividad agrícola, sino también un modelo comunitario que potencia la cohesión social, la apropiación territorial y la resiliencia colectiva de las comunidades rurales del Catatumbo.



Figura 10. Jornada de entrega de semilla de caña de azúcar para panela en el marco del Plan de Vinculación Agroalimentario en Convención, Norte de Santander.

Foto: Alexandra Estefania Fajardo Rojas

Caña panelera en la región del Catatumbo

La región del Catatumbo, en el departamento de Norte de Santander, se destaca por su riqueza natural y vocación agropecuaria, lo que la convierte en un área estratégica para el desarrollo agrícola (Peñaranda-Peñaranda et al., 2022). En este contexto, el cultivo de caña de azúcar, destinado a la producción de panela, es de gran relevancia para las comunidades rurales, especialmente en Convención y Teorama. Estos municipios, según la Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela, 2021), concentran una parte importante de las 7.391,93 hectáreas sembradas a nivel departamental para esta actividad. Sin embargo, los productores se enfrentan a desafíos significativos como la baja productividad, el uso de variedades no mejoradas y las limitaciones en el acceso a tecnología (Ramírez & Rojas, 2021).

La presencia histórica de grupos armados al margen de la ley ha agravado estas dificultades, pues han limitado el desarrollo y han generado altos costos sociales y económicos en la región (Bastos Osorio et al., 2020). A pesar de estas adversidades, la producción de panela se mantiene como un pilar fundamental de la economía local, lo que demanda estrategias innovadoras que potencien su competitividad y sostenibilidad. En este sentido, la implementación de semilleros comunitarios es una herramienta para favorecer la adopción de nuevas tecnologías, y así facilitar la transferencia de conocimientos y fortalecer los vínculos entre la comunidad y las instituciones.

Adicionalmente, el sistema productivo de caña de azúcar para panela juega un papel esencial en la seguridad alimentaria y en el desarrollo socioeconómico de la región. La panela, por su alto valor nutricional y su arraigo cultural, no solo diversifica la oferta alimentaria, sino que también actúa como motor de desarrollo para pequeños y medianos productores. La incorporación de innovaciones, como los semilleros comunitarios, favorece el fortalecimiento de redes de cooperación, y de esta manera crea condiciones más resilientes frente a crisis económicas y alimentarias (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021; Ramírez & Rojas, 2021).

La experiencia en el establecimiento de semilleros comunitarios evidencia el compromiso de actores locales y abre un camino hacia el continuo mejoramiento de la cadena productiva panelera, lo cual garantiza beneficios económicos, sociales y alimentarios para la región.

Importancia de la selección del material de siembra

La selección adecuada del material de siembra es fundamental para garantizar el éxito de cualquier cultivo, y en el caso de la caña de azúcar para la producción de panela es de especial importancia (Murcia Pardo & Ramírez Durán, 2015). Una semilla de alta calidad debe cumplir con criterios esenciales, como estar libre de plagas y enfermedades, tener un estado nutricional adecuado y la edad de corte idónea, y conservar su pureza varietal; es decir, sin mezcla entre diferentes variedades. Asimismo, es importante que el material de propagación presente características morfológicas óptimas, como un cangre (tallo) de tamaño adecuado (máximo 45 cm) y la presencia de al menos tres yemas viables (Manrique E. et al., 2005).

Información complementaria: *Producción y manejo de semilla de caña panelera*

El empleo de material de propagación de calidad, obtenido de semilleros bien manejados, es determinante para alcanzar altos rendimientos y garantizar la homogeneidad del cultivo (Murcia Pardo & Ramírez Durán, 2015). En este sentido, el uso de variedades como la CC93-7711 no solo contribuye a obtener mayores rendimientos y a mejorar la calidad de la panela, sino que también permite reducir los costos de producción al optimizar el uso de recursos y minimizar pérdidas por enfermedades o deficiencias nutricionales (Aristizábal Q. et al., 2016).

Este enfoque en la calidad del material de siembra se traduce en un sistema productivo más resiliente, capaz de enfrentar desafíos ambientales y de mercado, y constituye la base para la implementación exitosa de innovaciones tecnológicas en la cadena productiva panelera.

Características de la variedad CC93-7711

La variedad CC93-7711 se caracteriza por su rendimiento en campo, buen contenido de sacarosa y adecuada adaptación a condiciones agroecológicas de zonas paneleras, por lo que es una alternativa estratégica para renovar cultivos envejecidos y nuevas siembras. Con el propósito de facilitar el acceso a información técnica especializada, los siguientes códigos QR amplían detalles relacionados con su manejo agronómico, características productivas y recomendaciones para su establecimiento.

Información complementaria: Caña de azúcar para producción de panela (*Saccharum spp.* L.) variedad CC 93-7711-Pierna Bella

De acuerdo con la UPRA (s. f.), el cultivo de caña de azúcar destinado a la producción de panela alcanza su máximo potencial fisiológico y productivo en un rango altitudinal de 900 a 1.600 m s. n. m., con temperaturas promedio entre 20 °C y 25 °C, condiciones que favorecen la fotosíntesis, el crecimiento vegetativo y la acumulación de sacarosa en los tallos (figura 11). Además, el establecimiento de la variedad CC93-7711 es más favorable en zonas con precipitaciones anuales entre 1.600 y 1.800 mm, temperaturas promedio de 20 °C a 22 °C y una humedad relativa entre el 65 % y el 95 %; esto contribuye a un desarrollo óptimo del cultivo (Insuasty Burbano et al., 2017).



Figura 11. Plántula de caña. a. Variedad CC93-7711 en el momento de la siembra; b. Variedad CC93-7711 con 9 meses de desarrollo en campo.

Fotos: Diomedes Díaz Díaz

La variedad CC93-7711 fue desarrollada por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) como parte de un programa de mejoramiento genético. AGROSAVIA realizó la introducción y caracterización de la variedad para la producción de caña y panela en las regiones paneleras del país (Ramírez Durán et al., 2019), teniendo en cuenta las condiciones apremiantes de cada zona.

Algunas de sus principales características son:

- Buena capacidad de adaptación a suelos de baja fertilidad natural.
- Buena capacidad de macollamiento.
- Eficiente en el uso de agua.
- Buena capacidad de germinación, superior al 90 %.
- Alcanza madurez fisiológica antes de los 18 meses de edad del cultivo.
- Tolerante al ataque de *Diatraea* spp. con un porcentaje de daño inferior al 10 % en condiciones naturales y sin manejo.
- Resistencia a enfermedades como roya café (*Puccinia melanocephala*), roya naranja (*Puccinia kuehnii*), carbón de la caña (*Sporisorium scitamineum*) y virus del mosaico (SCMV).
- Potencial de rendimiento superior a las variedades tradicionales ampliamente difundidas en lotes comerciales, alcanzando una producción de 127,4 t/ha, con una producción de panela de 14,1 toneladas y un rendimiento del 11,05 % (Insuasty Burbano et al., 2017). Estos valores de productividad pueden variar dependiendo del manejo y de las condiciones agroclimáticas.

Las principales características agronómicas de la variedad CC93-7711 se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Características agronómicas de la variedad CC93-7711	
Ciclo vegetativo (meses)	16-18
Altura de la planta (metros)	2,19 ± 0,41
Diámetro del tallo en su parte media (cm)	3,44±0,31
Contendido de sacarosa en jugos (%)	18,68±2,31
Contenido de sacarosa en panela (%)	79,64±2,73

Fuente: Elaboración propia con base en Insuasty Burbano et al. (2017)

Tipo de siembra: planta obtenida a través de yemas individuales de caña

Según la Resolución 1696 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1984), la semilla de caña de azúcar se define como el trozo de tallo o estaca proveniente de una planta, caracterizado por su variabilidad en longevidad y la presencia de una o varias yemas.

Información complementaria: “Extracción de yemas para el cultivo de caña panelera”.



Figura 12. Figura 12. Producción de plantas obtenidas a través de yemas individuales de caña en el Centro de Investigación Tibaitatá, sede Cimpa.

Foto: Diomedes de Jesús Díaz Díaz

El método de siembra mediante plantas, que se obtiene a partir de yemas individuales (figura 12), es una metodología adaptada por AGROSAVIA (Ramírez Durán et al., 2019) para la producción de semilla de alta calidad que ha demostrado múltiples ventajas, entre estas:

- Favorece la adopción de nuevas variedades de caña de azúcar.
- Menor volumen de semilla para transportar.
- Mayor calidad genética (pureza varietal), fisiológica, física y fitosanitaria, con lo cual se evita la diseminación de enfermedades como el raquitismo de la soca y la escaldadura de la hoja.

Estas ventajas se traducen en un sistema productivo más eficiente y sostenible, lo que beneficia especialmente a pequeños y medianos productores, ya que facilita el establecimiento de cultivos con altos estándares de calidad (Ramírez Durán et al., 2019).

Establecimiento de semilleros

En el marco de las actividades del Plan de Vinculación Agroalimentario Regional, en el cultivo de caña de azúcar para panela se realizó el establecimiento de dos semilleros comunitarios, uno en el municipio de Convención, vereda Romeritos y el otro en el municipio de Teorama, vereda Miracotes cada uno con un área de 1.000 m^2.

Información complementaria: *Implementación del sistema de producción de plantas de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros básicos y comerciales*

Estos semilleros se establecieron en conjunto con dos asociaciones de la región: Cooperativa Integral de Cañicultores de la Provincia De Ocaña (Cooincapro) en Convención y Agroindustrial de la vereda Miracotes del municipio de Teorama (Asoagrocote) en Teorama, las cuales fueron responsables de las prácticas de manejo del semillero acordes con las recomendaciones suministradas por parte del equipo de AGROSAVIA y siguiendo el modelo productivo desarrollado (Rodríguez Borray et al., 2020).

En la tabla 5 se relacionan las condiciones de clima y suelo de los semilleros

Tabla 5. Información climática y de suelo en las localidades de establecimiento de los semilleros

	Convención	Teorama
Altitud	1.056 m s. n. m	1.158 m s. n. m
Temperatura media anual	23 °C	21,4 °C
Precipitación promedio anual	1150 mm (Alcaldía Municipal de Convención, Norte de Santander, 2025)	1431 mm (Alcaldía de Teorama, 2025)
Suelos*	pH: 6,26 Calcio: 5,90 cmol(+)/kg Magnesio: 3,34 cmol(+)/kg Materia orgánica: 3,81 gr/100gr Fósforo: 2,16 mg/kg Potasio: 0,15 cmol(+)/kg	pH: 5,79 Calcio: 6,87 cmol(+)/kg Magnesio: 5,82 cmol(+)/kg Materia orgánica: 2,97 gr/100gr Fósforo: 2,46 mg/kg Potasio: 0,31 cmol(+)/kg

*Tomado de resultados del análisis de suelos realizado a cada localidad.
Fuente: Elaboración propia

Siembra de las plantas en campo

Después de recibir las plantas en cada localidad, se trasladaron al sitio definitivo seleccionado para la siembra del semillero. Es importante, previo a la siembra, preparar el terreno y asegurarse de que no haya rebrotes de

socas anteriores y material vegetal que pueda competir con las plantas establecidas. Adicional, cabe mencionar que el suelo, en el momento de la siembra, debe tener buena humedad para facilitar el prendimiento de las plantas y evitar su estrés.

Para el caso de estudio, la siembra se realizó a una distancia entre surcos de 1,30 m y a 60 cm entre plantas, para una densidad de siembra de aproximadamente 1.200 plantas en los 1.000 m^2 establecidos en cada localidad (figura 13).



Figura 13. Siembra de semillero comunitario, municipio de Teorama.

Foto: Diomedes de Jesús Díaz Díaz

Parámetros técnicos para el manejo de los semilleros

El plan de fertilización se ajustó de acuerdo con el análisis de suelos; sin embargo, es importante mencionar que se puede incrementar la dosis de la fuente nitrogenada para favorecer el desarrollo vegetativo y obtener una mayor producción por unidad de área. En lo posible, se debe fraccionar las dosis en dos aplicaciones, a los dos y cuatro meses. De igual manera, es necesario realizar control de malezas unos días antes de las fertilizaciones para evitar la presión, que puede retrasar el semillero por competencia por agua, luz y nutrientes, lo cual ocasiona pérdidas en la cantidad de semilla producida.



Figura 14. Marcación de distancia de siembra en semilleros comunitarios, municipio de Teorama.

Foto: Diomedes de Jesús Díaz Díaz

Es importante considerar que de 1 ha de semillero, con una distancia de siembra de 60 cm entre plantas y 130 cm entre surcos para una densidad de siembra de 12.000 plantas (figura 14), se obtendrá semilla suficiente para establecer 10 hectáreas de nuevas áreas (Manrique E. et al., 2005; Ramírez Durán et al., 2019).

De acuerdo con los parámetros definidos por Ramírez Durán et al. (2019) para el establecimiento de los semilleros, se consideró lo siguiente:

- Selección de la variedad: teniendo en cuenta que la variedad CC93-7711 es ampliamente conocida en la región del Catatumbo y que los productores la califican como "buena y con un buen desarrollo", pese a que indican que no se le brinda el manejo adecuado para aprovechar plenamente su potencial, se realizó su establecimiento para poder observar de manera participativa su desarrollo y potencial genético empleando prácticas de manejo.

- Los semilleros comunitarios se establecieron exclusivamente con la variedad CC93-7711, con el propósito de evitar la mezcla de material de siembra y garantizar su pureza varietal.

- El material vegetal empleado como semilla proviene del Centro de Investigación Tibaitatá, sede Cimpa, y se compone de plantas de caña de azúcar para panela que se obtuvieron de yemas individuales con calidad genética, sanitaria, fisiológica y física de la semilla.

- Para el desarrollo de los semilleros fue fundamental el acceso a fuentes hídricas en los primeros estados de desarrollo de las plantas en campo, por lo que fue importante garantizar riego continuo tras la siembra y durante periodos de sequías prolongadas.

- Limpieza exhaustiva en los lotes destinados a los semilleros, con el fin de prevenir rebrotes de plantaciones anteriores y asegurar la calidad genética del material.

- Se realizó un análisis de suelos en cada lote destinado al establecimiento, con el objetivo de determinar los fertilizantes y las enmiendas adecuadas, la dosis y la época de aplicación durante el ciclo de producción.

Manejo integrado del cultivo

Se recomienda que los semilleros se cultiven a pequeña escala, y de esta manera poder asegurar las características de calidad, más importante incluso cuando se introduce una nueva variedad en la finca o en la región (Manrique E. et al., 2005).

El manejo integrado del cultivo comprende un conjunto de prácticas culturales enfocadas en mejorar la interacción entre suelo, planta y clima. Para ello, se combinan medidas agronómicas, biológicas y químicas que buscan optimizar la producción y minimizar el impacto ambiental. Algunas de estas medidas son:

- **Preparación del terreno**. Este proceso se dividió en dos etapas:
  - Limpieza: se retiraron leña, troncos, rastrojo, residuos de cosecha y socas. Como el lote provenía de tiempo de descanso, se realizó el control manual de arvenses.
  - Preparación del suelo: se acondicionaron los lotes para favorecer el desarrollo del semillero en una labranza mínima por sitio respetando la distancia de siembra.

La siembra se realizó en el sentido contrario a la pendiente para evitar problemas de erosión de suelo, destape de semilla, volcamiento de plantas y pérdida en la fertilización (Murcia Pardo, 2022).



Figura 15. Aplicación de enmiendas en el momento de la siembra del semillero comunitario, municipio de Convención.

Foto: Alexandra Estefanía Fajardo Rojas

- **Manejo de arvenses.** Esta actividad se hace con el fin de evitar competencia por espacio, luz, agua y nutrientes de otras especies con la caña (López & Osorio, 2000). La competencia es más crítica entre la germinación y el macollamiento, aproximadamente 60 días después de la siembra, cuando puede causar pérdidas hasta del 60 % en el primer corte (Rodríguez Borray et al., 2020). El manejo de arvenses se realizó

de manera manual, teniendo en cuenta el momento de aparición de arvenses. Para el caso de Teorama, se hizo a los 90 días después de la siembra, mientras que en Convención la primera limpieza se realizó a los 45 día después de la siembra.

- **Recomendaciones para el manejo de plagas (*Diatraea* spp.).** En la figura 16 se presentan las diferentes recomendaciones.

Monitorea regularmente	Aplica control biológico	Conservar coberturas vegetales	Prácticas culturales
Cada dos o tres semanas para detectar cómo evolucionan las plagas.	Favorece la presencia de insectos benéficos En alta infestación, liberar parasitoides: • *Trichogramma exiguum* (a las dos semanas). • *Trichogramma exiguum* + *Billaea claripalpis* (a las cuatro semanas). • *Billaea claripalpis* + *Cotesia flavipes* (posterior). • Mas adelante, solo *Cotesia flavipes*	Mantener plantas refugio con flores para atraer y alimentar parasitoides, como lantana o asteráceas	• Usar semillas sanas y evitar arvenses. • Eliminar residuos de cosechas, para que estos no sirvan como refugio de la plaga

Figura 16. Recomendaciones generales para el manejo de *Diatraea* spp.
Fuente: Elaboración propia con base en Barreto-Triana et al. (2022) y AGROSAVIA (2025)

Información complementaria: "*Diatraea saccharalis* es la plaga de mayor importancia en el cultivo de caña de azúcar".

- **Riego y drenaje.** El riego y el drenaje son complementarios; en épocas de sequía se recurre al riego para suplir la falta de agua, mientras que en invierno las lluvias excesivas pueden provocar encharcamientos y anoxia (Rodríguez Borray et al., 2020). Los predios donde se establecieron los semilleros cuentan con drenaje natural, gracias a la pendiente pronunciada que estos tienen, por lo que el mayor énfasis se dio en la constancia de riego en los 15 primeros días de establecimiento y con riegos periódicos en tiempo de sequía.

- **Fertilización.** La caña de azúcar, al ser un cultivo semipermanente que extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo (Rodríguez Borray et al., 2020), requiere la adición de nutrientes para optimizar su fisiología (figura 15). Esto se logra haciendo un análisis de suelo que permita ajustar la fertilización a las necesidades específicas del cultivo.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis químicos de suelos se elaboró un plan de fertilización, el cual se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Plan de fertilización calculado a partir de los resultados obtenidos en los análisis de suelos por localidad

Fuente	Convención	Teorama
	Dosis g/planta*	**Dosis g/planta***
DAP	16	16,2
KCl	24	20,4
Urea	16	19,8
Agrimins	10	9

*Valor tomando como referencia para 12.000 plantas/ha.
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo el plan de fertilización, se aportaron las cantidades de nutrientes kg/ha de acuerdo con las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar para panela; estas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Aporte de nutrientes en kg/ha al aplicar un plan de fertilización basado en las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar para producción de panela

	Convención	Teorama
Elemento	**kg/ha**	**kg/ha**
Nitrógeno	80	99
Fosforo	80	81
Potasio	119	102
Calcio	14	10
Magnesio	13	0
Azufre	21	24
Zinc	6	6
Boro	0,5	1

Fuente: Elaboración propia

Información complementaria: "Modelo productivo de caña de azúcar para panela".

Transferencia de tecnología y fortalecimiento comunitario

La iniciativa de transferir tecnología mediante semilleros comunitarios surge como respuesta a la baja adopción de material de siembra de calidad, la cual se atribuye a sistemas de producción y distribución ineficientes, a la falta de políticas que incentiven su uso, a la presión del mercado por la fluctuación de precios y a los cambios climáticos (Aristizábal Q. et al., 2016).

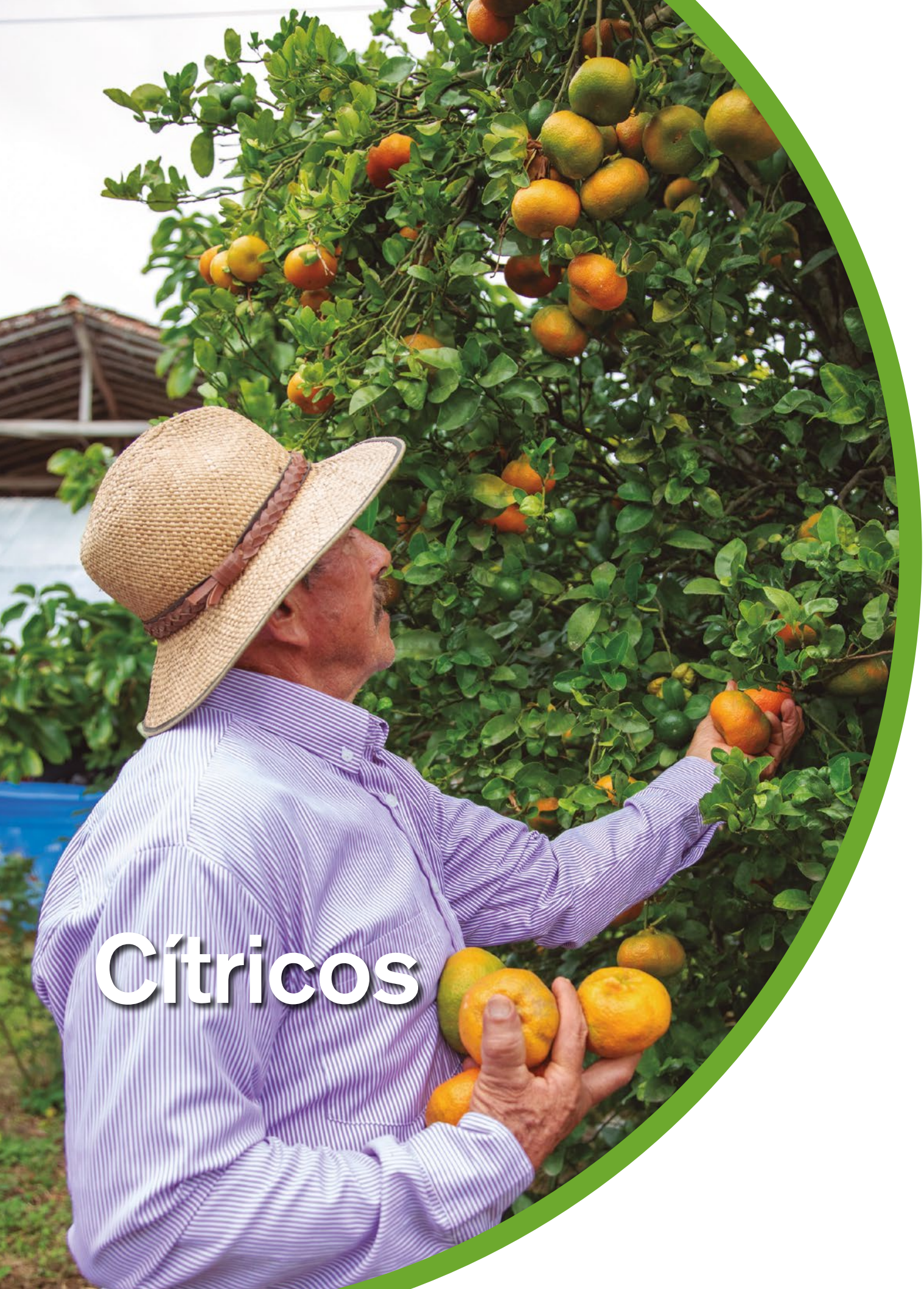


Figura 17. Trabajo colaborativo en el establecimiento de semilleros comunitarios.

Foto: Alexandra Estefanía Fajardo Rojas

Esta estrategia se ha materializado a través de actividades como jornadas de actualización tecnológica y días de campo demostrativo, que permiten a los productores conocer prácticas en el manejo y la multiplicación de semilla de caña de azúcar para panela. Dichas acciones facilitan el acercamiento entre la comunidad, investigadores y representantes de instituciones relacionadas con el sistema productivo, lo que fortalece el intercambio de conocimientos y la adopción de tecnología en el campo.

El éxito de estas estrategias se debe, en gran parte, al trabajo en red participativo y a la cooperación entre diversos actores, como las alcaldías, a través de las secretarías de agricultura de los municipios de Convención y Teorama, las asociaciones de productores, Fedepanela y AGROSAVIA, y otros organismos, además de medios de difusión que han facilitado la comunicación y el apoyo continuo al proceso (figura 17). Todo este esfuerzo articulado ha tenido impacto socioeconómico y se estima que mejorará los rendimientos y la calidad de la producción a futuro, lo que se traducirá en mejores ingresos para los pequeños y medianos productores, fortalecimiento de la economía local y fomento de prácticas agrícolas sostenibles que contribuyen a la seguridad alimentaria de la región.



Cítricos

CAPÍTULO IV.

Reconocimiento de insectos y ácaros asociados a cítricos de Santander

José Mauricio Montes Rodríguez

Importancia del cultivo de cítricos a nivel regional

El cultivo de cítricos como mandarina, naranja y limón es de gran importancia en el departamento de Santander, así como en la región del Magdalena Medio, donde tiene un impacto económico considerable y dinamiza las economías de pequeños y medianos productores en la región. Santander es el principal productor de lima Tahití (UPRA, s. f.), variedad que está destinada principalmente al mercado de exportación, lo que genera empleos y crecimiento económico en las áreas rurales. Otros cítricos se siembran en asocio con cultivos de café y cacao; estos, gracias a sus beneficios para la salud, son necesarios para la seguridad alimentaria de las personas en la ciudad y en el campo.

En la actualidad, el cultivo de los cítricos se ve amenazado en el departamento por una enfermedad incurable, el HLB de los cítricos (ICA, 2023). Para controlar esta enfermedad, es necesario manejar su insecto vector, el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*. Para poder tener resultados positivos en este proceso, es importante realizar un buen manejo de todo el cultivo y tener una visión integral de todo el sistema y del manejo de

plagas; esto debe estar alineado con los objetivos del Plan de Vinculación Agroalimentario. Este capítulo busca ser una guía de reconocimiento de insectos y ácaros asociados al cultivo de cítricos en Santander, como parte esencial e inicial del manejo integrado de plagas.

El manejo de plagas y enfermedades comienza con un buen manejo agronómico

Cuando hablamos del tratamiento de un problema fitosanitario, generalmente nos restringimos a un momento en particular. Es como apagar un incendio, pero esto no debería ser así. Debemos enfocarnos en trabajar desde el inicio del cultivo en la prevención y para esto es muy importante un buen manejo agronómico, que incluye tener un buen material de siembra y realizar un adecuado manejo de suelos, entre otros aspectos.

El HLB es una enfermedad incurable de los cítricos y la principal amenaza para la citricultura del país. Esta enfermedad está establecida en el departamento de Santander (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2023) y nos obliga a ser juiciosos y disciplinados con el manejo fitosanitario del cultivo. Para realizar un manejo acertado, debemos recurrir tanto a las tecnologías básicas, como a las más avanzadas. Es importante seguir investigando y aplicando nuevos avances, usando nuevas formas de manejo y control, pero también se debe tener una visión básica de manejo de cultivos; es decir, la visión agronómica, aquella que nos dice que el cultivo debe estar bien nutrido para que soporte bien las enfermedades y las plagas, y que es necesario un material de siembra sano y bien desarrollado con buen manejo en vivero que se adapte rápidamente a campo. En resumen, se debe tener una buena agronomía.

El manejo integrado de plagas es más efectivo que las estrategias aisladas

En la región citrícola de Santander, donde predominan pequeños y medianos citricultores, no hay estrategia que garantice erradicar el vector de la enfermedad, la chicharrita de los cítricos *Diaphorina citri*; no hay un producto que garantice erradicar el 100 % de los individuos de este insecto en campo, ni siquiera los insecticidas más efectivos. Esto nos obliga a convivir con este insecto y con otros problemas de plagas y enfermedades, y a mantener los niveles poblacionales en un nivel aceptable. Hay una mayor probabilidad de éxito si el HLB de los cítricos es abordado desde un esquema de manejo integrado de plagas y de manera integral, junto con los otros problemas de plagas y enfermedades.

El manejo integrado es definido por Gallo et al. (2002) como el: "Uso de tácticas de control, aisladas o asociadas armoniosamente, en una estrategia de análisis de costo /beneficio que tienen en cuenta los intereses y los impactos en los productores, sociedad y el medio ambiente" (p. 328) (figura 18).

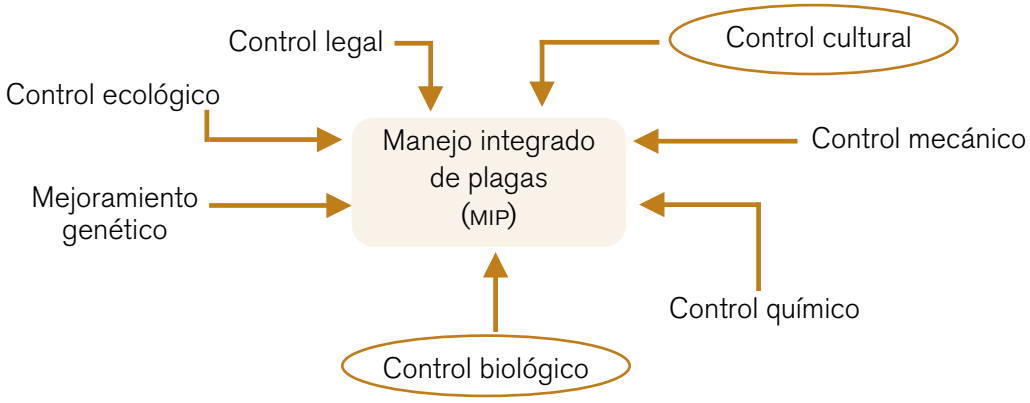


Figura 18. Manejo integrado de plagas con énfasis en control biológico y control cultural.

Fuente: Elaboración propia

En otras palabras, se maneja y controla mejor una plaga si se tienen muchas estrategias compatibles y no solo una. Si se hace enfoque solo en el control químico, se tendrán menos probabilidad de éxito que si se hace un trabajo integrado. Por ejemplo, con plagas domesticas como los roedores, si se mantiene limpia una cocina y se empacan muy bien los alimentos, los roedores van a restringir sus fuentes de alimentación; esto es parte del manejo cultural. Ahora, si se ponen mallas en las ventanas o puertas por las que pueden entrar, se haría manejo mecánico y si además se tiene un gato cazador y se mantiene en la casa, habría un control biológico. Si se aplican esas tres estrategias se conseguirá mayor éxito. Esa es la esencia del manejo integrado de plagas, que también es aplicable en un contexto agrícola.

Para monitorear las plagas hay que conocerlas y también conocer sus enemigos naturales

Para decidir cuál estrategia de manejo se va a usar, se debe partir siempre de información previa; es decir, de lo que llamamos monitoreo. También podemos realizar manejo de una plaga sin monitorearla en el cultivo, pero se ha demostrado que es mucho más eficiente si se evalúa o se hace el monitoreo, pues esto permite hacer más eficientes los recursos y el tiempo con los que se cuenta. Para poder monitorear, es necesario conocer los insectos que se van a monitorear, así como los insectos plaga de los cultivos y los insectos que son enemigos naturales de estas plagas; saber distinguir entre estos dos grupos es clave. En la tabla 8, se presentan las especies de insectos más comunes en cítricos de Santander.

Tabla 8. Insectos y ácaros más comunes en cultivos de cítricos de Santander		
Tipo de artrópodo	**Especies**	**Daño**
Moscas blancas (figuras 19a, 19b y 19c)	*Aleurothrixus flocossus* *Paraleyrodes* sp	Insectos chupadores, debilitan la planta en altas poblaciones y deforman tejidos. Los áfidos además son trasmisores de virus. *Diaphorina citri* transmite el HLB de los cítricos, que es ocasionado por una bacteria. El piojo blanco también puede causar grietas en la corteza de los árboles y generar fumagina, la cual disminuye la fotosíntesis.
Áfidos o pulgones (figuras 19d y 19e)	*Toxoptera citricida* *Aphis gossypii*	
Cochinillas (figuras 19f, 19g y 19h)	*Planococcus citri* *Leptococcus neotropicus*	
Piojo blanco (figuras 19j y 19k)	*Unaspis citri*	
Escama acanalada (figura 19i)	*Icerya purchasi*	
Psílido asiático (figura 23)	*Diaphorina citri*	
Minador (figuras 20f y 20g)	*Phyllocnistis citrella*	Realiza minas en las hojas jóvenes y deforma las hojas.
Ácaros del fruto (figuras 21a, 21b, 21c y 21d)	*Polyphagotarsonemus latus* *Panonychus citri* *Phyllocoptruta oleivora.*	Deterioran la epidermis del fruto y reducen su calidad. También pueden afectar hojas jóvenes y causar amarillamientos.
Trips (figura 21e)	*Frankliniella* spp.	
Picudo (figuras 20a, 20b, 20c, 20d y 20e)	*Compsus viridivittatus*	Come hojas en estado adulto y en larva, y raíces.

Fuente: Elaboración propia

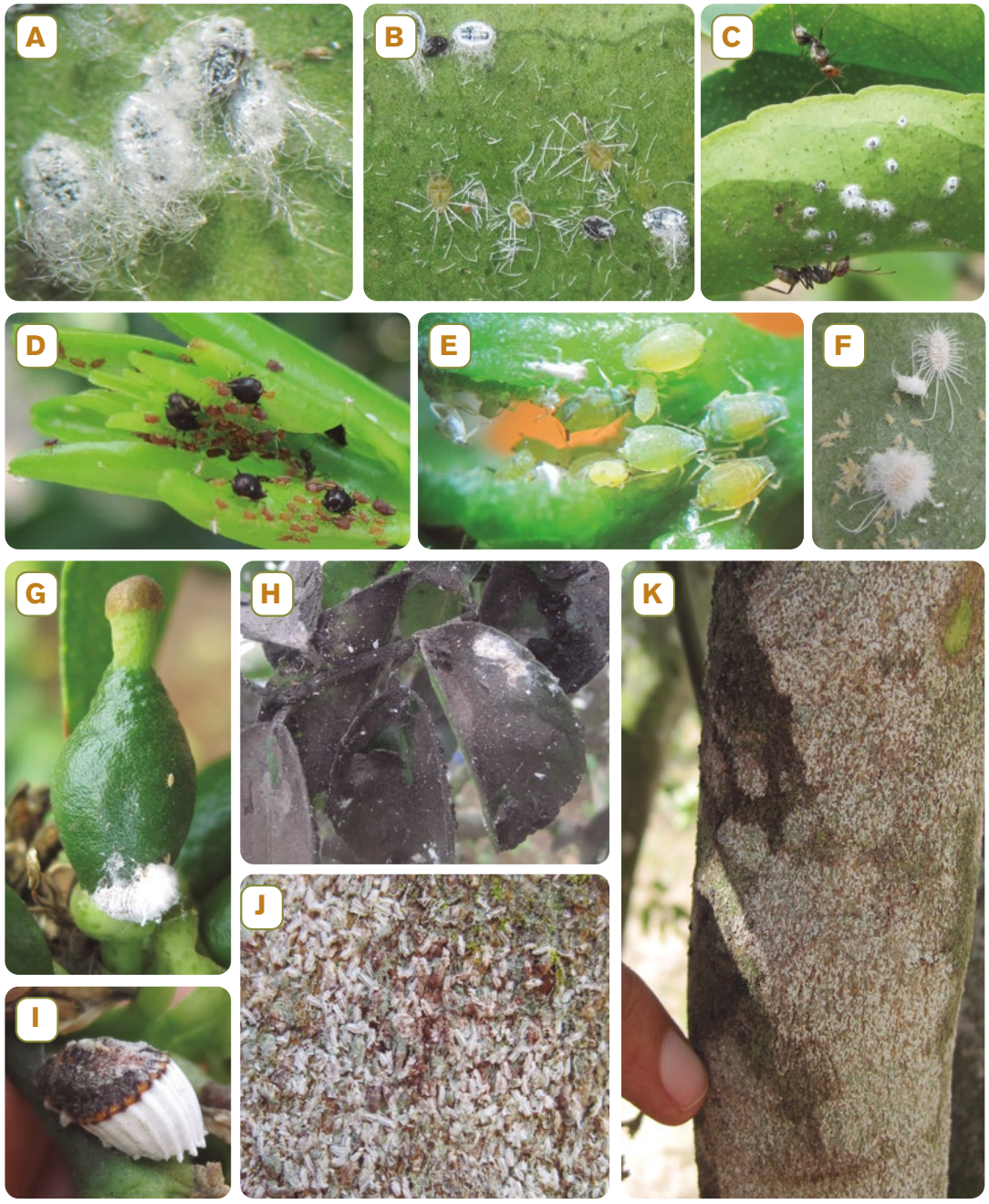


Figura 19. Hemípteros asociados a cultivos de cítricos en Santander. a. *Aleurithrixus flocossus* (mosca blanca); b. *Paraleyrodes* sp. (mosca blanca); c. Asociación con hormigas; d. *Toxoptera citricida* (áfido); e. *Aphis gossypii* (áfido); f. *Leptococcus neotropicus* (cochinillas); g. *Planococcus citri* (cochinillas); h. Alta infestación de cochinillas con presencia de fumagina; i. Escama acanalada *Icerya purchasi*; j. y k. Piojo blanco *Unaspis citri*.

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

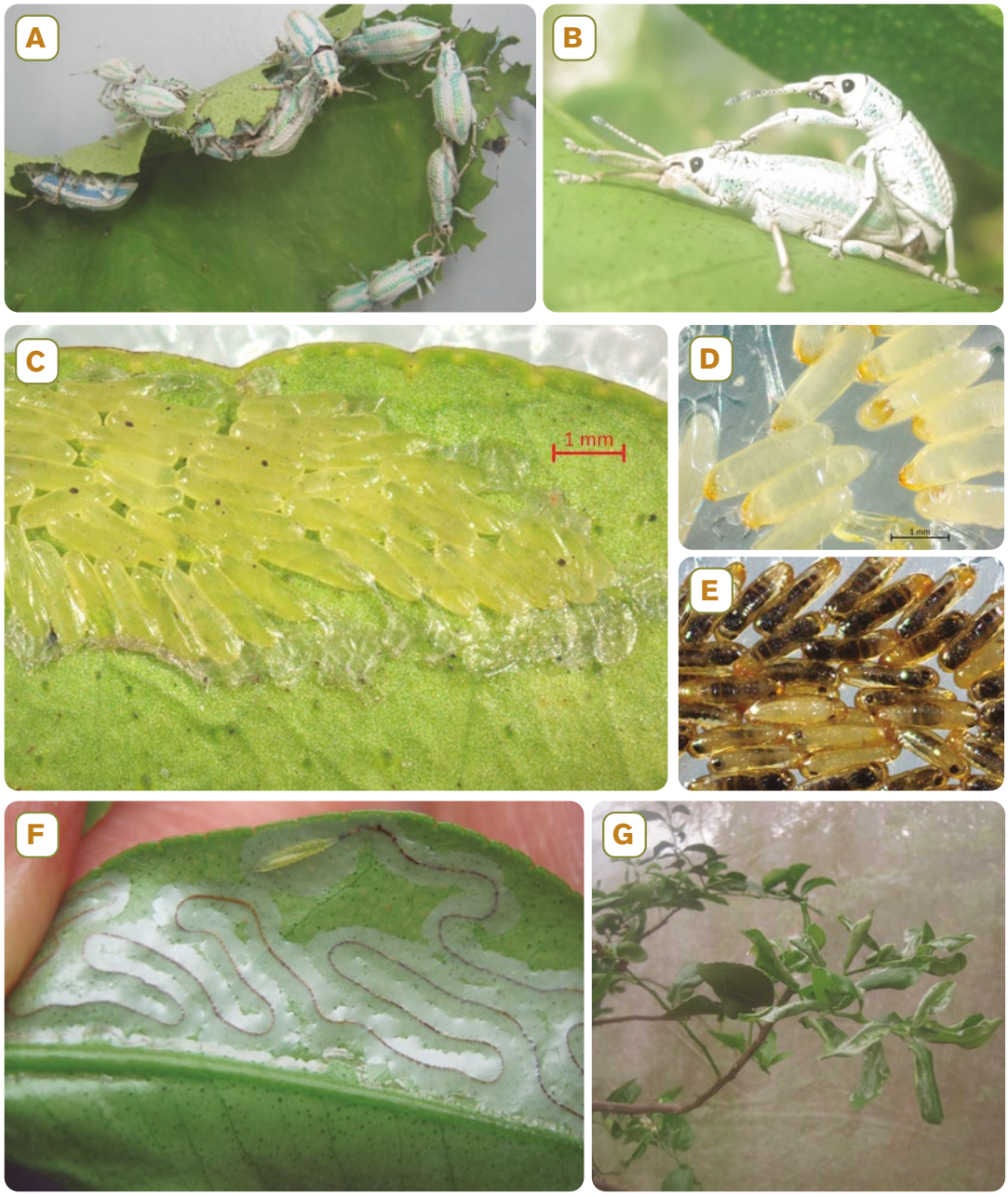


Figura 20. Insectos asociados a los cítricos de Santander.
a. Adultos del picudo de los cítricos *Compsus viridivittatus*;
b. Pareja copulando de picudo de los cítricos; c. Postura de picudo de los cítricos;
d. Huevos con larvas próximas a emerger de picudo de los cítricos;
e. Huevos del picudo de los cítricos parasitados por el parasitoide *Fidiobia* sp.;
f. Larva y mina del minador de los cítricos *Phyllocnistis citrella*;
g. Brote afectado de limón por el minador de los cítricos *P. citrella*.

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

El reconocimiento de los ácaros en los frutos también es importante. Por ejemplo, los daños por arañita roja son muy visibles, ya que presentan decoloraciones en hojas y frutos, y telarañas (figuras 21a y 21b); el ácaro blanco, por su parte, genera una apariencia del fruto de un color blanquecino, plateado (figuras 21c y 21d), síntomas similares a los que causan los trips (figura 21e). Los ácaros no son fáciles de observar, por lo que es necesario tener una lupa de 10, 20 o 30X, y el monitoreo de estos es importante realizarlo antes de que se genere el daño; para el caso del ácaro blanco, sería en la formación del fruto.

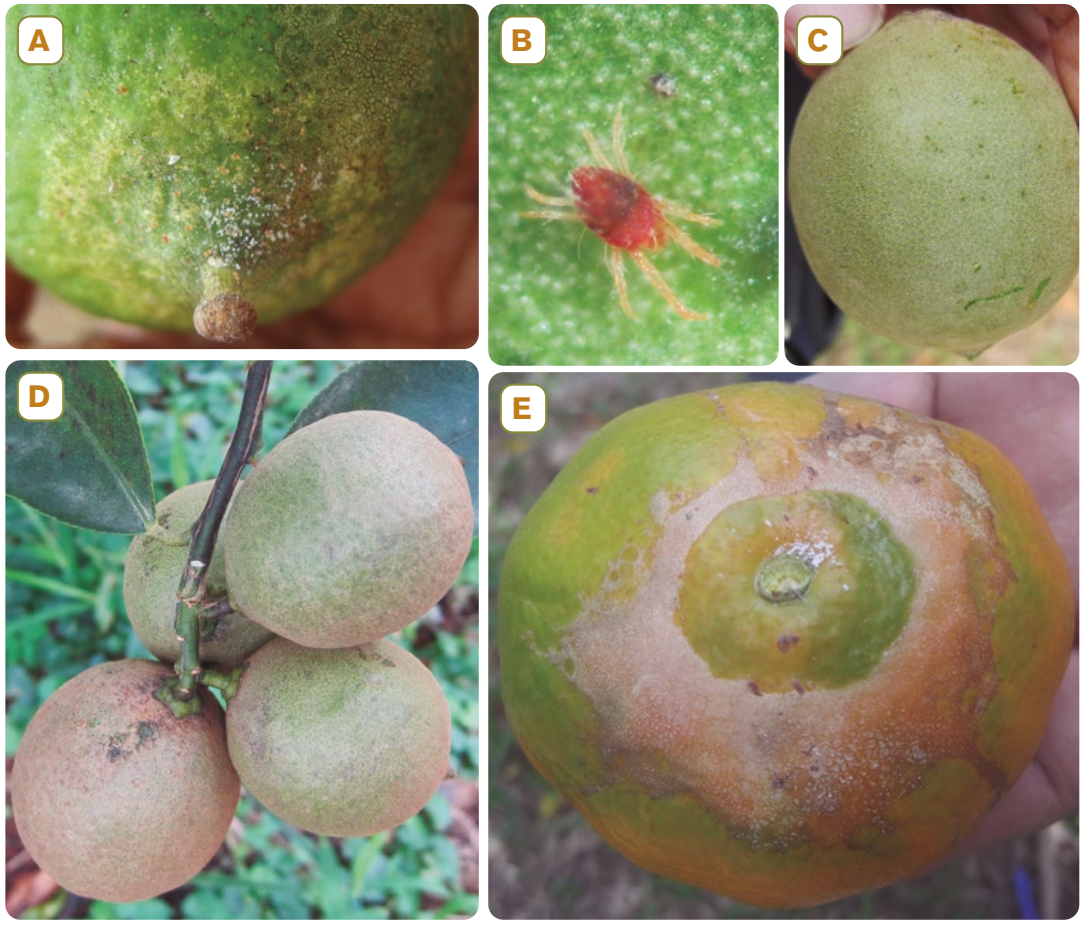


Figura 21. Ácaros asociados al cultivo de cítricos. a. Colonias en fruto de limón de arañita roja *Panonychus citri*; b. Vista dorsal de hembra adulta de arañita roja *P. citri*. c. y d. Daño en frutos de ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus*; e. Daño en fruto de trips *Frankliniella* sp.

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

En cuanto a los enemigos naturales, se pueden encontrar parasitoides, depredadores y microorganismos entomopatógenos. Los parasitoides colocan sus huevos dentro o cerca de la plaga; los estados inmaduros del parasitoide completan su desarrollo a partir del insecto que parasitan y al final emergen de nuevo como adultos. Para completar su desarrollo, los parasitoides necesitan un solo individuo hospedero; además, tienden a ser muy específicos con el insecto que parasitan. En el caso de los depredadores, estos son insectos que se alimentan de otros individuos y necesitan consumir varias presas para completar su desarrollo. Los depredadores tienden a ser generalistas y consumir todo insecto que sea más pequeño que ellos y, aunque tienen preferencias para su alimentación, tienden a ser generalistas. No obstante lo anterior, hace falta mucho trabajo para realizar un buen inventario de estos organismos. Los parasitoides y depredadores más comunes en cultivos de Santander se muestran en la tabla 9.

Respecto a los entomopatógenos, que incluyen hongos, bacterias y nemátodos, son microorganismos con la capacidad de enfermar y matar a insectos, y la relación con el insecto que enferman es especifica. Por ejemplo, *Hirsutella* spp. solo se ha encontrado asociado a *Diaphorina citri*. Estos hongos pueden ser muy importantes como factores de mortalidad en plantaciones de cítricos, sobre todo en épocas de alta lluvia y humedad, cuando las condiciones ambientales les son favorables (Hall et al., 2012).

Tabla 9. Principales artrópodos benéficos en cultivos de cítricos de Santander

Grupo	Especies	Presas u hospedero que consume
Ácaros depredadores Familia: Phytoseidae	*Euseius* sp. *Iphiseiodes zuluagai* *Typhlodromips* sp.	Ácaros
Coccinelidos Familia Coccinelidae (figuras 22a, 22b, 22c, 22d)	*Azya orbigera* *Cheilomenes sexmaculata* *Cycloneda sanguínea* *Coelophora inaequalis* *Chilocorus nigrita*	Depredadores generalistas
Moscas sirfidas Familia: Syrphidae (figura 22e)	Varias especies	
Chinches asesinas Familia Reduviidae (Figura 22F-G)	*Zelus* sp. *Heza* sp.	
Crisopas Familia: Chrysopidae (figura 22i)	*Ceraeochrysa* spp. *Chrysoperla* sp.	
Arañas Familia: Aranae (figura 22j)	No identificadas	
Trips depredadores	*Aleurodothrips fasciapennis* *Scolothrips* sp.	Insectos escama y ácaros
Parasitoides (figura 22h)	Varias especies *Signiphora* sp. *Lysiphlebus testaceipes*	*Signiphora* sp. parasita, moscas blancas y *L. testaceipes* áfidos.

Fuente: Elaboración propia

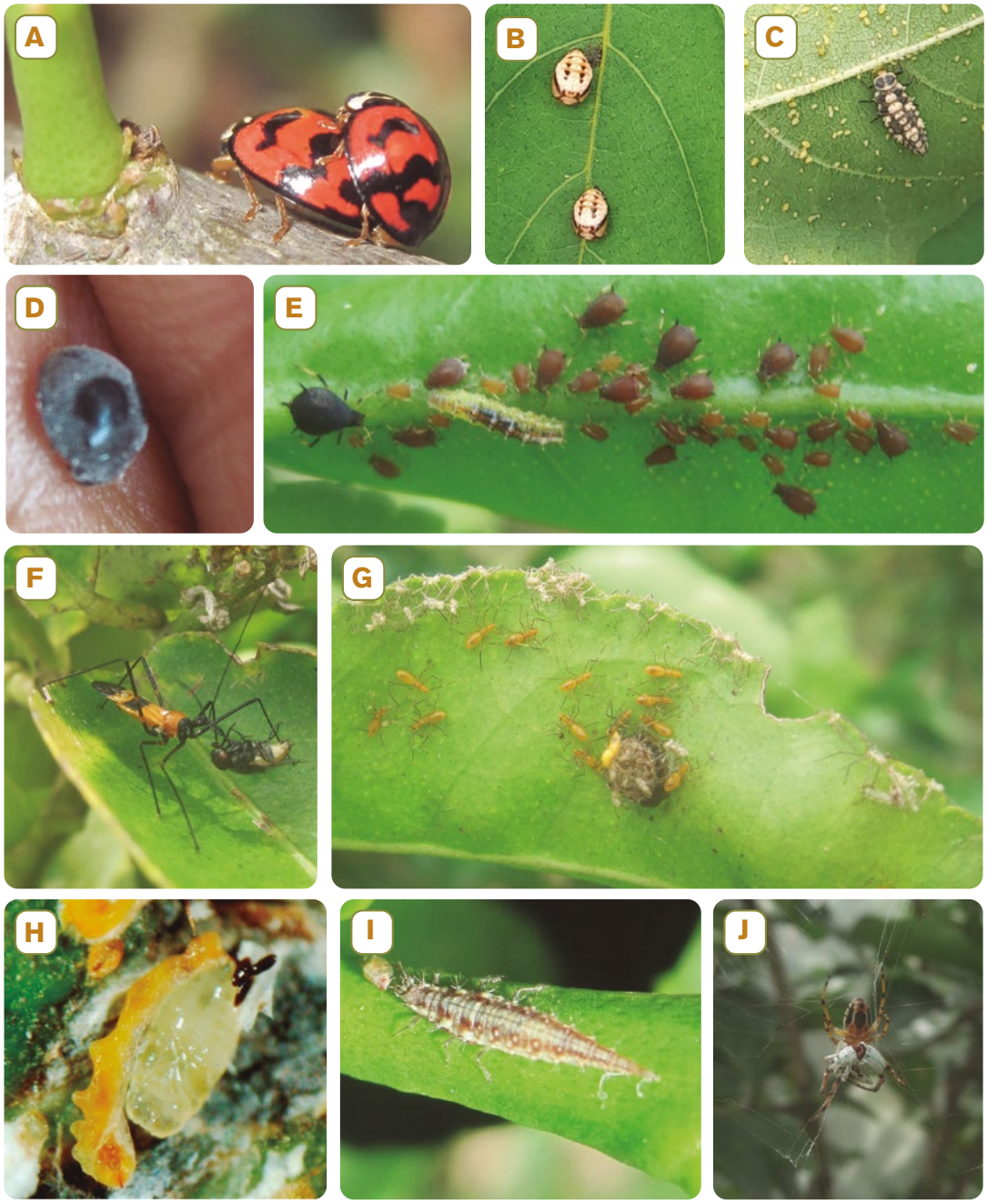


Figura 22. Enemigos naturales en cultivo de cítricos.
a. Adultos de *Cheilomenes sexmaculata*; b. Pupa de *C. sexmaculata*;
c. Larva en colonia de áfidos de *C. sexmaculata*; d. *Azya orbigera*;
e. Larva de mosca depredadora; f. Chinche asesina *Zelus* sp. consumiendo una mosca;
g. Colonia de chinche asesina *Zelus* sp.; h. Parasitoide de escama en pupa;
i. Larva de crisopa *Chrysoperla* carnea; j. Araña depredando un picudo.

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

Cuando se monitorea y se cuantifica el nivel poblacional de la plaga se consigue reducir las aplicaciones de productos fitosanitarios, en comparación con aplicaciones calendario cada 15 días o cada mes. Cuando se hace el muestreo, es importante tener suficiente representatividad en este, para lo cual es necesario tomar un número adecuado de muestras y tener en cuenta la distribución del insecto. Los insectos, o cualquier organismo, se pueden distribuir de tres maneras: aleatoria, agregada y uniforme. Los insectos se distribuyen de manera agregada, por lo que es ideal hacer un recorrido que abarque todo el lote y no solo una porción.

En este recorrido se revisan los brotes, las hojas o ramas, dependiendo de la biología del insecto. En el caso de estados inmaduros o ninfas de *D. citri*, se revisan brotes; después de revisar 25 árboles bien distribuidos en el lote, en cada uno de estos se revisan cuatro brotes, para un total de 100 brotes. Con esta información es posible estimar un porcentaje de incidencia.

Por ejemplo, si en esos 100 brotes se encuentran 30 infestados por *D. citri*, el porcentaje de incidencia sería de 30 %. Esta cifra se considera alta debido a que la enfermedad del HLB se encuentra establecida en Santander; por lo tanto, es necesario tomar o aplicar alguna estrategia de manejo.

Otro beneficio del monitoreo es detectar áreas —llamadas focos— del lote donde hay mayor población de la plaga, lo cual permite enfocar nuestras prácticas de manejo en estos lugares, y no en todo el cultivo. El monitoreo también ayuda a evaluar el efecto de las prácticas de manejo realizadas, debido a que se está realizando una evaluación antes y después de dicha actividad. Se recomienda hacer el monitoreo cada ocho días.

Biología de *Diaphorina citri* y pautas para su manejo

Los adultos de *Diaphorina citri* son insectos chupadores, relativamente pequeños y miden de 2 a 3 mm. Algunas de sus características son la posición en reposo, que es en forma de 45° con el sustrato, y el patrón de coloración de las alas (figura 23). La terminación del abdomen permite diferenciar a la hembra del macho. Los estados inmaduros se ubican en los brotes vegetativos y florales de la planta, son de color amarillo, de apariencia plana y son visibles las antenas y los ojos (figura 23).

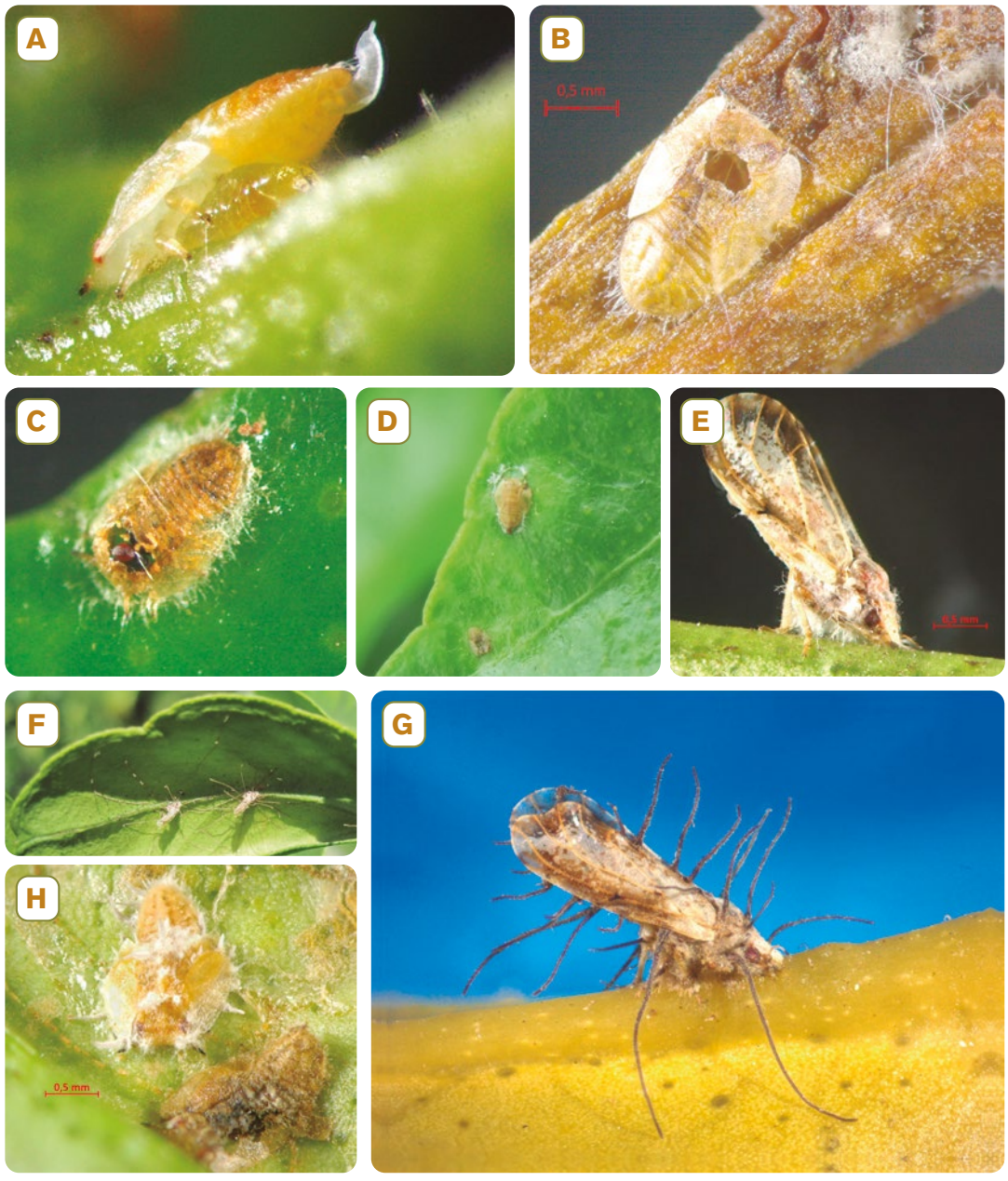


Figura 23. Psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri.*
Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

El ciclo de vida de *D. citri* es de 14 +/- 1,2 días para las condiciones de Santander, y su fecundidad es muy alta: cada hembra puede colocar 694 huevos (Botero et al., 2014). Un ciclo corto y una alta fecundidad hacen que su control sea muy difícil. A *D. citri* no le favorecen las condiciones de alta humedad relativa y precipitación (Ortega-Arenas et al., 2013), pues aumentan la mortalidad de las ninfas por infecciones de hongos y el golpe de la lluvia, respectivamente. Hay una estrecha relación entre la brotación y el ciclo de *D. citri* (Ortega-Arenas et al., 2013): el brote se sincroniza con el ciclo del insecto y el insecto pone los huevos en los brotes cuando las hojas están todavía cerradas; a medida que el brote se va desarrollando, las ninfas también lo hacen. Si el insecto coloca los huevos después de que esté muy avanzado el desarrollo del brote va a tener problemas para desarrollarse como ninfa. Por lo anterior, el manejo del insecto se debe enfocar en el inicio del proceso de brotación.

Dentro de la fauna de insectos y arañas que consumen ninfas y adultos de *D. citri*, se cuentan básicamente todos los depredadores generalistas, como coccinélidos, arañas y chinches depredadoras (Kondo et al., 2015). También tiene enemigos naturales, como el parasitoide *Tamarixia. radiata*, el cual se ha logrado dispersar a todas las regiones citrícolas del mundo, incluyendo a Colombia. La hembra de este parasitoide coloca sus huevos solo debajo de ninfas de *D. citri* (figura 24a). Después de unos días, cuando la larva ha completado su desarrollo, fija la ninfa de *D. citri* a la hoja y empieza a empupar para emerger como adulto; para esto realiza un orificio en el tórax de la ninfa muerta, llamada momia (figuras 24b, 24c y 24d). Actualmente, en AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Selva, se cuenta con una planta de producción de este parasitoide. En Santander se ha encontrado que liberaciones de adultos del parasitoide en momentos cuando las poblaciones de *D. citri* están altas, aumentan el parasitismo de las ninfas y su control.

También se encuentran hongos nativos entomopatógenos. Al respecto, se han hecho varios estudios de reconocimiento en algunos países y se ha encontrado bastante diversidad; incluso existen nuevos reportes de hongos de los cuales se desconocía que tuvieran la capacidad de infectar *D. citri* (Casique-Valdés et al., 2024) (figuras 24f, 24g y 24h). El hongo más común en nuestro medio es *Hirsutella* sp.; este genera prolongaciones a partir del cuerpo del insecto que queda momificado y pegado a la hoja de la planta (figuras 24f y 24g). En algunos momentos, el parasitismo de *D. citri* por *Hirsutella* puede llegar al 75 % de adultos afectados (Hall et al., 2012).



igura 24. Enemigos naturales específicos del psílido *Diaphorina citri*. a. Ninfa parasitada de parasitoide *Tamarixia radiata*; b. Momia con orificio de salida del parasitoide de parasitoide *T. radiata*; c. Adulto de parasitoide *T. radiata* próximo a emerger; d. Ninfa parasitada en hoja de *T. radiata*; e. Entomopatógeno hongo no identificado parasitando adulto de *D. citri*; f. y g. Entomopatógeno *Hirsutella* sp. parasitando *D. citri*; h. Hongo no identificado parasitando ninfa de *D. citri.*

Fotos: José Mauricio Montes Rodríguez

Se necesita seguir estudiando y avanzando en el control biológico de *D. citri* por varias razones: 1) es importante tener opciones de manejo en áreas urbanas donde predomina el limón Swinglea, que es una barrera viva muy utilizada en Colombia; esta planta es hospedera del vector *D. citri* y también de la enfermedad, y en las áreas residenciales y de traspatio no se pueden utilizar insecticidas, lo que dificulta el control de *D. citri*; 2) el abuso de los insecticidas puede traer como consecuencia el resurgimiento de plagas que logran generar resistencia a ciertas moléculas de insecticidas si no se realiza una rotación de productos; 3) se debe evitar un impacto en la fauna benéfica y por ende un impacto ambiental, varias moléculas han sido prohibidas en algunos países de Europa por su persistencia y daño ambiental; 4) es necesario mantener o aumentar la citricultura orgánica, lo cual es bien pagado a nivel internacional, pero hay que encontrar soluciones que sean compatibles con este tipo de agricultura.

El control natural, es decir, el conjunto de enemigos naturales de las plagas, como depredadores, parasitoides y hongos entomopatógenos, tiene el potencial de controlar *D. citri* y los otros insectos que dañan los cultivos de cítricos (Reyes-Rosas et al., 2013). Sin embargo, se les debe procurar el mejor ambiente para que trabajen a nuestro favor. En algunos momentos del ciclo de cultivo, las poblaciones de los enemigos naturales están bajas cuando las plagas están también en un nivel bajo; en ese sentido, fuentes alternativas de alimento como néctar y polen pueden ayudar y favorecer una mayor permanencia de ácaros depredadores, depredadores y parasitoides. Este polen y néctar lo podrían suministrar coberturas vegetales que son plantas arvenses o simplemente malezas que conviven en el cultivo. Se ha demostrado que el uso de estas coberturas vegetales protege el suelo de la erosión y aumentan el control de plagas en cítricos y otros frutales (Cortez-Madrigal, 2024).

También se han realizado trabajos de este tipo con *T. radiata*, el parasitoide de *D. citri*. Se ha encontrado que algunas plantas favorecen la fecundidad y la longevidad del parasitoide; esto quiere decir que el parasitoide dura más tiempo vivo y controla más eficientemente a *D. citri* cuando puede acceder al néctar de algunas flores (Irvin & Hoddle, 2021). Igualmente, los ácaros depredadores se ven favorecidos por estas coberturas vegetales que son arvenses o malezas (Malagnini et al., 2022). Pero para poder utilizar las arvenses de esta manera, estas deben cumplir con ciertos requisitos; por ejemplo, ser plantas de porte bajo y con raíz pequeña y superficial que proteja el suelo de la erosión sin competir por nutrientes ni luz con el cultivo, tener un crecimiento rápido y ser fáciles de propagar, así como mantenerse florecidas, ya que de esta manera suministran néctar y polen a enemigos naturales; asimismo, no deben compartir o albergar plagas que también puedan afectar el cultivo, en este caso de los cítricos.

Para finalizar, la conservación de enemigos naturales tiene mucho potencial. Cortez-Madrigal (2024) hace una revisión de documentos y llega a la conclusión de que el control natural de plagas, el control que se logra con la conservación de los enemigos naturales que nosotros tenemos en nuestros cultivos, puede ser el eje integrado para el control de *D. citri*, si favorecemos lo suficiente los enemigos naturales de las plagas. Esta es una propuesta que ambientalmente es compatible con la agricultura orgánica que queremos conservar y fomentar en Santander.





Ganadería

CAPÍTULO V.

Importancia de los sistemas ganaderos para la seguridad alimentaria y las economías campesinas, indígenas y afrodescendientes en Colombia

Juan Leonardo Cardona Iglesias,
Juan Ricardo Zambrano Ortiz, Mahavisnu Bonza Espinoza

La ganadería en Colombia es la actividad más importante dentro del sector pecuario, por lo que es motor fundamental de la economía nacional. En 2024, el sector agropecuario aportó un 9,3 % al producto interno bruto (PIB) nacional; en este aspecto, se destaca el aporte del sector ganadero al PIB pecuario con un 46 % y al agropecuario con un 20 %. Este aporte, significativo para el desarrollo económico nacional, se debe en parte al crecimiento de la ganadería en el país, que fue del 5,6 % en 2024 (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán], 2025; Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2024).

Productos como la carne y la leche bovina, y sus derivados, son fuentes de macro y micronutrientes de gran importancia para el ser humano, que no pueden obtenerse fácilmente de los vegetales. Es significativo el aporte de nutrientes en alta disponibilidad, como las proteínas y los aminoácidos esenciales (metionina, leucina, treonina, lisina), que son indispensables

para la formación de tejidos; minerales como el hierro, el fósforo, el zinc y el selenio, así como vitaminas del complejo B (B2, B3, B6, B12), las cuales previenen enfermedades como la anemia. Por ejemplo, el hierro y la vitamina A son dos de los micronutrientes de los cuales carece uno de cada dos niños en edad escolar, y cerca de 1.200 millones de mujeres embarazadas, sobre todo de comunidades vulnerables en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023).

Los productos lácteos y cárnicos también aportan fuente de energía (lactosa en leche) y ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico conjugado (ALC) —también conocido como ruménico—, el cual solo se encuentra en la leche y en la carne de bovinos alimentados a base de forrajes. Se ha demostrado que el ALC es potencial para la salud humana, por ser arteriosclerótico, antiinflamatorio, antidiabético, anticarcinogénico y coadyudante en la disminución del sobrepeso en niños y adultos, ya que ayuda a disminuir la grasa corporal (Prieto-Manrique et al., 2016).

Según el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA, 2024), entre 2012 y 2050 habrá un aumento en la demanda de carne y leche del 52 % y el 40 %, respectivamente. Por esto, la ganadería juega un papel preponderante, y es una gran oportunidad para los pequeños productores de ser los pioneros en la generación de proteína animal de alta calidad para un mundo que la necesita. Para lograrlo, es importante vincular tecnologías que promuevan la resiliencia al cambio climático y el mejoramiento de la calidad y disponibilidad de productos para poder suplir la inseguridad alimentaria y favorecer el acceso a mercados competitivos, que mejoren la calidad de vida de los pequeños productores en el país y en el mundo. Una de las estrategias para mejorar la producción de carne y leche en comunidades vulnerables es la transferencia de tecnología (figura 25).



Figura 25. Transferencia de tecnología en el municipio de Cimitarra-Santander. Socialización de la oferta tecnológica para determinar grados Brix en forrajes.

Foto: Juan Leonardo Cardona Iglesias

El manejo del suelo es importante para mejorar la productividad de los forrajes

Por su ubicación geográfica, Colombia tiene un clima tropical con temperatura muy similar durante la mayor parte del año. Sumado a esto, el territorio presenta un volumen de precipitaciones anual que influye en la fertilidad del suelo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2016). El país presenta suelos ácidos originados por el exceso de precipitación que lava o lixivia elementos esenciales para la nutrición de las plantas, como el calcio, el magnesio y el potasio (Rojas Restrepo, 2015). Por lo general, los suelos tropicales se asocian con pH bajos, en Colombia se

estima que entre el 80 % y el 85 % de los suelos destinados a actividades agrícolas y pecuarias son de carácter ácido (Zapata, 2004).

En este sentido, el pH óptimo para el crecimiento y desarrollo de los forrajes está en un rango entre 5,5 y 6,5. Para zonas como las del Magdalena Medio y el Catatumbo, las precipitaciones anuales pueden llegar hasta los 3.768 mm y 3.000 mm, respectivamente, con una temperatura media de 27 °C (Beck et al., 2023). En estas condiciones, se llegan a encontrar suelos con niveles de pH del orden de extremadamente ácido (3,5-4,5), lo que afecta la dinámica nutricional de los forrajes, ya que contribuye a la disminución de la fertilidad del suelo, y esto provoca cambios en la macro y microbiota, además de disminuir la fijación biológica de nitrógeno (Zapata, 2004).

Bajo una condición de pH < 5,5 hay un elemento que aparece en altas concentraciones: el aluminio (Al). El Al^{3+} es un elemento que genera toxicidad para el crecimiento y desarrollo vegetal, principalmente a nivel de la raíz. De los 96 millones de hectáreas con pH ≤ 5,5, por lo menos el 50 % tiene problemas por toxicidad de aluminio. Otro elemento que se presenta en condiciones de pH ácido es el hierro (Fe^{3+}), el cual es un micronutriente esencial, pero que a pH ≤ 5,5 se presenta en altas concentraciones y puede ser fitotóxico para las plantas. Además, altas concentraciones de hierro y aluminio generan deficiencia de otros elementos esenciales como el fosforo (P), al formar fosfatos de Fe^{3+} y Al^{3+}, los cuales son compuestos insolubles que retienen el fosforo y no permiten que sea absorbido por las plantas (Zapata, 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, la mayoría de las zonas productivas de especies de importancia económica, como papa, café, hortalizas, maíz, arroz, frutales y pasturas, presentan las condiciones mencionadas. En su mayoría, estos suelos tienen una baja fertilidad natural; es decir, una baja saturación de bases (calcio, magnesio y potasio), condición que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a las condiciones

de elevada acidez en el subsuelo, lo que genera una barrera química impuesta principalmente por el aluminio (Cuervo Alzate, 2019). Por esto es importante realizar jornadas de capacitación y actualización en el manejo se suelos a productores y extensionistas para fortalecer conocimientos que permitan aumentar rendimientos en sus predios de manera sostenible (figura 26).



Figura 26. Jornadas de actualización tecnológica en muestreo de suelos en finca ganadera para asistentes técnicos, extensionistas y pequeños productores. a. Tibú, Norte de Santander; b. Cimitarra-Santander

Fotos: Juan Leonardo Cardona Iglesias

La producción agropecuaria está en función de los factores: clima, suelo, planta y manejo agronómico de forrajes y animales, y la sinergia entre estos factores determina la productividad; cuando se omite el clima como un factor no controlable (ganadería a campo abierto), el recurso suelo representa el factor más importante de la productividad ganadera, pues abarca el 46 % del total de la producción (Steensland, 2022). Por ello, su manejo es clave para elevar los rendimientos en las zonas tropicales; de manera que se hace necesario conocer las propiedades del suelo para poder trabajar las limitantes que se puedan presentar y suministrar todos los elementos esenciales que requieren los cultivos de interés agronómico.

Para lo anterior es fundamental tener como herramienta de diagnóstico el análisis de suelos, ya que este proporciona información de los niveles de acidez que este presenta y permite determinar la cantidad y el tipo de enmienda para el ajuste del pH. Además, permite conocer las condiciones de fertilidad natural del suelo para determinar las necesidades de adición de fertilizantes; así, el análisis de suelo sirve como herramienta de decisión que contribuye al incremento productivo de los hatos ganaderos (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2024).

Importancia de realizar el análisis de fertilidad de los suelos ganaderos

AGROSAVIA, a través de la red de laboratorios de química analítica distribuidos a nivel nacional, tiene a disposición del público interesado en la oferta tecnológica de análisis de suelos para determinar la fertilidad, la cual le permite a los productores acceder de forma rápida y precisa al análisis diagnóstico para el sistema productivo de ganadería u otro de interés. Para realizar el análisis de suelos en el predio, se deben llevar a cabo tres pasos básicos: 1) un adecuado muestreo del suelo (que les corresponde realizarlo al productor, asistente técnico o extensionista); 2) análisis en laboratorio (no intervienen el productor, asistente técnico o extensionista, y 3) interpretación y toma de decisiones (responsabilidad del productor, asistente técnico o extensionista).

Toma de muestras de suelo

Para obtener un análisis de suelo preciso, es fundamental seleccionar un lote con características homogéneas en cuanto a relieve, color y textura. Si existen diferencias marcadas en estos aspectos, como variaciones en fertilidad, color o pendiente, será necesario realizar análisis independientes

para cada zona diferenciada. A continuación, se muestra el paso a paso para una correcta toma de las muestras de suelo, que también se ilustra en la figura 27.

a. Una vez definido el lote, se traza un recorrido que cubra toda el área, utilizando patrones como diagonal, en (X) o zigzag, entre otros. Durante el recorrido, se deben extraer entre 20 y 30 submuestras por hectárea, asegurando una representación adecuada del terreno.

b. En cada punto de muestreo, es necesario retirar la capa vegetal y excavar un hoyo de 20 a 30 cm de profundidad en pasturas de pastoreo o de corte, o de 40 a 60 cm en sistemas silvopastoriles, donde la raíz de los árboles y arbustos es más profunda.

c. La muestra se toma de la pared del hoyo y se limpia con un cuchillo o bisturí para eliminar bordes contaminados.

d. Todas las submuestras recolectadas se mezclan en un balde limpio hasta obtener una muestra homogénea. Luego, se separa aproximadamente 1 kg de suelo, que se empaca en doble bolsa; es importante asegurar un cierre hermético.

e. Finalmente, se diligencia la información del predio, incluyendo municipio, vereda, finca, pendiente y cultivo de interés, antes de enviarla al laboratorio para su análisis.

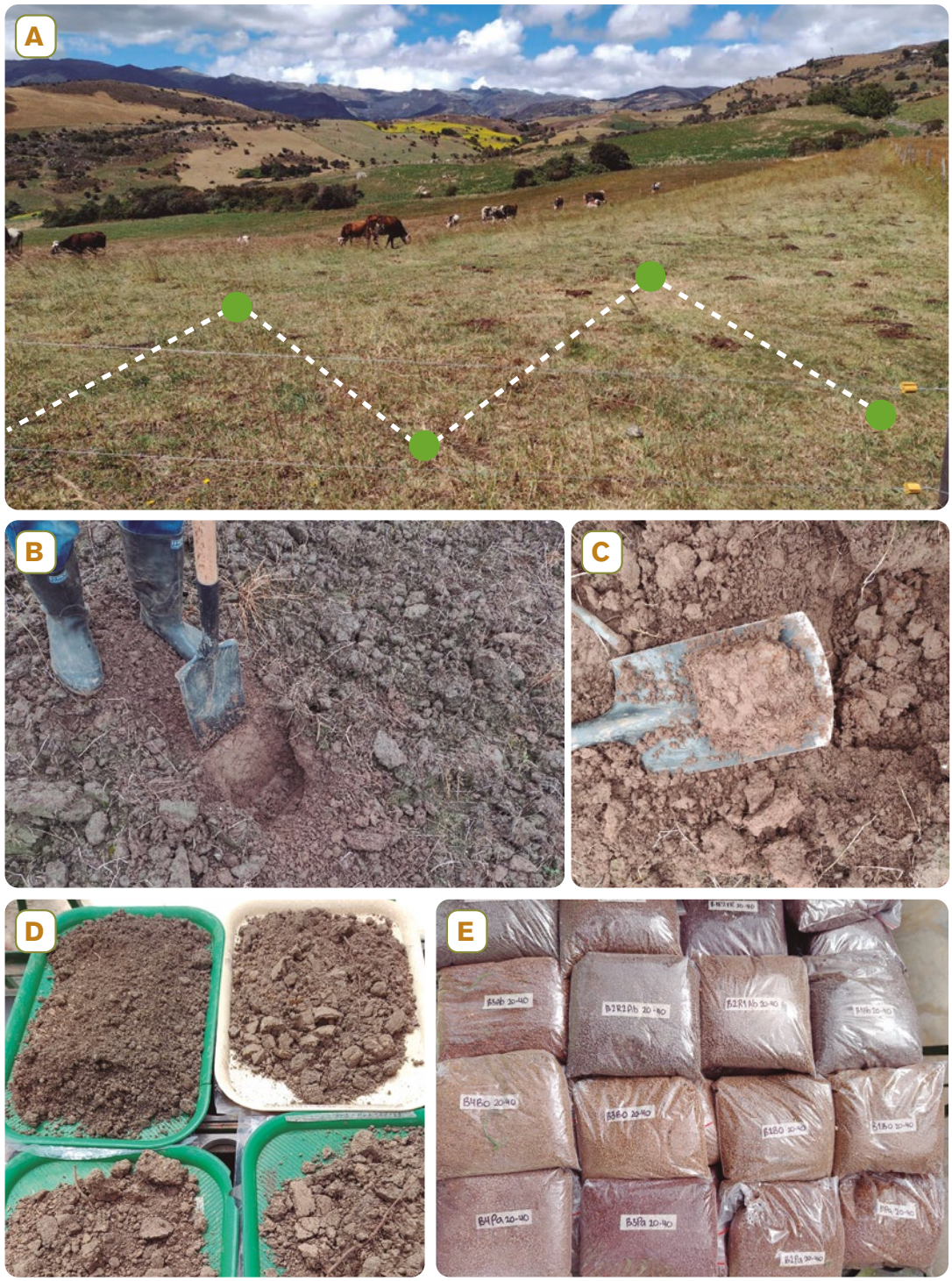


Figura 27. Pasos para la toma de muestras de suelo. a. Ubicación del área; b. Toma de muestra; c. Homogenización de la muestra; d. Secado; e. Empacado.

Fotos: Mahavisnu Bonza Espinoza

¿Como interpretar de manera general un análisis de suelo?

La interpretación de un análisis de suelo puede variar según el nivel de detalle, pero es fundamental comprender los parámetros básicos que permitan a productores, asistentes técnicos y extensionistas tomar decisiones acertadas para mejorar la producción ganadera. Los ajustes en el suelo deben centrarse principalmente en la corrección de la acidez, el ajuste de bases y el plan de fertilización, con el objetivo de garantizar un manejo eficiente, reducir costos de producción, aumentar los rendimientos en la producción de forraje y preservar el medio ambiente.

Interpretación del pH

Primero, se debe buscar en el análisis de suelos el pH, que es un indicador de las condiciones de acidez del suelo. Es importante recordar que el rango ideal para el pH es aquel comprendido entre 5,5 y 6,5, partiendo de que, en un pH de 5,5 ya no hay presencia de aluminio. Cuando se tienen suelos de carácter ácido, es decir, pH inferiores a 5,5, se presenta un elemento que aparece en altas concentraciones: el aluminio, que genera toxicidad para el crecimiento y desarrollo vegetal, principalmente a nivel de la raíz, y deficiencia de otros elementos esenciales, como el fosforo.

Interpretación de la materia orgánica

El tipo y la cantidad de la materia orgánica presentes en un suelo condicionan de manera sustancial sus propiedades fisicoquímicas. La materia orgánica es el reservorio principal de carbono, nitrógeno, azufre y fósforo en los suelos, pero estos nutrientes son liberados muy lentamente por la acción de los microorganismos (Echeverri Echeverri, 2018). Para clima cálido, el porcentaje de materia orgánica óptimo se encuentra entre el 2 % y el 3 %. En la figura 28, se muestra un análisis de suelos del Magdalena Medio, donde el porcentaje de materia orgánica es bajo.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	5.01	Fuerte a extremandamente ácido
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2008 Método B.	0.09	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5	1.06	No Aplica
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black	1.83	Bajo
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25.	1.68	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	4.51	Bajo
(*)Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	2.11	Baja
(*)Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.02	Bajo
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	0.95	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	0.70	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R -50 versión 10	0.91	Bajo
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R -50 versión 10	0.17	Bajo
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R -50 versión 10	<0.09	Bajo
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R -50 versión 10	<0.14	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	142.76	Alto

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	<1.00	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	43	Medio
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	8	Bajo
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	2	Medio
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	1	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	33	Restrictivo

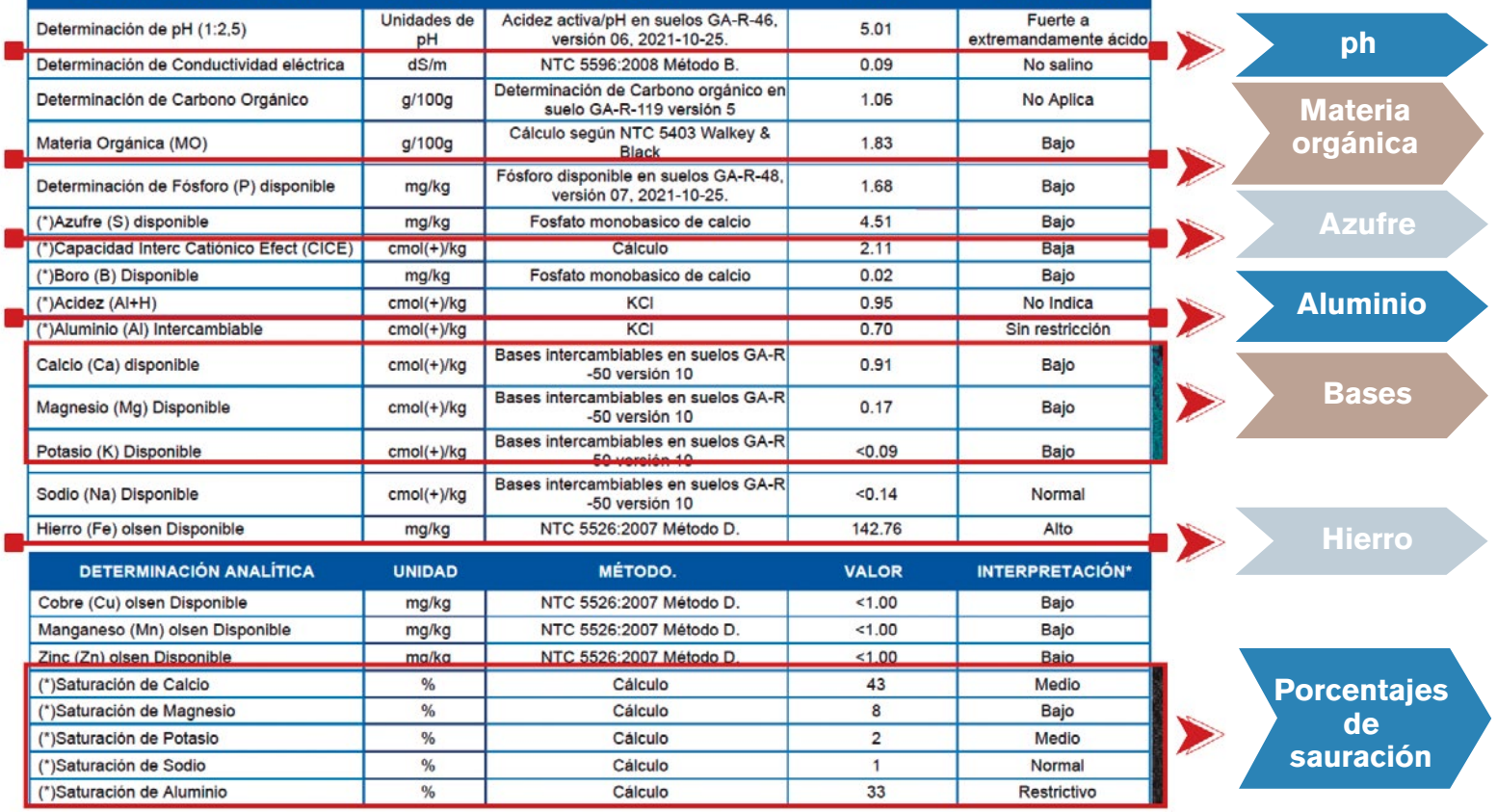


Figura 28. Resultado de un análisis de suelos en finca ganadera del Magdalena Medio santandereano. Valores e interpretación de los principales factores analizados (determinación analítica).

Fuente: Elaboración propia

Interpretación del aluminio y hierro

El aluminio causa toxicidad a nivel de la raíz, lo que afecta la dinámica nutricional y la toma de agua por parte de las plantas, y si el suelo es de carácter ácido, con valores de pH <5,5, seguramente tendrá restricciones por aluminio; esto genera déficit de calcio, magnesio, azufre, nitrógeno y potasio. Además, si el suelo es de carácter ácido es posible que haya un alto contenido de hierro (Fe^{3+}), y es común encontrar niveles de concentración de Fe+ 2 o 3 veces mas alto del rango normal. Adicionalmente, junto con el aluminio, el Fe^{+} puede fijar el fósforo al formar fosfatos de Fe^{+} y Al^{+}, los cuales son compuestos insolubles que impiden que se haga disponible para los forrajes. El rango óptimo del hierro es de 50 a 100 ppm.

Interpretación de bases intercambiables

El aluminio también afecta la disponibilidad de otras bases, como las bases intercambiables. Cuando hablamos de bases intercambiables en el suelo, hacemos referencia a Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}; se debe recordar que estos son elementos esenciales para la nutrición de los cultivos como las pasturas (figura 28). En el análisis de suelo relacionado, las bases se encuentran en muy baja concentración.

Interpretación de la CIC-CIA

La capacidad de intercambió catiónico o aniónico (CIC o CIA) mide de cierta manera la despensa en términos de la fertilidad natural que llega a tener un suelo. Los suelos de carácter ácido tropical por lo general presentan una baja capacidad de intercambio catiónico; esto quiere decir que la despensa natural en términos de nutrientes que se encuentran de manera natural en el suelo para suministrar a los cultivos está en baja concentración (figura 28).

Saturación de bases

Otro parámetro importante que muestra el análisis son los porcentajes de saturación base (ver figura 28), los cuales están en función de las bases intercambiables; es decir, la participación que tiene cada una de ellas respecto a las demás en el complejo órgano mineral del suelo. De manera que lo ideal sería tener los siguientes porcentajes de saturación:

Calcio en un rango entre 55 % y 75 %.

Magnesio en un rango entre 15 % y 35 %.

En cuanto al aluminio, se dice que los principales cultivos de interés agronómico toleran un máximo del 20 % de saturación de aluminio; si hay restricciones por aluminio se van a presentar factores adversos para el crecimiento y desarrollo radicular. Hay algunas plantas que toleran porcentajes mayores de aluminio, pero este también genera deficiencia de otros elementos. Así, pues, a pesar de que existen cultivares capaces de tolerar el aluminio, la dinámica que este genera en el suelo también afecta la disponibilidad de nutrientes para las variedades tolerantes, lo que afecta su crecimiento y desarrollo.

Características generales de los suelos muestreados en el Magdalena Medio y el Catatumbo durante la ejecución del Plan de Vinculación Agroalimentario

En el marco del Plan de Vinculación Agroalimentario, se adelantaron acciones para identificar las condiciones de los suelos de las áreas donde se ejecutó el proyecto, ya que para ser un buen ganadero primero debemos ser buenos agricultores. Las condiciones de fertilidad del suelo tienen una relación directa con el estado nutricional de los forrajes, de manera

que los niveles de proteína, azúcares, ceniza, entre otros parámetros de calidad de las pasturas, dependen directamente de una buena gestión del suelo. La información recolectada por parte de los productores en cada uno de los predios de diferentes municipios donde se desarrolló el proyecto, y que por sus características agroecológicas como, altitud, temperatura y precipitación comparten atributos particulares, sirve como punto de referencia para realizar recomendaciones a nivel edáfico para incrementar la productividad y limitar la degradación del recurso suelo asociado a este tipo de sistemas productivos ganaderos.

En este sentido, se identificaron las características químicas de los predios que pertenecían a pequeños y medianos productores de la región del Magdalena Medio (Boyacá, Santander y sur de Bolivar) y Catatumbo (Norte de Santander). La información obtenida en campo fue complementada con la base de datos globales de suelos (SoilGrids), para realizar un análisis espacial de las propiedades del suelo. Este enfoque permite identificar patrones espaciales de fertilidad y establecer correlaciones entre las condiciones del suelo. En la figura 29 se observa la distribución de los niveles de pH en los diferentes municipios evaluados, donde la mayoría de las fincas muestreadas se ubican en un rango de pH entre 4,5 y 5,5; esto corresponde a fuertemente ácido y permite observar que el 61 % de las fincas muestreadas tiene niveles de pH entre 4,5 y 5,5. Lo anterior es importante para comprender la heterogeneidad de las condiciones del suelo y orientar estrategias de manejo, como la aplicación de enmiendas para la corrección de la acidez.

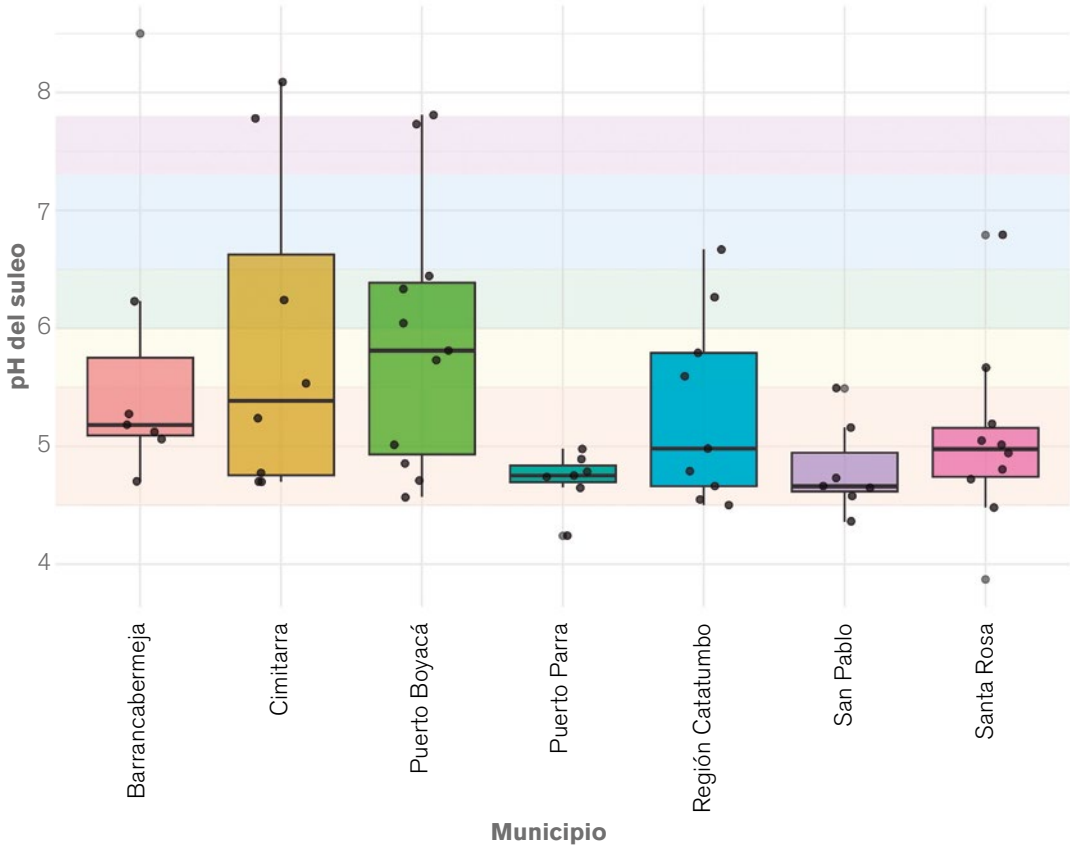


Figura 29. Distribución del pH en algunos de los municipios evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Después de analizar la distribución general del pH en los municipios evaluados, es apropiado ubicar esta información en un contexto espacial para comprender mejor cómo se distribuye en el territorio esta variable. Para ello, en la figura 30a se presenta un mapa de pH a partir de datos de SoilsGRID, que permite visualizar la distribución espacial de la acidez del suelo en la región y la información de las fincas muestreadas.

En la figura 30b, se muestra un mapa de promedios de pH por municipio y se proporciona una visión general de cómo son las condiciones de acidez que se encuentran en la zona en predios de uso agrícola y pecuario. Así, se pueden identificar patrones espaciales de fertilidad y establecer estrategias de manejo diferenciadas según las necesidades de cada área, y de esta manera optimizar la aplicación de enmiendas para la corrección de la acidez y el mejoramiento de las pasturas.

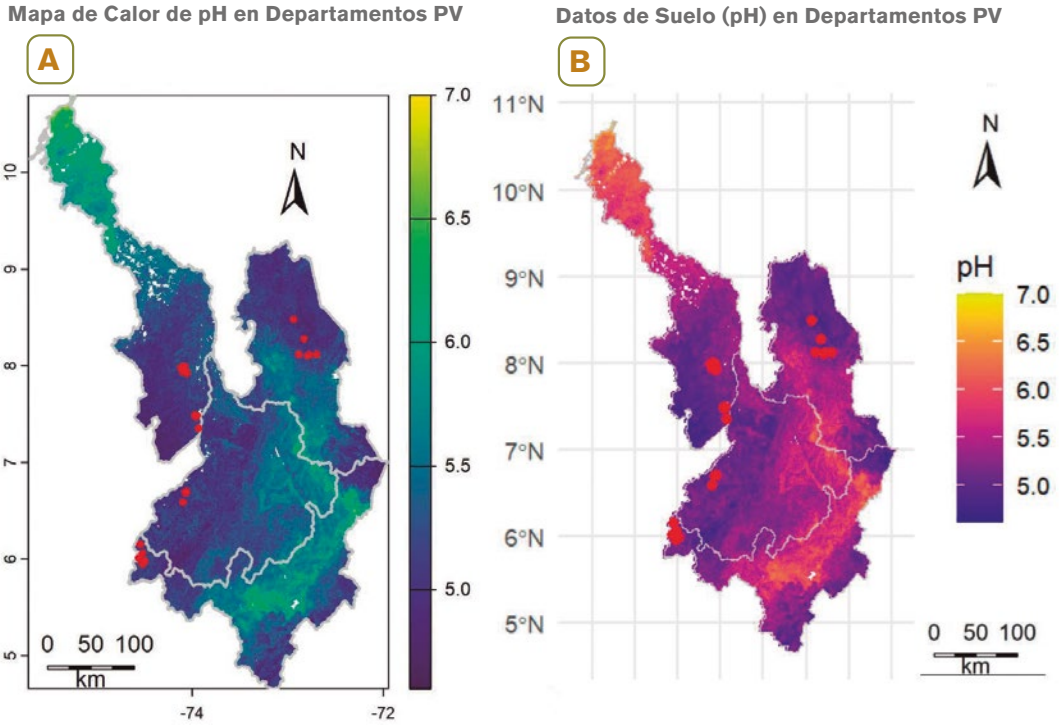


Figura 30. Distribución de pH en municipios PV. a. Mapa de pH en los municipios del plan de vinculación; b. Promedio de pH del suelo por municipio.

Nota: En la figura 30a se observa la variabilidad espacial del pH y ubicación de los puntos
Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que los suelos de clima cálido reciben mucha más materia orgánica que los suelos de clima frio en el trópico, las condiciones de temperatura, pluviosidad y los microorganismos hacen que el grado de transformación de la materia orgánica sea mayor que en clima frio. Generalmente, los suelos de climas cálidos presentan bajos contenidos de materia orgánica debido a su alto grado de mineralización, Por ello, es importante considerar dentro de los planes de manejo ciclos de cultivo de abonos verdes para aumentar los porcentajes de materia orgánica por hectárea, y así mejorar las condiciones físicas de los suelos con vocación pecuaria.

Finalmente, respecto a la concentración de las bases intercambiables, los suelos muestreados tienen problemas por presencia de aluminio (figura 31) y baja proporción de bases como calcio, el cual tiene un rango óptimo de concentración que oscila entre 3 y 6; magnesio, que tiene un rango entre 1,5 y 2,5, y potasio, con un rango entre 0,2 y 0,3. En la figura 32, se presentan las concentraciones de micronutrientes en partes por millón (ppm), donde su baja concentración se ajusta a las características del suelo de la región, ya que son suelos con baja fertilidad para el establecimiento y crecimiento de los cultivos, donde el aluminio y el hierro se acumulan, siendo cationes los dominantes en el complejo de intercambio.

Esta información permite comprender las limitantes naturales de los suelos en la región y la importancia de diseñar estrategias de fertilización y enmiendas que mejoren la disponibilidad de nutrientes esenciales para la producción.

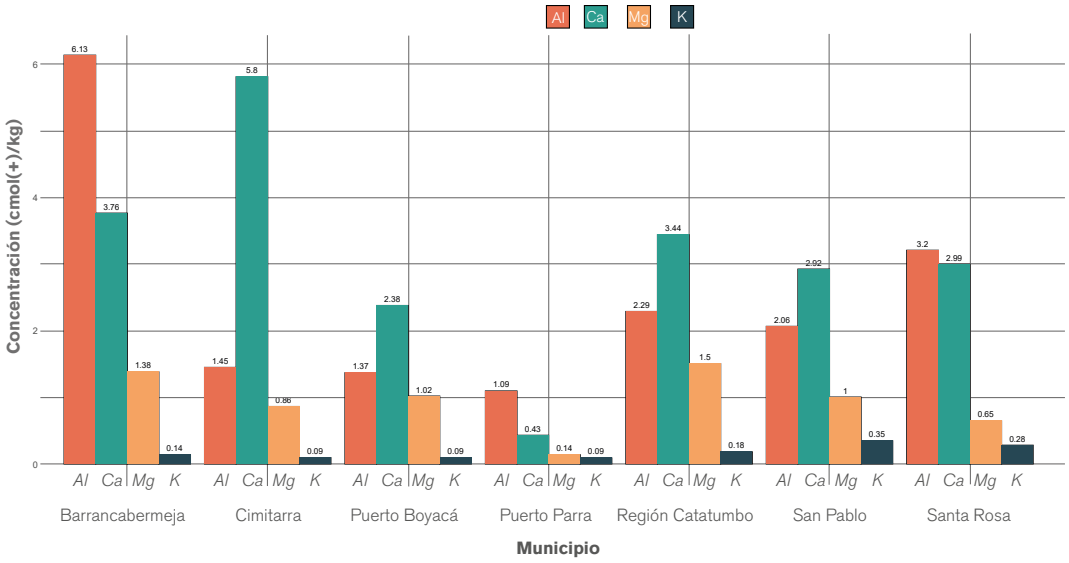


Figura 31. Contenido de bases intercambiables en los suelos evaluados.

Nota: Se observa que el aluminio de cambio (Al^{3+}) es uno de los cationes dominante que compite en la saturación con las bases (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}), lo que es característico de suelos ácidos tropicales.

Fuente: Elaboración propia

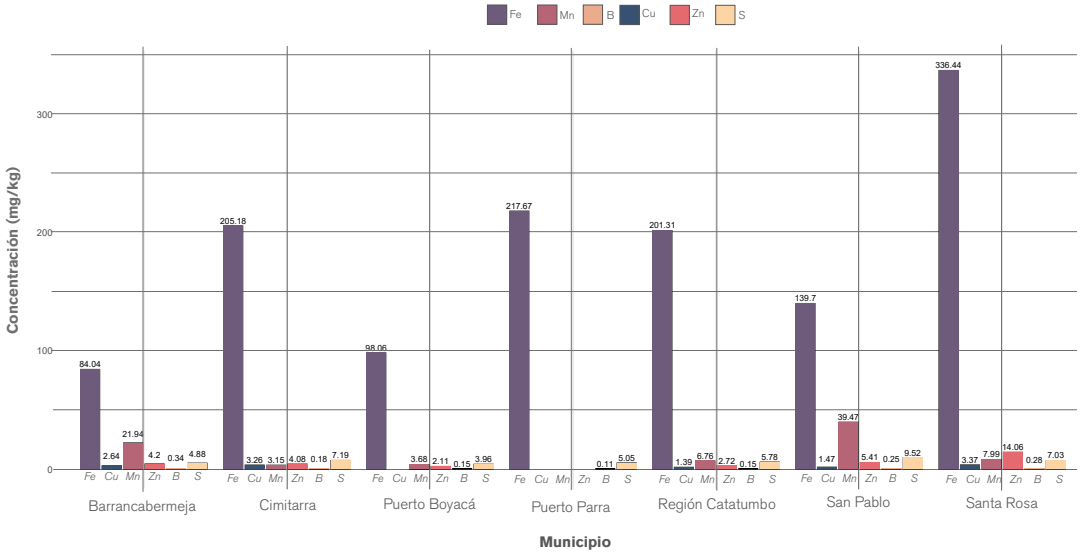


Figura 32. Concentración de micronutrientes en los suelos evaluados (expresados en ppm).

Nota: Se destaca que el hierro (Fe) es el único elemento presente en altas concentraciones en todos los suelos muestreados, lo que es consistente con la alta meteorización y lixiviación características de suelos tropicales ácidos.

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones generales en el manejo del suelo para sistemas ganaderos en Magdalena Medio y el Catatumbo

La temperatura y la precipitación para las regiones del Magdalena Medio y el Catatumbo reúnen características similares a nivel del suelo, lo que permite clasificarlo dentro de unidades agroecológicas con condiciones comparables que influyen en la disponibilidad de nutrientes y en otros factores determinantes para el desarrollo de los cultivos. Esto sugiere que es posible implementar estrategias de manejo agrícola similares en ambas zonas, para mejorar la productividad y promover prácticas sostenibles para la conservación del suelo.

El uso de enmiendas no solo permite aumentos de pH, también ayuda a regular los porcentajes de saturación de bases, y así mejorar la absorción de otros elementos esenciales para el crecimiento de las pasturas. Se recomienda el uso de yeso agrícola en combinación con silicato de magnesio, ya que son materias primas de bajo costo que contribuyen a mejorar la dinámica nutricional y la disponibilidad de calcio y magnesio; esto reduce las concentraciones de aluminio y hierro. La dosis debe establecerse según el diagnóstico del suelo y la rotación de potreros o lotes, y su aplicación se tiene que ajustar a lo largo del año para maximizar su efecto. De esta manera, y en un contexto de cambio global, es posible disminuir la barrera química impuesta por el aluminio, que limita el desarrollo radicular en profundidad; de esta manera, las plantas podrán explorar mayor área para toma de nutrientes y agua, y así tener la capacidad de resistir a eventos climáticos como la sequía.

En cuanto a la fertilización en pasturas, es más eficiente y económico manejar fuentes simples, ya que aportan más contenido de fertilizante que las mezclas compuestas que hay en el mercado. En este sentido, el nitrógeno (N) y el azufre (S) son elementos esenciales para el buen desarrollo de las pasturas. Una fuente interesante es el sulfato de amonio, pues es eficiente y de bajo costo, y no genera volatilización; además, mejora la absorción del nitrógeno en el suelo. A diferencia de las ureas que tienen un alto grado de volatilización que debe ser incorporada (tapada) en el suelo, el sulfato de amonio no tiene ese problema y aporta el 21 % de nitrógeno amoniacal y el 24 % de azufre.

También se debe incluir una fuente de fósforo como el fosfato monoamónico (MAP) o fosfato diamónico (DAP), de acuerdo con la disponibilidad en el mercado. Asimismo, en necesario incorporar cloruro de potasio (KCl) en la mezcla, lo que garantiza un balance adecuado de nutrientes esenciales. Pero la proporción mayoritaria en la mezcla debe estar enfocada en el sulfato de amonio, ya que el nitrógeno es el principal nutriente requerido para estimular el crecimiento y desarrollo del pasto.

Importancia del diagnóstico y acompañamiento técnico

Todas las prácticas de enmienda y fertilización deben estar basadas en análisis de suelos periódicos, que permitan ajustar las dosis y evitar desequilibrios nutricionales o toxicidad. Es indispensable que los productores trabajen a partir de la orientación de un ingeniero agrónomo, el cual podrá definir la estrategia más eficiente según las condiciones específicas de cada sistema ganadero. Un adecuado manejo de fertilización, enmiendas y rotación de potreros no solo mejora la calidad del forraje, sino que también contribuye a la sostenibilidad del suelo a largo plazo.

Importancia de conocer la calidad nutricional de los forrajes que consume el ganado

Los forrajes son el principal alimento de los rumiantes (figura 33), por lo que es necesario garantizar su adecuada oferta y calidad nutricional. Para garantizar la óptima nutrición de los rumiantes (vacunos, bufalinos, ovino-caprinos), se debe ofrecer a los animales una cantidad apropiada de forraje y de buena calidad. Todos los nutrientes (proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas, minerales, energía, etcétera) son importantes para potencializar la salud, reproducción y producción del ganado, pero entre los más representativos están las gramíneas (pastos), las leguminosas y las forrajeras, las cuales pueden ser leguminosas también (matarratón, aro o quiebrabarrigo, botón de oro, leucaena, guandul, moringa, entre otras) (Ariza Nieto et al., 2020).



Figura 33. Bovinos de la raza criolla Chino Santandereano.

Foto: Silvia Juliana Flórez

Principales nutrientes de importancia para alimentar el ganado

Las proteínas: son encargadas de la síntesis de músculo, caseína en la leche, colaboran en la formación de defensas para el organismo, piel, pelo, desarrollo del feto y prácticamente todas las funciones del organismo animal que requieren proteínas. Se debe garantizar un mínimo del 7 % de proteína cruda (PB) en la dieta para que los microorganismos del rumen puedan reproducirse y ayudar a la transformación de los alimentos en productos como leche y carne, al crecimiento de crías y a una óptima reproducción de hembras y machos. Una dieta basada en pasturas con menos del 7 % de PB debe suplementarse, preferiblemente con leguminosas o forrajeras que tengan alto contenido de proteína, ensilajes o, dado el caso, con suplementos balanceados.

Fibra detergente neutro: esta es la interpretación del total de fibra de un forraje, cuanto más alto sea este valor más alto es el nivel de fibra del forraje. Esto se relaciona con la edad del forraje, a mayor edad aumenta la proporción de fibra y disminuye la proporción de otros nutrientes como la proteína o los azúcares (carbohidratos). La fibra es importante porque estimula el proceso de rumia, y con ello se garantiza una mejor digestión y el aprovechamiento de los alimentos, así como una mejor salud ruminal. Pero la fibra en exceso provoca un efecto de llenado en los animales, y esto hace que disminuya el consumo voluntario y se retarden los procesos de digestión.

Energía neta de lactancia (ENL): es la energía que necesita la hembra para producir leche, cuanto más valor de esta energía tenga el forraje, mayor producción de leche se espera. Si se toma como referencia la ENL de un alimento o concentrado comerciales, los valores generalmente estarán por encima de las 1,8 megacalorías de ENL, respecto a las pasturas, cuyos valores son menores, ya que tienen mayor proporción de carbohidratos ligados a la fibra y menos azúcares solubles. Los concentrados, ensilajes

como el de maíz, sorgo, cítricos, y subproductos de cosecha de la papa o el banano tienen mayor contenido de ENL, comparado con un forraje.

Digestibilidad de la materia seca: la digestibilidad del forraje o alimento es un parámetro muy importante para garantizar la productividad animal, ya que mayores valores de digestibilidad indican una mejor absorción y aprovechamiento de los nutrientes por parte del animal. Por ejemplo, si un bovino consume al día 10 kg de forraje en base seca (sin agua) y tiene una digestibilidad del 60 %, quiere decir que aparentemente 6 kg del forraje son absorbidos por el animal y 4 kg, es decir, el 40 % restante, es excretado en heces. Un forraje con regular o baja digestibilidad generalmente está asociado a un contenido de fibra alto, pues con una mayor proporción de fibra disminuye la digestibilidad del forraje. Cuando se les ofrece a los animales forrajes maduros, su digestibilidad es baja; por lo tanto, las ganancias de peso o producción de leche disminuyen.

En la tabla 10, se observa la clasificación de los principales nutrientes para materiales forrajeros (gramíneas y arbustivas forrajeras) del trópico.

Tabla 10. Clasificación de los principales nutrientes de importancia para la nutrición de rumiantes encontrados en forrajes tropicales

Evaluación calidad	% Proteína cruda	% FDN	ENL (Mcal/kgMS)	% Diges MS	Edad pastoreo (semanas)
Excelente	>15	25 – 39	>1.7	>70	3 - 4
Buena	11 - 14	40 – 55	1.1 – 1.6	61 - 69	4 - 6
Regular	6 - 10	56 - 69	0.7 – 1.0	50 - 60	7 - 8
Mala	< 5	>70	<0.7	<50	>9

FDN: Fibra Detergente Neutro; ENL: Energía Neta de Lactancia; **Diges** MS: Digestibilidad de la Materia Seca; **Mcal:** Megacalorias. Fuente: elaboración propia, adaptado de Ospina (2004).

También es importante considerar otros nutrientes presentes en los forrajes, como:

Minerales: los minerales son elementos inorgánicos que están presentes tanto en los vegetales, como en los animales. En contraste con los carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos, los minerales no se sintetizan ni se degradan por los animales o microorganismos. Hay alrededor de 47 minerales diferentes, que se clasifican en macro y micro, de acuerdo con su concentración. Los minerales que tienen importantes funciones fisiológicas en animales son:

Macrominerales: sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl), calcio (Ca), fósforo (P), azufre (S) y magnesio (Mg).

Microminerales o minerales trazas: hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), yodo (I), selenio (Se), molibdeno (Mo), cromo (Cr), fluoruro (F), estaño (Sn), vanadio (V), silicio (Si), níquel (Ni), boro (B) y bromo (Br) (McDonald et al., 2011). Sus deficiencias causan síntomas específicos, tales como bajo consumo de alimento, restricción del crecimiento, problemas de desarrollo e incluso la muerte. No obstante, algunos de los minerales pueden volverse tóxicos para los animales cuando los consumen a altos niveles.

Es importante tener presente que, por lo general, hay un alto contenido de minerales en la planta durante las etapas iniciales de crecimiento y una disminución gradual a medida que la planta madura. El fósforo (P), zinc (Zn), hierro (Fe), cobalto (Co) y molibdeno (Mo) son los minerales que más disminuyen a medida que la planta crece y madura (Sánchez Gutiérrez & Faria Mármol, 2008).

Metabolitos secundarios: pueden definirse como aquellas sustancias generadas por el metabolismo natural de las especies vegetales y que, por diferentes mecanismos, ejercen efectos contrarios a la nutrición óptima de los animales por la disminución de los efectos digestivos o metabólicos

(Vélez-Terranova et al., 2014). Se ha comprobado que niveles moderados de metabolitos colaboran como desparasitantes y antiinflamatorios naturales. En altas proporciones, la concentración de metabolitos secundarios afecta la digestión en rumiantes, lo que ocasiona un descenso en la digestibilidad de la materia orgánica en el rumen. Cuando el ganado consume forrajes con altos contenidos de metabolitos secundarios, particularmente de taninos, estos tienen un efecto inhibidor sobre la actividad de las enzimas digestivas (Cardona-Iglesias et al., 2017). Los taninos también inhiben la degradación de la proteína en el rumen y, de esta forma, disminuyen las concentraciones de amonio, por lo que bajan los niveles de nitrógeno en el rumen (Cardona-Iglesias et al, 2021).

Sin embargo, los metabolitos secundarios como los taninos, las saponinas y algunos alcaloides se relacionan con la disminución de metano entérico a nivel ruminal, debido a que inciden en la disminución de procesos metabólicos que llevan a bajar la tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas; por lo anterior, su efecto en el animal dependerá sobre todo del consumo y la clase de metabolitos secundarios. Estos aumentan generalmente cuando la planta tiene episodios de estrés, como cambio de época climática, de lluvia a verano o viceversa (Cardona-Iglesias et al., 2017).

Importancia de los análisis de calidad composicional de forrajes

Los análisis de calidad composicional de forrajes o de otros recursos alimenticios, como concentrados, subproductos de cosecha o ensilajes para animales, permiten conocer cuáles nutrientes, y que proporción de estos, están contenidos dentro del forraje o el alimento (Ariza Nieto et al., 2020). Cuando se conoce la proporción de nutrientes de importancia como la proteína, la fibra o energía que contiene una pastura o forraje, se pueden hacer análisis y tomar decisiones sobre aspectos clave como la edad óptima de cosecha del forraje, y otros aspectos de importancia que inciden sobre la calidad composicional de los forrajes (figura 34).



Figura 34. Algunos factores que afectan la calidad composicional de los forrajes tropicales.

Fuente: Elaboración propia

Especie de forraje: dependiendo de si es gramínea (pastura), leguminosa, arbustiva forrajera o arbórea, varía su calidad nutricional, debido a que la genética de la planta determina su proporción de nutrientes. Por ejemplo, las pasturas de clima frío, como el pasto kikuyo o los ryegrases, contienen en promedio más del 20 % de PB, aun sin fertilizaciones periódicas; mientras que las pasturas de trópico bajo, como las brachiarias, pueden llegar a niveles del 14 % de PB, pero con planes estrictos de fertilización. Forrajeras como el botón de oro o matarratón contienen hasta un 25 % de PB, aun en condiciones de manejo tradicional. Las gramíneas tienen diferente calidad nutricional respecto a las leguminosas, estas últimas generalmente tienen mayor contenido de proteína y minerales, pero con la edad pueden tener altos contenidos de lignina y de metabolitos secundarios.

Parte de la planta: las hojas y los tallos tiernos presentan mayor proporción de nutrientes como proteínas, azúcares o vitaminas, en comparación con los tallos gruesos; en estos, es mayor el contenido de fibra que en las hojas. Los forrajes que tienen mayor proporción de hojas que de tallos suelen ser más digestibles y aportan más nutrientes que aquellos en los que hay más tallos.

En la figura 35, se observan las diferentes etapas de desarrollo vegetativo de una pastura de crecimiento erecto. Las etapas uno y tres corresponden a tiempos inadecuados de cosecha, ya sea por parte de los animales o de manera mecánica, mientras que la etapa dos corresponde a la edad óptima para el consumo del forraje, cuando la planta tiene el mejor balance de hojas y tallos, así como una buena calidad nutricional.

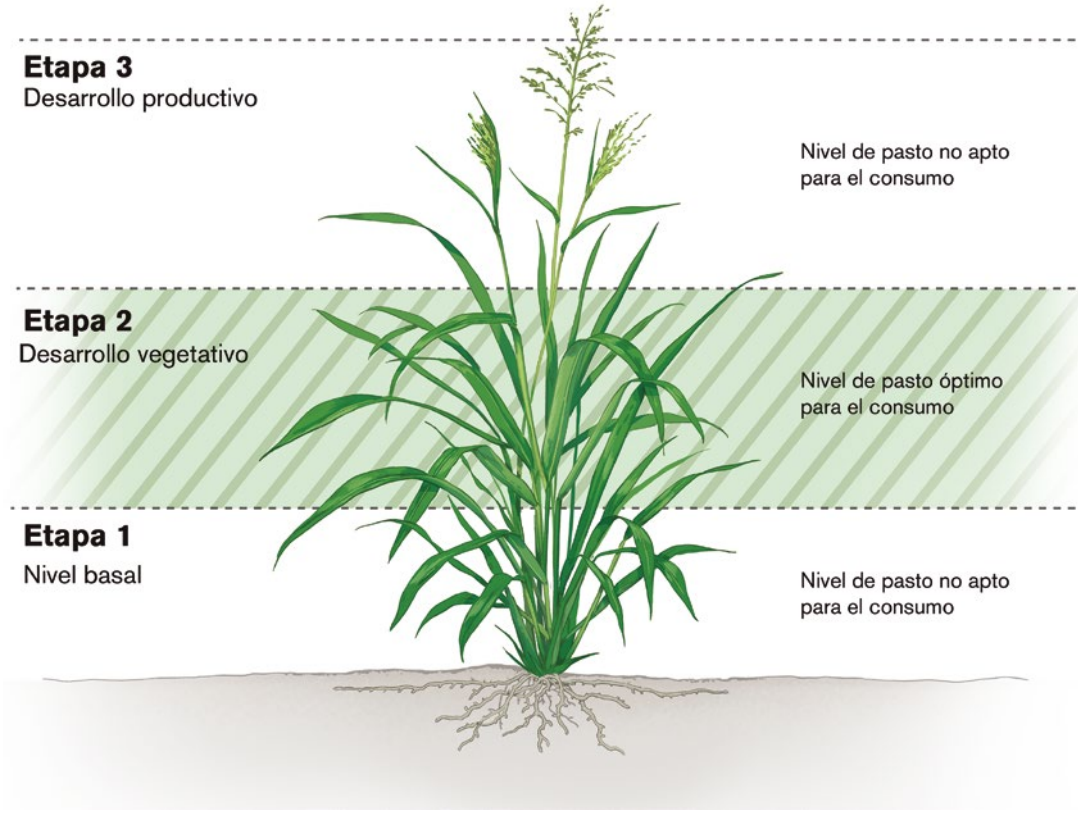


Figura 35. Etapas de crecimiento de pasturas tropicales.
Fuente: Elaboración propia con base en Castro Rincón et al. (2022)

Edad de cosecha: a medida que aumenta la edad del forraje disminuye su calidad nutricional. En edades tempranas, el contenido de nutrientes como proteínas, azúcares, vitaminas o grasas es mayor, y a medida que el forraje envejece (jecho) aumenta la proporción de fibra en detrimento de nutrientes como la proteína o los azúcares.

Época de cosecha: la estación climática marca una diferencia importante en la calidad nutricional del forraje; por ejemplo, en la época lluviosa, aumenta la proporción de hojas en los forrajes y, por lo tanto, hay mayor contenido de proteína en la dieta. Por el contrario, en la sequía el estrés hídrico afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, hay menos hojas y en ocasiones tallos más gruesos, lo cual disminuye su calidad composicional.

Nivel de fertilización: la mayoría de los suelos para la ganadería en Colombia son ácidos y tienen baja materia orgánica, por lo que la disponibilidad de nutrientes es escasa; esto limita el desarrollo y la calidad composicional de los forrajes, teniendo en cuenta que la tasa de extracción de nutrientes es muchas veces mayor de lo que proporciona el suelo.

Importancia del análisis composicional en forrajes

El análisis composicional de un forraje, también conocido como análisis químico o análisis bromatológico, es una herramienta fundamental que, al igual que el análisis de suelos, permite al productor ganadero tomar decisiones en cuanto al manejo de las praderas y el hato. Este análisis permite conocer cuáles y en qué proporción se encuentran los nutrientes (proteínas, minerales, grasas, energías, fibras, metabolitos secundarios, etcétera) en un material forrajero, de acuerdo con el grupo de planta —gramínea o leguminosa— o el tipo de forraje —pastura, arbustiva forrajera, arbórea, arvense—. Asimismo, permite conocer la calidad composicional de forrajes frescos o conservados en forma de ensilaje, henos o henolajes.

Consideraciones para realizar un análisis composicional de forrajes

Periodicidad. Lo ideal es realizar el análisis composicional de forrajes mínimo una vez al año, y en lo posible en dos épocas climáticas diferentes (altas y bajas precipitaciones). Lo anterior debido a que la época de recolección de la muestra del forraje repercute en su calidad composicional; así, el productor tendrá información de cómo se comporta una determinada pastura o forraje según el clima, y con ello podrá tomar ciertas decisiones, por ejemplo, cuándo debe suplementar los animales.

Recolección de muestras en campo. En AGROSAVIA se tiene un protocolo establecido para la toma correcta de muestras de forrajes en campo, el cual puede consultarse en la oferta tecnológica llamada: "Alimentro". Este es un sistema de información del valor nutricional para recursos forrajeros en Colombia (véase: https://alimentro.agrosavia.co/Home/Index?ReturnUrl=%2f). Algunos aspectos principales para tener en cuenta son los siguientes:

a. Se debe realizar una inspección del área que se va a muestrear determinando: área total de la pradera, especies forrajeras predominantes, días de ocupación y descanso del potrero.

b. Es necesario determinar el número de puntos donde se tomarán submuestras de forraje, tener como referencia 100 observaciones por hectárea. En la práctica, es mucho mejor tener varias submuestras por área muestreada. El muestreo se puede realizar en forma de X o zigzag, como se muestra en la figura 36.

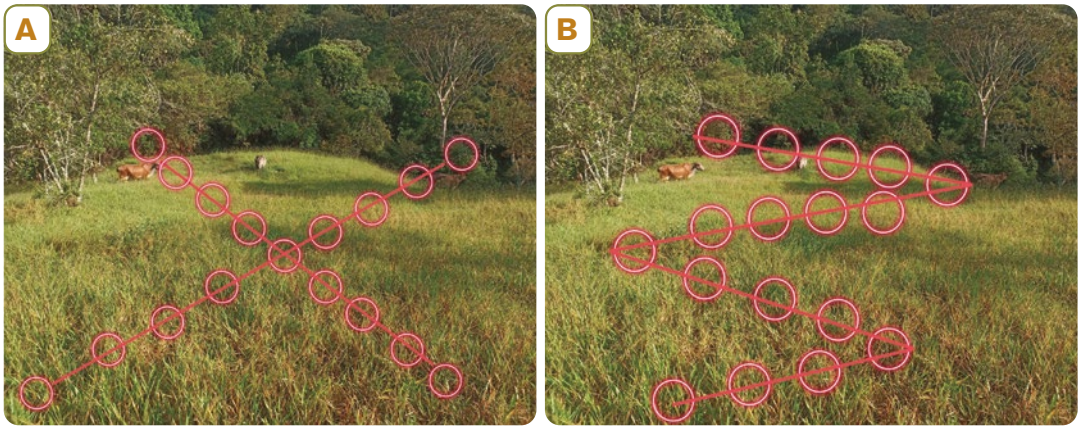


Figura 36. Formas para determinar la toma de submuestras de forraje en un potrero. a. En X; b. En zigzag.

Fotos: Juan Ricardo Zambrano Ortiz

c. Después de ubicar los puntos donde se tomarán las submuestras, se realiza el corte del forraje; para esto, en pastos de porte erecto (pastos de corte), se debe cortar la muestra entre 20 y 30 cm del suelo. En pastos de porte semierectos (brachiarias, guineas) o de crecimiento rastrero, como el pasto Estrella o el Kikuyo, hay que cortar la submuestra a un promedio de 12 cm del suelo, o a uno o dos puños del suelo. Es ideal medir la altura del pasto para tener una referencia de su tamaño en el momento de cosecha. El corte del forraje se debe hacer con machete, cuchillo o tijeras de podar. Es importante que cada submuestra se tome del área de un marco aforador de 0, 5 o 1 metro cuadrado, con el fin de acompañar el muestreo de forrajes con la técnica de aforos para determinar la cantidad de biomasa de la pradera. Las submuestras recolectadas se recogen en un costal, bolsa o balde limpio y seco.

d. Después de cosechar las submuestras de forraje (las cuales deberán contener hojas y tallos tiernos), estas se deben homogenizar, con el fin de recolectar una sola muestra de no más de 300 gramos para enviar al laboratorio. Para una óptima homogenización hay dos alternativas: una consiste en homogenizar la muestra dentro del balde, saco o costal donde se recolectaron las muestras. Esto se hace de una manera

sencilla, "revolviendo" las muestras con la mano seca y limpia (ojalá con guantes) o batiendo (sacudiendo) el material vegetal durante al menos 30 segundos. La otra forma consiste en tender un plástico sobre una superficie plana, y sobre este se disponen las submuestras recolectadas. Posteriormente se "revuelve" con la mano y, después de tener homogenizado el material vegetal, se hace un cuarteo descartando dos de las porciones opuestas. Este proceso se repite hasta que queden entre 200 y máximo 300 gramos de la biomasa recolectada, es decir, una muestra final.

e. La muestra final de entre 200 y 300 gramos se envía al laboratorio en una bolsa tipo ziploc, o según las recomendaciones del laboratorio, con los datos mínimos requeridos, como nombre del propietario, contacto, nombre del predio, municipio, departamento, nombre del forraje, edad de cosecha, georeferenciación, etcétera. Para el caso de AGROSAVIA, a través de la tecnología NIRS para composición nutricional de forrajes tropicales, se dispone de una bolsa especial, tipo *doypack*, en la cual se garantiza mayor conservación de los forrajes frescos, desde su lugar de origen hasta el laboratorio, en comparación con otros empaques tradicionales. La tecnología NIRS es un servicio para determinar el valor nutricional de forrajes mediante el uso de la espectrometría NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano, por sus siglas en inglés). Esta permite, de una forma rápida y económica, conocer la composición exacta de los nutrientes de los forrajes, y así tener información para la toma de decisiones en la finca ganadera.



Figura 37. Pasos básicos para recolección de muestras de forrajes tipo pasturas.
a. Medición de altura del forraje; b. Corte de material vegetal;
c. Pesaje de la submuestra; d. Homogenización de submuestras;
e. Empaque de muestra final en bolsa de AGROSAVIA.

Fotos: Juan Leonardo Cardona Iglesias

Se debe tener en cuenta que la metodología para la recolección de pasturas de pastoreo que se explicó anteriormente también aplica para especies arbustivas forrajeras de consumo animal, como el matarratón, botón de oro, yátago (quiebrabarrigo o aro), leucaena, morera o moringa. El guácimo es una de las especies más sobresalientes en los sistemas ganaderos del Magdalena Medio y el Catatumbo, y puede manejarse como arbusto o árbol (figura 38). Lo que se debe tener presente es la recolección de las hojas y los tallos que consume el animal. El muestreo de arbustivas forrajeras se puede realizar manualmente y simular el corte (ramoneo) del animal. También se debe hacer un muestreo de varias plantas del potrero o lote; si es banco de proteína, hay que muestrear por lo menos 10 árboles por cada 1.000 plantas (Cardona Iglesias, Castro Rincón, Guatusmal Gelpud et al., 2022).



Figura 38. Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) establecido en Rionegro, Santander, en el Centro de Investigación La Suiza.

Fotos: Juan Ricardo Zambrano Ortiz

Una vez enviada la muestra del forraje al laboratorio de AGROSAVIA, el productor tendrá, después de 10-15 días hábiles, el formato con los resultados de los análisis composicionales de aproximadamente 40 parámetros de importancia nutricional. Estos resultados serán útiles para el productor o asistente técnico para la toma de decisiones en cuanto a la realización de planes de suplementación estratégica, rotación de potreros, carga animal, fertilizaciones de las praderas o bancos de forraje, entre otros.

En la figura 39, se presenta el formato de resultados con un ejemplo de análisis hecho bajo la metodología NIRS que presta AGROSAVIA. En el encabezado, están de manera detallada los datos del productor, el predio y la región, así como información del suelo, la fecha de recolección de datos agroambientales y del forraje que se analizó. También se puede ver el valor de cada uno de los parámetros analizados. El formato agrupa valores de la materia seca, fraccionamiento de las proteínas, grasas, cenizas, distintos tipos de fibras, metabolitos secundarios, macro y micro minerales, digestibilidad y fraccionamiento de la energía del forraje. Estos son valores nutricionales de gran importancia para la toma de decisiones en los predios ganaderos, en cuanto al manejo del componente suelo-planta-animal.

AGROSAVIA	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_115
		Versión: 2
	Reporte de Resultados de Laboratorio	Fecha de Aprobación:
		(01-02-2016)

LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL

1. Información del cliente

Nombre:	Juan Leonardo Cardona
Cédula o NIT:	800194600
Dirección:	C.I. La Suiza (Agrosavia) Rionegro-Santander
Dpto:	Santander
Municipio:	El Carmen de Chucurí
Tel fijo/Celular:	
Identificación:	208-JLC

# DE SOLICITUD	CÓDIGO DE LABORATORIO
52	N2515400

Alimentro

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

2. Información de la muestra

Ingrediente:	Humidicola - Urochloa humidicola cv. Comun - Hoja, Tallo		
Latitud:	6,730834	Longitud:	-73,64333
Altura planta (cm):	40	Altura corte (cm):	15
Vereda:	El 27	Edad de corte (d):	28
Finca:	El Placer	Aforo (kg/m²):	0
Altura (MSNM):	98		
Topografía:	Ondulada	F. recolección:	25/03/2025 08:00 a
Fert. aplicados:		Época recolec.	Sequía
F. creación:	03/04/2025		
F. análisis:	04/04/2025		

Olga Mayorga
Funcionario responsable

Materia seca total	g 100 g-1 MH	23,91
Materia seca 65°C	g 100 g-1 MH	25,47
Materia seca 105°C	g 100 g-1 MS	93,89
Proteína cruda	g 100 g-1 MS	7,24
Ceniza	g 100 g-1 MS	8,30
Extracto etéreo	g 100 g-1 MS	1,86
FDN	g 100 g-1 MS	66,92
FDA	g 100 g-1 MS	31,94
Lignina	g 100 g-1 MS	7,92
Hemicelulosa	g 100 g-1 MS	34,98
Proteína Soluble	% PC	33,23
Proteína B	% PC	57,32
Proteína C	% PC	10,45
Fenoles Totales	g.kg-1 MS	27,43
Taninos Totales	g.kg-1 MS	19,15
Taninos Condensados	g.kg-1 MS	4,43
Alcaloides Totales	g.kg-1 MS	7,05
Saponinas	g.kg-1 MS	21,79
Esteroles Totales	g.kg-1 MS	3,64
AlmidónTotal	g 100 g-1 MS	9,27
Carbohidratos No Estructurales	g 100 g-1 MS	14,27
Carbohidratos Solubles	g 100 g-1 MS	5,00
Calcio	g 100 g-1 MS	0,25
Fósforo	g 100 g-1 MS	0,17
Magnesio	g 100 g-1 MS	0,23
Potasio	g 100 g-1 MS	1,93
Sodio	g 100 g-1 MS	0,03
Azufre	g 100 g-1 MS	0,22
Cobre	mg.kg-1 MS	2,71
Hierro	mg.kg-1 MS	167,90
Manganeso	mg.kg-1 MS	141,02
Zinc	mg.kg-1 MS	26,52
Boro	mg.kg-1 MS	8,25
NDT	g 100 g-1 MS	50,36
Digestibilidad MS	g 100 g-1 MS	55,23
Energía Bruta	Mcal.kg-1 MS	4,07
EDRumiantes	Mcal.kg-1 MS	2,25
EMRumiantes	Mcal.kg-1 MS	1,77
ENmRumiantes	Mcal.kg-1 MS	0,93
ENgRumiantes	Mcal.kg-1 MS	0,39
ENlRumiantes	Mcal.kg-1 MS	1,12

OBSERVACIONES: MS = Análisis ajustado a 100% de la materia seca

Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia
Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma
Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de AGROSAVIA

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT 800194600-3
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ
KILÓMETRO 14 VÍA MOSQUERA
TELÉFONOS: 4227300 EXTENSIÓN 1050
EMAIL: alimentro@agrosavia.co

Figura 39. Ejemplo de formato de resultados de análisis de forrajes hechos con la tecnología NIRS de AGROSAVIA.

Fuente: Elaboración propia

Está disponible otra metodología que complementa los análisis composicionales de los forrajes: la determinación de los grados Brix (°Bx); estos equivalen a la concentración de azúcares, expresados como porcentaje de sacarosa (azúcar compuesto por una molécula de fructosa y otra de glucosa), y están presentes en las células del forraje. La determinación de los grados Brix es una herramienta práctica que puede utilizarse como indicador del valor energético de los forrajes (Cardona Iglesias et al., 2022). Dentro del Plan de Vinculación se realizó la socialización práctica a productores y extensionistas de la metodología que tiene AGROSAVIA para determinar los grados Brix en recursos forrajeros del trópico (para más información se puede consultar: https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-pecuaria/ganader%C3%ADa-y-especies-menores/recomendaciones-protocolos-y-metodolog%C3%ADas/849-metodolog%C3%ADa-para-la-estimaci%C3%B3n-de-grados-brix-en-recursos-forrajeros-para-la-ganader%C3%ADa-bovina-en-colombia.

Las especies más frecuentes en la zona, y que fueron evaluadas participativamente con los productores y asistentes técnicos en los municipios, fueron: la *Brachiaria humidicola* (*Urochloa humidicola* cv. Común), con valores de grados Brix que oscilan entre el 7 % y el 10 % (edad promedio de 35 días); la guinea-mombasa (*Megathyrsus maximus* cv. Mombasa), con valores entre el 4 % y el 7% de grados Brix (edades de 35 días promedio), y el botón de oro (*Tithonia diversifolia*), con valores entre el 8 % y el 12 % de grados Brix (45 días de edad promedio). La vinculación de la metodología de grados Brix dentro del Plan de Vinculación para la estimación del potencial energético de los forrajes es un complemento de los análisis NIRS y el análisis de fertilidad de suelos. Esto es una alternativa para estimar el potencial nutricional de un forraje o alimento y relacionarlo con otros factores de manejo en la finca y factores medioambientales.



Figura 40. Determinación de grados Brix en forrajes durante actividades de transferencia tecnológica. a. Extracción de la sabia del forraje; b. Medición de grados Brix con refractómetro digital.

Fotos: Juan Leonardo Cardona Iglesias

Resultados de calidad composicional de los principales forrajes utilizados en ganaderías a pastoreo en el Magdalena Medio y el Catatumbo

Dentro del Plan de Vinculación Agroalimentario, se tomaron muestras de por lo menos 60 predios de pequeño y mediano productor en la región del Magdalena Medio (Santander, sur de Bolívar y Boyacá) y en el Catatumbo (especialmente Tibú y Sardinata). En estas zonas, después de apropiar conocimiento a través de talleres participativos sobre las tecnologías de recolección de muestras de forrajes por medio de las metodologías de Alimentro, los productores realizaron la colecta en sus predios y fueron los que trasmitieron el conocimiento a otros productores; lo mismo hicieron los extensionistas. Esto los hace verdaderos productores y extensionistas promotores de tecnologías en sus territorios.

En la figura 41, se observa la calidad composicional promedio de los princi -pales forrajes que se usaron para la alimentación de bovinos a pastoreo en diferentes municipios del Magdalena Medio y del Catatumbo. Corresponden a muestras de pasturas de brachiarias principalmente, con las cuales se puede evidenciar que en todos los municipios muestreados la calidad composicional de estos forrajes se considera de regular calidad (ver tabla 10). De manera general, los porcentajes de fibra detergente neutro (FDN) superan el 65 % y la digestibilidad de los forrajes, el 56 %, lo que indica una alta incidencia de forrajes maduros (viejos o jechos). También se evidencia un promedio de proteína bruta (% PB) del 9 %, considerada baja si se tiene en cuenta que estas pasturas son la base de la alimentación de bovinos, bufalinos y ovino-caprinos para la producción de carne y leche.

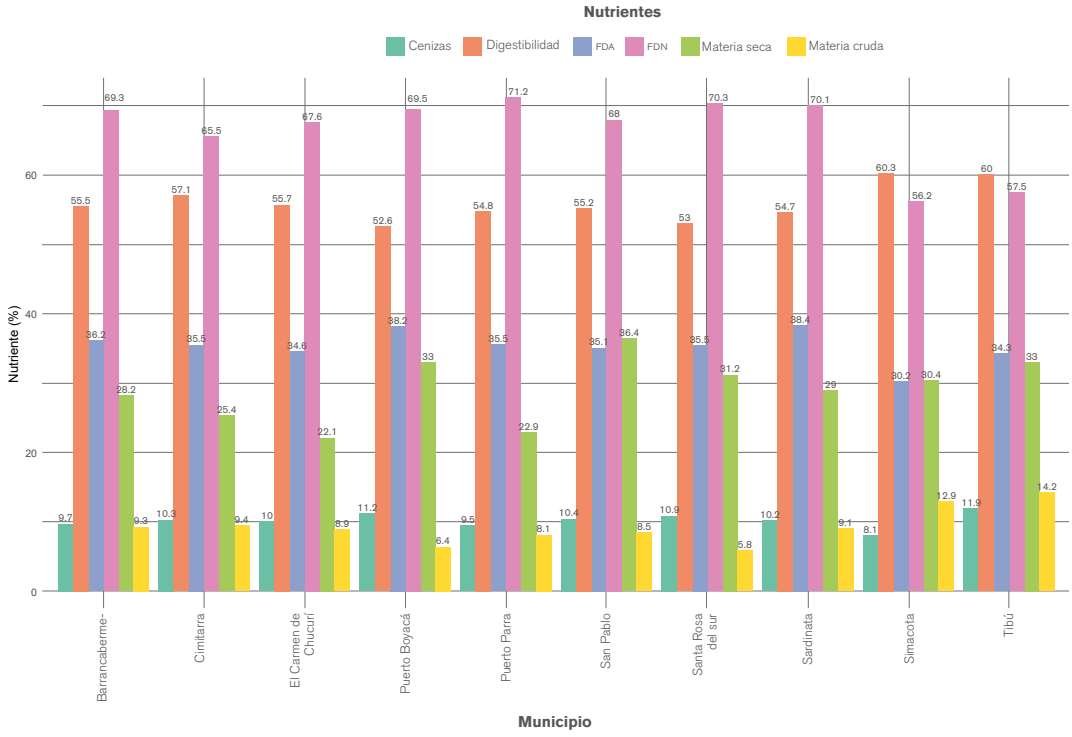


Figura 41. Calidad composicional de gramíneas para pastoreo en diferentes municipios del Magdalena Medio y el Catatumbo.

Fuente: Elaboración propia

La mayoría de las muestras de forrajes presentaron parámetros de calidad nutricional de regular a mala, lo que indica que se deben seguir fortaleciendo todas las capacidades locales a través de estrategias de apropiación de conocimientos y transferencia tecnológica en las temáticas de manejo de forrajes. Solo así se podrá tener una verdadera gestión del pastoreo y aumentar la productividad sostenible de carne y leche en estas regiones, para mejorar la seguridad alimentaria y las economías locales y regionales, ya que son zonas con gran potencial ganadero.

Consideraciones finales

La región del Magdalena Medio y el Catatumbo son zonas con un excepcional potencial para la producción agropecuaria. Más que las condiciones agroambientales del territorio, son los saberes y el arraigo de su gente lo que hace promisorios a estos territorios. Ambas zonas han sido históricamente afectadas por el conflicto armado, sus habitantes muchas veces han sido excluidos de los procesos de apropiación tecnológica, lo que ha afectado sobre todo a los pequeños y medianos productores de estas regiones. Es por eso que, a través de los planes de vinculación de AGROSAVIA y con el apoyo de aliados regionales y las asociaciones de productores, se pueden crear estrategias prácticas y exitosas para vincular tecnologías, y así contribuir a la productividad sostenible y al fortalecimiento de los sistemas agroalimentarios regionales.

Por su parte, las brechas tecnológicas que se deben cerrar en estas regiones son grandes, y se ahondan cada vez más debido a los efectos del cambio climático sobre los sistemas productivos de importancia en el Magdalena Medio y el Catatumbo. Los sistemas productivos ganaderos, cultivos como el cacao, el aguacate, los cítricos o la caña panelera, son de gran importancia para fortalecer la seguridad alimentaria, así como la economía regional. Sin embargo, es evidente la baja productividad y calidad de los forrajes; se presenta gran pérdida de productividad en los cultivos mencionados debido a la presencia de plagas y enfermedades, variedades no viables o planes

integrados de manejo inadecuados. Es por esto que, sin lugar a duda, la transferencia de tecnología se convierte en una estrategia importante para que los avances tecnológicos lleguen a los productores y puedan solucionar de forma práctica y económica sus problemas productivos, desde un enfoque de reforma rural integral.

AGROSAVIA tiene a disposición de los medianos y pequeños productores del Magdalena Medio y el Catatumbo, y también de productores y actores del sector agropecuario de todo el país, ofertas tecnológicas en múltiples cadenas productivas. Estas ofertas, a través de los planes de vinculación, se ofrecen a las comunidades para que las conozcan, las vinculen y las adopten. Con este manual elaborado a partir del Plan de Vinculación Agroalimentario se busca apropiar conocimientos para productores, extensionistas, academia y demás actores del ecosistema de innovación agropecuaria del país, con el fin de seguir fortaleciendo el sector agropecuario regional y nacional desde la sostenibilidad y competitividad.



Glosario

Aminoácido esencial: son los que el cuerpo no puede producir por sí mismo; por lo tanto, se deben ingerir en la dieta.

Alimento arterioesclerótico: alimentos como la leche bovina a pastoreo. Es un alimento que tiene potencial para reducir la grasa en las arterias del corazón.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): capacidad de un suelo para retener y liberar cationes (iones con carga positiva, como Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y Al^{3+}) en sus partículas coloidales (arcillas y materia orgánica). Se expresa en centimoles de carga por kilogramo ($cmol_{+}/kg$) y determina la fertilidad potencial del suelo, así como su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas.

Complejo organomineral: asociación estable entre la materia orgánica del suelo (ácidos húmicos y fúlvicos) y los minerales arcillosos u óxidos metálicos (por ejemplo, Fe, Al). Esta interacción mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua y nutrientes, y protege la materia orgánica de la degradación microbiana.

Elemento inorgánico: sustancias que no tienen moléculas de carbono en su estructura.

Megacaloría: unidad utilizada para medir la energía de alimentos para el ganado, que equivale a 1.000.000 de calorías.

pH: medida de la acidez o alcalinidad de una solución en el suelo, expresada en una escala de 0 a 14. Valores por debajo de 7 indican condiciones ácidas, mientras que valores por encima de 7 reflejan alcalinidad. En suelos, el pH influye en la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y la solubilidad de metales.

Saturación de bases (SB): porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico ocupada por cationes básicos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y Na^{+}), excluyendo H^{+} y Al^{3+}. Valores altos (>50%) indican suelos fértiles, mientras que valores bajos (<20%) sugieren dominancia de acidez



Referencias

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

Alcaldía Municipal de Convención, Norte de Santander. (2025, marzo). *Nuestro municipio*. http://www.convencion-nortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio

Alcaldía Municipal de Teorama, Norte de Santander. (s. f.). *Nuestro municipio*. https://www.teorama-nortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio

Alfonso-Alfonso, L., Escobar-Pachajoa, L. D., Montealegre-Bustos, F., Carvalho, F. E., Carvajal-Rivera, A. S., & Rojas-Molina, J. (2024). Assessment of transitory crops in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry in Páez, Boyacá. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *41*(1), e1225. https://doi.org/10.22267/rcia.20244101.225

Alizadeh, O. (2022). A review of the El Niño-Southern Oscillation in future. *Earth-Science Reviews*, *235*, 104246. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104246

Aristizábal Q., D., Tobar S., S., Sarmiento, L., Díaz J., A. L., & Ramírez D., J. (2016). *Producción de semilla de calidad de variedades mejoradas y materiales regionales para disponibilidad de los pequeños productores agrícolas - Plan Semilla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://hdl.handle.net/20.500.12324/22127

Ariza Nieto, C., Mayorga Mogollón, O. L., Guadrón Duarte, L., Valencia Echavarría, D. M., Mestra Vargas, L. I., Santana Rodríguez, M. O., Ortiz Cuadros, R. E., Pérez Almario, N., Camargo Hernández, D. B., Carvajal Bazurto, C. T., Parra Forero, D. M., & Sierra Alarcón, A. M. (2020). *Alimentro: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia. Sistema de información*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403824

Asociación Nacional de Comercio Exterior [Analdex]. (2025). *Cacao y sus derivados duplicaron sus exportaciones y llegaron a los US$265millones en 2024, ¿podrá seguir este ritmo en 2025?* https://analdex.org/2025/04/09/cacao-y-sus-derivados-duplicaron-sus-exportaciones-y-llegaron-a-los-us265millones-en-2024-podra-seguir-este-ritmo-en-2025/

Bae, H., Kim, S. H., Kim, M. S., Sicher, R. C., Lary, D., Strem, M. D., Natarajan, S., & Bailey, B. A. (2008). The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, *46*(2), 174-188. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.10.014

Balasimha, D., Daniel, E. V., & Bhat, P. G. (1991). Influence of environmental factors on photosynthesis in cocoa trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, *55*(1-2), 15-21. https://doi.org/10.1016/0168-1923(91)90019-M

Barreto-Triana, N. C., Osorio-Mejía, P. A., Insuasty-Burbano, O. I., Sarmiento-Naizaque, Z. X., Sandoval-Cáceres, Y. P., & Barona-Rodríguez, A., Jiménez-Vargas, J. y Gómez-Benavides, J. (2022). *Conozca a sus aliados para el manejo del barrenador Diatraea spp. en caña de azúcar para panela.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/238/220/1478-1

Bastos Osorio, L., Mogrovejo Andrade, J. M., & García Torres, N. E. (2020). La panela del Catatumbo, una alternativa agroindustrial con perfil internacional. *Revista Espacios*, *41*(25), 13. https://revistaespacios.com/a20v41n25/a20v41n25p13.pdf

Beck, H. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N. J., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., Van Dijk, A. I. J. M., & Miralles, D. G. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901-2099 based on CMIP6-constrained projections. *Scientific Data*, *10*, 724. https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6

Botero, V., Ochoa, A., Gastón Zamora, J., Ortiz Reyes, A., Fuel Tobar, S. M., Moná Flórez, E., Mejía, L. M., Guarín, H. J., Orduz Rodríguez, J. O., Chaparro Zambrano, H. N., & Arévalo Peñaranda, P. E. (2014). *Diaphorina citri. Identificación de la dinámica poblacional de Diaphorina citri (Hemiptera: Liviidae) en los cultivos de cítricos de Colombia: una herramienta para implementar un sistema piloto de seguimiento de poblaciones del insecto vector del hlb.* Universidad Nacional de Colombia; Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); Asociación Hortifrutícola de Colombia; Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola.

Builes-Jaramillo, A., Valencia, J., & Salas, H. D. (2023). The influence of the El Niño-Southern Oscillation phase transitions over the northern South America hydroclimate. *Atmospheric Research*, *290*, 106786. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106786

Burbano-Figueroa, O., Arcila, A., Vásquez, A. M., Carrascal, F., Salazar Pertuz, K., Moreno-Moran, M., Romero-Ferrer, J., & Pulgarín, J. A. (2018). First report of *Bionectria pseudochroleuca* causing dieback and wilting on avocado in the Serranía de Perijá, Colombia. *Plant Disease*, *102*(1). https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0010-PDN

Cardona Iglesias, J. L., Castro Rincón, E., Guatusmal Gelpud, C., Valenzuela Chirán, M., Ríos Peña, L. M., & Urbano Estrada, M. F. (2022). *Especies arbustivas con potencial forrajero en el trópico altoandino. Manual para actores del sector agropecuario*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405774

Cardona Iglesias, J. L., Castro Rincón, E., & Suárez Paternina, E. A. (2022). *Los grados brix como herramienta para determinar el potencial nutricional en forrajes*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405798

Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, *28*(1), 273-288. https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466

Cardona-Iglesias, J. L., Urbano-Estrada, M. F., Guatusmal-Gelpud, C., Ríos-Peña, L. M., & Castro-Rincón, E. (2021). Producción de metano in vitro en recursos forrajeros del trópico altoandino de Nariño. *Pastos y Forrajes*, *44*, 1-10. https://www.redalyc.org/journal/2691/269169781006/html/

Carr, M. K. V., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): a review. *Experimental Agriculture*, *47*(4), 653-676. https://doi.org/10.1017/S0014479711000421

Carrillo, P. (2016). *Ambrosiales asociados a la marchitez del laurel en aguacate* [Ponencia]. 9.° Congreso Nacional del Sistema Producto Aguacate (Conapa), México.

Casique-Valdés, R., Reyes-Martínez, A. Y., López-Arroyo, J. I., & Sánchez-Peña, S. R. (2024). Fungi associated with the Asian citrus psyllid, Diaphorina citri Kuwayama, in northeastern Mexico. *Biocontrol Science and Technology*, *34*(6), 530-550. https://doi.org/10.1080/09583157.2024.2354377

Castro Rincón, E., Cardona Iglesias, J. L., Meneses Buitrago, D. H., Morales Montero, S. P., Zapata Molina, J. J., Portillo López, P. A., & Hernández Oviedo, F. (2022). *Características, uso y manejo de gramíneas y leguminosas en sistemas de producción bovina del trópico alto colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405514

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

Cortez-Madrigal, H. (2024). Conservation of natural enemies of *Diaphorina citri* and their impact on Huanglongbing: Analysis and perspectives. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *42*(2), 22. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.fit.2307-3

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2025). *Manejo integrado del complejo de barrenadores*. https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/5e106992-a5cf-4db4-8377-03b445112213/content

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2024). *¡Antes de sembrar, el suelo debe analizar! Procedimiento para la toma de muestras y análisis de suelos*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/11556

Cuervo Alzate, J. E. (2019). *Efecto del yeso agrícola en suelos ácidos de Colombia: Control de aluminio tóxico, profundidad y residualidad* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. https://repositorio.unal.edu.co/items/e0709405-05bb-43d8-9970-cdab0e56bb2e/full

DaMatta, F. M. (2007). Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*(4), 239-244. https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400001

Daymond, A. J., & Hadley, P. (2004). The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of applied biology*, *145*(3), 257-262. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00381.x

Daymond, A. J., & Hadley, P. (2008). Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, *153*(2), 175-185. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00246.x

De Almeida, J., Tezara, W., & Herrera, A. (2016). Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. *Agricultural Water Management*, *171*, 80-88. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.012

De Almeida, A. A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*(4), 425-448. https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011

Echeverri Echeverri, J. (2018). *Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69611/39456768.2018.pdf

Farrell, A. D., Rhiney, K., Eitzinger, A., & Umaharan, P. (2018). Climate adaptation in a minor crop species: is the cocoa breeding network prepared for climate change? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *42*(7), 812-833. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1448924

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2025). *Colombia reportó en 2024 producción histórica de cacao*. https://www.fedecacao.com.co/post/colombia-report%C3%B3-en-2024-producci%C3%B3n-hist%C3%B3rica-de-cacao

Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán]. (2025). *Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano 2024-2025*. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?iIdFiles=1121&pRealName=Balance_perspectivas_ganaderia_colombiana_2024_2025_.pdf

Federación Nacional de Productores de Panela [Fedepanela]. (2021). *Áreas, rendimiento y producción proyección para 2021*. https://www.sipa.org.co/wp/wp-content/uploads/Cifras_2021-1.pdf

Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Energy dissipation in C3 plants under drought. *Functional Plant Biology*, *29*(10), 1209-1215. https://doi.org/10.1071/FP02015

Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA]. (2024). *Sector ganadero*. https://www.ifad.org/es/sector-ganadero#:~:text=Se%20calcula%20que%20entre%202012,consiguen%20acceder%20a%20los%20mercados

Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R. P. L., Baptista, G. C., Berti Filho, E., Parra, J., Zucchi R., Alves, B., Vendramim, J. D., Marchini, L. C., Lopes, J. R. S., & Omoto, C., (2002). *Entomologia agrícola*. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ).

García Lozano, J., & Moreno Fonseca, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, *65*(1), 44-50. http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161

Hall, D. G., Hentz, M. G., Meyer, J. M., Kriss, A. B., Gottwald, T. R., & Boucias, D. G. (2012). Observations on the entomopathogenic fungus *Hirsutella citriformis* attacking adult *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in a managed citrus grove. *BioControl*, *57*(5), 663-675. https://doi.org/10.1007/s10526-012-9448-0

Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy*, *86*, 227-253. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5

Holguín Aranzazu, C. M., Jaimes-Suárez, Y. Y., Villalba-Campos, L., Galvis-Neira, D. A., & Marchant Rojas, S. A. (2025). *Reconocimiento y métodos de diagnóstico de la muerte descendente ocasionada por Lasiodiplodia spp. en cultivos de aguacate del departamento de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407907

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1984). *Resolución 1696. "Por la cual se adoptan requisitos fitosanitarios para la producción de semilla de caña de azúcar".*

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2023). *Resolución 8640. "Por la cual se declara el estado de Emergencia Fitosanitaria en el departamento de Santander por la presencia de la enfermedad del Huanglongbing- HLB de los cítricos".*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2016). *Suelos y tierras de Colombia*.

Insuasty Burbano, O. I., Barona Rodríguez, A. F., López Lopera, J. G., Ramírez Chamorro, L. E., & Ramírez Durán, J. (2017). *CC 93-7711 Pierna Bella: Variedad de caña de azúcar para producción de panela para las zonas naturales de la hoya del río Suárez, Montaña Antioqueña, Montaña Santandereana y departamentos de Cundinamarca y Tolima*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://hdl.handle.net/20.500.12324/11541

Intagri. (2017). *La marchitez del laurel en el cultivo de aguacate*. https://www.intagri.com/articulos/frutales/la-marchitez-del-laurel-en-el-cultivo-de-aguacate

Irvin, N. A., & Hoddle, M. S. (2021). The effects of floral nectar, extrafloral nectar and hemipteran honeydew on the fitness of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Diaphorina citri*. *Biological Control*, *163*, 104753. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104753

Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Gastón LOOR, R., Tarqui, O., Quijano, G., Jiménez, J. C., & Tezara, W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta Biológica Colombiana*, *23*(1), 95-103. https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962

Jaimez, R. E., Teraza, W., Coronel, I., & Urich, R. (2008). Ecofisiología del cacao (Theobroma cacao): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, *52*(2), 253-258. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6089

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

Kondo, T., González, G., Tauber, C., Guzmán Sarmiento, Y. C. G., Vinasco Mondragon, A. F. V., & Forero, D. (2015). A checklist of natural enemies of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in the department of Valle del Cauca, Colombia and the world. *Insecta Mmundi*. https://journals.flvc.org/mundi/article/view/0457/84276

Kongor, J. E., Owusu, M., & Oduro-Yeboah, C. (2024). Cocoa production in the 2020s: Challenges and solutions. *CABI Agriculture and Bioscience*, *5*(1), 102. https://doi.org/10.1186/s43170-024-00310-6

Läderach, P., Martínez-Valle, A., Schroth, G., & Castro, N. (2013). Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change*, *119*(3), 841-854. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0774-8

Lamos-Díaz, H., Puentes-Garzón, D. E., & Zárate-Caicedo, D. A. (2020). Comparison between machine learning models for yield forecast in cocoa crops in Santander, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, *29*(54), e10853. https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10853

León Fajardo, L. F. (2024). Análisis *integral del crecimiento sostenible de la producción de cacao en Colombia: factores y efectos* [Tesis doctoral, Universidad del Rosario]. https://doi.org/10.48713/10336_43072

López, G., & Osorio, F. (2000). *Manejo de arvenses en el cultivo de caña de azúcar* [Manuscrito no publicado].

López, G. (2015). *Impacto de la competencia de arvenses en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar* [Manuscrito no publicado].

Malagnini, V., Pozzebon, A., Facchin, P., Paganelli, A., & Duso, C. (2022). Airborne pollen can affect the abundance of predatory mites in vineyards: implications for conservation biological control strategies. *Pest Management Science*, *78*(5), 1963-1975. https://doi.org/10.1002/ps.6815

Manrique E., R., Insuasty B., O., & Palacio C., O. (2005). *Recomendaciones básicas para el buen manejo del cultivo de la caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://hdl.handle.net/20.500.12324/20691

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition* (7.° ed.). Prentice Hall; Pearson.

Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulías, J., & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, *89*(7), 895-905. https://doi.org/10.1093/aob/mcf079

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Cadena productiva aguacate.* https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2019-2021*. https://www.agronet.gov.co/DR/Paginas/EVADepartamentales.aspx

Monteiro Galvão, Í., Silva Pereira, G., & Sentelhas, P. C. (2022). Climatic risk zoning for potential occurrence of cacao moniliasis disease in Northeastern Brazil under the influence of ENSO phases. *Theoretical and Applied Climatology*, *149*(1), 557-567. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04060-1

Moreno Turriago, L. M. (2024). La transformación de la agricultura y los sistemas alimentarios frente al cambio climático. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, *9*(1), 5-12. https://doi.org/10.23850/raaa.v9i1.6034

Mortimer, R., Saj, S., & David, C. (2018). Supporting and regulating ecosystem services in cacao agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, *92*(6), 1639-1657. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0113-6

Murcia Pardo, M. L., & Ramírez Durán, J. (2015). *Producción y manejo de semilla de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/08dc6c5d-ff3a-4c7a-86a6-e6eeadad8bbf/content

Murcia Pardo, M. L. (2022). *Manejo agronómico de la caña de azúcar para panela con énfasis en fertilización.* Fondo de Fomento Panelero (Fedepanela). https://www.sipa.org.co/wp/wp-content/uploads/13.MANEJO-AGRONOMICO-DE-LA-CANA-DE-AZUCAR-PARA-PANELA.pdf

Niether, W., Armengot, L., Andres, C., Schneider, M., & Gerold, G. (2018). Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science*, *75*(2), 38. https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Cuaderno estadístico de alimentación y agricultura en el mundo.* https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7b052d6a-c825-4587-a920-d1efbf3f7eb5/content

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023). *Carne, huevos y leche son fuente esencial de nutrientes, en especial para los más vulnerables, según un nuevo informe de la fao.* https://www.fao.org/newsroom/detail/meat-eggs-and-milk-essential-source-of-nutrients-new-fao-report-says-250423/es#:~:text=En%20el%20informe%20se%20afirma,la%20calidad%20y%20cantidad%20necesarias

Ortega-Arenas, L. D., Villegas-Monter, Á., Ramírez-Reyes, A. J., & Mendoza-García, E. E. (2013). Abundancia estacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en plantaciones de cítricos en Cazones, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, *29*(2), 317-333. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372013000200005&script=sci_abstract

Parry, M. A., Andralojc, P. J., Khan, S., Lea, P. J., & Keys, A. J. (2002). Rubisco activity: effects of drought stress. *Annals of Botany*, *89*(7), 833-839. https://doi.org/10.1093/aob/mcf103

Peñaranda-Peñaranda, L. P., Hernández-Urbano, G. K., Mogrovejo-Andrade, J. M., Bastos-Osorio, L. M., & Mera-Ramírez, O. A. (2022). El Catatumbo: análisis de los factores socioeconómicos y su relación con la productividad de la región. *Clío América*, *16*(31), 747-757. https://doi.org/10.21676/23897848.4853

Prieto-Manrique, E., Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Vargas-Sánchez, J. E. (2016). Efecto de la suplementación lipídica sobre ácidos grasos en leche de vaca, énfasis en ácido ruménico. *Agronomía Mesoamericana*, *27*(2), 421-437. http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.22022

Rada, F., Jaimez Arellano, R. E., García-Núñez, C., Azócar, A., & Ramírez, M. E. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, *22*(2), 112-120.

Ramírez, D., & Rojas, F. (2021). Limitaciones tecnológicas en la producción agrícola: un análisis en el sector panelero. *Revista de Innovación Agraria*, *5*(2), 78-94.

Ramírez Durán, J., Cañar Serna, D. Y., Deantonio Florido, L. Y., & Hernández Nopsa, J. F. (2019). *Manual técnico para la producción de plántulas de caña de azúcar para panela a partir de yemas individuales bajo las condiciones agroecológicas del municipio de Barbosa (Santander).* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-17

Ramírez Durán, J., Cañar Serna, D. Y., Deantonio Florido, L. Y., & Hernández Nopsa, J. F. (2019). *Manual técnico para la producción de plántulas de caña de azúcar para panela a partir de yemas individuales bajo las condiciones agroecológicas del municipio de Barbosa (Santander)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-17

Ramírez-Gil, J. G. (2018). Avocado wilt complex disease, implications and management in Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, *71*(2), 8525-8541. https://doi.org/10.15446/Rfna.v71n2.66465

Reyes-Rosas, M. A., Loera-Gallardo, J., & López-Arroyo, J. I. (2013). Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(4), 495-501. https://doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1182

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

Roa-Ortiz, S. A., Tarazona Velásquez, R., Rojas Ramírez, D. A., Martínez Camelo, F. E., & Forero Camacho, C. A. (2024). El fenómeno del niño 2023: la agricultura y sus repercusiones en Colombia. *e-CUCBA*, *11*(21), 115-120. https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.328

Rodríguez Borray, G. A., Huertas Carranza, B., Polo Murcia, S. M., González Chavarro, C. F., Tauta Muñoz, J. L., Rodríguez Cortina, J., Ramírez Durán, J., Velásquez Ayala, F. A., Espitia González, J. J., López Zarazá, R. A. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). http://hdl.handle.net/20.500.12324/35698

Rojas Restrepo, J. J. (2015). *Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55674

Ruf, F., & Schroth, G. (2004). Chocolate forests and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. En G. Schroth, G. A. B. Da Fonseca, & C. A. Harvey (Eds.) *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes* (pp. 107-134). Island Press.

Sánchez Gutiérrez, A., & Faria Mármol, J. (2008). Efecto de la edad de la planta en el contenido de nutrientes y digestibilidad de Leucaena leucocephala. *Zootecnia Tropical*, *26*(2), 133-139. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000200007

Schroth, G., & Harvey, C. A. (2007). Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation*, *16*, 2237-2244. https://doi.org/10.1007/s10531-007-9195-1

Schroth, G., Krauss, U., Gasparotto, L., Duarte Aguilar, J. A., & Vohland, K. (2000). Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry Systems*, *50*, 199-241. https://doi.org/10.1023/A:1006468103914

Somarriba, E., Orozco Aguilar, L., Cerda Bustillos, R., López Sampson, A., & Cook, J. (2018). Analysis and design of the shade canopy of cocoa-based agroforestry systems. En P. Umaharan (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (pp. 469-499). Burleigh Dodds Science Publishing. https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.29

Steensland, A. (2022). *Global Agricultural Productivity Report: Troublesome trends and system shocks*. Virginia Tech. En Umaharan (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (pp. 469-499). Burleigh Dodds Science Publishing. https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.29

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

Tezara, W., Pereyra, G., Ávila-Lovera, E., & Herrera, A. (2020). Variability in physiological responses of Venezuelan cacao to drought. *Experimental Agriculture*, *56*(3), 407-421. https://doi.org/10.1017/S0014479720000058

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (s. f.). *Evaluaciones agropecuarias Municipales-EVA*. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva.aspx

Vaast, P., & Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, *88*, 947-956. https://doi.org/10.1007/s10457-014-9762-x

Van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a review. *Advances in Agronomy*, *141*, 185-270. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211316301237

Vélez-Terranova, O. M., Campos-Gaona, R., & Sánchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *17*(3), 489-499. https://doi.org/10.56369/tsaes.2061

Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo. Corrección de la toxicidad por aluminio en el suelo.*

Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, *84*(2), 195-225. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015







Terminó de diseñarse en diciembre de 2025,
en Bogotá D.C., Colombia

Agricultura

AGROSAVIA
EDITORIAL

Este manual sintetiza el conocimiento generado en la ejecución del proyecto "Plan de Vinculación Agroalimentario en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Bolívar y Boyacá", con énfasis en el Magdalena Medio y el Catatumbo, y aborda cinco cadenas productivas de alta relevancia socioeconómica: cacao, aguacate, cítricos, caña panelera y ganadería. Además, constituye un gran esfuerzo colectivo que busca fortalecer las capacidades técnicas de las comunidades campesinas, de extensionistas y promotores rurales, mediante la transferencia de conocimiento y tecnologías apropiadas para los principales sistemas agroalimentarios en los territorios.

A lo largo del contenido se abordan, con rigor científico y enfoque territorial, cinco cadenas productivas de alta relevancia socioeconómica: cacao, aguacate, cítricos, caña panelera y ganadería. En cada una de ellas se presentan diagnósticos actualizados, análisis de contexto regional, resultados de investigación aplicada y recomendaciones tecnológicas que responden a las condiciones agroecológicas y agroclimáticas de los territorios, enmarcadas en estrategias de adaptación al cambio climático y producción sostenible. Asimismo, se destaca el papel del conocimiento como motor del desarrollo rural, integrando saberes científicos y tradicionales.

Esta publicación es una herramienta de consulta y aplicación práctica para todo público interesado en la transformación del campo colombiano. Sus aportes demuestran que la ciencia agrícola adquiere sentido cuando se traduce en prácticas que mejoran la productividad, la sostenibilidad y la calidad de vida de las comunidades rurales.

Desde el Centro de Investigación La Suiza, AGROSAVIA reafirma su compromiso con el fortalecimiento de los territorios rurales, la gestión del conocimiento y la construcción de un modelo de agricultura más inclusivo, resiliente y competitivo, basado en la ciencia, la innovación y la colaboración interinstitucional.

Dr. Diego A. Zárate
Director Centro de Investigación La Suiza

BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 601 914 4677
www.agrosavia.co
Distribución gratuita
Prohibida su venta