

Modelo productivo del cultivo de maíz para pequeños productores de la región Caribe de Colombia

Agricultura

AGROSAVIA

EDITORIAL

Modelo productivo del cultivo de maíz para pequeños productores de la región Caribe de Colombia

Autores

Liliana Atencio Solano | José Jaime Tapia Coronado
Emiro Suárez Paternina | José Luis Contreras Santos
Ángela María Vargas Berdugo | José Antonio Cantero Rivero
Ketty Isabel Ibáñez Miranda | Yacerney Paternina Paternina

Agricultura | AGROSAVIA EDITORIAL

Modelo productivo del cultivo de maíz para pequeños productores de la región Caribe de Colombia. / Liliana Atencio Solano [y otros siete] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2026.

120 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y fotografías.
ISBN e-Book: 978-958-740-929-1

1. *Zea mays* 2. Cultivo 3. Recurso genético 4. Fitogeografía 5. Análisis del suelo 6. Sostenibilidad 7. Tecnología poscosecha 8. Indicador económico.

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 Turipaná. Kilómetro 13, vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal: 230550, Colombia.
Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los siguientes proyectos:
"Tres variedades de maíz con diferentes atributos"
"Programa de mejoramiento genético del cultivo de maíz en Colombia"
"Plan de vinculación maíz región Caribe húmedoMaíz: fortalecimiento sistemas locales de producción de semilla"

Fecha de recepción: 10 de julio de 2025
Fecha de evaluación: 8 de agosto de 2025
Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2025

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, noviembre 2026

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieva
Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado
Diagramación: María Paula Berón Ramírez

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

Citación sugerida: Atencio Solano, L. M., Tapia Coronado, J. J., Suárez Paternina, E., Contreras Santos, J. L., Vargas Berdugo, A. M., Cantero Rivero, J. A., Ibáñez Miranda, K. I., & Paternina Paternina, Y. (2026). *Modelo productivo del cultivo de maíz para pequeños productores de la región Caribe de Colombia.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7409291

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

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

Contenido

9 Agradecimientos

11 Autores

15 Introducción

Capítulo 1. Área geográfica y entorno ambiental 17

17 Descripción geográfica de la región Caribe de Colombia

18 Clima

19 Hidrografía

19 Ecosistemas y biodiversidad

20 Uso del suelo y actividades económicas

21 Aspecto ambiental y social

21 El maíz como sustento básico de los productores en la región Caribe

Capítulo 2. El maíz y el recurso genético para pequeños productores de la región Caribe 23

24 La planta y su fenología

29 Clasificación de los maíces

Capítulo 3. El suelo y su importancia en la producción del cultivo de maíz 43

43 ¿Qué es el suelo?

44 Problemática edáfica del cultivo de maíz en la región Caribe

44 Principales limitantes del suelo en el cultivo de maíz

55 Uso de coberturas vivas y muertas

57 Diagnósticos rápidos y prácticos de limitantes físicas y químicas del suelo en sistemas agrícolas

CAPÍTULO 4. Recomendaciones técnicas de manejo integrado del cultivo de maíz con enfoque sostenible 63

63 Siembra
65 Manejo de arvenses
66 Manejo de plagas y enfermedades
68 Principales limitantes fitosanitarias en el cultivo de maíz
79 Otros problemas fitosanitarios de importancia en el cultivo
82 Fertilización integral para el cultivo de maíz
83 Recomendaciones de manejo para la aplicación de productos

CAPÍTULO 5. Cosecha y poscosecha, usos y aprovechamiento del maíz en la región Caribe 85

85 Uso del maíz como forraje en la alimentación de rumiantes
96 Uso del maíz como grano
97 Consideraciones para antes de la cosecha de maíz
98 Uso del maíz para la producción de semillas
99 Manejo poscosecha para la producción de semilla

CAPÍTULO 6. Indicadores económicos 103

107 Glosario
111 Referencias

Lista de figuras

Figura 1	Área sembrada de maíz en los principales departamentos de Colombia	18
Figura 2	Planta de maíz y sus partes	25
Figura 3	Fenología del cultivo de maíz	28
Figura 4	Variedades de maíz amarillo que ofrece AGROSAVIA	36
Figura 5	Variedades de maíz blanco que ofrece AGROSAVIA	38
Figura 6	Variedades de maíz dulce que ofrece AGROSAVIA	40
Figura 7	Resistencia mecánica a la penetración de las raíces en el suelo en tres lotes con sistema tecnificado de maíz en el departamento de Córdoba	47
Figura 8	Comportamiento de la densidad aparente del suelo en tres lotes bajo sistemas tecnificados de maíz	48
Figura 9	Diferentes estrategias de adecuación de terreno asociadas a la mecanización	50
Figura 10	Tipos de mecanización a pequeña escala	52
Figura 11	Pilares de la agricultura de conservación: migrar a sistemas agrícolas sostenibles va de la mano con una buena gestión del recurso suelo a lo largo del tiempo	53
Figura 12	Labranza profunda	55
Figura 13	Asocio de maíz con cobertura viva (leguminosa)	56
Figura 14	Diagnóstico de compactación del suelo	58
Figura 15	Estimación del pH del suelo con vinagre y bicarbonato	60
Figura 16	Estimación visual del contenido de materia orgánica del suelo con peróxido de hidrógeno (agua oxigenada)	61
Figura 17	Métodos de siembra para el cultivo de maíz	64
Figura 18	Afectaciones por el complejo de achaparramiento	69
Figura 19	Alteración en el llenado y formación de mazorcas	70
Figura 20	*Dalbulus maidis*	72
Figura 21	Cultivos de maíz con 15 días de diferencia de siembra. La flecas jóvenes.	75

Figura 22 Plantas espontáneas de ciclos anteriores en un lote de maíz 76

Figura 23 Plantas de maíz bajo estrés abiótico favorecen la aparición y desarrollo de la enfermedad 77

Figura 24 Arvenses de la familia Poacea asociadas al cultivo de maíz con síntomas producidos por Mollicutes 79

Figura 25 Indicador visual del momento óptimo de cosecha del maíz para ensilaje: grano en etapa de tres cuartos de línea de leche 90

Figura 26 Forraje conservado en formaleta 91

Figura 27 Desempeño productivo de corderos criollos suplementados con ensilaje 95

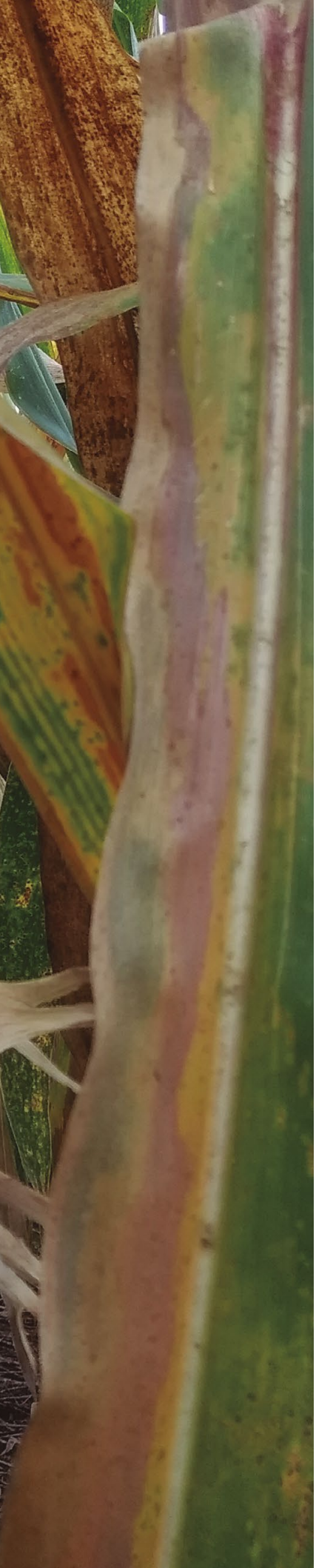
Figura 28 Estado óptimo de cosecha de maíz para grano 96

Figura 29 Proceso de poscosecha para la producción de semilla de maíz 101

Lista de tablas

Tabla 1	Etapas fenológicas del maíz	27
Tabla 2	Características de variedades de maíz amarillo que ofrece AGROSAVIA	35
Tabla 3	Características de variedades de maíz blanco que ofrece AGROSAVIA	37
Tabla 4	Características de variedades de maíz dulce que ofrece AGROSAVIA	39
Tabla 5	Parámetros químicos de suelo en diferentes departamentos de la región Caribe colombiana	45
Tabla 6	Parámetros físicos de suelo en seis departamentos de la región Caribe colombiana	46
Tabla 7	Problemas fitosanitarios de importancia en la región Caribe	80
Tabla 8	Principales requerimientos nutricionales del cultivo de maíz	82
Tabla 9	Recomendaciones de manejo para la aplicación de productos en el cultivo de maíz	84
Tabla 10	Rendimiento de forraje de maíces convencionales y variedades empleadas en la alimentación animal	86
Tabla 11	Consumo estimado de forraje diario por categoría animal	87
Tabla 12	Consumo total de animales y necesidad de ensilaje de maíz	88
Tabla 13	Calidad nutricional de ensilajes de maíces en la región Caribe colombiana	93
Tabla 14	Composición nutricional de pastura y ensilajes utilizados en el experimento	94
Tabla 15	Rendimiento de grano y forraje (kg ha^{-1}) de variedades de maíz Agrosavia en diferentes localidades de la región Caribe húmedo	98
Tabla 16	Criterios de calidad para la producción de semillas de variedades de maíz	102
Tabla 17	Costos de producción promedio asociados al cultivo de maíz para la producción de grano y forraje, con manejo convencional e integral en la región Caribe (COP)	104
Tabla 18	Análisis de la rentabilidad económica del cultivo de maíz bajo dos enfoques de producción (convencional e integral) en la región del Caribe húmedo (COP)	105





Agradecimientos

Esta publicación es el resultado del trabajo articulado y comprometido del equipo de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en el marco de iniciativas orientadas al fortalecimiento del cultivo de maíz en Colombia. Expresamos nuestro agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), entidad que brindó un respaldo financiero fundamental para la ejecución de las actividades técnicas, investigativas y de validación que sustentan esta obra.

De manera especial, destacamos que los materiales vegetales presentados son fruto del esfuerzo conjunto de AGROSAVIA y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en el marco del proyecto "Programa de mejoramiento genético del cultivo de maíz en Colombia", una alianza estratégica que ha permitido el acceso a germoplasma de alto valor y su adaptación a las condiciones agroecológicas del país.

Asimismo, se reconocen los aportes integrados de los proyectos liderados por AGROSAVIA "Tres variedades de maíz con diferentes atributos", "Plan de vinculación maíz región Caribe húmedo" y "Maíz: fortalecimiento de sistemas locales de producción de semilla", determinantes en la generación, validación y transferencia de tecnologías apropiadas para los sistemas productivos regionales.

Nuestro agradecimiento se extiende al personal técnico, investigadores, productores y aliados estratégicos, cuyo compromiso y participación han sido clave para alcanzar los resultados aquí presentados y contribuir al desarrollo de sistemas de producción de maíz más resilientes, sostenibles y equitativos.





Autores

Liliana Margarita Atencio Solano
Correo: latencio@grosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8425-1621

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agronómicas de la Universidad de Córdoba, Colombia. Sus investigaciones se han enfocado en programas de mejoramiento de cultivos como maíz, sorgo, arracacha, pastos y forrajes. Además, ha trabajado en proyectos relacionados con las propiedades y atributos de la semilla, principalmente de maíz en la región Caribe húmedo y arracacha en la región Andina, con el fin de fortalecer asociaciones de pequeños productores para la obtención de semilla de calidad. Ha sido líder y coejecutora de proyectos en ganadería y especies menores, transitorios, raíces y tubérculos.

José Jaime Tapia Coronado
Correo: jtapia@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3621-5316

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agronómicas de la Universidad de Córdoba, Colombia. Cuenta con más de 15 años de ejercicio profesional en AGROSAVIA, en los cuales ha dirigido proyectos de investigación y transferencia de tecnología relacionados con el desarrollo de nuevos cultivares de maíz, algodón, soya, sorgo y pasturas en Colombia. Las principales áreas de investigación son el mejoramiento genético vegetal, la fisiología de cultivos, la producción de semillas, y los modelos productivos sostenibles.

Emiro Andrés Suárez Paternina
Correo: esuarez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2271-7160

Zootecnista de la Universidad de Sucre y magíster en Ciencias Veterinarias del Trópico con énfasis en alimentación y nutrición de rumiantes de la Universidad de Córdoba, Colombia. Se dedica a investigar en las áreas de

alimentación; nutrición y producción de grandes y pequeños rumiantes; evaluación y manejo de gramíneas tropicales; conservación de cultivos forrajeros para la suplementación animal en el Caribe húmedo; y, en el área de ganadería sostenible. Es investigador máster en AGROSAVIA.

José Luis Contreras Santos
Correo: jlcontreras@agrosavia.co
Orcidhttps://orcid.org/0000-0002-8179-3430
Ingeniero agrícola y magíster en Ciencias Agronómicas, con especialización en Ciencias del Suelo. Con más de diez años liderando proyectos de investigación relacionados con el manejo y la conservación de suelos, ha estimado servicios ecosistémicos en diferentes sistemas de producción agropecuarios, como sistemas silvopastoriles, agroforestales, silvícolas y agrícolas. Asimismo, su equipo de trabajo ha desarrollado investigaciones sobre estrategias de mitigación y cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas de producción ganaderos. En la actualidad, trabaja como investigador máster adscrito a la Red de Cultivos Permanentes en el Centro de Investigación Turipaná, perteneciente a AGROSAVIA.

Ángela María Vargas Berdugo
Correo: avargas@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0671-3055?lang=en
Investigadora en el área de fitopatología y sanidad vegetal, vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) como investigadora máster asociada en el Centro de Investigación Nataima (ubicado en el Tolima, Colombia). Microbióloga y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en fitopatología. Tiene experiencia en diagnóstico de enfermedades en plantas, metodologías de detección y monitoreo molecular/convencional de patógenos, y el estudio de la interacción entre vectores, patógenos, planta y ambiente. Ha liderado y participado en investigaciones en cultivos transitorios y agroindustriales (como maíz y arroz), frutales (cítricos y plátano) y raíces y tubérculos (arracacha y yuca). Ha trabajado en la investigación y manejo fitosanitario de problemáticas como el achaparramiento del maíz (identificando la presencia de mollicutes como fitoplasma y spiroplasma transmitidos por insectos vectores como *Dalbulus maidis*), así como en el diagnóstico de enfermedades en arracacha y cítricos (HLB).

José Antonio Cantero Rivero
Correo: jcantero@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-5067-4105
Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba (Colombia), con trece años de experiencia en proyectos de investigación, producción, transferencia de tecnología y acompañamiento técnico a productores de la región, en cultivos transitorios como maíz, arroz, frijol y sorgo, y hortícolas como berenjena, ají y ahuyama, en la siembra manejo producción y uso de cultivos forrajeros y sus métodos de conservación. Vinculado como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) donde ha participado en proyectos de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático, en procesos de producción de semilla básica y certificada de variedades de maíz, y en registro y liberación de variedades de ahuyama y ají.

Ketty Isabel Ibañez Miranda
Correo: kibanez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5107-1827
Ingeniera Agrónoma, vinculada al CIT Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Su área de trabajo ha sido en cultivos de hortalizas, especialmente berenjena, especie en la cual ha manejado la producción de semillas, y en procesos con otras especies como algodón, maíz y pastos.

Yacerney Paternina Paternina
Correo: ypaternina@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9046-5167
Profesional en Zootecnia y magíster en Ciencia Animal, vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Cuenta con capacidades en planificación y manejo de sistemas de producción pecuaria, mejoramiento genético, alimentación y reproducción animal, incluyendo especies domésticas y apícolas. Tiene experiencia en formulación de dietas, evaluación de sistemas productivos y optimización de recursos pecuarios, integrando criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales.





Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo fundamental en la agricultura mundial. Se destaca por su gran adaptabilidad y su papel clave en los sistemas productivos agrícolas y pecuarios. En la región Caribe colombiana, cumple un papel importante como cultivo de doble propósito. Por un lado, su grano es esencial para la alimentación humana y la industria, y es un insumo básico (semilla) para nuevos ciclos de producción. Por otro lado, su forraje, especialmente en forma de ensilaje, es un recurso vital para la alimentación animal, sobre todo en épocas de sequía y baja disponibilidad de pasturas.

Este documento técnico aborda de manera integral los aspectos agronómicos, edáficos, fitosanitarios y económicos que influyen en la producción del maíz en sistemas agrícolas y ganaderos de la región Caribe. Se resaltan las características botánicas y genéticas del maíz, su manejo adaptado a las condiciones agroecológicas locales, y la importancia de conservar y mejorar el suelo, recurso clave para garantizar la productividad y la sostenibilidad del cultivo. Se presentan además prácticas integradas para siembra, manejo de arvenses, control fitosanitario, y fertilización, con especial énfasis en el uso de bioinsumos y fertilización integral. Estas estrategias son especialmente relevantes para pequeños productores que buscan maximizar los beneficios económicos y ecológicos del cultivo.

Finalmente, se analizan indicadores económicos y de rentabilidad, según producción de grano y de forraje, lo que fortalece la cadena de valor del maíz en la región. Este documento contribuye a consolidar un enfoque técnico y económico que impulsa sistemas agrícolas y pecuarios más eficientes, resilientes y sostenibles, esenciales para el desarrollo rural y la seguridad alimentaria en la región Caribe.





Capítulo 1

Área geográfica y entorno ambiental

Descripción geográfica de la región Caribe de Colombia

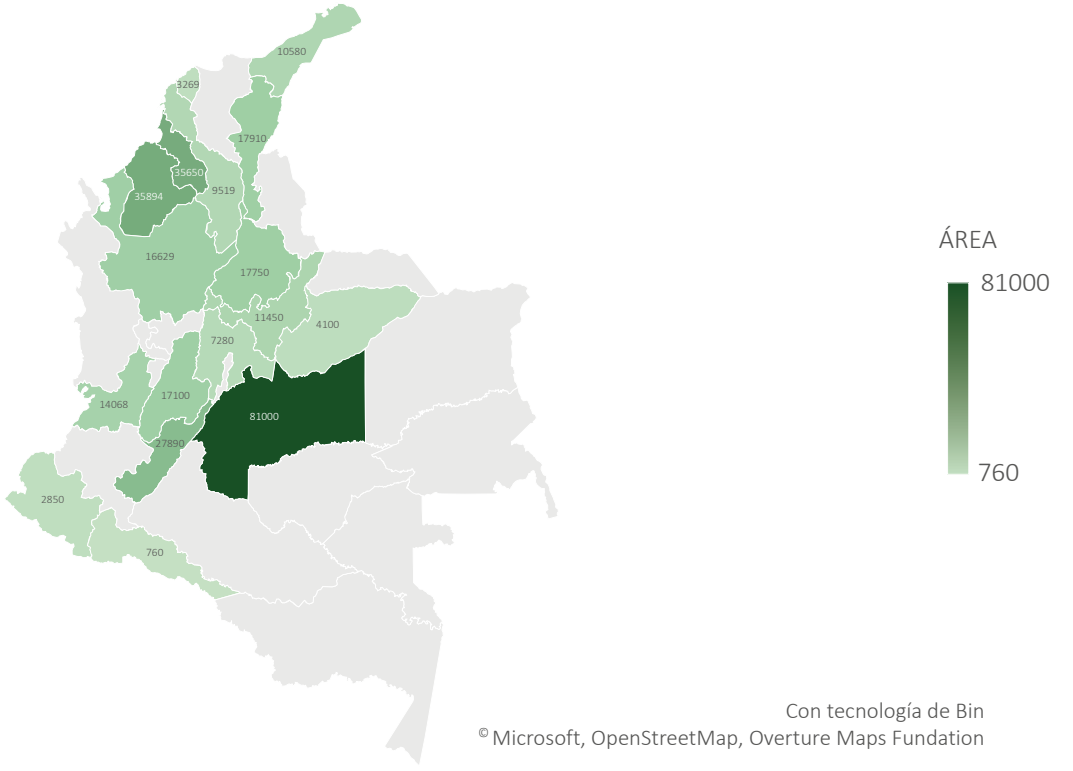
La región Caribe colombiana es una de las seis regiones naturales en las que se divide el territorio nacional y ocupa el extremo norte del país. Su localización geográfica estratégica sobre el mar Caribe le confiere una enorme importancia en términos históricos, económicos, culturales y ecológicos. Esta región está compuesta por los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre, y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Aunque este último departamento es insular y presenta características diferenciadas, se incluye en la región Caribe por razones administrativas y culturales (Restrepo, 2014).

Geográficamente limita al norte con el mar Caribe, al este con Venezuela, al sur con la región Andina y al oeste con la región Pacífico (particularmente en el Golfo de Urabá). Esta ubicación la convierte en la puerta de entrada marítima del país, con costas que superan los 1.600 kilómetros lineales, lo cual favorece el desarrollo de actividades portuarias, pesqueras, turísticas y comerciales (Ministerio de Transporte [MinTransporte], 2023). La llanura del Caribe, también llamada "llanura aluvial", se extiende desde el delta del río Magdalena hasta las planicies de La Guajira. Sus llanuras se formaron por acumulación de sedimentos marinos y fluviales, y esto favoreció el desarrollo de suelos fértiles en zonas como el valle del río Sinú y el valle del río Magdalena (De la Hoz, 2006).

En la región Caribe, los departamentos de Córdoba y Sucre (figura 1) son los de mayor área sembrada de maíz con 35.894 y 35.650 ha, respectivamente. Cesar ostenta el mayor número, con 33.410 ha, seguido por La Guajira (10.580 ha), Bolívar (9.519 ha) y Atlántico (3.269 ha) (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce], 2025).

Figura 1.

Área sembrada de maíz en los principales departamentos de Colombia.



Fuente: Elaboración propia con base en Fenalce (2025)

Clima

El clima predominante en la región Caribe es cálido, con temperaturas promedio anuales que oscilan entre 27 y 30 °C. Sin embargo, la variabilidad climática es considerable debido a la topografía y la influencia del mar. En zonas como La Guajira predomina un clima árido y semiárido, cuya precipitación promedio es de menos de 400 mm anuales, mientras que en áreas como el Golfo de Urabá y la Sierra Nevada se presentan climas húmedos y fríos con precipitaciones por encima de 3.000 mm (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2023). La precipitación promedio anual en el Caribe colombiano es de 1,200 mm/año, con un gradiente positivo, consistente con el gradiente altitudinal situado en el sur de la región (Torres Torres et al., 2021).

Por otro lado, el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) —una franja de baja presión donde se encuentran los vientos alisios de los hemisferio norte y sur— influye directamente en el clima de la región Caribe. Este fenómeno da lugar, en términos generales, a un patrón de lluvias de tipo monomodal, con mayor intensidad entre mayo y octubre. Durante este periodo, suele presentarse una pausa en las precipitaciones hacia finales de junio, conocida localmente como el "veranillo de San Juan". El resto del año se caracteriza por condiciones más secas o de transición. También se presentan fenómenos como El Niño y La Niña, que alteran los patrones de sequía e inundación (Torres Torres et al., 2021; UNGRD, 2023).

Hidrografía

La región Caribe cuenta con una red hidrográfica diversa y abundante. El río más importante es el Magdalena, que desemboca en el mar Caribe a través del delta de Bocas de Ceniza, en cercanías de Barranquilla. Este río es fundamental para la navegación, el riego, la pesca y la generación hidroeléctrica (Restrepo, 2014).

Otros ríos relevantes son Sinú, Cesar, Atrato, Ranchería y San Jorge. También se destacan cuerpos de agua interiores como la Ciénaga Grande de Santa Marta, considerada el humedal más importante de Colombia. Este complejo lagunar ha sufrido degradación ambiental debido a la desviación de caudales y la salinización, lo que ha afectado los ecosistemas de manglar y las comunidades pesqueras (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2022).

Ecosistemas y biodiversidad

La región Caribe posee una gran diversidad de ecosistemas: desiertos, bosques secos tropicales, manglares, ciénagas, sabanas, zonas coralinas y ecosistemas de montaña y páramo. En términos ecológicos, se destaca por ser una región con alto endemismo, aunque también es una de las más afectadas por la pérdida de biodiversidad debido a la deforestación, la expansión urbana y la minería (UNGRD, 2023)

Entre los ecosistemas más representativos están los manglares del delta del río Sinú, los bosques secos de Montes de María, y los corales de las islas del Rosario. Además, existen áreas protegidas como el Parque Nacional Natural Tayrona, el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, el Parque Nacional Natural Macuira en La Guajira, el Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon, el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta, el Santuario de Flora y Fauna Los Colorados, el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta y el Vía Parque Isla de Salamanca (Mendoza et al., 2024, Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2025).

Uso del suelo y actividades económicas

Los suelos de la región Caribe han sido históricamente utilizados para la agricultura y la ganadería. Entre los principales tipos de suelo presentes en la región se destacan los planosoles éutricos, los ferralsoles órticos y los gleysoles húmicos, caracterizados por una fertilidad química media a alta, predominio de texturas medias a finas, condiciones de drenaje que varían de bien a imperfectamente drenados, y pendientes generalmente inferiores a 3 % (International Union of Soil Sciences [IUSS] Working Group [WRB], 2022).

La estructura productiva de la región es diversa. En Atlántico y Bolívar se resalta la participación en actividades asociadas al comercio, la industria de manufacturas y la administración pública. En los departamentos de La Guajira y el Cesar predomina la explotación carbonífera, mientras que en Sucre, Magdalena y Córdoba se destacan las actividades de administración pública. El Archipiélago de San Andrés, por su parte, basa su economía en el comercio vinculado a actividades turísticas y de servicios. Es importante mencionar que gran parte de las áreas rurales de esta región dependen de actividades primarias como agricultura, ganadería y explotación minera (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2024). Sin embargo, un desafío persistente en esta zona es el alto nivel de informalidad laboral, que da lugar a baja estabilidad y escasa remuneración de estas actividades (Programa de las Naciones Unidad para el Desarrollo [PNUD], 2021).

Aspecto ambiental y social

A pesar de sus riquezas naturales, la región Caribe enfrenta graves problemas ambientales: deforestación, contaminación de cuerpos de agua, pérdida de cobertura vegetal, erosión costera, salinización de suelos y afectaciones derivadas del cambio climático. La sobreexplotación de recursos hídricos, el mal manejo de residuos y el crecimiento urbano desordenado son algunos de los factores que inciden en esta problemática (UNGRD, 2023).

Con respecto al componente social, la región Caribe se caracteriza por su diversidad étnica y cultural (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2006), en la que se evidencia la presencia de grupos indígenas principalmente en La Guajira (47%), Córdoba (13,05%) y Sucre (12,29%). La población de negros, mulatos y afrodescendientes es mayor en Bolívar (16,53%), San Andrés (13,65%), Cesar (13%) y Sucre (11%). El grupo raizal es predominante en San Andrés (42%). No obstante, la mayor parte de la población en los departamentos de la región, a excepción del Archipiélago de San Andrés, no se identifica con ningún grupo étnico (PNUD, 2021).

Estas características étnicas y poblacionales, sumadas a la estructura productiva y el mercado laboral, conducen a que el territorio sea muy heterogéneo. Se destaca la brecha de género en la participación de actividades económicas, particularmente en Cesar y Sucre, donde las mujeres enfrentan mayores limitaciones para acceder a empleos formales y bien remunerados. Esta brecha incrementa los niveles de pobreza, especialmente en hogares donde la mujer es cabeza de familia, debido a un menor acceso a vacantes o ingresos salariales (PNUD, 2021).

El maíz como sustento básico de los productores en la región Caribe

El cultivo de maíz en la región Caribe de Colombia no es solo una actividad agrícola más; es una práctica ancestral cargada de historia, identidad y subsistencia para miles de familias campesinas que han hecho del maíz el corazón de su vida rural. El maíz, además de ser parte fundamental de

la dieta diaria, constituye uno de los pilares más estables de la economía rural en la región Caribe. Su cultivo permite a los agricultores asegurar una entrada económica básica, especialmente en un contexto donde muchas otras actividades agropecuarias se ven afectadas por la variabilidad climática, los precios del mercado o el acceso limitado a créditos y tecnología. En muchas comunidades, los ingresos generados por la venta de maíz (en mazorca, desgranado o procesado en derivados como arepas, empanadas o harina artesanal) son los que permiten enviar a los hijos a la escuela, adquirir medicamentos o invertir en mejoras para las fincas. El maíz no solo nutre el cuerpo, sino también el tejido social, fortaleciendo los lazos entre familias, vecinos y asociaciones campesinas (Red Agroecológica del Caribe [Recar], 2004).

El maíz se adapta bien a los suelos y climas de zonas del Caribe como el valle del río Sinú, la sabana sucreña o el valle del Cesar. Aunque el cambio climático ha traído consigo desafíos como la variabilidad de las lluvias, las altas temperaturas y las plagas, los productores continúan apostando por el maíz como un cultivo resistente y versátil. A través de prácticas agroecológicas, como el uso de abonos orgánicos, la rotación de cultivos, el uso de biofertilizantes y la selección de semillas criollas y/o mejoradas, muchos agricultores han encontrado formas sostenibles de mantener sus cultivos en pie, protegiendo tanto su producción como el entorno natural que los rodea. Además, el cultivo del maíz suele ser compatible con la producción de otros alimentos esenciales como yuca, frijol, ñame o ahuyama. Esto permite diversificar la dieta familiar y mejorar la seguridad alimentaria de las comunidades campesinas (UNGRD, 2023).

Reconocer la importancia del maíz en esta región es reconocer el valor del campesinado, de la cultura alimentaria local, de la resiliencia de los pueblos y de la necesidad urgente de fortalecer el campo colombiano con políticas públicas integrales, que dignifiquen el trabajo agrícola y valoren el rol esencial de quienes cultivan la tierra.



Capítulo 2

El maíz y el recurso genético para pequeños productores de la región Caribe

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos y ampliamente distribuidos del mundo, lo que evidencia su notable adaptabilidad y lo consolida como un pilar fundamental para la seguridad alimentaria global. Es considerado uno de los cultivos más importantes a nivel mundial (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Garrido-Rubiano et al., 2017)), y recibe diferentes nombres según la región: *maize* en inglés británico y en la mayoría de los países de habla inglesa; *corn* en Estados Unidos y Canadá; *maíz* en español; *maïs* en francés; *milho* en portugués; y *makka* o *makki* en el subcontinente indio, según el idioma regional (como el hindi o el punjabi) (Paliwal et al., 2001). Desde el punto de vista botánico, se clasifica de la siguiente manera (Ruiz de Galarreta Gómez, 1998):

Reino: Plantae
División: Tracheophyta
Subdivisión: Pteropsida
Clase: Angiospermae
Subclase: Monocotyledoneae
Grupo: Glumiflorae
Orden: Graminales
Familia: Gramineae
Subfamilia: Andropogoneae
Tribu: Maydeae
Género: *Zea*
Especie: *Zea mays*

México es reconocido como el centro de origen y domesticación del maíz (*Z. mays*) (Matsuoka et al., 2002). Allí, esta planta desempeñó un papel fundamental en las civilizaciones mesoamericanas, como la azteca y maya. Para estas culturas, el maíz era considerado un alimento sagrado y constituía un elemento esencial en rituales y ceremonias religiosas (Conceição dos Santos et al., 2019).

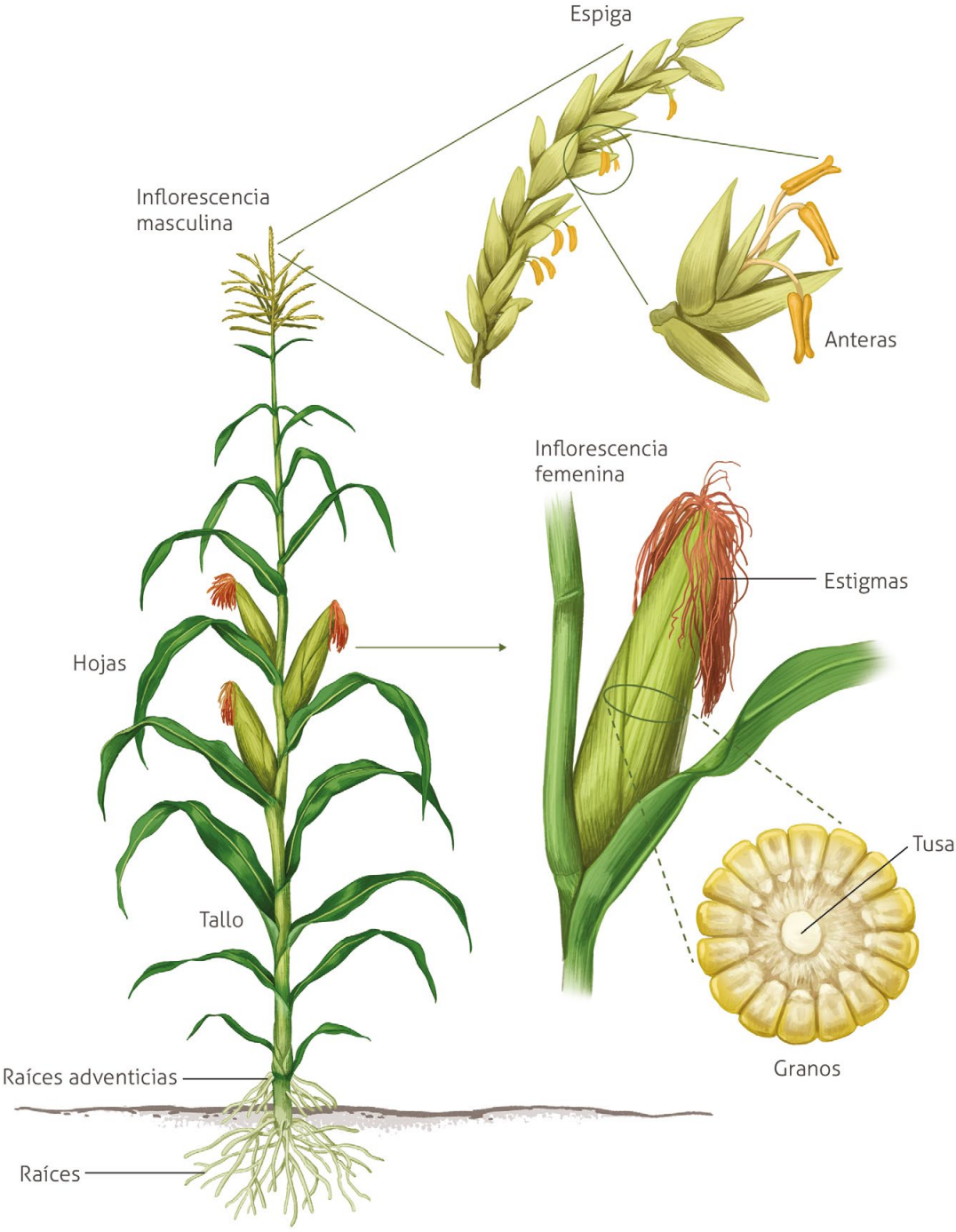
A lo largo de su proceso de domesticación, el maíz se expandió hacia diversas regiones del mundo, acompañado de una continua selección de semillas a través de ciclos sucesivos de siembra. Este proceso fue reforzado por intercambios comunitarios y comerciales, lo que favoreció la diversificación de cultivares o variedades locales. Como resultado, se ha contribuido significativamente a la conservación y al enriquecimiento de la diversidad genética (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Kato et al., 2013). Bajo este contexto, es de resaltar que el conocimiento y manejo tradicional ejercido por los pequeños productores y pueblos indígenas ha sido fundamental para la preservación y evolución continua de dicha diversidad (Serratos Hernández, 2009).

La planta y su fenología

El maíz es una gramínea anual determinada que puede alcanzar hasta cuatro metros de altura. Presenta un tallo erecto compuesto por nudos e internudos. Sus hojas, de disposición dística (en dos filas opuestas), son largas, con venación paralela y se insertan en los nudos mediante una vaina que envuelve parcialmente el tallo. Una planta de maíz puede desarrollar hasta 30 hojas, aunque este número, así como su tamaño y orientación, puede variar según el cultivar.

Figura 2.

Planta de maíz y sus partes.



Fuente: Elaboración propia

Las hojas superiores son las principales responsables de la interceptación de luz solar y contribuyen en mayor medida a la producción de fotosintatos destinados al llenado del grano (Badu-Apraku & Fakorede, 2017).

El maíz es una especie monoica, es decir, presenta flores masculinas (con estambres) y femeninas (con pistilos) en estructuras separadas sobre la misma planta. La mazorca, que constituye la flor femenina, corresponde a una espiga modificada que se desarrolla a partir de una rama lateral corta ubicada en la axila de una de las hojas de mayor tamaño, aproximadamente a la mitad del tallo. De la mazorca emergen los estigmas, que se desarrollan desde la base y hacia la punta, conocidos como "pelos de la mazorca" (figura 2). Por su parte, la inflorescencia masculina, que es lo que se conoce como "espiga", se sitúa en la parte superior de la planta, muy por encima de la inflorescencia femenina, y generalmente madura entre uno y tres días antes, emitiendo los granos de polen, proceso que puede durar aproximadamente una semana (Badu-Apraku & Fakorede, 2017).

Las flores masculinas y femeninas no maduran exactamente al mismo tiempo en la planta de maíz. Gracias a esto, cerca del 95 % de la polinización ocurre de manera cruzada (Sleper & Poehlman, 2006), es decir, entre plantas diferentes. Este fenómeno, llamado "alogamia", conduce a que las plantas resultantes sean genéticamente heterogéneas, es decir, que las plantas de una misma parcela no sean todas idénticas, y presenten distintas etapas de desarrollo, lo que en algunos casos les brinda ventajas en su adaptación al ambiente. Por esta razón, para describir el estado de un cultivo de maíz, se considera que ha alcanzado una determinada etapa fenológica cuando al menos el 50 % de las plantas del lote muestran las características propias de esa etapa.

Con base en la fenología del cultivo, el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz se da en varias etapas:

- **Etapas vegetativas (v):** comprenden desde la emergencia de la plántula, con la aparición y formación de las hojas, hasta cuando aparece la inflorescencia masculina o espiga. Corresponden al crecimiento exponencial de la planta, cuando esta alcanza su altura máxima.

- **Etapas reproductivas (r):** desde el inicio de la antesis hasta la aparición de los estigmas en la mazorca. Corresponden al desarrollo de la inflorescencia femenina y de los granos (Abendroth et al., 2011).

En la tabla 1 y la figura 3, se presenta cada una de las etapas vegetativas y reproductivas.

Tabla 1. Etapas fenológicas del maíz

Etapa	Descripción
VE	**Emergencia:** la planta emerge desde el suelo y se alarga debido a su exposición a la luz solar.
V2	La planta tiene dos hojas bien desarrolladas.
V4	Aparición de cuarta hoja bien desarrollada. La planta inicia el proceso de fotosíntesis.
V6	Aparición de la sexta hoja bien desarrollada.
V8	Aparición de la octava hoja bien desarrollada.
Vn	Aparición de la enésima hoja bien desarrollada. El número de hojas en maíz es variable (entre 15 y 18; incluso algunas hojas pueden caer antes de la floración).
VT	Aparición de la última hoja que cubre la espiga, lo que indica el fin del crecimiento vegetativo.
R1	Inicio floración masculina. Comienza la liberación de polen. Aparición de los estigmas (cabellos) de la mazorca.
R2	**Etapa de ampolla:** los granos están llenos de un líquido claro (traslúcido).
R3	**Grano lechoso:** los granos están llenos de un líquido blanco y lechoso.
R4	**Grano pastoso:** el líquido lechoso observado en R3 se ha espesado y convertido en una pasta blanca; el embrión ha crecido hasta alcanzar aproximadamente la mitad del tamaño del grano.
R5	**Grano duro o dentado:** la parte superior del grano presenta una hendidura en los tipos dentados.
R6	**Etapa de madurez:** cuando todos los granos de la mazorca aparecen en la capa negra de la base del grano. El contenido de humedad puede alcanzar 35 o 40%.

Fuente: Elaboración propia con base en Zhao et al. (2012); Badu-Apraku & Fakorede (2017)



Figura 3.
Fenología del cultivo de maíz.

Fuente: Adaptado de Porres (2025)

Clasificación de los maíces

El maíz se puede clasificar de acuerdo con las siguientes características:

Según la estructura del grano

Determinada por la constitución del endospermo (vítreo y harinoso), la clasificación es la siguiente:

- Maíz duro (vítreo o *flint*)
- Maíz dentado (*dent*)
- Maíz dulce (incluido el superdulce)
- Maíz harinoso (*floury*)
- Maíz reventón (palomero o *popcorn*)
- Maíz ceroso
- Maíz en vaina.

Los maíces de mayor importancia económica son los de tipo harinoso, dentado y duro (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Paliwal et al., 2001).-

Maíz duro (*Z. mays indurata* St.): sus granos son redondos y duros al tacto. El almidón de su endospermo es vítreo y duro, y no forma fácilmente una pasta al mezclarse con agua. Este tipo de maíz presenta madurez temprana y una amplia gama de colores. Produce una harina de maíz de buena calidad mediante molienda en seco y es más resistente al ataque de insectos. Muy utilizado para alimento humano, en la fabricación de fécula de maíz, o para alimentación animal (Paliwal et al., 2001).

Maíz reventón (*Z. mays everta* St.): se considera el tipo de maíz con la más alta cantidad de endospermo duro. Los granos son redondos, oblongos y pequeños. Cuando los granos se someten a calor (<170 °C), se evapora el agua contenida en el almidón. La presión generada por esto hace que el grano se expanda y explote, produciendo las denominadas “palomitas” (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Paliwal et al., 2001).

Maíz dentado (*Z. mays identata* St.): recibe su nombre por la hendidura en forma de diente en la parte superior del grano, resultado de la disposición del endospermo duro y harinoso. Este tipo de maíz presenta un núcleo central de endospermo harinoso, de textura blanda y opaca, mientras que el endospermo duro se localiza principalmente en los laterales del grano. Durante el secado, el endospermo harinoso se contrae, lo que origina la hendidura típica en la parte superior del grano. El maíz dentado suele tener un mayor rendimiento en comparación con otros tipos, aunque es más susceptible al ataque de hongos e insectos que el maíz duro. Es ampliamente utilizado tanto para la producción de grano como para ensilaje. Las variedades de grano blanco se destinan principalmente a la alimentación humana, mientras que las de grano amarillo se emplean mayormente en la alimentación animal (Acosta, 2009; Badu-Apraku & Fakorede, 2017).

Maíz harinoso (*Z. mays amilacea* St.): los granos están compuestos en su mayor parte por endospermo harinoso, con poca o ninguna cantidad de endospermo duro. Se muelen fácilmente para obtener una harina fina y se usan para alimentación humana y elaboración de bebidas y platos especiales. Presentan una amplia gama de colores y son muy susceptibles a patologías causadas por gusanos o insectos. Es uno de los tipos de maíz más antiguos y se cultiva en las zonas altas de los Andes de Suramérica (Badu-Apraku & Fakorede, 2017).

Maíz ceroso (*Z. mays creatina* Kul.): se caracteriza por la apariencia opaca y cerosa de sus granos. China es considerada la fuente original del gen ceroso (*wx*), responsable de esta característica. El almidón está compuesto casi exclusivamente por amilopectina, a diferencia del almidón del maíz común, que contiene aproximadamente un 78% de amilopectina y un 22% de amilosa. Esta composición le confiere una textura gomosa, similar a la de la yuca. El maíz ceroso se emplea como materia prima en la industria de molienda húmeda para la producción de almidones especiales, utilizados en aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y textiles. Su cultivo es limitado y se realiza en regiones específicas, debido a su demanda especializada y bajo volumen de producción (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Paliwal et al., 2001).

Maíz dulce (*Z. mays saccharata* St.): se cultiva para el consumo humano y se cosecha en estado inmaduro, cuando las mazorcas aún están verdes y los granos alcanzan aproximadamente un 70% de humedad. Es una excelente fuente de energía, ya que sus granos contienen un alto contenido de azúcares, producto de una o más mutaciones recesivas que inhiben la conversión de azúcares en almidón. En promedio, el 20% de la materia seca del maíz dulce está compuesta por azúcares, en contraste con el 3% que presenta el maíz dentado en la etapa de mazorca tierna. Para mantener su sabor y calidad, el maíz dulce debe procesarse o consumirse poco tiempo después de la cosecha. Su conservación puede lograrse mediante enlatado o congelado. Generalmente, este tipo de maíz no se cultiva en zonas tropicales debido a su bajo rendimiento. En estas regiones, se opta por cultivar variedades comunes como el maíz dentado, ceroso o vítreo, aprovechando sus mazorcas verdes como sustituto del maíz dulce, especialmente en etapas tempranas de desarrollo (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Paliwal et al., 2001).

Según su madurez

El periodo de madurez es una de las características que los productores consideran al momento de seleccionar un genotipo, con el objetivo de optimizar el rendimiento. Esto se debe a que permite un mejor aprovechamiento de las condiciones climáticas, principalmente la disponibilidad de lluvias, y ayuda a evitar afectaciones por condiciones de estrés como sequías o inundaciones. Además, facilita múltiples cosechas durante el año y contribuye a reducir las pérdidas del producto final. Según su madurez, los maíces se clasifican de la siguiente manera (Badu-Apraku & Fakorede, 2017; Oluwaranti et al., 2015):

Madurez extratemprana: las plantas alcanzan la madurez entre los 80 y 85 días después de la siembra (DDS).

Madurez temprana: alcanzan la madurez entre los 90 y 95 DDS. Este grupo, junto con el anterior, puede establecerse de forma tardía, según las condiciones climáticas de la región, y aún aprovechar la presencia de lluvias. Sin embargo, tiende a presentar menor rendimiento en comparación con grupos de madurez más tardía.

Madurez intermedia: la madurez se presenta entre los 105 y 110 DDS. Estas variedades tienden a producir mayor rendimiento que las de madurez temprana.

Madurez tardía: se alcanza entre 115 y 120 DDS. Estos maíces deben sembrarse al inicio de la temporada de lluvias, para aprovechar mejor el agua y alcanzar los mayores rendimientos bajo condiciones favorables.

Según contenido nutricional

El maíz es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial. La composición del grano incluye almidones, proteínas, aceites, cenizas y azúcares (Scott & Emery, 2016). Desempeña un papel crucial en la dieta humana al proporcionar más del 20% de la ingesta calórica total. Esto lo convierte en un alimento básico para combatir el hambre y la desnutrición. Los programas de mejoramiento genético actuales se enfocan en el desarrollo de genotipos con características nutricionales superiores, relacionadas con proteínas, almidones, lípidos y micronutrientes. A continuación, se presenta una clasificación del maíz según su contenido nutricional:

Maíz de grano normal: corresponde a genotipos convencionales con un perfil nutricional limitado, principalmente por su bajo contenido de aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y leucina. En estos genotipos, las proteínas de almacenamiento predominantes son las *zeínas*, una clase de prolamina que representa aproximadamente el 80% del total de proteínas del endospermo. Esta alta proporción de zeínas y la escasa presencia de aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y metionina disminuyen significativamente el valor nutricional del grano, especialmente en poblaciones cuya dieta se basa en el maíz (Chan-Chan et al., 2021; Scott & Emery, 2016).

Maíz biofortificado: variedades desarrolladas mediante programas de mejoramiento genético orientados a incrementar las concentraciones de vitaminas (como provitamina A o β-caroteno) y minerales (como hierro y zinc). El objetivo principal es satisfacer las necesidades nutricionales de las poblaciones vulnerables —particularmente embarazadas y niños— y así mejorar su estado de salud (Bouis & Saltzman, 2017).

Maíz de proteína alta calidad (*Quality Protein Maize* [qpm]): forman parte del grupo de cultivos biofortificados, pero con un enfoque en la calidad proteica. Contienen el doble de aminoácidos esenciales, principalmente lisina y triptófano, en comparación con el maíz convencional. Los QPM fueron desarrollados para regiones donde el maíz constituye un alimento básico, y muestran efectos positivos incluso en indicadores productivos zootécnicos como el peso de aves y cerdos (Chan-Chan et al., 2021; Tiwari et al., 2014). El contenido de lisina y triptófano en la proteína del maíz convencional es de 2,0% en promedio, y en el QPM de 4,0%, aunque, dependiendo del genotipo, estas cifras pueden variar entre 1,5–3,5% y 2,6–5,0%, respectivamente. En cuanto al triptófano, los valores promedio son <0,5% en maíz convencional y >0,8% en QPM (Palacios-Rojas et al., 2017).

Recurso genético ofrecido por AGROSAVIA para pequeños productores

En Colombia, los sistemas productivos tradicionales de maíz se caracterizan por su baja competitividad y productividad. Según las estadísticas de Fenalce (2025), este sistema de producción presenta rendimientos que no superan las 2 t ha^{-1}. Esto obedece en gran parte al uso de semillas sin criterios de calidad, provenientes del ciclo anterior, es decir, son producto de un cultivo que se destina para siembras posteriores (autoconsumo); o adquiridas en mercados informales por sus bajos costos. Principalmente, esta semilla corresponde a variedades criollas y/o regionales, que el productor siembra por tradición y que son parte de su identidad cultural. Otra causa de su rendimiento es el uso de genotipos mejorados, pero utilizados en zonas poco adaptadas o bajo prácticas agronómicas ineficientes o inadecuadas.

Estos bajos rendimientos están asociados a la baja disponibilidad de genotipos de alto potencial, de bajo costo y fácil acceso para el pequeño productor. Este factor se ha visto reflejado en las demandas y necesidades identificadas para la región Caribe en la cadena de alimentos balanceados. Se emplea para desarrollar nuevos genotipos con alto potencial de rendimiento, adaptados a diferentes zonas agroecológicas y a la variabilidad climática, con resistencia a plagas y enfermedades, y alta calidad nutricional e industrial (Tapia Coronado et al, 2022).

Esta demanda ha sido la base para los procesos de investigación que desarrolla AGROSAVIA, en alianza con CIMMYT, a través del programa de mejoramiento genético de maíz. El programa tiene como objetivo evaluar, seleccionar y obtener nuevos genotipos con características superiores, como las siguientes:

- **Incremento del rendimiento en términos de grano o forraje.** Es quizá la característica de mayor importancia, estrechamente relacionada con la estabilidad.
- **Resistencia a factores bióticos y abióticos, como respuesta al cambio climático.** Incluye genotipos con resistencia a plagas y enfermedades, y con tolerancia a factores como sequía, encharcamiento, altas temperaturas, frío, excesos o déficit de nutrientes, entre otros.
- **Características del cultivo.** Arquitectura, altura, precocidad, tolerancia al volcamiento, entre otras, son características que favorecen su manejo.

Como resultado, AGROSAVIA ha generado nuevas ofertas tecnológicas (OT) en la línea de materiales de siembra. La oferta se destina principalmente a obtener variedades de libre polinización (VPL) de maíz, producto del mejoramiento genético de la especie. Este tipo de genotipos son importantes sobre todo en sistemas de producción tradicional. En gran parte fueron desarrollados por pequeños productores bajo un enfoque de agricultura familiar, que se destaca además por su alta contribución a la seguridad alimentaria del país.

Entre las ventajas de las variedades está el bajo precio de la semilla, insumo que representa alrededor del 10% de los costos de producción, en comparación con los híbridos, cuyo material puede representar hasta el 25%. Adicionalmente, los productores pueden producir la semilla sin requerir grandes inversiones y tecnología, y establecer próximos ciclos de producción (para autoconsumo). En este caso, las prácticas agronómicas desarrolladas en el cultivo deben garantizar que la semilla cuente con criterios de calidad sanitaria, fisiológica, genética y fitosanitaria.

A través del programa de mejoramiento de AGROSAVIA, y en alianza con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se han creado variedades de maíz con amplia adaptabilidad en los departamentos

de la región Caribe, que cuentan con el Registro Nacional de Cultivares: tres variedades de maíz amarillo doble propósito, dos de maíz blanco y dos variedades de maíz de grano dulce.

Variedades de maíz amarillo

Agrosavia V-114, V-117 y V-121 son variedades de maíz de grano amarillo que se destacan por su alto potencial de rendimiento en grano y forraje, lo que las convierte en materiales de doble propósito (tabla 2, figura 4). Están adaptadas a las condiciones del Caribe colombiano y son resistentes y tolerantes a enfermedades y plagas comunes en la región. Estas características las hacen especialmente adecuadas para pequeños productores que buscan optimizar su producción de manera eficiente y sostenible.

Tabla 2. Características de variedades de maíz amarillo que ofrece AGROSAVIA

Parámetro	Agrosavia V-114	Agrosavia V-117	Agrosavia V-121
Resolución ICA	N.° 003728 03/10/2012	N.° 00012144 3/08/2019	N.° 00009333 08/08/2023
Características clave	Alta tolerancia a mildeo velloso (*Peronospora sorghi*). Doble propósito (grano y forraje).	Resistente a enfermedades del Caribe húmedo. Puede presentar ataque de gusano cogollero.	Baja incidencia de pudrición de mazorca (*Stenocarpella maydis*).
Altura de planta (cm)	269	232,5	233,3
Altura de mazorca (cm)	141	119	118
Prolificidad	1	1	1
Longitud de mazorca (cm)	18-25	15,5	16
Forma de mazorca	Cónica	Cónica-cilíndrica	Cónica-cilíndrica
Peso de mazorca (g)	134-202	198	195
N.° hileras por mazorca	12-18	14-16	14-16
N.° granos por hilera	36	34	30-34
Índice de semilla	3.000	3.470	3.120
Rendimiento de grano (t/ha)	4.3	5,8	5,3
Rendimiento de forrajes (t/ha)	30	37	32,1
Tipo de maíz	Duro	Duro	Duro
Tipo de madurez	Tardío	Tardío	Tardío

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.

Variedades de maíz amarillo que ofrece AGROSAVIA. a, b, c. Plantas, mazorcas y granos de Agrosavia V-114; d, e, f. Plantas, mazorcas y ensilaje de Agrosavia V-117; g, h, i, j. Plantas, mazorcas y granos de Agrosavia V-121.

Agrosavia V-114



Agrosavia V-117



Agrosavia V-121



Fotos: José Tapia

Variedades de maíz blanco

Las variedades Agrosavia V-159 y V-160 son de maíz blanco y presentan un excelente rendimiento y calidad, con buena cobertura de mazorca y resistencia a diversas enfermedades que suelen afectar la producción de este cultivo (tabla 3, figura 5). Son genotipos que se adaptan bien a las condiciones agroclimáticas del Caribe colombiano, y proporcionan una fuente importante de alimento con características especiales para la industria y el consumo directo. A continuación, se relacionan las características de las variedades:

Tabla 3. Características de variedades de maíz blanco que ofrece AGROSAVIA

Parámetro	Agrosavia V-159	Agrosavia V-160 QPM
Resolución ICA	N.° 004248 11/10/2013	N.° 00012432 14/08/2019
Características clave	Alta tolerancia a volcamiento y pudrición de mazorca.	Alta calidad proteica (lisina y triptófano). Para industria y alimentación animal. Presenta tolerancia a *Cerscospora* sp., *Helminthosporium* sp., *Curvularia* sp., y *Peronospora* sp.
Altura de planta (cm)	211,2	224,8
Altura de mazorca (cm)	96	115,1
Prolificidad	1	1
Longitud de mazorca (cm)	23,6	15
Forma de mazorca	Cónica-cilíndrica	Cónica-cilíndrica
Peso de mazorca (g)	191	198
Textura	Semicristalino	Semicristalino
N.° hileras por mazorca	14-16	14-16
N.° granos por hilera	34	34
Índice de semilla	3.200	3.580
Rendimiento de grano (t ha_{-1})	4,3	5,2
Triptófano (g/100 g proteína)	—	0,093
Lisina (g/100 g proteína)	—	0,412
Tipo de maíz	Duro	QPM
Tipo de madurez	Tardía	Tardía

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.

Variedades de maíz blanco que ofrece AGROSAVIA. a, b, c. Mazorcas y granos de Agrosavia V-159; d, e, f. Plantas, mazorcas y granos de Agrosavia V-160.

Agrosavia V-159



Agrosavia V-160



Fotos: José Tapia

Variedades de maíz dulce

Agrosavia V-115 Dulce y Agrosavia V-116 Hawaii son variedades de grano amarillo caracterizadas por su alto rendimiento en producción de mazorcas de consumo en verde (chócolo). Estas variedades están diseñadas para climas cálidos y ofrecen gran calidad para el consumo fresco, aunque necesitan manejo cuidadoso frente a plagas como el gusano cogollero. Son una excelente opción para mercados de consumo directo y comercialización local (tabla 4, figura 6).

Tabla 4. Características de variedades de maíz dulce que ofrece AGROSAVIA

Variedad	Agrosavia V-115 dulce	Agrosavia V-116 Hawaii
Resolución ICA	N.° 00001079 08/02/2017	N.° 00005868 02/05/2019
Características clave	Para industria y alimentación. Puede presentar ataque de gusano cogollero.	Para industria y alimentación. Puede presentar ataque de gusano cogollero.
Altura planta (cm)	182	187
Altura mazorca (cm)	89	91
Prolificidad	1	1
Longitud mazorca (cm)	13,6	13,9
Diámetro de la mazorca (cm)	4,4	4,5
Profundidad del grano (mm)	5,5	5,5
Forma mazorca	Cónico-cilíndrica	Cónico-cilíndrica
Peso mazorca (g)	120-207	120-200
Color grano	Amarillo	Amarillo
Grados Brix (°Brix)	17,6	17,9
Rendimiento mazorcas (t ha^{-1})	5,3	5,8
Rendimiento grano (t ha^{-1})	3,9	4,3
Rendimiento forrajes (t ha^{-1})	19,4	18,1
Días cosecha grano lechoso	60	65
Días cosecha grano seco	120	120
Tipo de maíz	Dulce	Dulce
Tipo de madurez	Tardío	Tardío

Fuente: Elaboración propia

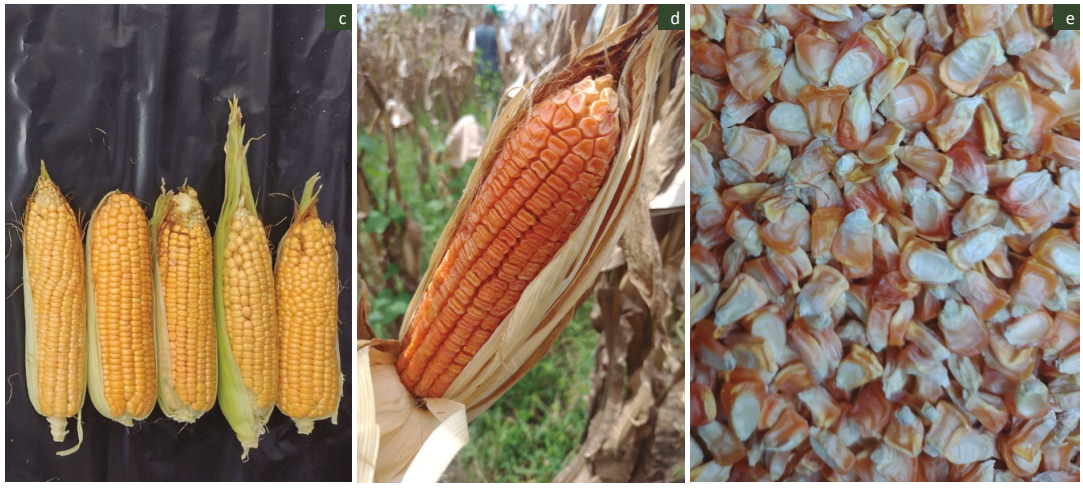
Figura 6.

Variedades de maíz dulce que ofrece AGROSAVIA. a, b. Mazorcas y granos de Agrosavia V-115; c, d, e. Mazorcas y granos de Agrosavia V-116.

Agrosavia V-115



Agrosavia V-116



Fotos: José Tapia

Estas variedades de maíz se adaptan a la subregión natural Caribe húmedo, que comprende los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar. Se ha observado que el potencial expresado por estos materiales en otros departamentos de la región Caribe ha permitido la adopción de algunos de ellos por ganaderos y agricultores, en especial los de grano amarillo. Esto se debe a la disponibilidad de semilla facilitada a través de la alianza estratégica de AGROSAVIA con la empresa privada Germisemillas S.A.S, que tiene como compromiso la producción, el alistamiento, el almacenamiento y la comercialización de la semilla de las variedades de grano amarillo, mediante canales de distribución autorizados (almacenes agropecuarios) en más de veinte municipios de la región.







Capítulo 3

El suelo y su importancia en la producción del cultivo de maíz

El suelo es un recurso natural no renovable en el corto plazo, fundamental para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, capaz de proveer nutrientes esenciales, agua, oxígeno y soporte físico a las raíces de las plantas. Se estima que cerca del 95 % de los alimentos del mundo se producen teniendo como base al suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022a), lo que resalta su papel protagónico en la seguridad alimentaria. Por lo tanto, su conservación, manejo responsable y restauración son esenciales para garantizar la productividad agrícola actual y futura.

¿Qué es el suelo?

El suelo ha sido definido como una capa delgada de material fértil que recubre la superficie terrestre (Jordán López, 2006). Desde un ámbito más técnico, es considerado un componente esencial del ambiente, natural, finito y no renovable, constituido por minerales, aire, agua y materia orgánica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2016). Como un ente complejo, es crucial para el funcionamiento de los ecosistemas y mantenimiento de la vida (Schoonover & Crim, 2015).

Una definición simple y práctica del suelo indica que es un "medio natural para el crecimiento de las plantas" (Cahyana & Mulyanto, 2024). Este papel está estrechamente relacionado con el concepto de *fertilidad del suelo*, entendida como la capacidad para sostener el crecimiento vegetal, al proporcionar los nutrientes esenciales y las condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas (FAO, 2022b). Desde el punto de vista ambiental, el suelo también desempeña un rol esencial en la captura e inmovilización del carbono atmosférico. Es el mayor reservorio terrestre de carbono y, por tanto, las prácticas sostenibles de manejo del suelo contribuyen a mitigar el cambio climático, mejorar su salud y mantener su calidad (Lal, 2020).

Problemática edáfica del cultivo de maíz en la región Caribe

En el Caribe, los sistemas de producción agrícola asociados al cultivo de maíz han recurrido a prácticas intensivas como la mecanización excesiva y la rotación inadecuada de cultivos (alternancia). Estas estrategias, si bien aportan en algunos aspectos productivos, desencadenan procesos acelerados de degradación física, química y biológica del suelo, y afectan negativamente los rendimientos por unidad de área (Cadena-Torres et al., 2021).

La siembra del cultivo en suelos con poca o nula aptitud agrícola ha aumentado la incidencia de problemáticas como compactación, pérdida de fertilidad, erosión y desertificación (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales [Ideam], MADS & Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [UDCA], 2015). Esto, sumado a la falta de planeación territorial y el uso inadecuado del recurso, disminuye la productividad y compromete la sostenibilidad del sistema. El estado de conservación del suelo incide directamente en la capacidad de respuesta del sistema productivo frente a factores como la variabilidad climática, la eficiencia en el uso de nutrientes y la emisión de gases de efecto invernadero (Martínez Gamiño et al., 2019).

Principales limitantes del suelo en el cultivo de maíz

Estudios realizados por AGROSAVIA en 314 predios bajo sistemas agrícolas y pecuarios en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena y Sucre (tabla 5) evidenciaron que una de las principales causas de la baja productividad está asociada al desequilibrio de parámetros químicos del suelo, especialmente en los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) (Contreras-Santos et al., 2021). El desequilibrio se asocia a estas condiciones:

1. **Exceso o déficit de nutrientes:** por planes de fertilización empíricos sin el respaldo de análisis de laboratorio. Las decisiones se basan en recomendaciones informales provenientes de vecinos o experiencias previas, sin considerar las condiciones específicas del suelo.
2. **Manejo inadecuado de la nutrición de cultivos:** producto del desconocimiento técnico o la ausencia de asesoría especializada. Esto conduce a errores en la selección de la fuente, dosis, momento y lugar de aplicación de los fertilizantes (Bruulsema et al., 2015).
3. **Sobrelaboreo:** esta y otras prácticas de adecuación de terreno sin criterios técnicos que respalden las laboreas realizadas.

Desde el punto de vista físico del suelo, se detectaron procesos de compactación en los primeros 20 cm de profundidad (capa arable), lo cual limita el desarrollo radicular, la infiltración del agua, la oxigenación del sistema radicular y el movimiento de solutos, lo que a su vez incrementa la escorrentía y la pérdida de suelo fértil. Estas condiciones están asociadas al uso prolongado de prácticas de labranza inadecuadas, como la sobremecanización o el uso de implementos agrícolas inapropiados, que deterioran la estructura edáfica.

Tabla 5. Parámetros químicos de suelo en diferentes departamentos de la región Caribe colombiana

Parámetro	Unidad	Atlántico	Bolívar	Cesar	Córdoba	Magdalena	Sucre
mo	%	1,82 (M)	2,74 (M)	1,68 (M)	3,18 (A)	2,16 (M)	1,86 (M)
S	mg kg^{-1}	28,95 (A)	7,56 (B)	4,95 (B)	26,16 (A)	27,48 (A)	4,78 (B)
P	mg kg^{-1}	30,87 (M)	66,15 (A)	37,21 (M)	18,98 (B)	33,64 (M)	40,61 (M)
cic	cmol kg^{-1}	19,69 (M)	24,27 (A)	7,56 (B)	24,15 (A)	14,98 (M)	26,84 (A)
pH		6,63 (N)	6,47 (LA)	6,31 (LA)	5,95 (MA)	6,01 (LA)	6,07 (LA)
Ca	cmol kg^{-1}	12,66 (A)	16,56 (A)	6,00 (A)	12,25 (A)	10,14 (A)	18,33 (A)
Mg	cmol kg^{-1}	4,90 (A)	6,57 (A)	1,22 (M)	10,25 (A)	3,77 (A)	7,53 (A)
K	cmol kg^{-1}	0,61 (A)	0,72 (A)	0,21 (B)	0,74 (A)	0,28 (B)	0,61 (A)
Na	cmol kg^{-1}	1,51 (A)	0,41 (M)	0,13 (M)	0,32 (M)	0,76 (A)	0,21 (M)

MO: materia orgánica; S: azufre; P: fósforo; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca: calcio; Mg: magnesio; K: potasio; Na: sodio; N: neutro; LA: ligeramente ácido; A: alto; M: medio; B: bajo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Parámetros físicos de suelo en seis departamentos de la región Caribe colombiana

Parámetro	Unidad	Atlántico	Bolívar	Cesar	Córdoba	Magdalena	Sucre
Da	g cm^{-3}	1,50 (Nc)	1,40 (I)	1,69 (C)	1,35 (Nc)	1,39 (I)	1,30 (Nc)
RMP	MPa	2,19 (R)	2,99 (AR)	2,76 (AR)	2,39 (R)	3,09 (AR)	1,71 (NR)
PT	%	41,08 (B)	46,09 (M)	35,57 (B)	48,11 (M)	47,77 (M)	45,91 (B)
Arenas	%	40,70	48,34	55,14	33,70	55,00	33,35
Arcillas	%	26,66	19,91	16,13	30,85	16,54	32,80
Limos	%	32,45	31,74	28,73	35,14	28,46	33,85
Textura		F	F	F-A	F-Ar	F-A	F-Ar

Da: densidad aparente; RMP: resistencia mecánica; PT: porosidad total; Nc: no compacto; I: ideal; C: compacto; R: restrictivo; AR: altamente restrictivo; NR: no restrictivo; D: degradado; AD: alto riesgo de degradación; M: medio; B: bajo; F: textura franca; F-A: textura franco-arenosa; F-Ar: textura franco-arcillosa.

Fuente: Elaboración propia con base en Bernabé & Maineult (2015), Burt (2014), Castro & Gómez (2009), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992), Salamanca & Amézquita (2015)

La resistencia mecánica a la penetración (RMP) registró valores superiores a 2 MPa en la mayoría de los sitios evaluados (departamentos), con excepción de Sucre, donde se observaron valores inferiores a 1,7 MPa (tabla 6) (Contreras-Santos et al., 2019). Estos niveles de RMP indican limitantes en la exploración radicular y reducción en la eficiencia de la absorción de agua y nutrientes. También se encontraron valores de densidad aparente superiores a 1,4 g cm^{-3}, considerados restrictivos para el desarrollo adecuado de plantas de maíz. Estas condiciones están relacionadas con las texturas predominantes, que varían de francas (F) a franco-arcillosas (F-Ar) y en algunos casos franco-arenosas (F-A) (Burt, 2014).

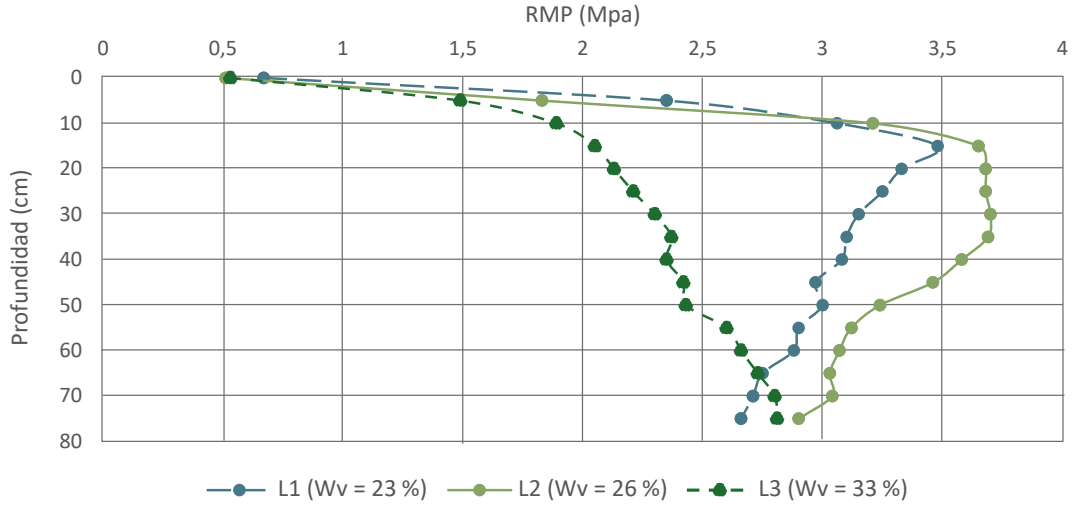
La porosidad total (PT) generalmente fue baja, con valores por debajo del 50%. Los departamentos de Atlántico (41%), Sucre (45%) y Bolívar (46%) presentaron las condiciones más críticas. Lo anterior representa una reducción del espacio poroso que impacta negativamente la infiltración de agua, la difusión de oxígeno y el movimiento de solutos, y afecta directamente la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas (Contreras-Santos et al., 2019; Fu et al., 2019; Salamanca Jiménez & Amézquita Collazos, 2015).

Según Cadena-Torres et al. (2021) y Contreras-Santos et al. (2020), estudios de caracterización fisicoquímica de suelos destinados al cultivo de maíz en el departamento de Córdoba encontraron que las principales limitantes están relacionadas con procesos de compactación, relaciones catiónicas (Ca:Mg:K) y reacción del suelo (pH). Se recomienda desarrollar estrategias de recuperación de suelos como labranza profunda, aplicación de enmiendas, uso de abonos verdes e incorporación de residuos de cosecha, prácticas que contribuyen a restaurar la fertilidad natural y mejorar la salud del suelo.

En otros estudios se identificaron condiciones de compactación superficial y subsuperficial en lotes de producción de maíz que afectan el desarrollo radicular del cultivo. En el caso de los suelos bajo sistemas de maíz tecnificados en el departamento de Córdoba, se observaron valores de RMP > 1,5 MPa en los primeros 5 cm, y >2 MPa a partir de 10 cm de profundidad (figura 7). Estos valores indican una compactación que limita la exploración radicular, restringe el intercambio gaseoso y reduce significativamente la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta.

Figura 7.

Resistencia mecánica a la penetración de las raíces en el suelo en tres lotes con sistema tecnificado de maíz en el departamento de Córdoba.



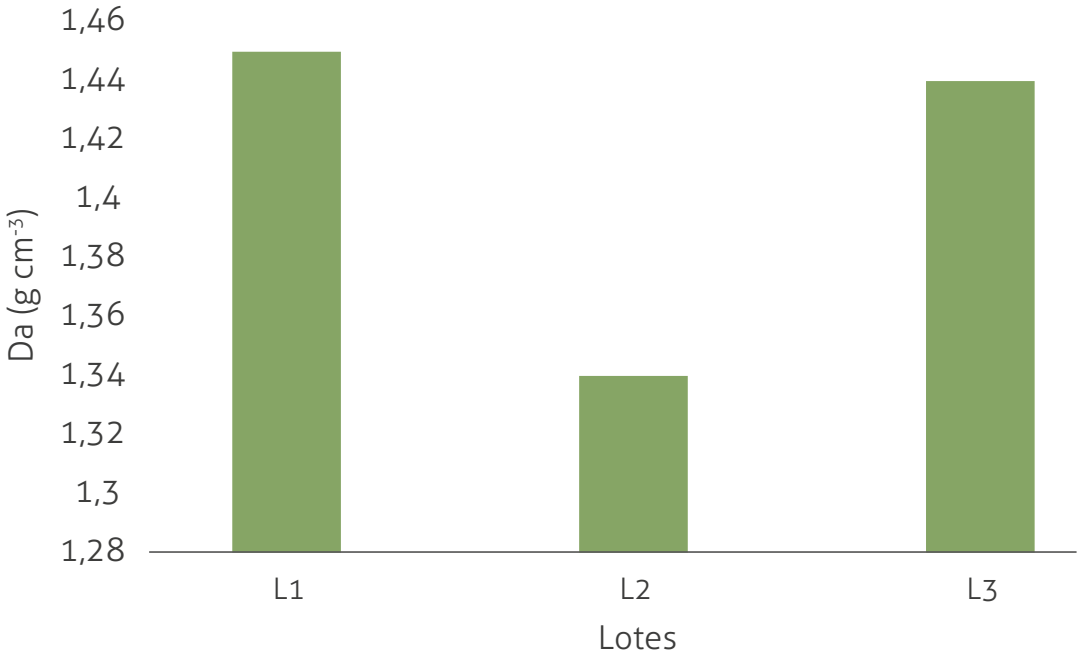
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se encontró que la RMP depende de manera inversa del contenido de humedad del suelo: valores elevados de humedad están asociados a una menor RMP. Esto sugiere que las condiciones de humedad pueden modificar temporalmente la resistencia del suelo, afectando la facilidad con la que las raíces penetran las capas más profundas del perfil.

La densidad aparente (Da) evidenció condiciones limitantes para el desarrollo del cultivo, con registros superiores a 1,44 g cm^{-3} (figura 8), asociados a suelo franco-arcillosa (F-Ar), contenidos de arena entre 21 y 42%, limo entre 20 y 52%, y arcilla de 28 a 38% (Burt, 2014). En el caso de Da, valores superiores a 1,39 g cm^{-3}, en suelos arcillosos (Ar) y franco-arcilloso (F-Ar), indican restricciones para el crecimiento de las raíces de las plantas. La compactación reduce el espacio poroso, dificulta la penetración de raíces y limita la aireación del sistema (Contreras-Santos et al., 2020).

Figura 8.

Comportamiento de la densidad aparente del suelo en tres lotes bajo sistemas tecnificados de maíz.



Fuente: Elaboración propia

A fin de resolver estas limitantes edáficas en la región Caribe, se identificaron diversas estrategias de manejo sostenible, orientadas a restaurar las propiedades físicas del suelo y mejorar la productividad. Se destacan 1) la adecuación mecánica del terreno, con base en las necesidades edáficas específicas, y 2) el uso de coberturas vegetales, que protegen el suelo de la erosión, incrementan la producción de raíces, mejoran la estructura y aportan altos volúmenes de materia orgánica. La combinación de ambas estrategias ha demostrado ser más efectiva (García et al., 2018).

El éxito de estas prácticas radica en su fácil implementación y bajo costo de inversión, que las hacen accesibles para pequeños y medianos productores. Estas acciones se alinean con los principios de la agricultura regenerativa y de conservación, ya que promueven el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia del agroecosistema frente al cambio climático (Sanabria Quispe et al., 2021).

Las siguientes son algunas prácticas de manejo sostenible:

Adecuación de terreno

La adecuación y acondicionamiento de terrenos es una estrategia clave para maximizar la productividad agropecuaria, especialmente en el Caribe. Este proceso no solo busca mejorar el rendimiento de los cultivos, sino también preservar la calidad del recurso suelo, con un enfoque de conservación y sostenibilidad.

Mecanización convencional: implementación progresiva de equipos y herramientas especializadas con el objetivo de mejorar las propiedades físicas del suelo, y facilitar las labores de preparación, siembra y manejo del cultivo. Esta práctica contribuye significativamente al aumento de la productividad agrícola, el desarrollo rural y la eficiencia en el uso del recurso suelo (Van Loon et al., 2020). Sin embargo, implementarla necesita una toma de decisiones informada y un conocimiento amplio de las condiciones edáficas locales. La correcta selección de maquinaria depende de identificar las limitantes físicas y químicas, lo que determina el tipo y tamaño de los equipos (figura 9).

Figura 9.

Diferentes estrategias de adecuación de terreno asociadas a la mecanización.



Fotos: José Luis Contreras

En el caso de los pequeños productores, se han identificado diversas barreras para la adopción de tecnologías de mecanización: 1) altos costos de adquisición de maquinaria agrícola, poco accesible para unidades productivas de pequeña escala; 2) déficit de personal técnico capacitado en la región para ofrecer recomendaciones adecuadas de manejo del suelo y selección de implementos, y 3) baja rentabilidad del cultivo, afectado por la variabilidad climática y la volatilidad de precios en los mercados locales.

Estas limitantes han llevado al uso inadecuado de maquinaria agrícola, muchas veces sobredimensionada o incompatible con las condiciones del terreno, lo que ha favorecido prácticas deficientes de manejo y ha acelerado los procesos de degradación del suelo y pérdida de la capa fértil (Villagra-Mendoza et al., 2023). Por ende, la identificación de alternativas de mecanización apropiadas para pequeños productores cobra especial importancia. Las alternativas deben estar adaptadas a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas locales, para permitir un manejo eficiente, económico y sostenible del recurso suelo (Van Loon et al., 2020).

Estas son algunas opciones de mecanización a pequeña escala (figura 10):

- Tractores de dos ruedas o motocultores, diseñados para operar en superficies reducidas y con bajo consumo energético.
- Mecanización con tracción animal, utilizada para labores de acarreo y adecuación básica del terreno, especialmente en zonas rurales con limitaciones de acceso a maquinaria motorizada.

Figura 10.

Tipos de mecanización a pequeña escala. a. Monocultor; b. Mecanización por tracción animal.

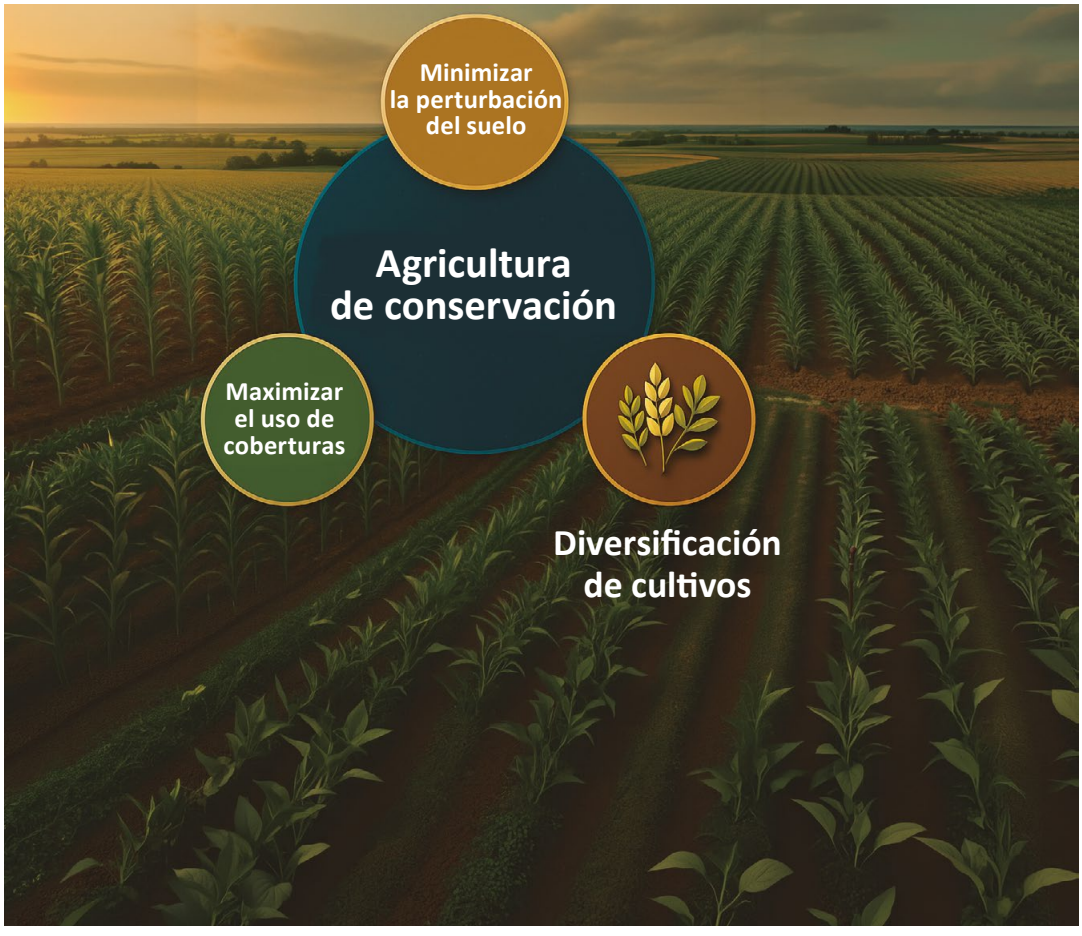


El uso a pequeña escala de estos implementos agrícolas ofrece ventajas significativas frente a la mecanización convencional, especialmente en suelos frágiles y con pendientes mayores de 7%. Se adaptan más a las condiciones del terreno; tienen un peso liviano, que reduce la compactación del suelo, y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la operación (Baudron et al., 2015; López Gómez & Van Loon, 2018; Sims & Kienzle, 2016). Estas alternativas, además de más asequibles, se adaptan mejor a los microclimas y condiciones topográficas de los predios. Favorecen una agricultura más resiliente y tecnificada, bajo un enfoque de conservación donde predominan los sistemas de producción a pequeña escala.

Agricultura de conservación (AC): sistema de producción sustentable basado en la mínima o nula labranza del suelo, el uso de coberturas vegetales vivas o muertas, y la rotación o diversificación de cultivos (Mitchell et al., 2019). Estos tres principios fundamentales (figura 11) actúan sinérgicamente para mejorar la estructura del suelo, reducir la erosión, incrementar la fertilidad y promover la sostenibilidad del agroecosistema (Kirkegaard et al., 2020; Page et al., 2020).

Figura 11.

Pilares de la agricultura de conservación: migrar a sistemas agrícolas sostenibles va de la mano con una buena gestión del recurso suelo a lo largo del tiempo.



Fuente: OpenAI (2025)

Este enfoque es importante para abordar las principales problemáticas edáficas, como la compactación del suelo, la escorrentía superficial, la pérdida de la capa fértil, la baja productividad y la disminución de la fertilidad. Frente a estos desafíos, se han identificado dos grandes estrategias de manejo sostenible: 1) adecuación mecánica del terreno, ajustada a las condiciones específicas del suelo, y 2) uso de coberturas vegetales, que mejoran la materia orgánica, fomentan el desarrollo radicular y reducen la erosión.

La combinación de ambas estrategias ha demostrado ser eficaz, económica y de fácil implementación, en especial para pequeños productores. Además, se alinea con los principios de la agricultura regenerativa, al favorecer el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia agroecosistémica frente al cambio climático (García R. et al., 2018; Sanabria Quispe et al., 2021).

Adecuación de terreno (labranza): una de las prácticas más relevantes en este contexto es la labranza de conservación, que busca reducir al mínimo la perturbación del suelo. Necesita de aperos agrícolas adecuados, como el cincel rígido o vibratorio (figura 12), en combinación con residuos de cosecha y cultivos de cobertura. Se recomienda una proporción del 70% de cultivo principal y 30% de cobertura vegetal (García et al., 2018; Sanabria Quispe et al., 2021). Estas prácticas promueven una serie de beneficios edáficos y ecológicos: mejoran infiltración y retención de agua, incrementan el carbono orgánico del suelo, aumentan la actividad biológica y mejoran la estructura del suelo (Manzeke-Kangara et al., 2025). Además, se ha evidenciado un incremento en la diversidad y abundancia de macrofauna, mesofauna y microorganismos edáficos, indicadores claves de la salud del suelo.

Figura 12.

Labranza profunda. a. Implemento agrícola acoplado al tractor; b. Operación de labranza profunda en campo.



Fotos: José Luis Contreras

Cada tipo de suelo requiere un manejo específico. Es crucial identificar propiedades de fácil diagnóstico, como densidad aparente, resistencia a la penetración, profundidad radicular o capas compactas. La evaluación de estas variables permite formular recomendaciones técnicas más precisas para la adecuación del terreno y adoptar prácticas de agricultura de conservación (Gómez-Calderón et al., 2018; Singh et al., 2020).

Uso de coberturas vivas y muertas

Estrategia fundamental para la protección, conservación y restauración del suelo agrícola. Estas coberturas favorecen la conservación de la humedad, regulan la temperatura del suelo, mejoran su estructura, promueven la actividad biológica y aumentan el contenido de materia orgánica, lo que fortalece las reservas de carbono edáfico (Page et al., 2020). En contraste, el uso continuo de monocultivos impacta negativamente las propiedades edáficas al agotar los nutrientes del suelo, generar baja fertilidad física y química, y aumentar la incidencia de plagas y enfermedades por falta de diversidad vegetal (Guamán et al., 2023). Este tipo de prácticas reduce la capacidad del suelo de continuar la producción de manera sostenible en el tiempo (figura 13).

Figura 13.

Asocio de maíz con cobertura viva (leguminosa).



Las coberturas muertas o barbechos, compuestas principalmente por residuos de cosecha, también cumplen funciones ecológicas clave. Actúan como aislantes naturales del suelo, ayudan a reducir la evaporación, minimizan el impacto de la lluvia sobre la superficie, limitan la aparición de malezas y contribuyen al secuestro de carbono, a través de la descomposición lenta de los materiales orgánicos (Palm et al., 2014). Las coberturas vivas y muertas se consideran pilares dentro de los sistemas de agricultura de conservación y regenerativa, especialmente en regiones como el Caribe, donde las condiciones edafoclimáticas demandan estrategias adaptativas y sostenibles para mitigar los efectos del cambio climático y la degradación del suelo.

Diagnósticos rápidos y prácticos de limitantes físicas y químicas del suelo en sistemas agrícolas

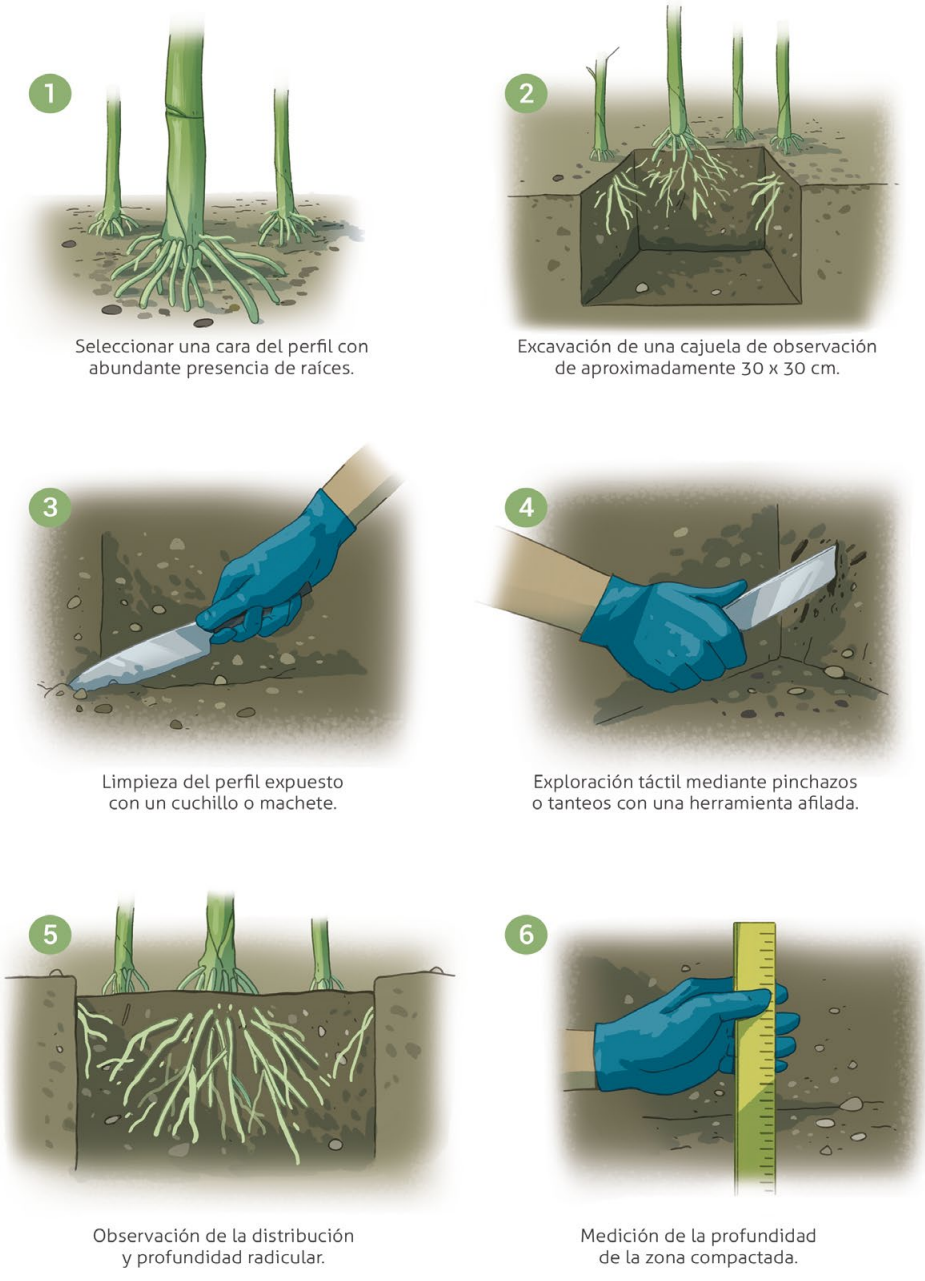
Existen diversos factores limitantes edáficos que pueden afectar el desarrollo óptimo de los cultivos. Comprender e identificar estas limitaciones permite diseñar estrategias de manejo que mejoren las condiciones del suelo en las áreas de intervención que promuevan sistemas agrícolas más productivos y sostenibles. Estas limitantes se clasifican en dos tipos:

Limitantes físicas

Asociadas principalmente a la compactación del suelo, se encuentran entre las restricciones más comunes para el crecimiento y desarrollo radicular (López Hernández et al., 2020). Reducen el espacio poroso del perfil edáfico por la aplicación de fuerzas externas como la sobremecanización, el uso inadecuado de implementos agrícolas, el pisoteo del ganado o el tránsito frecuente de maquinaria pesada. En la figura 14 se relacionan los pasos de diagnóstico en campo, que proporcionan información clave para la toma de decisiones en relación con prácticas como la labranza profunda o el uso de cultivos de cobertura.

Figura 14.

Diagnóstico de compactación del suelo. 1. Excavar una cara del perfil con abundantes raíces. 2. Limpiar el perfil para observar la estructura del suelo. 3. Hacer exploración táctil para identificar cambios en la dureza del suelo. 4. Observar distribución radicular e identificar la profundidad con mayor concentración de raíces. 5. Medir la profundidad de la zona compactada, para registrar el punto en el que cambia la dureza del suelo y hasta dónde penetran las raíces.



Fuente: Elaboración propia

Limitaciones químicas

Relacionadas con la fertilidad química del suelo, es decir, con la capacidad del suelo de suministrar los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Los nutrientes se agrupan en macronutrientes —nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na)— y micronutrientes —hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B)—.

La deficiencia, exceso o desequilibrio de estos elementos afecta negativamente el crecimiento, la productividad y la sanidad del cultivo. Se recomienda realizar análisis químicos del suelo antes de establecer un plan de fertilización. Las siguientes son formas prácticas y caseras para determinar algunos parámetros químicos del suelo:

Estimación de la reacción del suelo (pH) con vinagre de cocina y bicarbonato de sodio: permite identificar si un suelo es ácido, neutro o alcalino, mediante una prueba visual. Si con el uso de vinagre se produce efervescencia o burbujas, el suelo es alcalino, con un pH entre 7 y 8. En el caso del bicarbonato, la aparición de efervescencia sugiere que el suelo es ácido, con un pH entre 5 y 6. Si no se observa ninguna reacción en ambas pruebas, se interpreta que el suelo tiene un pH neutro, cercano a 7 (figura 15). Aunque este método no sustituye un análisis de laboratorio, puede ser útil como herramienta inicial para comprender las condiciones químicas del suelo y orientar prácticas de manejo adecuadas en sistemas agrícolas (FAO, 2020).

Figura 15.

Estimación del pH del suelo con vinagre y bicarbonato.
1. Recolectar una muestra representativa de suelo
(eliminar rocas, raíces o cualquier material orgánico presente en la muestra).
2. Dividir la muestra en dos recipientes. 3. Añadir aproximadamente media taza de vinagre en el primer recipiente y observar la reacción.
4. En el segundo recipiente, mezclar la muestra con agua destilada (o agua de la llave reposada mínimo 48 h), formar una pasta, agregar media taza de bicarbonato de sodio y observar la reacción.



Fuente: Elaboración propia

Estimación visual del contenido de materia orgánica del suelo con peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30 %, agua oxigenada): este método se basa en los compuestos orgánicos de la muestra. Especialmente útil para comparaciones rápidas entre diferentes horizontes del perfil del suelo. Facilita la identificación preliminar de zonas con mayor o menor potencial de fertilidad, y apoya decisiones prácticas de manejo agronómico (FAO, 2020). La intensidad de la reacción observada, manifestada con la presencia de burbujas o liberación de espuma, permite una estimación visual del contenido de materia orgánica. Si no se observan burbujas, se interpreta como un contenido pobre; si la efervescencia es leve, el contenido es moderado; y una efervescencia intensa indica un contenido alto de materia orgánica (figura 16).

Figura 16.

Estimación visual del contenido de materia orgánica del suelo con peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). 1. Recolectar una pequeña cantidad de suelo representativa y eliminar raíces, piedras y restos vegetales visibles. 2. Añadir unas gotas de agua oxigenada a la muestra del suelo. 3. Observar la reacción.



Fuente: Elaboración propia





Capítulo 4

Recomendaciones técnicas de manejo integrado del cultivo de maíz con enfoque sostenible

En este capítulo, el modelo productivo se enfoca en actividades claves como siembra, manejo de arvenses, nutrición, y control de plagas y enfermedades. Se deben realizar de forma organizada y es importante usar productos orgánicos y biológicos para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz.

Siembra

En la región Caribe, el maíz se siembra durante todo el año, siempre y cuando se disponga de suficiente agua para completar el ciclo del cultivo. El requerimiento hídrico del maíz está entre 500 y 700 mm de precipitación (Ortigoza Guerreño et al., 2019). La siembra es bimodal, es decir, se realiza en los dos semestres del año. Para el primero, los productores inician la siembra entre los meses de abril y mayo, y para el segundo, entre agosto y septiembre.

No obstante, en lotes ubicados en áreas aledañas a ríos y ciénagas, caracterizados por suelos encharcables (terrenos bajos), la siembra se realiza una vez baja el nivel del agua, lo que coincide con el inicio de la época seca del año (diciembre, enero y febrero).

Con base en las características de cada terreno, se deben tener en cuenta las recomendaciones del capítulo 3, donde se relacionan las prácticas que se pueden desarrollar para la adecuación del terreno. Las recomendaciones están alineadas con una agricultura regenerativa y de conservación, e incluyen mecanización convencional y agricultura de conservación.

Una vez adecuado el terreno, se siembra de forma manual o mecánica (figura 17). Antes, se aconseja incorporar materia orgánica estabilizada, como lombriabono o lombricompost, bovinaza u ovinaza, para mejorar la aireación y la retención de humedad en el suelo, y aumentar la fertilidad. La adición de materia orgánica ayuda a mejorar la calidad y la salud del suelo, y esto se traduce en mayores rendimientos de los cultivos (Shu et al., 2022).

Figura 17.

Métodos de siembra para el cultivo de maíz. a. Siembra manual con chuzo; b. Siembra manual con sembradora abonadora rotativa; c. Siembra mecánica.



Fotos: José Tapia

La siembra de maíz es manual o mecánica. La elección del método depende del tipo de productor, la disponibilidad de maquinaria y las condiciones del suelo (mecánica o no). Para la siembra manual con chuzo, se recomienda una distancia de 80 cm entre líneas o calles y de 40 cm entre sitios o plantas, con dos semillas por sitio. En la siembra mecánica, se emplean sembradoras neumáticas de precisión, calibradas a una distancia de 80 cm entre calles y 20 cm entre semillas, lo que equivale a cinco semillas por metro lineal. Para ambos métodos, la profundidad de la semilla debe estar entre 3 y 5 centímetros. Una semilla de mayor tamaño puede tolerar mayor profundidad, y viceversa.

Independientemente del método utilizado, se busca establecer una población aproximada de 62.500 plantas por hectárea, con una profundidad de siembra que no supere los 3 cm y una semilla uniforme en tamaño y forma. Esto asegura una germinación homogénea y un adecuado establecimiento del cultivo.

Manejo de arvenses

El cultivo de maíz requiere especial atención principalmente durante los primeros 35 días (Mejía Kerguelén et al., 2020) para el manejo adecuado de las arvenses. Durante este tiempo, el cultivo debe permanecer lo más limpio posible para evitar competencia directa con las arvenses por luz, nutrientes, agua y espacio.

El control de arvenses empieza con la selección del terreno para la siembra. Es importante identificar el tipo de arvenses (hojas anchas o angostas, leñosas o herbáceas) y su estado de crecimiento y madurez (etapa vegetativa o de floración). Así se facilita el manejo y se puede decidir el mejor método de control.

Si la siembra es directa (sin remoción del suelo con maquinaria agrícola), el control de arvenses puede realizarse de forma manual, con machete o guadañadora, o mediante un herbicida de amplio espectro, como el glifosato o el glufosinato de amonio.

Cuando la siembra se lleva a cabo en suelos mecanizados (preparados con tractor y rastra pesada o liviana), se aconseja aplicar herbicidas preemergentes selectivos, como pendimetalina o S-metolacloro, en dosis de 1,5 a 2 L/ha. También puede utilizarse atrazina en dosis de 1,5 a 2 kg/ha. Estos productos se aplican mezclados con herbicidas no selectivos, como el glifosato, en dosis de 2 a 3 L/ha, si se presentan arvenses en el lote al momento de la siembra.

Posteriormente, en la etapa de posemergencia tardía, y si el cultivo lo requiere, se hace control de forma dirigida, con una bomba de espalda. En este caso, se sugiere aplicar un herbicida no selectivo como glufosinato de amonio, en mezcla con un herbicida sistémico posemergente selectivo como picloram, en dosis de 1,5 y 0,6 L/ha, respectivamente.

Manejo de plagas y enfermedades

Cuando se habla de limitantes bióticas en maíz y en general en las plantas, se hace referencia a todas aquellas plagas y enfermedades resultado de la colonización, establecimiento y multiplicación de hongos, virus, bacterias, nematodos o cualquier otro tipo de organismo vivo en las plantas. El aumento en la incidencia de la enfermedad en campo afecta el rendimiento del cultivo, dado que altera el sistema vascular de las plantas e impide el adecuado movimiento de nutrientes, por manchas en la hoja (que afectan procesos metabólicos como la fotosíntesis) o por pudrición de granos en cosecha.

El maíz es un cultivo de seguridad alimentaria, y las plagas y enfermedades que lo afectan pueden reducir la disponibilidad de alimentos, conducen a una mayor dependencia de las importaciones e impactan la economía negativamente. Por lo anterior, la identificación temprana y el respectivo manejo preventivo y/o control de los patógenos o agentes causales de enfermedades es fundamental para minimizar los efectos en el rendimiento. La investigación y el desarrollo de medidas principalmente preventivas y, en caso de requerirse, curativas, permiten a los agricultores proteger sus cultivos, reducir las pérdidas y alcanzar un rendimiento óptimo dentro de su sistema productivo.

Métodos generales para controlar la diseminación de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz

Son distintas las metodologías para controlar los patógenos en el maíz, según el tipo de agente causal. Los siguientes son los métodos más comunes:

Rotación de cultivos: método en el que se alterna el cultivo de maíz con otro que no sea susceptible a su mismo rango de patógenos. Así es posible reducir el inóculo de patógenos en el suelo o insectos vectores, cuyo hospedero real es el maíz, lo que evita la acumulación de patógenos específicos para esta especie durante ciclos consecutivos.

Uso de variedades resistentes-tolerantes: se seleccionan variedades con resistencia o tolerancia a la infección de patógenos causantes de enfermedades. De esta manera se reduce el porcentaje de incidencia y se mantiene el rendimiento promedio de las plantas. La respuesta de una variedad suele ser específica para un patógeno o una de sus variantes y no aplica para un amplio rango de organismos causantes de enfermedades.

Prácticas de siembra adecuadas: este método parte del establecimiento de la semilla, de la profundidad y de la distancia de siembra adecuadas. Promueve un mejor desarrollo de las plantas de maíz, reduce estrés y competencia, y brinda una ventaja adaptativa del material para tolerar la presión ejercida por los patógenos. También debe asegurarse el drenaje correcto. Evitar la acumulación de humedad, que favorece el desarrollo de enfermedades.

Saneamiento y limpieza posterior a la cosecha: eliminar restos de plantas infectadas o enfermas y remover plantas espontáneas después de la cosecha. Esto evita la propagación y persistencia de enfermedades en los siguientes ciclos de cultivo. También es importante mantener equipos y herramientas de trabajo limpios y desinfectados para evitar dispersión de patógenos.

Fertilización y nutrición adecuada: la nutrición debe ser equilibrada y estar basada en los requerimientos del genotipo y los análisis de suelos. El uso adecuado de fertilizantes, con base en lo anterior, favorece un

suministro adecuado de nutrientes a las plantas, evitando estrés de tipo abiótico que aumente la susceptibilidad a patógenos.

Principales limitantes fitosanitarias en el cultivo de maíz

El maíz es uno de los cultivos estratégicos para la seguridad alimentaria y la economía agrícola de la región Caribe. No obstante, su productividad enfrenta múltiples desafíos fitosanitarios, entre ellos las plagas insectiles, que históricamente han tenido un impacto significativo. Entre las principales especies que afectan el cultivo se destacan el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el barrenador del tallo (*Diatraea* spp.) y el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*), que ocasionan daños directos en follaje, tallos y órganos reproductivos, y reducen sustancialmente los rendimientos.

En los últimos años ha emergido una enfermedad de especial preocupación, conocida como "complejo de achaparramiento del maíz", cuya diseminación está asociada al insecto vector *Dalbulus maidis* (chicharrita del maíz). Este complejo puede comprometer severamente el desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo, y provocar pérdidas significativas de productividad. Dado el carácter emergente del complejo fitopatológico y la escasa información disponible en el Caribe, en este documento se le da un enfoque prioritario, con el fin de brindar herramientas técnicas que permitan su adecuada identificación, manejo y prevención.

Complejo de achaparramiento del maíz

Enfermedad causada por dos o tres agentes. Con mayor importancia y efecto sobre las plantas se encuentran *Spiroplasma kunkelii* y el fitoplasma *Candidatus phytoplasma asteris*, ya que estos dos patógenos o Mollicutes en el proceso de infección producen metabolitos y hormonas que alteran el metabolismo interno de la planta (Haas et al., 2023). Se expresan en síntomas asociados con alteraciones en el desarrollo, como acortamiento de entrenudos, clorosis, senescencia prematura y pigmentaciones rojizas en las plantas (figura 18).

Figura 18.

Afectaciones por el complejo de achaparramiento. a. Plantas de maíz con síntomas del complejo de achaparramiento (acortamiento de entrenudos, inadecuada floración, clorosis y pigmentación rojizas); b. Planta en inicio de floración con pigmentaciones rojizas en hojas.



Fotos: Ángela María Vargas

Dentro de este proceso de coinfección también puede estar presente el virus del rayado fino del maíz (RFMV), pero en un porcentaje menor. La trasmisión de estos patógenos a la planta está mediada por insectos chupadores, principalmente de la familia Cicadellidae, género *Dalbulus* spp.

Como su nombre lo indica, las plantas afectadas por esta enfermedad presentan alteraciones en su desarrollo, lo que compromete directamente el rendimiento del cultivo (figura 19). Una de las principales limitantes en su manejo es que la expresión visible de los síntomas suele manifestarse hasta la etapa de floración, a pesar de que la infección por los patógenos involucrados se produce en estadios tempranos del cultivo. Por esta razón, la principal estrategia de manejo es el control de poblaciones de los insectos vectores.

Figura 19.

Alteración en el llenado y formación de mazorcas. a. Efecto por la colonización de los patógenos espiroplasma y fitoplasma; b. Efecto por alteraciones en la polinización.



Fotos: Ángela María Vargas

Agentes causales del complejo de achaparramiento del maíz

Mollicutes: son las bacterias más pequeñas conocidas hasta el momento. No presentan pared celular, y como consecuencia tienen una membrana plasmática altamente flexible que les da forma variable y gran movilidad dentro de la planta. Esta ausencia de pared celular también les permite atravesar pequeñas aberturas y colonizar distintos tejidos. El principal mecanismo de diseminación entre plantas es a través de insectos chupadores; se multiplican en ellos y los convierten en vectores altamente virulíferos después de alimentarse de una planta enferma.

En el maíz, los principales patógenos involucrados pertenecen al grupo de los Mollicutes, que incluyen fitoplasmas y espiroplasmas. El fitoplasma se reconoce por el enanismo arbustivo del maíz (MBSP, por las siglas en inglés de *Maize Bushy Stunt Phytoplasma*), clasificado dentro del clado

Candidatus Phytoplasma asteris. El espiroplasma del enanismo del maíz (css, por las siglas en inglés de *Corn Stunt Spiroplasma*) tiene como agente causal a *Spiroplasma kunkelii*.

***Candidatus Phytoplasma asteris* o fitoplasma del enanismo arbustivo del maíz (MBSP):** su trasmisión se da de forma natural por hemípteros que se alimentan de la savia del floema. En este modo de transmisión, la adquisición e inoculación del patógeno suele requerir periodos relativamente largos (de minutos a horas) de alimentación en los elementos del tubo criboso de la planta. Tras la adquisición, el fitoplasma coloniza varios órganos internos del insecto, hasta que llega a las glándulas salivales.

El insecto inocula al fitoplasma en una planta sana y así repite el ciclo de propagación. Para Colombia, el principal vector reportado es el cicadélido del género *Dalbulus*. Las infecciones causadas por fitoplasmas provocan una amplia variedad de síntomas en las plantas, incluidos enanismo, deformaciones, clorosis, alteraciones en el desarrollo, y proliferación de brotes. El control de las infecciones por fitoplasmas debe tener un enfoque preventivo, basado en el control de las poblaciones de insectos vectores para así interrumpir el ciclo de diseminación del patógeno.

***Spiroplasma kunkelii* o espiroplasma del enanismo del maíz (CSS):** bacteria filiforme y helicoidal, caracterizada por tener un diámetro muy reducido, de 0,1 a 0,4 µm, y una longitud muy variable, que puede alcanzar varios cientos de micrómetros. A diferencia de la mayoría de bacterias, el espiroplasma carece de pared celular y es más flexible. Puede adoptar una forma helicoidal, es capaz de pasar a través de filtros de tamaño bacteriano y es resistente a ciertas enzimas. El espiroplasma es un microorganismo móvil, que se desplaza a través de un sistema de flagelos que se encuentran en los extremos del organismo. Además, se caracteriza por tener una membrana plasmática muy resistente que le permite sobrevivir en condiciones adversas.

Spiroplasma kunkelii es el agente causal de la enfermedad del enanismo del maíz. Al igual que los fitoplasmas, esta bacteria se trasmite a través de insectos como el cicadélido *Dalbulus maidis*. Los espiroplasmas emplean diversas estructuras de fijación para iniciar el contacto con las células de los insectos. Las membranas del espiroplasma en contacto con la lámina exterior de las células epiteliales y musculares de los insectos aparecen

engrosadas, con apéndices similares a fimbrias que aparentemente sobresalen de la superficie celular de *S. kunkelii*. Parecen adheridos a las láminas externas de las células epiteliales y musculares de los insectos (Özbek et al., 2003). Además, las células de *S. kunkelii* parecen estar conectadas entre sí por estructuras similares a pilos (Özbek et al., 2003). Estas estructuras de unión no se han observado en otros miembros de la clase Mollicutes (Razín et al., 2006), y los insectos vectores con mayor cantidad de fitoplasmas pueden presentar infecciones.

Insecto vector *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott): pertenece al orden Hemiptera y se encuentra estrechamente asociado al maíz, donde oviposita y multiplica la población (Virla et al., 1990). Los adultos y ninfas se alimentan de la savia de las hojas en desarrollo (figura 20). La importancia de este insecto radica en que actúa como vector de los patógenos causantes del complejo de achaparramiento del maíz (Ebbert & Nault, 2003; Nault & Ammar, 1989; Oliveira et al., 1998; Varón & Sarria, 2007). El ciclo de vida tiene una duración promedio de 45 días.

Figura 20.

Dalbulus maidis. a. Insecto con pigmentación amarilla y manchas ocelares. b; Adulto en proceso de alimentación de una planta de maíz en etapa V7.



Fotos: Ángela María Vargas

Los adultos se caracterizan por presentar una coloración blanco amarillenta, con dos puntos negros redondos en la corona de la cabeza denominados "manchas ocelares" (figura 21). Su principal hospedero es el maíz, pero en ausencia de este, *Dalbulus maidis* puede encontrarse en otras poáceas, como avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), centeno (*Secale cereale*), sorgo (*Sorghum*), trigo (*Triticum*), caminadora (*Rottboellia exaltata*) y pasto Johnson (*Sorghum halepense*) (Nielson, 1975; Varón & Sarria, 2007).

Estudios realizados en México sobre la biología de *Dalbulus maidis* han demostrado que la temperatura influye significativamente en su supervivencia y fecundidad. A temperaturas cercanas a 29 °C, esta especie presenta mayor longevidad y tasas reproductivas más altas en comparación con otras del mismo género (Madden et al., 1986). Asimismo, se ha evidenciado que las temperaturas altas y las condiciones secas favorecen el crecimiento poblacional de este insecto (Varón & Sarria, 2007). En el contexto actual del cambio climático, caracterizado por un aumento sostenido de las temperaturas promedio, esta especie ha adquirido una ventaja adaptativa significativa, lo que potencia su capacidad de colonización y transmisión de patógenos.

Interacción entre agente causal y vector

***Dalbulus maidis*–Mollicutes:** interacción de tipo circulativa, propagativa y persistente. Los Mollicutes son adquiridos por el insecto a través de su estilete, que es introducido hasta los vasos conductores del floema de las plantas. Después de adquiridos, los patógenos pasan a través de la pared intestinal hacia la hemolinfa y luego a las glándulas salivales. Salen por la saliva sin perder la capacidad de infección, pero antes de esto, en un promedio de 23 días se multiplican en la hemolinfa de *D. maidis*, y se convierten en vectores altamente infectivos (Nault & Ammar, 1989). Una vez *D. maidis* adquiere alguno o los dos patógenos, MBSP o CSS, puede transmitirlos por el resto de su vida, pero no a su descendencia, según lo que se has corroborado de la transmisión transovárica hasta el momento. Por lo general, en un campo afectado por achaparramiento, aproximadamente 10% de la población del insecto vector transmite la enfermedad (De Luque et al., 2003).

Dalbulus maidis-Spiroplasma kunkelii: se ha registrado el patógeno en dos condiciones de campo: durante la estación seca, *S. kunkelii* aparece en más sitios de baja elevación con riego, en comparación con sitios de alta elevación sin sistema de riego. No obstante, durante las temporadas de lluvia es posible encontrar adultos de *D. maidis* de mayor tamaño asociados a migraciones (Moya-Raygoza et al., 2007).

D. maidis muestra tropismo positivo por las primeras etapas de desarrollo del maíz, cuando los tejidos tienen menor grado de lignificación y la inserción del estilete resulta más sencilla. Sin monitoreo, las plantas suelen infectarse en las primeras etapas de desarrollo, después de su emergencia. Sin embargo, los síntomas se expresan en la etapa fenológica VT.

Manejo en campo del complejo de achaparramiento del maíz

Las principales estrategias para el manejo del achaparramiento del maíz se basan principalmente en el control de las poblaciones del insecto vector. Se recomiendan las siguientes:

Control legal: dado que *D. maidis* es un insecto cuyo hospedero principal es el maíz, una de las estrategias más eficientes es regular las fechas de siembra en zonas de alta incidencia. Esta medida, implementada por el ICA, tiene como objetivo interrumpir el ciclo biológico del vector, de manera que al momento del establecimiento del cultivo las poblaciones infectivas se hayan reducido significativamente. La siembra continua, con plantas en distintos estados fenológicos a lo largo del tiempo, favorece una oferta constante de hospedaje para el insecto (figura 21). Esto aumenta las poblaciones de vectores, lo que se agrava aún más bajo condiciones de variabilidad climática, especialmente durante épocas secas, con altas temperaturas y bajas precipitaciones.

Figura 21.

Cultivos de maíz con 15 días de diferencia de siembra. La flecha blanca indica el riesgo de movimiento del vector, de plantas más desarrolladas a plantas jóvenes.



Fotos: Ángela María Vargas

Eliminación de plantas espontáneas de cosechas anteriores: con el paso de la cosecha, es necesario recolectar los residuos de mazorca o granos que quedan en el suelo, con el fin de evitar la aparición de plantas espontáneas. En ocasiones, en ciclos de siembra posteriores, es conveniente aplicar herbicidas luego de preparado el suelo (figura 22).

Figura 22.

Plantas espontáneas de ciclos anteriores en un lote de maíz.



Foto: Ángela María Vargas

Siembra adecuada y manejo general del cultivo: es importante una siembra adecuada, a una profundidad aproximada de 5 cm, con una planta por punto y buen drenaje dentro del lote. Evita la competencia entre plantas y el estrés abiótico, condiciones que favorecen una enfermedad más fuerte, dado el efecto sinérgico que se da entre diferentes tipos de estrés (biótico y abiótico) (figura 23).

Figura 23.

Plantas de maíz bajo estrés abiótico favorecen la aparición y desarrollo de la enfermedad. a. Altas densidades producen alta competencia entre plantas; b. Plantas bajo estrés por inundación, con síntomas de achaparramiento y clorosis.



Fotos: Ángela María Vargas

Monitoreo: implementar estrategias efectivas de manejo del vector *D. maidis* requiere, como primer paso, monitorear el cultivo desde la emergencia. El monitoreo se realiza semanalmente y al menos durante los primeros 40 días después de la emergencia, periodo crítico en el que se produce la infección temprana de los Mollicutes. Las metodologías de monitoreo pueden ser de dos tipos:

- **Monitoreo visual:** se seleccionan mínimo cinco puntos del predio, ubicados en los bordes. En cada punto, se cuantifica el número de plantas y de *D. maidis* por metro lineal. Para la toma de decisiones, se calcula la relación entre el número de adultos y el total de plantas. Si la relación es mayor o igual a 0,7 adultos por planta, se hace control químico para reducir las poblaciones.
- **Monitoreo con trampas amarillas:** consiste en instalar trampas adhesivas amarillas en cinco puntos del predio, ubicados en los bordes. Se cuantifica el número de adultos por cada trampa. Se calcula la relación entre el número de adultos y el total de trampas. Si es mayor o igual a un adulto por trampa, debe realizarse algún control.

  Nota: se recomienda revisar el listado de productos registrados y permitidos por el ICA para el cultivo de maíz, y la molécula de los productos. Es importante seguir las recomendaciones del asistente técnico del cultivo: https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Agricola/Copia-de-INSUMOS-PERMITIDOS.pdf.aspx

- **Monitoreo de síntomas en arvenses asociadas al cultivo:** simultáneamente al monitoreo del insecto vector, se observan las arvenses en el cultivo, principalmente en los bordes del lote. Se debe poner énfasis en las especies de la familia Poaceae, que actúan como indicadoras de Mollicutes y significan un posible riesgo de afectación del cultivo (figura 24).

Figura 24.

Arvenses de la familia Poacea asociadas al cultivo de maíz con síntomas producidos por Mollicutes.



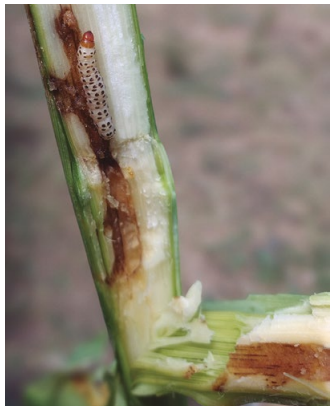
Foto: Ángela María Vargas

- **Manejo biológico:** como manejo biológico contra el insecto vector *D. maidis*, el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* ha mostrado los mejores resultados en cultivos de maíz entre los 300 y 400 m s. n. m. Se aplica desde el momento de la siembra, tanto en el área del cultivo como en los bordes del lote, específicamente sobre las arvenses asociadas. Durante la emergencia, las plantas entran en contacto con las esporas del hongo, y producen una estrategia de "superficie tratada". Cuando el vector se desplaza hacia las plantas de maíz, las esporas presentes en el follaje se adhieren al insecto, e inician la infección. En el segundo caso, la aplicación sobre las arvenses permite controlar las poblaciones de *D. maidis* refugiadas en ellas, y reducen el riesgo de migración hacia las plantas de maíz.

Otros problemas fitosanitarios de importancia en el cultivo

En la tabla 7 se mencionan otras plagas y enfermedades que históricamente han afectado la producción de maíz en la región Caribe.

Tabla 7. Problemas fitosanitarios de importancia en la región Caribe

Nombre común y científico	Imagen	Daño que ocasiona	Control
Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)		Afectación foliar. Raspaduras a las hojas jóvenes y adultas, mazorcas.	Control químico: Spinetoram 100 cc ha-1 Control biológico: *Bacillus thuringiensis*
Pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*)		En altas poblaciones produce enrollamiento de la hoja; favorece la fumagina ya que secreta sustancias azucaradas. También es transmisor de virus.	Control químico: Imidacloprid 200 cc ha-1 Control biológico: *Trichogramma* sp., *Cycloneda* sp., *Coleomegilla*
Barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*)		Perfora el tallo al barrenar la médula hacia arriba y abajo. Forma galerías donde se alimenta y se desarrolla hasta alcanzar el estado pupal. Cuando llega a estado adulto, abre un orificio para salir.	Control biológico por Telenomus alecto y Trichogramma sp. como parásitos de huevos, y Hymenoptero agathis stigmatemus, que parasita larvas. Debido a la ubicación de la larva dentro del tallo, el control químico es difícil y costoso.
Mancha café (*Physoderma maydis*)		Afectación foliar y en tallos. Pequeñas manchas en nervadura central, nudos y entrenudos, de forma circular y café oscuro.	Por experiencias en el Caribe húmedo, este tipo de enfermedad se presenta con un bajo porcentaje de infestación, que no afecta considerablemente el desarrollo del cultivo. Por esto no se emplean productos químicos para su control.

Nombre común y científico	Imagen	Daño que ocasiona	Control
Curvularia (*Curvularia lunata*)		Produce manchas pequeñas necróticas o cloróticas con una aureola de color claro.	Por experiencias en el Caribe húmedo, este tipo de enfermedad se presenta con un bajo porcentaje de infestación, que no afecta considerablemente el desarrollo del cultivo. Por esto no se emplean productos químicos para su control.
Cercospora (*Cercospora maydis*)		Las lesiones comienzan como manchas necróticas pequeñas, regulares y alargadas, café grisáceo, que crecen paralelas a las nervaduras.	
Carbón común (*Ustilago maydis*)		Formación de agallas de tamaño variable y color verde a grisáceo.	
Pudrición de mazorcas (*Stenocarpella maydis*)		En hojas se presentan lesiones en forma de pequeñas manchas pardas con halo clorótico y crecimiento irregular. En mazorca, se evidencia micelio blanco adherido a las paredes de las brácteas de la mazorca.	Tratamiento de semilla con *Trichoderma*. Adecuada nutrición del cultivo. Evitar altas densidades poblacionales, daños de plagas en la mazorca.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: José Jaime Tapia

Fertilización integral para el cultivo de maíz

Una adecuada fertilización de las plantas es clave para obtener el mayor rendimiento del maíz. A fin de diseñar un plan de fertilización en el cultivo, es fundamental iniciar con un análisis fisicoquímico del suelo. Los resultados de este diagnóstico, junto con los requerimientos nutricionales del cultivo (tabla 8), permiten establecer las dosis y fuentes más adecuadas. Dado que el maíz tiene una sensibilidad alta a este tipo de manejo, pueden usarse fertilizantes de síntesis química o biofertilizantes. Los primeros suministran nutrientes en concentraciones precisas para cubrir las demandas de la planta, mientras que los segundos aportan nutrientes, microorganismos y materia orgánica que mejoran la actividad biológica y la estructura del suelo (Álvarez-Solís et al., 2010). Por lo tanto, es conveniente promover un esquema de fertilización que integre ambas fuentes.

Tabla 8. Principales requerimientos nutricionales del cultivo de maíz

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
Requerimientos principales (kg t^{-1})	22	4	19	3	3	4

Fuente: Ortigoza Guerreño et al. (2019)

La fertilización empieza antes de la siembra con la incorporación de materia orgánica hasta las etapas V10 a V12 (cuando el cultivo ha desarrollado diez a doce hojas bien formadas).

De acuerdo con la experiencia de AGROSAVIA, se recomienda fertilizar en los siguientes momentos:

1. **Al momento de la siembra:** incorporar al suelo 1-2 t ha^{-1} de abono orgánico establilizado (lombriabono, lombricompost, bovinaza u ovinaza), de forma manual o con un arado de discos (rastra pesada) una única vez.

2. **Posterior a la emergencia de las plantas:** aplicar los biofertilizantes Fosfotal y Monibac, desarrollados por AGROSAVIA, cuyos principios activos corresponden a bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Azotobacter*, respectivamente. Se recomienda realizar dos aplicaciones. La primera en etapas V2-V3 (dos a tres hojas bien formadas), con una dosis de 0,5 L/ha de cada biofertilizante, con dilución en 150 L de agua. La aplicación se realiza sobre la superficie del suelo en la zona de influencia radicular (*drench*). La segunda se realiza en las etapas V5-V6 (cinco a seis hojas bien formadas), con la misma concentración y volumen de mezcla por hectárea.
3. En la etapa V5 (cinco hojas bien formadas), se aplica una mezcla de 46 kg ha-1 de N_2 (fuente de nitrógeno) y 25 kg ha^{-1} de K_2O (fuente de potasio).
4. En etapas V10-V12 (diez a doce hojas bien formadas), se aplican 50 kg ha^{-1} de N_2 (fuente de nitrógeno).

El manejo integrado de fertilizantes sintéticos y abonos orgánicos es importante para mejorar e incrementar los rendimientos del cultivo de maíz y reducir el impacto negativo en el medio ambiente. Recuerde aplicar los fertilizantes cuando haya suficiente humedad en el suelo y bajo la supervisión de un técnico.

Recomendaciones de manejo para la aplicación de productos

En la tabla 9 se dan recomendaciones para el uso y aplicación de productos químicos y biológicos.

Tabla 9. Recomendaciones de manejo para la aplicación de productos en el cultivo de maíz

Generales	• Leer etiqueta y ficha técnica del producto, para conocer dosis, compatibilidad y forma de aplicación. • **Uso de equipo de protección personal (EPP):** overol impermeable, botas de caucho, guantes, mascarilla o respirador con filtro, gafas y gorra/sombrero. Revisar antes el estado de los equipos de aplicación (bomba de aspersión, boquillas y mangueras), para evitar fugas o excesos en las aplicaciones. Tener en cuenta las condiciones climáticas. Aplicar muy temprano, en horas de la mañana, o al final de la tarde, y evitar temperaturas altas (>30 °C), vientos fuertes o lluvias, para minimizar deriva y pérdidas. • **Evitar mezclas con químicos incompatibles:** especialmente fungicidas de amplio espectro, que pueden eliminar los microorganismos. Los productos deben almacenarse en lugares ventilados, sin exposición al sol y fuera del alcance de niños y animales.
Durante la preparación de la mezcla	• Preparar la mezcla en sitio techado y ventilado, lejos de fuentes de agua, viviendas y animales. • Utilizar la dosis recomendada; no improvisar ni mezclar productos sin conocer su compatibilidad. • Utilizar agua sin residuos de detergentes u otros agentes contaminantes, para garantizar la eficiencia del producto. • Seguir la secuencia indicada por el fabricante para preparar la mezcla. Por lo general, primero se vierten los polvos mojables, luego los de suspensión y por último, las emulsiones.
Durante la aplicación en el cultivo	• Caminar a ritmo constante y mantener presión estable para lograr cobertura uniforme. • Aplicar en sentido contrario al viento para evitar que la aspersión caiga sobre el operario. • No comer, beber ni fumar durante la aplicación para evitar accidentes por ingestión del producto.
Después de la aplicación	• Posterior a la aplicación, enjuagar el equipo (bomba, mangueras y boquillas) con un triple lavado. • Someter los envases vacíos a un triple lavado, inutilizarlos (perforar) y entregarlos en puntos de recolección autorizados. • El personal de la aplicación, posteriormente, debe quitarse el equipo de protección, lavar bien manos y cara, y ducharse para eliminar residuos. • Registrar en el libro de campo fecha, producto, dosis, lote, condiciones climáticas para trazabilidad y eventualidades durante la labor.

Fuente: Elaboración propia



Capítulo 5

Cosecha y poscosecha, usos y aprovechamiento del maíz en la región Caribe

El maíz es uno de los cultivos más representativos y de mayor importancia socioeconómica en la región Caribe de Colombia, tanto por su papel en la seguridad alimentaria como por su contribución a las economías rurales. Este cultivo se destina a diversos fines: forraje para alimentación del ganado, grano para consumo humano y animal, semilla para nuevos ciclos productivos (Santacruz Castro et al., 2024). Cada uso responde a dinámicas particulares del entorno agrícola, económico y cultural de la región.

Uso del maíz como forraje en la alimentación de rumiantes

En el Caribe, con frecuencia se presentan sequías prolongadas, que limitan la oferta y la composición nutricional de las pasturas, e inciden negativamente en el desempeño productivo de los animales y la sostenibilidad económica de los sistemas productivos. Es necesario que los productores se anticipen a estos eventos, mediante una planificación forrajera, con el objetivo de producir la suficiente cantidad de forraje para atender los requerimientos de materia seca de las distintas categorías de animales que conforman el hato. Así se aseguran márgenes de productividad de los animales, especialmente durante los periodos críticos.

Los siguientes son los principales factores en la planificación del forraje para alimentar el hato: 1) definición de las especies forrajeras, 2) composición del hato ganadero, 3) áreas disponibles para el establecimiento de cultivos forrajeros, y 4) estrategias de conservación.

Especies forrajera con características productivas y nutricionales aceptables

En los sistemas productivos tradicionales del Caribe suelen utilizarse maíces convencionales o criollos, destinados a la alimentación humana y animal. Se caracterizan por una baja producción de grano y forraje y están asociados al manejo inadecuado del sistema de producción (en este caso pecuarios). A través de sus procesos de investigación, AGROSAVIA ha desarrollado variedades de maíz cuya selección se orienta a la producción de grano y forraje. En los sistemas productivos de la región, las variedades Agrosavia V-114 y Agrosavia V-117 (tabla 10) han producido forraje en cantidades de 25.000 a 36.000 kg ha^{-1}.

Tabla 10. Rendimiento de forraje de maíces convencionales y variedades empleadas en la alimentación animal

Variedad de maíz	Densidad de plantas	Rendimiento de forraje (kg ha^{-1})
Criollos	10.000	13.000 - 17.000
ICA V-109	62.500	22.000 - 28.000
Agrosavia V-114	62.500	25.000 - 30.000
Agrosavia V-117	62.500	28.000 - 36.000

Fuente: Elaboración propia

Composición del hato ganadero

Se debe conocer la composición y número de animales en el hato para estimar la cantidad de forraje según el periodo. Así se puede realizar una buena planificación forrajera. Normalmente, un hato está compuesto por vacas lactantes, vacas secas, animales de levante, crías y toros. Sus consumos de forraje verde y materia seca difieren dependiendo de la orientación productiva y el peso. El productor debe contar con una asesoría del asistente técnico que le permita precisar el nivel de consumo según la categoría animal.

En bovinos se considera un nivel de consumo diario de 10% de forraje verde y 3% de materia seca, según el peso vivo de los animales (Farina et al., 2021). Sin embargo, estos niveles pueden variar, sobre todo en sistemas de producción de bovinos del Caribe. Allí la alimentación se

basa principalmente en el pastoreo de gramíneas naturalizadas y/o introducidas, que tienen un comportamiento estacional en cuanto a rendimientos y características nutricionales debido al régimen de precipitaciones. En la tabla 11 se estima el consumo diario de forraje verde y de materia seca de las distintas categorías de animales.

Tabla 11. Consumo estimado de forraje diario por categoría animal

Composición del hato	Peso animal (kg)	CVF (kg)	CMS (kg)
Vacas lactantes	450	45	13,5
Vacas secas	400	40	12,0
Animales de levante	200-300	20-30	6,0 - 9,0
Crías	120-150	12-15	3,6 - 4,5
Toros	500	50	19,5

CVF: consumo de forraje verde; CMS: consumo de materia seca.
Fuente: Elaboración propia

En el Caribe, los rendimientos de materia seca de una pastura pueden disminuir entre 30 y 80% durante el periodo de sequía (Mejía-Kerguelén et al., 2020). Esto afecta el nivel de consumo de forraje y nutrientes y en consecuencia la producción de leche y la ganancia de peso de los animales. Las variaciones en la disponibilidad de forrajes deben ser tenidas en cuenta a la hora de implementar un plan de alimentación con forrajes conservados (ensilaje). No se trata de sustituir al 100% el consumo de forraje proveniente de la pastura, dado que esta práctica produce trastornos en el ambiente ruminal y puede ser costosa. Si se suplementa en periodos de sequía prolongados, primero se busca garantizar el mantenimiento basal de los animales. El nivel de suplementación para llenar los requerimientos de producción se modifica según el potencial genético de los animales.

Áreas estimadas para la producción de forraje

Es necesario conocer el potencial forrajero estimado y real de los genotipos de maíz a utilizar, ya que con esto es posible calcular el área necesaria para producir el forraje que requieren los animales durante el periodo crítico. La tabla 10 presenta los rendimientos promedio de forrajes registrados

en la región para elaborar ensilaje. Si bien estos rendimientos están relacionados con la oferta ambiental y el manejo agronómico, conviene emplear aquellos materiales que registren los mayores rendimientos para mejorar los costos de producción.

A manera de ejemplo, se plantea un ejercicio práctico para calcular la cantidad de ensilaje de maíz que se requiere para suplementar un hato compuesto por 20 vacas paridas, diez vacas escoteras, diez terneros de levante, cinco novillas y dos toros durante 120 días. Dado el consumo diario de forraje por categoría animal, se propone suplementar un 25 % del requerimiento diario de forraje verde para vacas lactantes y un 15 % para el resto de las categorías de animales. Con base en la información consignada en la tabla 12, se procede a cuantificar el consumo total de los animales durante el periodo indicado.

Tabla 12. Consumo total de animales y necesidad de ensilaje de maíz

Categoría animal	N.° animales	Consumo diario de forraje verde del hato (kg)	Necesidades de ensilaje para el periodo (kg)
Vacas lactantes	20	225	27.000
Vacas secas	10	60	7.200
Ternero de levante	10	37,5	4.500
Novilla	5	10,125	1.215
Toro	2	15	1.800
Total	**47**	**348**	**41.715**
% pérdida	**15**		**6.674**
Necesidades de forrajes			**47.972**

Fuente: Elaboración propia

En el proceso de conservación, se debe considerar un margen de pérdida de forraje que oscile entre 10 y 20 %, con el fin de asegurar las necesidades de los animales durante el periodo crítico. Para suplementar el hato del ejemplo anterior durante el periodo en cuestión, se deben producir 47.972 kg de ensilaje de maíz.

En el ejemplo anterior se tiene en cuenta el rendimiento promedio en una variedad de 32.000 kg ha^{-1}. La estimación del área para la producción del forraje resulta de la relación entre cantidad de forraje requerido para la alimentación del hato y rendimiento ofertado por la variedad de maíz (ecuación 1):

$$\text{Estimación de área} = 47.972 \text{ kg} / 32.000 \text{ kg ha}^{-1} = 1{,}45 \text{ ha} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Estrategias de conservación del forraje

Debido a que el ensilaje de maíz es un alimento voluminoso y con gran contenido de humedad, es clave definir el momento óptimo de cosecha para maximizar su valor nutritivo y conservación. Con base en las etapas fenológicas del cultivo de maíz, este momento corresponde a las etapas R5 y R6, donde el grano se encuentra en estado pastoso (Mejía-Kerguelén et al., 2020). En estas etapas, el grano presenta tres cuartas partes de línea de leche, un indicador que identifica el momento óptimo de la cosecha (figura 25). En el caso de las variedades de AGROSAVIA, estas etapas ocurren entre los 75 y 80 días después de la emergencia. Durante este periodo, el contenido de humedad de la planta oscila entre 65 y 70%, ideal tanto para el proceso de ensilado y asegurar un mejor rendimiento, como para alcanzar mayor palatabilidad y consumo por parte del ganado.

En áreas pequeñas (menores de una hectárea), la cosecha destinada a ensilaje se realiza de forma manual con el uso de equipos o herramientas como la guadañadora o el machete. Se corta la planta a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo. El forraje cortado se tritura con una picadora con motor eléctrico o de combustible. En cultivos de mayor extensión, se recomiendan máquinas cosechadoras de forraje con procesador de grano (*cracker*) acopladas al tractor, para garantizar el adecuado picado y triturado del forraje cosechado. Esto es importante para lograr una adecuada fermentación de los carbohidratos presentes en el grano.

Existen diversas estrategias para elaborar ensilaje, y entre las opciones más recomendadas por AGROSAVIA se encuentra el uso de una formaleta. Consiste en una estructura metálica que actúa como molde y que permite conservar el forraje en volúmenes ajustables según las necesidades del productor. Estas son sus principales ventajas:

Figura 25.

Indicador visual del momento óptimo de cosecha del maíz para ensilaje: grano en etapa de tres cuartos de línea de leche.



Fotos: José Cantero

- Permite ajustar la cantidad de ensilaje, lo que reduce pérdidas por manipulación al momento del suministro.
- No requiere maquinaria especializada para su uso.
- Es fácil de transportar, montar y desmontar.
- Su carácter móvil la hace adecuada para fincas con diferentes puntos de almacenamiento o uso.

La formaleta se coloca sobre una base cubierta con plástico impermeable (figura 26). Sobre esta se agregan capas delgadas de 15 a 20 cm de material vegetal previamente picado, que deben compactarse firmemente con pisones de madera o con los pies. Se pueden mezclar otros tipos de forrajes con alto contenido proteico, como matarratón, *Leucaena*, botón de oro y moringa, que mejoran el valor nutricional del ensilaje final. La calidad del ensilaje depende en gran medida de una adecuada compactación, que evita la entrada de oxígeno, favorece el proceso de fermentación y conserva del forraje (Mejía-Kerguelén et al., 2019).

Figura 26.

Forraje conservado en formaleta. a. Proceso de compactación del forraje con los pies; b. Torta de ensilaje; c y d. Tapado y amarre, e. Ensilaje.



Fotos: Emiro Suárez

Una vez la formaleta esté completamente llena con el material vegetal compactado, se retira la estructura metálica sin mover el forraje de su lugar. Se cubre el ensilado con plástico de calibre 4 y se amarran firmemente los bordes con pita de polipropileno. Para garantizar un sellado hermético, se recomienda colocar una capa de suelo en la base del molde, sobre el plástico, lo que contribuye a evitar la entrada de aire y favorece una adecuada fermentación anaeróbica.

El ensilaje se puede utilizar 30 días después de su elaboración. En este tiempo se obtiene un forraje estabilizado y listo para ser consumido por los animales. En la región Caribe colombiana, esta práctica se ha consolidado como la principal estrategia de suplementación alimentaria para bovinos durante los periodos de sequía, debido a que el ensilaje de maíz presenta niveles aceptables de energía y proteína. Además de su valor nutricional, el ensilaje representa una alternativa forrajera económicamente viable, ya que su producción implica costos más bajos en comparación con la compra de alimentos concentrados. Esto lo convierte en una opción sostenible y eficiente para la alimentación de rumiantes en sistemas productivos de diversa escala.

El ensilaje de maíz se caracteriza principalmente por su alto contenido energético, derivado principalmente del almidón del grano. No obstante, esta alternativa ofrece un aporte aceptable de proteína cruda, que puede oscilar entre 9,77 y 11,2% (tabla 13) y supera el requerimiento mínimo de proteína cruda para los rumiantes (7%). Entre los parámetros que determinan la calidad del forraje, se encuentran también la fibra en detergente neutro (FDN) y la fibra en detergente ácido (FDA). Se considera que un ensilaje de maíz debe presentar contenidos de FDN y FDA menores a 55 y 32%, respectivamente, ya que niveles más altos limitan el consumo y reducen la digestibilidad del forraje. El almidón tiene una relación directa con la cantidad de grano de la mazorca al momento de la cosecha. Un mayor contenido implica mayor nivel de nutrientes digestibles totales (NDT), lo que se traduce en un forraje de mayor valor energético (por esta razón, los valores ideales están por encima del 65%).

Tabla 13. Calidad nutricional de ensilajes de maíces en la región Caribe colombiana

Indicador	Promedio	D. E.
MS (%)	32,25	0,22
pH	3,82	0,03*
PC (%)	10,50	0,73
FDN (%)	55,13	3,98
FDA (%)	24,95	3,71
Almidón total (%)	14,74	4,42
NDT (%)	70,41	2,44
Digestibilidad MS (%)	76,85	2,62
EM (Mcal kg-1 MS)	2,66	0,11
Calcio (%)	0,02	0,03
Fósforo (%)	0,22	0,02

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable; D. E.: desvío estándar.

Fuente: Elaboración propia

Ensilaje de maíz para alimentar pequeños rumiantes

Al igual que en los bovinos, la alimentación de los ovinos se fundamenta en gramíneas naturalizadas, que tienen poco rendimiento y baja calidad nutricional, principalmente en la época de sequías, lo que afecta el desempeño productivo de los animales (Suárez-Paternina et al., 2020). En Carmen de Bolívar (Bolívar) se desarrolló un estudio con el objetivo de evaluar el ensilaje de maíz como suplemento en la alimentación de corderos criollos bajo pastoreo, en praderas de *Megathyrsus maximus* cv. Agrosavia Sabanera. Se compararon dos dietas:

- **Dieta 1 (D1):** ensilaje de maíz Agrosavia V-117 + yuca forrajera Agrosavia SM2081-34
- **Dieta 2 (D2):** ensilaje de maíz Agrosavia V-117.

Ambas dietas se ofrecieron en una cantidad equivalente al 1% del peso vivo de los animales (base seca). Estos fueron evaluados durante 52 días, incluidos diez de adaptación durante la época seca (enero-marzo), periodo en el que la producción y la calidad del forraje de las pasturas disminuyen notablemente. Aunque el pasto presentó un contenido de proteína cruda aceptable, superior al 7% requerido por los rumiantes, sus niveles de fibra (FDN y FDA) fueron altos, y esto limita la digestibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes (tabla 14). Se recurrió a la suplementación con ensilajes energético-proteicos, para mantener un buen desempeño productivo en los animales.

Tabla 14. Composición nutricional de pastura y ensilajes utilizados en el experimento

Ítem	*M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera	D2: Ensilaje de maíz	D1: Ensilaje de maíz yuca forrajera
MS (%)	31,25	32,25	29,96
PC (%)	11,59	10,50	14,29
EE (%)	1,55	1,79	2,52
FDN (%)	68,26	55,13	46,67
FDA (%)	38,63	24,95	22,03
Lignina (%)	8,60	5,44	4,62
Hemicelulosa (%)	29,63	30,19	24,65
Proteína soluble (%)	39,94	39,99	38,43
Proteína B (%)	53,36	48,17	48,00
Proteína C (%)	5,14	10,86	12,00
Almidón total (%)	1,71	14,74	12,23
CNE (%)	3,64	16,65	15,54
CS (%)	1,93	1,91	3,31
Calcio (%)	0,53	0,02	0,51
Fósforo (%)	0,25	0,22	0,24
NDT (%)	51,63	70,41	66,26
Digestibilidad MS (%)	56,60	76,85	72,39
EM (Mcal kg^{-1} MS)	1,83	2,66	2,47

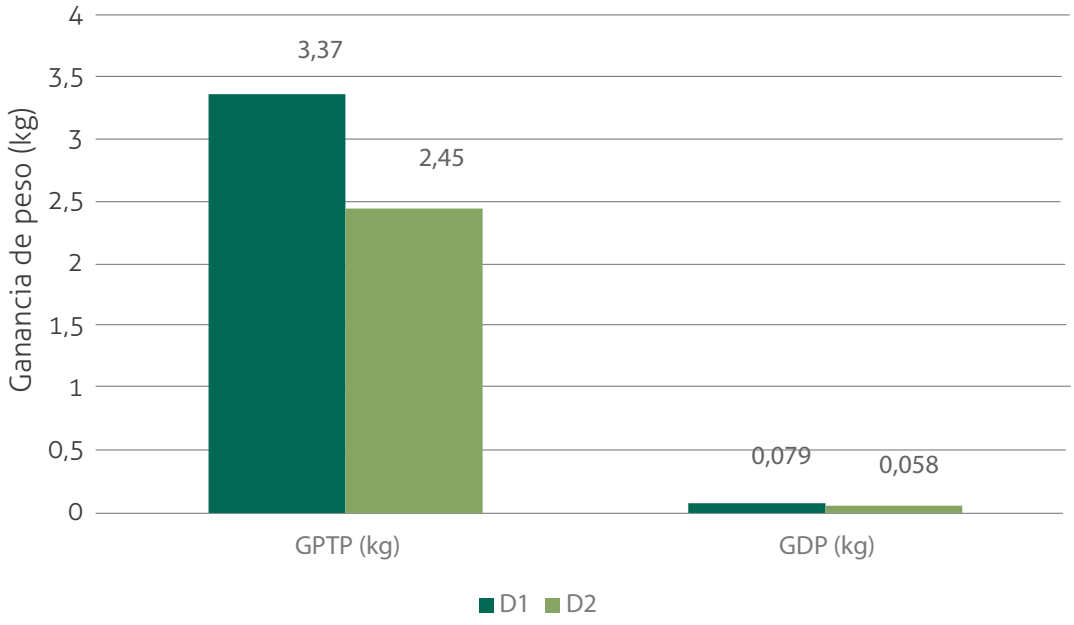
MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; EE: extracto etéreo; CNE: carbohidratos no estructurales; CS: carbohidratos solubles; NDT: nutrientes digestibles totales; EM: energía metabolizable.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, se observa el desempeño productivo registrado por los corderos suplementados con ensilajes. Aquellos que recibieron la dieta D1 (ensilaje de maíz y yuca) registraron mayor ganancia de peso total, superior en 27,2 % a la observada en los animales que recibieron solamente ensilaje de maíz (D2). Igual tendencia se registró para la ganancia diaria de peso, donde los animales suplementados con la dieta (D1) registraron una ganancia diaria de 0,079 kg/animal, superior en 26,5 % a la reportada en los animales alimentados con ensilaje de maíz (D2). No obstante, para la condición corporal no se observaron efectos significativos de la suplementación (figura 27), ya que los animales indicaron un puntaje corporal promedio de 3. Esto sugiere que ambas dietas contribuyeron a mantener una buena condición corporal de los animales.

Figura 27.

Desempeño productivo de corderos criollos suplementados con ensilaje.



D1: ensilaje de maíz + yuca forrajera; D2: ensilaje de maíz.

Fuente: Elaboración propia

Uso del maíz como grano

Si el maíz se destina a la producción de grano, el momento óptimo de cosecha es cuando el grano alcanza una humedad volumétrica de 18 a 20% (Mejía-Kerguelén et al., 2020). En la región Caribe, este punto generalmente coincide con los 120 días después de la siembra. La cosecha puede ser mecanizada o manual y en este último caso (figura 28), se separan las mazorcas de las plantas, se retira el capacho (brácteas u hojas que protegen la mazorca) y se depositan en sacos de polipropileno (tipo papero o cebollero), para una mejor ventilación.

Si la cosecha es mecanizada, se deben realizar los ajustes y mantenimientos preventivos necesarios, como la calibración de la altura de corte; la velocidad de operación; la revisión de cilindros, cribas y zarandas, y otros aspectos técnicos.

Figura 28.

Estado óptimo de cosecha de maíz para grano. a. Mazorca de maíz en madurez fisiológica; b. Mazorcas cosechadas y empacadas en saco de polipropileno; c. Proceso de selección y acopio manual de mazorcas.



Fotos: José Jaime Tapia

Consideraciones para antes de la cosecha de maíz

Antes de iniciar la cosecha, es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos para asegurar la calidad del grano y minimizar las pérdidas poscosecha:

Determinar contenido de humedad del grano: una humedad elevada aumenta el riesgo de daños mecánicos durante el desgrane y eleva los costos de secado. Por el contrario, si el grano está demasiado seco, aumentan las pérdidas por quebrado, por desgrane prematuro en campo o por mayor susceptibilidad al volcamiento de plantas. El rango de humedad ideal es cuando los granos de las mazorcas están entre 20 y 22% (Tapia Coronado et al., 2021). Se toman tres mazorcas con el capacho (brácteas), se desgranan las mazorcas y se toma una muestra de 100 gramos de grano aproximadamente. Se estima el valor real de la muestra con ayuda de un determinador de humedad de granos.

- **Condiciones climáticas durante la cosecha:** evitar la cosecha en días lluviosos o con alta humedad relativa, ya que estas condiciones favorecen el deterioro del grano y propician el desarrollo de hongos fitopatógenos como *Aspergillus* spp. y *Fusarium* spp., que producen micotoxinas perjudiciales para la salud animal y humana.
- **Logística y manejo poscosecha:** es indispensable garantizar una logística eficiente desde el campo hasta los sitios de secado y almacenamiento. El transporte se realiza en condiciones que aseguren limpieza, ventilación y sanidad del grano, y que eviten su contaminación o deterioro.

Todas estas sugerencias ayudan a disminuir las pérdidas en cosecha y a garantizar un buen rendimiento del cultivo. En la tabla 15, se presentan los principales rendimientos de grano y forrajes de maíz obtenidos en la región Caribe, en variedades Agrosavia.

Tabla 15. Rendimiento de grano y forraje (kg ha^{-1}) de variedades de maíz Agrosavia en diferentes localidades de la región Caribe húmedo

Localidad	Agrosavia V-121		Agrosavia V-117		Agrosavia V-160 QPM	Agrosavia V-159
	Grano	Forraje	Grano	Forraje	Grano	Grano
Chinú (Córdoba)	4.980	21.582	3.828,5	31.000	3.570	3.400
San Carlos (Córdoba)	4.620	35.915	N/A	N/A	N/A	N/A
Cereté (Córdoba)	5.460	38.470	N/A	N/A	N/A	3.900
Carmen de Bolívar (Bolívar)	6.140	32.300	5.280	35.940	5.645	N/A
Los Palmitos (Sucre)	N/A	N/A	4.875,5	45.500	6.588	N/A
San Marcos (Sucre)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.500
Sincelejo (Sucre)	3.250	22.920	N/A	N/A	N/A	N/A
Promedio	**4.890**	**30.237,4**	**4.661,3**	**37.480**	**5.267,7**	**3.266,7**

N/A: no aplica.
Fuente: Elaboración propia

Uso del maíz para la producción de semillas

Cuando se emplean variedades de libre polinización, los productores tienen la posibilidad de producir su propia semilla, siempre que se cumplan rigurosamente las recomendaciones técnicas establecidas para garantizar la calidad genética, física y fisiológica del material. Para ello, se recomienda implementar prácticas agronómicas específicas desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha. A continuación, se enumeran algunos aspectos clave que deben tenerse en cuenta:

- Verificar el origen y calidad de la semilla base para la producción.
- Garantizar el aislamiento del lote con materiales diferentes, por tiempo, espacio o barreras.
- Realizar un manejo sanitario estricto, especialmente sobre aquellas enfermedades que afectan la formación del grano
- Controlar malezas y arvenses hospedantes.

- Eliminar de forma manual las plantas atípicas, enfermas o con desarrollo anormal.
- Mantener registros detallados del manejo agronómico, fechas, insumos y monitoreos, que permitan la trazabilidad del proceso.

Manejo poscosecha para la producción de semilla

El proceso de beneficio o manejo poscosecha de la semilla es fundamental para asegurar su calidad y viabilidad. Este proceso incluye varias etapas críticas (figura 29):

- **Cosecha:** se realiza con una humedad del grano de 16 a 18%, cuando la semilla ha completado su maduración fisiológica.
- **Secado:** etapa delicada que debe realizarse de forma controlada y gradual para evitar daños al embrión. El uso de temperaturas elevadas o un secado demasiado rápido puede comprometer la germinación y el vigor de la semilla. Para conservar la calidad fisiológica y garantizar la viabilidad durante el almacenamiento, la semilla se seca hasta alcanzar una humedad inferior al 14% (Tapia Coronado et al., 2021).
- **Desgrane:** se extrae la semilla de la mazorca, labor que puede realizarse mecánicamente con desgranadoras accionadas por motor eléctrico, de combustible o acopladas a un tractor. Otra alternativa es el desgrane manual, con el que se obtienen granos más limpios, en comparación con el método mecanizado. Esta es una práctica sencilla, aunque demanda mayor inversión de tiempo y mano de obra, ya que la separación del grano de la mazorca se realiza directamente con las manos. El desgrane manual es otra alternativa para obtener semilla, en la que se producen granos más limpios debido a la menor presencia de impurezas con respecto al método mecanizado. Aunque se trata de una práctica sencilla, demanda más tiempo y mayor participación de mano de obra, ya que la separación del grano se realiza directamente con las manos.

- **Limpieza y clasificación:** permite separar las semillas sanas y de tamaño uniforme de aquellas dañadas, inmaduras o contaminadas. Este proceso puede realizarse de forma manual o mediante equipos especializados, como mesas de gravedad (gravimétricas) o máquinas de aire y zarandas.
- **Tratamiento de la semilla:** consiste en aplicar productos que protejan la semilla durante el almacenamiento. Estos tratamientos pueden ser orgánicos, como la ceniza vegetal, que ayudan a prevenir infestaciones de insectos o químicos, o fungicidas, que protegen contra la proliferación de hongos.
- **Empaque y almacenamiento:** en ambientes secos, frescos y protegidos de la luz directa, la humedad y las plagas. El uso de tecnologías herméticas como silos metálicos o bolsas plásticas especiales contribuye significativamente a preservar la calidad de la semilla por periodos prolongados.

Figura 29.

Proceso de poscosecha para la producción de semilla de maíz.



Fotos: José Cantero y José Tapia

En el proceso de producción de semilla, se debe garantizar que esta cumpla con los criterios de calidad. A continuación, se resumen algunas recomendaciones para garantizar su cumplimiento (tabla 16):

Tabla 16. Criterios de calidad para la producción de semillas de variedades de maíz

Criterio	Características para revisar	Recomendaciones para tener en cuenta	Momentos claves del cultivo/ proceso de producción para su control
Física	Limpieza	Ausencia de impurezas (restos vegetales, piedras, semillas de otras especies). Uso de herramientas limpias.	Cosecha y poscosecha (desgrane, clasificación)
	Semillas sanas	Descartar granos partidos, picados o con manchas.	Cosecha y poscosecha (desgrane, clasificación, tratamiento)
	Homogeneidad	Seleccionar semillas del mismo tipo (color, forma, tamaño).	Cosecha y poscosecha (desgrane, clasificación)
	Contenido de humedad	Ideal para almacenamiento <14, ayuda a prevenir hongos y conservar la viabilidad.	Cosecha y secado
Fisiológica	Germinación	Se recomienda que las semillas germinen mínimo un 85%.	Siembra y poscosecha
	Vigor	Crecimiento rápido con plantas bien desarrolladas aun en condiciones adversas.	Desarrollo del cultivo (floración, polinización, llenado del grano, maduración fisiológica y cosecha)
	Viabilidad	Confirmar que las semillas estén vivas (prueba de tetrazolio o germinación).	Siembra y cosecha
Genética	Identidad varietal	Semillas de la variedad deseada, sin mezclas.	Siembra, floración, cosecha y almacenamiento
	Pureza genética	Limpieza de equipos de siembra y cosecha	Planificación del cultivo, siembra, desarrollo del cultivo, cosecha
	Selección cuidadosa	Selección de plantas sanas, vigorosas y representativas de la variedad.	Cosecha
Sanitaria	Ausencia de enfermedades	Granos sanos, sin hongos ni mal olor.	Cosecha, poscosecha y almacenamiento
	Libre de insectos	Sin plagas o daños asociados.	Cosecha, poscosecha y almacenamiento
	Tratamientos preventivos	Tratamientos (químicos u orgánicos) para evitar daños por plagas y/o enfermedades.	Almacenamiento
	Almacenamiento adecuado	Ambientes frescos, secos, ventilados y protegidos de plagas o roedores.	Almacenamiento

Fuente: Elaboración propia



Capítulo 6

Indicadores económicos

Los costos asociados a la producción de grano y ensilaje de maíz pueden presentar variaciones sustanciales según tipo y fertilidad del suelo, condiciones climáticas, genotipo, manejo, semestre de siembra, entre otros aspectos. El cultivo maíz es exigente en nutrientes, especialmente en fuentes nitrogenadas, y esto incrementa significativamente los costos de producción. Para disminuirlos, lograr márgenes de productividad aceptables y crear sistemas más sostenibles en términos ambientales, se sugiere mejorar las prácticas de manejo del cultivo. Una estrategia es con bioinsumos y fuentes alternas de nutrientes como los biofertilizantes y los abonos orgánicos.

Mediante pruebas comerciales en el Caribe húmedo colombiano, AGROSAVIA ha evaluado la eficacia de biofertilizantes como bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, que han demostrado su potencial para reducir el uso de fertilizantes químicos y los costos del cultivo. De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 17), los costos de producción por hectárea de maíz para la producción de grano oscilaron entre COP 5.460.621 (mediante el método convencional y químico) y COP 4.919.755 (con el método integral, que incluye biofertilizantes y reducción de productos sintéticos).

En el manejo convencional, los costos directos de los insumos agrícolas para la producción de grano y forraje oscilaron entre 51 y 45%, respectivamente. La mano de obra fue de 34 a 43%, en el mismo orden.

Los costos de los insumos en el manejo integral fueron inferiores a los del manejo convencional, con variaciones de 48 y 44% para la producción de grano y forraje, respectivamente. El manejo integral reduce los costos totales de producción entre un 10 y 12%, y hasta 30% los costos de los fertilizantes sintéticos (tabla 17).

Tabla 17. Costos de producción promedio asociados al cultivo de maíz para la producción de grano y forraje, con manejo convencional e integral en la región Caribe (COP)

Rubro	Convencional		Integral (biológico + químico)	
	Grano	Forraje	Grano	Forraje
Insumos agrícolas	2.822.168	3.223.568	2.384.368	2.808.568
Mano de obra	1.888.453	3.084.500	1.785.387	2.869.617
Otros	750.000	853.027	750.000	591.027
Costo de producción ($ ha^{-1})	5.460.621	7.161.095	4.919.755	6.269.212
Rendimiento (kg ha^{-1})	5.600	33.600	4.800	25.600
Costo unitario producción ($ t^{-1})	975	213	1.025	245

Fuente: Elaboración propia

Aunque los rendimientos del manejo integral son ligeramente inferiores a los alcanzados con fertilización química, pueden considerarse aceptables para las condiciones agroecológicas de la región.

Con base en la información económica y productiva recopilada en el ciclo de cultivo, se realizó el análisis de los retornos económicos (tabla 18). En el manejo convencional, el costo unitario de producción fue de COP 975 por kilogramo de grano y COP 213 por kilogramo de forraje. En el manejo integral, el costo unitario ascendió a COP 1.025 para el grano y COP 245 para el forraje. Estos valores están por debajo de los precios de mercado reportados en el Caribe, que se estiman en cerca de COP 1.300 para el grano y COP 350 para el forraje. Los costos unitarios de producción bajo el manejo integral son competitivos frente al sistema convencional basado en fertilización química.

Aunque los fertilizantes químicos permiten alcanzar mayores rendimientos y un menor costo unitario, implican una inversión inicial más elevada. Esta situación destaca la viabilidad del manejo integral como una alternativa económicamente sostenible, especialmente para pequeños productores con limitaciones en el acceso a insumos sintéticos.

Tabla 18. Análisis de la rentabilidad económica del cultivo de maíz bajo dos enfoques de producción (convencional e integral) en la región del Caribe húmedo (COP)

Descripción	Convencional		Integral (biológico + químico)	
	Grano	Forraje	Grano	Forraje
Rendimiento (kg ha^{-1})	5.600	33.600	4.800	25.600
Costos de producción ($ ha^{-1})	5.460.621	7.161.095	4.919.755	6.269.212
Costo unitario ($ kg^{-1})	975	213	1.025	245
Precio de venta ($ kg^{-1})	1.300	350	1.300	350
Ingresos ($ ha^{-1})	7.280.000	11.760.000	6.240.000	8.960.000
Utilidad ($ ha^{-1})	1.819.379	4.598.905	1.320.245	2.690.788
Rentabilidad (%) × ciclo	33,3	64,2	26,8	42,9
Relación B/C	1,3	1,6	1,3	1,4

B/C: beneficio/costo.
Fuente: Elaboración propia

La utilidad por unidad de superficie bajo el manejo convencional osciló entre COP 1.819.379 y COP 4.598.905 para la producción de grano y forraje, respectivamente (tabla 18). En contraste con el manejo integral, la utilidad fue de COP 1.320.245 para grano y COP 2.690.788 para forraje.

En cuanto a rentabilidad, el modelo convencional presentó los valores más altos, entre 33 y 64% para grano y forraje, respectivamente. El manejo integral registró una rentabilidad del 26% para grano y del 42% para forraje.

Al considerar la relación beneficio/costo (B/C) como un indicador clave de la rentabilidad económica en la producción de maíz, se observó que los valores fueron relativamente similares entre ambos esquemas productivos. Para la producción de grano, la relación B/C fue de 1,3 tanto en

el manejo convencional como en el integral. En el forraje, esta relación fue de 1,6 bajo el esquema convencional y de 1,4 en el manejo integral. Esto evidencia que, incluso con una menor inversión en fertilizantes sintéticos, el manejo integral representa una alternativa económicamente viable. En otras palabras, la relación B/C sugiere que, por cada peso invertido, se generan entre COP 1,30 y COP 1,60, según destino del cultivo y modelo de manejo aplicado.

La elección entre manejo convencional e integral no debe fundamentarse únicamente en los resultados económicos de corto plazo, sino también en la sostenibilidad ambiental del sistema productivo a mediano y largo plazo, especialmente en regiones como el Caribe colombiano.

Glosario

Aislamiento del lote: mantener una distancia adecuada en el cultivo con respecto a otros cultivos cercanos de diferentes genotipos de la misma especie (para el caso del maíz). Así se evita el cruzamiento durante la polinización, fundamental para conservar la pureza genética en la producción de semillas.

Calidad física: se refiere a las características visibles asociadas al estado físico de la semilla como tamaño, forma, color, impurezas y daños mecánicos.

Calidad fisiológica: procesos internos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, emergencia y desarrollo bajo condiciones normales de campo. Está asociada a atributos como germinación, vigor y viabilidad de las semillas.

Calidad genética: grado de pureza del material genético (variedad o híbrido), que garantiza la expresión de los rasgos deseados del cultivo.

Calidad sanitaria: asociada al estado fitosanitaria de la semilla, en el que esta se encuentra sana, sin afectación y sin plagas ni enfermedades.

Densidad aparente: relación entre masa de los sólidos del suelo y volumen que ocupan, incluidos los espacios porosos. Se expresa en gramos por centímetro cúbico ($g\ cm^{-3}$) y representa la densidad combinada de las partículas minerales y orgánicas del suelo. Es un indicador fundamental para evaluar el estado físico del suelo, especialmente la porosidad y la compactación, factores que inciden directamente en el desarrollo radicular y la infiltración de agua.

Densidad real: relación entre masa de los sólidos del suelo y volumen que ocupan las partículas (sin el volumen de los poros). Se expresa en gramos por centímetro cúbico ($g\ cm^{-3}$) y representa la densidad propia de las partículas minerales y orgánicas del suelo. En suelos minerales, el valor oscila entre 2,60 y 2,75 $g\ cm^{-3}$, según el tipo de minerales y el contenido de materia orgánica.

Energía metabolizable (EM): cantidad de energía disponible para el animal después de descontar las pérdidas ocurridas durante la digestión y el metabolismo. Es un indicador en la nutrición animal, que determina cuánta energía puede usar un animal para mantenimiento basal, producción y reproducción.

Ensilaje: método húmedo de conservación de forrajes que consiste en fermentar material vegetal en condiciones anaeróbicas, con el fin de preservar su valor nutritivo.

Fibra detergente ácida (FDA): fracción de fibra que representa los componentes más indigestibles (celulosa y lignina) de la pared celular vegetal. Es un indicador directo de la digestibilidad y el aporte de energía del forraje.

Fibra en detergente neutro (FDN): fracción de la fibra vegetal que incluye los componentes estructurales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina), caracterizados por ser menos digestibles que otras partes de la planta. Afecta directamente el consumo voluntario en rumiantes.

Formaleta: estructura metálica reutilizable diseñada para facilitar la conservación de forraje a través de ensilaje o henolaje.

Hospedero: organismo que permite el desarrollo de otro y le genera un ambiente favorable. El organismo o microorganismo que obtiene nutrientes de su hospedero puede establecer una relación de parasitismo, en la que se afecta el desarrollo normal del hospedero, o de mutualismo, en la que los dos organismos se benefician de la interacción.

Macrofauna: organismos del suelo con un tamaño corporal superior a 2 mm, incluidas lombrices, escarabajos, hormigas, termitas. Estos organismos cumplen funciones ecológicas fundamentales, como la aireación del perfil, la mezcla y redistribución de horizontes, la fragmentación y descomposición de la materia orgánica, y la estimulación de la actividad microbiana. Su presencia y actividad contribuyen directamente a la mejora de la estructura del suelo y al incremento de su fertilidad.

Materia seca (MS): fracción de alimento resultante de eliminar toda la humedad mediante ventilación forzada.

Mesofauna: organismos del suelo con tamaños de 0,1 a 2 mm, como ácaros, colémbolos, proturos, dipluros y sínfilos. Estos invertebrados desempeñan funciones clave en los ecosistemas del suelo, incluida la fragmentación y descomposición de la materia orgánica, la regulación de poblaciones microbianas a través de la depredación y la promoción de la mineralización de nutrientes esenciales como el nitrógeno.

Microorganismos: bacterias, hongos, actinomicetos, algas y protozoos, todos ellos invisibles a simple vista, pero fundamentales para la salud del suelo. Participan en procesos esenciales como la descomposición de la materia orgánica, la fijación biológica del nitrógeno, la mineralización de nutrientes y el control biológico de patógenos.

Nutrientes digestibles totales (NDT): medida que expresa la cantidad total de nutrientes que un animal puede digerir y utilizar a partir de un alimento. Se utiliza especialmente en rumiantes, para evaluar el valor energético de los forrajes y concentrados.

pH: corresponde al grado de acidez o alcalinidad del suelo, medido en una escala que va de 0 a 14. Valores de pH inferiores a 6,5 indican suelos con algún nivel de acidez; entre 6,5 y 7,3 se consideran neutros; y por encima de 7,4, alcalinos. Este parámetro químico es determinante en la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las raíces, además de influir directamente en la actividad biológica del suelo, especialmente en los procesos desarrollados por los microorganismos.

Prolificidad: capacidad de una planta para producir un número de mazorcas por planta.

Proteína cruda (PC): contenido de nitrógeno total del alimento o forraje determinado en el laboratorio y multiplicado por el factor 6,25. Es uno de los parámetros más importantes en la nutrición animal, especialmente en rumiantes.

Resistencia mecánica a la penetración: evalúa la fuerza que ofrece el suelo ante la penetración de un objeto puntiagudo, al simular la presión que ejercen las raíces para atravesar los diferentes horizontes. Se expresa comúnmente en megapascales (MPa) y es un indicador del grado de compactación del suelo. Su análisis permite identificar posibles restricciones físicas que afectan el crecimiento radicular y, por ende, el desarrollo óptimo de los cultivos.

Trasmisión transovárica: tiene el mismo significado de transmisión vertical. Es la transferencia de la infección de un patógeno de un insecto adulto a sus huevos. Así el patógeno propaga la infección a su descendencia sin que haya existido una exposición directa.

Variedades criollas: variedades vegetales seleccionadas y conservadas por los agricultores a lo largo del tiempo en condiciones locales. Se caracterizan por su adaptación al ambiente específico, su diversidad genética, la rusticidad, y en muchos casos, por sus cualidades organolépticas o culturales.

Variedad de polinización libre: aquella cuya reproducción tiene lugar mediante polinización aleatoria o no controlada. La población de plantas muestra una relativa uniformidad asociada a sus caracteres distintivos. La variedad puede ser criolla o mejorada.

Virulífero: portador o contenedor de un patógeno. El término se emplea para referirse a insectos que transmiten patógenos propagativos que se han multiplicado en su interior.

Referencias

Abendroth, L. J., Elmore, R. W., Boyer, M. J., & Marlay, S. K. (2011). *Corn growth and development* [MR 1009]. Iowa State University. https://store.extension.iastate.edu/product/6065

Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación: el maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales, 30*(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362009000200016

Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia, 44*(5), 575–586. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000500007

Badu-Apraku, B., & Fakorede, M. A. B. (2017). *Advances in genetic enhancement of early and extra-early maize for Sub-Saharan Africa.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64852-1

Baudron, F., Sims, B., Justice, S., Kahan, D. G., Rose, R., Mkomwa, S., Kaumbutho, P., Sariah, J., Nazare, R., Moges, G., & Gérard, B. (2015). Re-examining appropriate mechanization in Eastern and Southern Africa: Two-wheel tractors, conservation agriculture, and private sector involvement. *Food Security, 7*(4), 889-904. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0476-3

Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus. *Global Food Security, 12,* 49–58. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009

Bruulsema, T. W., Fixen, P. E., & Sulewski, G. D. (Eds.). (2015). *4R plant nutrition: A manual for improving the management of plant nutrition.* International Plant Nutrition Institute (IPNI). https://plantnutrition.ca/wp-content/uploads/2021/04/4R-Manual-METRIC-2016-17_lowres.pdf

Burt, R. (2014). *Soil survey field and laboratory methods manual: Soil survey investigations report n.° 51* (versión 2.0). United States Department of Agriculture; Natural Resources Conservation Service; National Soil Survey Center; Kellogg Soil Laboratory.

Cadena-Torres, J., Novoa Yánez, R. S., Grandett Martinez, L. M., Contreras Santos, J. L., & Agamez Saibis, A. (2021). Caracterización físico-química de los suelos dedicados al cultivo de maíz en el Valle del Sinú, Colombia. *Temas Agrarios, 26*(1). https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2584

Cahyana, D., & Mulyanto, B. (2024). A simple definition of soil. *Soil Security, 16,* 100146. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100146

Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos Tintoré, S., Chel Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia, 23*(2). https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2006). *Pueblos indígenas y afrodescendientes de América Latina y el Caribe: información sociodemográfica para políticas y programas*. Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Conceição dos Santos, L. F., Garruña, R., Andueza-Noh, R. H., Latournerie-Moreno, L., Mijangos-Cortés, J. O., & Pineda-Doporto, A. (2019). Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10*(6), 1247–1261. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908

Contreras-Santos, J. L., Martínez Atencia, J., Cadena Torres, J., & Fallas Guzmán, C. K. (2019). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agronomía Costarricense.* https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999

Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Cadena-Torres, J., Novoa-Yáñez, R. S., & Tamara-Morelos, R. (2020). Una evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en sistema productivo de maíz–algodón y arroz en el Valle del Sinú en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 23*(2). https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1375

Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Falla-Guzmán, C. K., Garrido-Pineda, J. F., & Rodríguez-Vitola, J. L. (2021). Caracterización de sistemas ganaderos del Caribe seco para cuantificación de índices de calidad de suelo. *Agronomía Costarricense, 45*(2), 71-87. https://www.redalyc.org/journal/436/43672373005/html/

De la Hoz, J. V. (2006). *Subregiones productivas del Caribe colombiano.* Banco de la República. https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/lbr_subregiones.pdf

De Luque, C. S., Martínez López, G., & Rico de Cujia, L. M. (2003). Una nueva enfermedad del maíz en Colombia trasmitida por el saltahojas *Dalbulus maidis* (De Long & Woscott). *Fitopatología, 38*(4), 190–194.

Ebbert, M. A., & Nault, L. R. (2003). Survival in *Dalbulus* leafhopper vectors improves after exposure to maize stunting pathogens. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 100*(3), 311–324. https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00878.x

Farina, G., Rotta, P. P., & Marcondes, M. I. (2021). *Produção de volumosos para bovinos leiteiros no sul do Brasil.* Viçosa. https://doi.org/10.26626/978-65-5668-033-0.2021B0001

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce]. (2025). *Historia de área, producción y rendimiento: cereales, leguminosas y soya.* https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiM2FiYzM5ZTAtNjFmNi00MGQyLWFiYzYtNGI0YTJiZTcwZWQwIiwidCI6IjU2MmQ1YjJlLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LThmMjI4Nzc4MDBhOCJ9

Fu, Y., Tian, Z., Amoozegar, A., & Heitman, J. (2019). Measuring dynamic changes of soil porosity during compaction. *Soil and Tillage Research, 193.* https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.016

García, D. Y., Cárdenas H., J. F., & Silva Parra, A. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre las propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Revista de Ciencias Agrícolas, 35*(1). https://doi.org/10.22267/rcia.183501.79

Garrido-Rubiano, M. F., Martínez-Medrano, J. C., Martínez-Bautista, H., Granados-Carvajal, R. E., & Rendón-Medel, R. (2017). Pequeños productores de maíz en el Caribe colombiano: estudio de sus atributos y prácticas agrícolas. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 18*(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062017000100001

Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solórzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología En Marcha, 31*(1), 167-177. https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506

Guamán, P., Basante, C., & Mármol, J. L. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4*(2). https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1032

Haas, I. C. R., Canale, M. C., Lopes, J. R. S., Pascholati, S. F., & Bedendo, I. P. (2023). Biochemical modifications and corn stunt progression is dependent on maize susceptibility to *Spiroplasma kunkelii* infection. *Tropical Plant Pathology, 48,* 556-563. https://doi.org/10.1007/s40858-023-00598-1

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/14124

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2022). *Estudio nacional del agua.*

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] & Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [UDCA]. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia.* https://observatorio.epacartagena.gov.co/ftp-uploads/pub-estudio-nacional-degradacion-de-suelos-por-erosion.pdf

International Union of Soil Sciences [IUSS] Working Group [WRB]. (2022). *World reference base for soil resources 2022: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.* International Union of Soil Sciences [IUSS].

Jordán López, A. (2006). *Manual de edafología.* Media. https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-de-asuncion/quimica-de-suelos-y-agroquimicos/edafologia-del-suelo-antonio-jordan-lopez/69179115

Kato, Á., Ortega Paczka, R., Boege, E., Wegier, A., Serratos Hernández, J. A., Alavez, V., Jardón-Barbolla, L., Moyers Arévalo, L., & Ortega Del Vecchyo, D. (2013). Origen y diversidad del maíz. En E. R. Álvarez-Buylla & A. Piñeyro (Eds.), *El maíz en peligro ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México* (pp. 25–59). Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. https://www.researchgate.net/publication/303961569_Origen_y_diversidad_del_maiz

Kirkegaard, J., Kirkby, C., Oates, A., Van Der Rijt, V., Poile, G., & Conyers, M. (2020). Strategic tillage of a long-term no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years. *Crop and Pasture Science, 71*(12). https://doi.org/10.1071/CP20334

Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation, 75*(5), 123A-123B. https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620A

López Gómez, J. A., & Van Loon, J. (2018). Agrotechnical evaluation of manual implements for corn planting. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9*(21). https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1524

López Hernández, J. A., Astroz Cano, A. M., & Silva Parra, A. (2020). Uso de la tierra y su influencia en la compactación del suelo en el oriente de Colombia. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos, 11*(1), 34-35. https://doi.org/10.22579/22484817.462

Madden, L. V., Nault, L. R., Heady, S. E., & Styer, W. E. (1986). Effect of temperature on the population dynamics of three *Dalbulus* leafhopper species. *Annals of Applied Biology, 108*(3), 475–485. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1986.tb01986.x

Manzeke-Kangara, M. G., Ligowe, I. S., Tibu, A., Gondwe, T. N., Greathead, H. M. R., & Galdós, M. V. (2025). Soil organic carbon and related properties under conservation agriculture and contrasting conventional fields in Northern Malawi. *Frontiers in Soil Science, 4.* https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1481275

Martínez Gamiño, M. Á., Osuna Ceja, E. S., & Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10*(4). https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640

Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sánchez, J., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*(9), 6080–6084. https://doi.org/10.1073/pnas.052125199

Mejía-Kerguelén, S. L., Atencio Solano, L. M., Tapia Coronado, J. J., & Sánchez Rodríguez, L. A. (2020). *Corpoica V-114 y Corpoica V-159: variedades de maíz de alta producción para la región Caribe de Colombia.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404142

Mejía-Kerguelén, S., Tapia-Coronado, J. J., Atencio-Solano, L. M., & Cadena-Torres, J. (2019). Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol. *Pastos y Forrajes, 42*(2), 133–142. http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v42n2/2078-8452-pyf-42-02-133.pdf

Mendoza, J. E., Solano-Gutiérrez, C. L., Gutiérrez-Chacón, C., Moncaleano, A. M., & Franco, O. (Eds.). (2024). *Parques Nacionales Cómo Vamos (PNCV): parques nacionales naturales colombianos y su aporte a la paz con la naturaleza* [Informe 2024]. Fundación Natura. https://parquescomovamos.com/wp-content/uploads/2024/10/Informe-2024-PNCV-Parques-Nacionales-Como-Vamos.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo.* https://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf

Ministerio de Transporte de Colombia [MinTransporte]. (2023). *Plan maestro de transporte intermodal 2021–2051: conectividad, convergencia, progreso y calidad de vida para el país.* https://onl.dnp.gov.co/Documentos%20compartidos/LIbro%20Comercial%20PMTI-8-08-23_interactivo.pdf

Mitchell, J. P., Reicosky, D. C., Kueneman, E. A., Fisher, J., & Beck, D. (2019). Conservation agriculture systems. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14,* 1-25. https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914001

Moya-Raygoza, G., Palomera-Avalos, V., & Galaviz-Mejía, C. (2007). Field overwintering biology of *Spiroplasma kunkelii* (Mycoplasmatales: Spiroplasmataceae) and its vector *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). *Annals of Applied Biology, 151*(3), 373–379. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00185.x

Nault, L. R., & Ammar, E. D. (1989). Leafhoppers and planthoppers transmission of plant viruses. *Annual Review of Entomology, 34,* 503–529. https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.002443

Nielson, M. W. (1975). The leafhopper vectors of phytopathogenic viruses (Homoptera: Cicadellidae): Taxonomy, biology, and virus transmission. *USDA Agricultural Research Service Technical Bulletin, 1382,* 1–386.

Oliveira, E., Waquil, J. M., Fernandes, F. T., Paiva, E., Resende, R. O., & Kitajima, E. W. (1998). "Corn stunt spiroplasma" and "maize bushy stunt phytoplasma" in the maize crop in the central area of Brazil. *Fitopatologia Brasileira, 23*(1), 45–47.

Oluwaranti, A., Fakorede, M. A. B., & Adeboye, F. A. (2015). Maturity groups and phenology of maize in a rainforest location. *International Journal of Agriculture Innovations and Research, 4*(1), 2319-1473.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Soil testing methods – Global Soil Doctors Programme - A farmer-to-farmer training programme.* https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a673cac1-636c-486b-b4c5-a39d522b659f/content

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022a). *Global status of black soils.* https://doi.org/10.4060/cc3124en

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022b). *Soils for nutrition: State of the art.* https://doi.org/10.4060/cc0900en

Ortigoza Guerreño, J., López Talavera, C. A., & González Villalba, J. D. (2019). *Guía técnica cultivo de maíz.* Universidad Nacional de Asunción [UNA]; Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). https://www.agr.una.py/ebooks/index.php/edifca/catalog/view/9/5/34

Özbek, E., Miller, S. A., Meulia, T., & Hogenhout, S. A. (2003). Infection and replication sites of *Spiroplasma kunkelii* (class: Mollicutes) in midgut and Malpighian tubules of the leafhopper *Dalbulus maidis. Journal of Invertebrate Pathology, 82*(3), 167–175. https://doi.org/10.1016/S0022-2011(03)00031-4

Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4.* https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031

Palacios Rojas, N., Twumasi Afriyie, S., Friesen, D., Teklewold, A., Wegary, D., DeGroote, H., Rosales, A., Narro-León, L., Chassaigne, A., Padilla, R., Vargas-Escobar, E. A., López, K., Bowen, C., & Prasanna, B. M. (2017). *Lineamientos para el control de calidad de semilla y grano de maíz de alta calidad proteica (QPM): experiencias en el desarrollo y promoción de QPM en Latinoamérica.* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., & Violic, A. D. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s00.htm#toc

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 187*(1), 87-105. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2025). *Región Caribe*. https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/parques/region-caribe/

Porres, V. (2025). *Fertilización de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo.* Cambiagro. https://blog.cambiagro.com/buenas-practicas-agronomicas/fertilizacion-de-acuerdo-al-desarrollo-fenologico-del-cultivo/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2021). *Pobreza y desigualdad en la región Caribe colombiana: ¿cómo recuperar la senda del desarrollo sostenible?* https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/pobreza-y-desigualdad-en-la-region-caribe-colombiana-como-recuperar-la-senda-del-desarrollo-sostenible

Razín, S. (2006). The genus *Mycoplasma and related genera (class Mollicutes).* En *The Prokaryotes* (Vol. 4, pp. 836–904). https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3_29

Red Agroecológica del Caribe [Recar]. (2004). Los maíces criollos y la soberanía alimentaria de la región Caribe. *Revista Semillas en la Economía Campesina, 22-23,* 1-9. https://www.semillas.org.co/es/los-maces-criollos-y-la-soberana-alimentaria-de-la-regin-caribe

Restrepo, J. (2014). *Dinámica sedimentaria en deltas micromareales–estratificados de alta descarga: delta del río Magdalena (Colombia–mar Caribe).*

Ruiz de Galarreta Gómez, J. I. (1998). *Agrupación de poblaciones locales de maíz (Zea mays L.) mediante caracteres morfológicos y parámetros ambientales* [Tesis doctoral, Universitat de Lleida]. Servei de Publicacions de la Universitat de Lleida. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8325/jiruiz.pdf

Salamanca Jiménez, A., & Amézquita Collazos, E. (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6*(1). https://doi.org/10.22490/21456453.1262

Sanabria Quispe, S., Mendoza Dávalos, K., Sangay-Tucto, S., & Cosme de la Cruz, R. C. (2021). Uso de coberturas vegetales en el manejo sostenible del suelo asociado al cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays L.*). *Scientia Agropecuaria, 12*(3), 329-336. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.036

Santacruz Castro, A. M., Avendaño Avendaño, D. F., Ramírez Infante, G. R., Tapia Coronado, J. J., & Atencio Solano, L. M. (2024). *Cadena agroalimentaria de maíz tradicional en el Caribe colombiano.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. *https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7407778*

Schoonover, J. E., & Crim, J. F. (2015). An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. *Journal of Contemporary Water Research & Education, 154*(1). https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2015.03186.x

Scott, M. P., & Emery, M. P. (2016). Maize: Overview. En C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of food grains* (2.ª ed., Vol. 3, pp. 305-311). Elsevier.

Serratos Hernández, J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano.* Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM); Greenpeace México. https://www.researchgate.net/publication/303571504_El_origen_y_la_diversidad_del_maiz_en_el_continente_americano

Shu, X., He, J., Zhou, Z., Xia, L., Hu, Y., Zhang, Y., et al. (2022). Las enmiendas orgánicas mejoran la diversidad microbiana del suelo, la funcionalidad microbiana y los rendimientos de los cultivos: un metaanálisis. *Ciencia del Medio Ambiente Total, 829,* 154627. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154627

Sims, B., & Kienzle, J. (2016). Making mechanization accessible to smallholder farmers in Sub-Saharan Africa. *Environments, 3*(2). https://doi.org/10.3390/environments3020011

Singh, D., Lenka, S., Lenka, N. K., Trivedi, S. K., Bhattacharjya, S., Sahoo, S., Saha, J. K., & Patra, A. K. (2020). Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the vertisols of central India. *Sustainability (Switzerland), 12*(16), 6608. https://doi.org/10.3390/su12166608

Sleper, D. A., & Poehlman, J. M. (2006). Breeding corn (maize). En *Breeding field crops* (5.ª ed., pp. 277–296). Blackwell Publishing.

Suárez-Paternina, E., Maza-Angulo, L., Aguayo-Ulloa, L., Vergara-Garay, Ó., Barragán-Hernández, W., & Bustamante-Yánez, M. (2020). Efecto de la suplementación con semilla de algodón y maíz en el desempeño productivo y calidad de la carne de ovinos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 23*(2), e1604. https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1604

Tapia Coronado, J. J., Atencio Solano, L. M., Ramírez Durán, J., Osorio Guerrero, K. V., Castillo Sierra, J., & Mejía Kerguelén, S. (2022). Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Colombia. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 14*(1). https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585

Tapia Coronado, J. J., Mejía Kerguelén, S. L., Atencio Solano, L. M., Sánchez Rodríguez, L. A., & Cañar Serna, D. Y. (2021). *Manual técnico de producción de semilla de variedades de maíz para el Caribe húmedo colombiano.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404517

Tiwari, D. K., Dasgupta-Schubert, N., Villaseñor Cendejas, L. M., Villegas, J., Carreto Montoya, L., & Borjas García, S. E. (2014). Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: Enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture. *Applied Nanoscience, 4*(5), 577–591. https://doi.org/10.1007/s13204-013-0236-7

Torres Torres, L. C., Agudelo, L., Rincón, F., Mercado, I., Guzmán, D., Bayona, J. C., Cuavas, J., Bonilla, A., Ochoa, N., Villamizar, A., Rodríguez, E., Velandia, K., Reyes, G. A., & Rodríguez, E. A. (2021). *Un aporte a la caracterización de lluvias extremas en el Caribe colombiano a través de la construcción de curvas intensidad–duración–frecuencia.* XXIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Barranquilla, Colombia [Evento virtual]. https://www.researchgate.net/publication/355412096

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2023). *Plan nacional de gestión ante el fenómeno El Niño.* https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PLAN-NACIONAL-DE-GESTION-ANTE-EL-FENOMENO-El-Nino.pdf

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2024). *Alternativas productivas agropecuarias y análisis de mercados: priorizaciones departamentales.* https://upra.gov.co/sites/default/files/publicaciones/documentos//04_AlterProdAgroPD_20241007_V4.pdf

Van Loon, J., Woltering, L., Krupnik, T. J., Baudron, F., Boa, M., & Govaerts, B. (2020). Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. *Agricultural Systems, 180.* https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102792

Varón, F., & Sarria, G. (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo.* Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/c04b4a98-8499-43ee-aa44-1c58730803c9/content

Villagra-Mendoza, K., Brenes-Cano, D., & Gómez-Calderón, N. (2023). Efecto del balanceo de cargas en los ejes de tractores agrícolas sobre la eficiencia de labranza y las propiedades físico-mecánicas de un suelo vertisol. *Agronomía Costarricense, 47*(1). https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53968

Virla, E. G., De Remes Lenicov, A. M., & Paradell, S. L. (1990). Presencia de *Dalbulus maidis* (Insecta, Homoptera, Cicadellidae) sobre el maíz y teosinte en la Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, 66,* 23–30. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120556

Zhao, X., Tong, C., Pang, X., Wang, Z., Guo, Y., Du, F., & Wu, R. (2012). Functional mapping of ontogeny in flowering plants. *Briefings in Bioinformatics, 13*(3), 317–328. https://doi.org/10.1093/bib/bbr054

Terminó de diseñarse en noviembre de 2026,
en Bogotá D.C., Colombia

El *Modelo productivo del cultivo de maíz* es un documento resultado del trabajo comprometido del equipo de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria de AGROSAVIA. El modelo resalta las características y bondades de las variedades de maíz de agrosavia adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la región Caribe. Presenta las principales limitantes físicas y químicas del suelo, su diagnóstico y el uso de coberturas como prácticas de conservación de suelo. Asimismo, proporciona recomendaciones técnicas para la siembra, manejo de arvenses, plagas y enfermedades, fertilización integral y aplicación adecuada de productos. Por último, contempla el manejo de la cosecha y postcosecha, producción y conservación de semilla, uso del grano y aprovechamiento del maíz como forraje para la alimentación de rumiantes. Esto con el propósito de que los productores puedan tomar mejores decisiones y avanzar hacia sistemas de producción más productivos, rentables, resilientes y sostenibles.



BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: bac@agrosavia.co
Teléfono: 601 914 4677

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA
EDITORIAL