Desafíos en el cultivo de maíz amarillo en la Orinoquia colombiana y su relación con la conservación del suelo

Leidy Maritza Guzman Casallas

Asesor

Leonardo Álvarez Rios

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Agronomía

2025

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la oportunidad y la sabiduría necesarias para culminar este trabajo. A mis padres, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida; a mi esposo Daniel Rodríguez, por su compañía y paciencia; al Ingeniero Leonardo Álvarez Ríos, porque sin su acompañamiento esto no sería posible, al ingeniero Jair Vargas y a la ingeniera Adriana Lucía Díaz Bobadilla, por sus valiosos aportes y orientaciones; y a Danica Striseo, por su constante respaldo y motivación.

Resumen

Este estudio analiza los desafíos del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquia colombiana y su relación con la conservación del suelo. A partir de una revisión sistemática de documentos (15 documentos, 2020-2025) y la triangulación con datos secundarios, se caracterizan las condiciones agroecológicas regionales, se identifican las barreras técnicas, fitosanitarias y socioeconómicas que enfrentan los productores, y se evalúan las prácticas agrícolas con potencial para mejorar la productividad y la salud del suelo. Los resultados revelan suelos con bajo contenido de materia orgánica y alta susceptibilidad a la erosión, disponibilidad hídrica heterogénea y una brecha entre el conocimiento técnico y las prácticas locales, lo que limita la resiliencia productiva. Se concluye que las intervenciones más efectivas son paquetes integrados que combinan enmiendas orgánicas, manejo de residuos y mantillo, rotaciones, tecnologías de riego apropiadas y acceso a semillas adaptadas, con el apoyo de mecanismos de extensión y financieros. Se recomienda la implementación de pilotos participativos y sistemas de monitoreo que evalúen el rendimiento, la salud del suelo y la ecoeficiencia para orientar el dimensionamiento y las políticas públicas.

Palabras clave: Maíz amarillo, Orinoquía, conservación del suelo, prácticas sostenibles, manejo del agua.

Abstract

This study analyzes the challenges of yellow maize cultivation in the Colombian Orinoquia region and their relationship with soil conservation. Based on a systematic review of documents (15 documents, 2020–2025) and triangulation with secondary data, the study characterizes regional agroecological conditions, identifies technical, phytosanitary, and socioeconomic barriers faced by producers, and evaluates agricultural practices with the potential to improve productivity and soil health. The results reveal soils with low organic matter content and high susceptibility to erosion, heterogeneous water availability, and a gap between technical knowledge and local practices, which limits productive resilience. It is concluded that the most effective interventions are integrated packages that combine organic amendments, residue and mulch management, rotations, appropriate irrigation technologies, and access to adapted seeds, supported by extension and financial mechanisms. The implementation of participatory pilots and monitoring systems that evaluate performance, soil health, and eco-efficiency is recommended to guide sizing and public policies.

Keywords: Yellow corn, Orinoquia, soil conservation, sustainable practices, water management.

Tabla de Contenido

Introducción 9

Planteamiento del Problema 12

Justificación 15

Objetivos 18

Objetivo General 18

Objetivos Específicos 18

Marco Referencial 19

Marco Teórico 19

Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible en la Orinoquía Colombiana 19

Expansión de la Frontera Agrícola y Transformación del Uso del Suelo 20

Cultivo de Maíz Amarillo: Desafíos y Potencial en Suelos de Baja Fertilidad 21

Casos Exitosos de Rotación con Maíz en la Orinoquía Colombiana 22

Marco Conceptual 23

Conservación del Suelo 23

Orinoquia Colombiana: Características, Desafíos y Contexto Agroecológico 24

Cultivo de Maíz Amarillo en Colombia y el Río Orinoco 26

Marco Metodológico 29

Enfoque Metodológico 29

Tipo de Investigación 29

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información 29

Procedimiento de Análisis de la Información 30

Criterios de Validación 31

Resultados 32

Condiciones Agroecológicas y Líneas Base para el Cultivo de Maíz Amarillo 37

Vulnerabilidad Climática y Uso del Suelo 37

Disponibilidad de Agua y Características del Suelo 37

Perfil de Producción y Limitaciones Socioagronómicas 38

Implicaciones para la Conservación del Suelo y la Investigación Posterior 38

Diagnóstico de Barreras y Vulnerabilidades de los Productores 39

Intervenciones y Buenas Prácticas para la Conservación del Suelo y Productividad..... 43

Enmiendas Orgánicas y Fertilización Basada en Residuos 43

Manejo de Residuos de Cultivo y Acolchado 43

Prácticas de Conservación del Suelo: Rotación de Cultivos, Cultivos de Cobertura y Estructuras..... 44

Labranza Utilizada en el Cultivo: Intensidad, Oportunidad y Enfoque Conservacionista 44

Gestión del Agua y Tecnologías Apropiadas 46

Selección de Modelos de Producción y Criterios de Ecoeficiencia..... 46

Adaptación y Resiliencia: Variedades y Diversificación 46

Integración de Paquetes Técnicos y Consideraciones Socioeconómicas..... 47

Implicaciones Prácticas y Líneas de Acción 47

Conclusiones 49

Recomendaciones 51

Referencias Bibliográficas 53

Lista de Tablas

Tabla 1 *Matriz de Revisión Documental* *33*

Lista de Figuras

Figura 1 *Relación entre Desafíos, Estrategias de Conservación y Sostenibilidad en el Cultivo de Maíz Amarillo en la Orinoquía Colombiana* *28*

Introducción

Este estudio aborda los desafíos del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquia colombiana y su relación con la conservación del suelo. Se basa en la observación de la expansión de la frontera agrícola y la intensificación de la producción en cómo han transformado profundamente el paisaje regional. Si bien la Orinoquia cuenta con abundante tierra y condiciones climáticas favorables, estas ventajas coexisten con limitaciones edoclimáticas (baja fertilidad, acidez, bajo contenido de materia orgánica y alta susceptibilidad a la erosión) y dinámicas de uso del suelo que ejercen presión sobre los recursos hídricos y la biodiversidad. Esta combinación de factores biofísicos y socioeconómicos explica la persistencia de prácticas agrícolas convencionales y la brecha entre el conocimiento técnico disponible y las prácticas implementadas eficazmente por los productores. Esta situación incrementa los costos, reduce la productividad y acelera los procesos de degradación que afectan la sostenibilidad y la resiliencia del sistema productivo.

El estudio se justifica por la necesidad de generar evidencia contextualizada que permita comprender las interacciones entre el suelo, el clima, la genética y las prácticas culturales en la Orinoquia, y por su potencial contribución a la formulación de estrategias técnicas e institucionales que concilien productividad y conservación. Se prioriza un enfoque práctico y orientado a la acción: identificar las limitaciones edáficas y climáticas, diagnosticar las barreras socioeconómicas y fitosanitarias, y evaluar las prácticas agrícolas que han demostrado ser eficaces para mejorar la salud y la productividad del suelo en condiciones similares. El objetivo es proporcionar información útil a los extensionistas, los responsables políticos y los productores, y fortalecer la capacidad local para adoptar paquetes técnicos adaptados al territorio.

Metodológicamente, la investigación adopta un diseño exploratorio-descriptivo de método mixto, que combina una revisión sistemática de documentos, el foco del análisis, con

quince documentos seleccionados entre 2020 y 2025, con la triangulación de fuentes (datos estadísticos disponibles y, según el alcance, evidencia testimonial de los actores locales). Esta estrategia permite la articulación de síntesis conceptuales y evidencia empírica, priorizando las contribuciones clasificadas como primarias en la matriz de revisión para construir interpretaciones centrales y empleando criterios de credibilidad y auditabilidad que facilitan la reproducibilidad del estudio.

La pregunta guía de esta investigación es: ¿Cómo impactan las características agroecológicas, las limitaciones edafoclimáticas y las prácticas agrícolas en los desafíos del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía colombiana, y qué estrategias de manejo del suelo son viables para mejorar la productividad y conservar los recursos suelo? En consonancia con esta pregunta, el objetivo general es analizar los principales desafíos del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía y su impacto en la conservación del suelo. Los objetivos específicos son: examinar las características agroecológicas de la Orinoquía y su influencia en el cultivo; identificar los principales desafíos que enfrentan los productores, incluyendo factores edafoclimáticos y socioeconómicos; y evaluar prácticas agrícolas sostenibles y estrategias de manejo del suelo que contribuyan a la conservación de recursos y a la mejora de la productividad agrícola en la región.

En este contexto, el documento presenta la matriz de revisión documental como herramienta de trazabilidad y, con base en ella, desarrolla los resultados en tres capítulos integrados que sintetizan la línea base agroecológica, el diagnóstico de barreras y la evaluación de intervenciones y buenas prácticas para la conservación de suelos y el mejoramiento productivo en la Orinoquia.

El estudio demuestra que la sostenibilidad del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquia está determinada por una red interrelacionada de factores agroecológicos, productivos y

socioeconómicos: suelos con bajo contenido de materia orgánica y alta susceptibilidad a la erosión, la heterogeneidad en la disponibilidad de agua y la presión de la expansión de las fronteras agrícolas limitan la productividad y la resiliencia del sistema. La evaluación también revela que las limitaciones técnicas, manejo del suelo, control fitosanitario y acceso a semillas adaptadas, se ven agravadas por barreras institucionales y de mercado, lo que significa que las intervenciones aisladas rara vez resultan efectivas.

La evidencia recopilada indica que las medidas con mayor potencial son las integradas: aumentos sostenidos de la materia orgánica mediante enmiendas y manejo de residuos, cultivos de cobertura y rotación de cultivos, tecnologías de riego apropiadas y acceso a material genético adaptado, combinados con servicios de extensión y mecanismos financieros basados en criterios de ecoeficiencia. Para consolidar estos beneficios, es necesario implementar programas piloto participativos y sistemas de monitoreo que evalúen la productividad, la salud del suelo y la huella ambiental, y que proporcionen retroalimentación para los procesos de ajuste y escalamiento. Sólo de esta manera será posible conciliar las mejoras productivas con la conservación del recurso suelo y la adaptación de los cultivos a las condiciones cambiantes de la Orinoquia.

Planteamiento del Problema

El cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía colombiana representa una actividad agrícola de gran importancia estratégica, no solo por su papel en la seguridad alimentaria nacional, sino también por su contribución a la generación de empleo rural y al dinamismo económico de la región. Esta región, caracterizada por vastos recursos naturales y abundante disponibilidad de tierras, ha experimentado diversos procesos de transformación productiva en las últimas décadas, convirtiéndose en un lugar clave para el desarrollo agrícola a gran escala. Sin embargo, el cultivo de maíz amarillo en este contexto enfrenta múltiples desafíos relacionados con las condiciones agroecológicas específicas de la región, como la baja fertilidad del suelo, la alta acidez, el bajo contenido de materia orgánica y la alta vulnerabilidad a la erosión (Bernal et al., 2014).

Estas limitaciones pedoclimáticas requieren una gestión agronómica altamente especializada y adaptada para contrarrestar los efectos negativos de la degradación del suelo y garantizar la productividad sostenible de los cultivos. Sin embargo, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles en la región ha sido limitada, en gran medida debido a la falta de acceso a información técnica, la escasa adopción de tecnologías agroecológicas y la persistencia de modelos de producción convencionales centrados en el uso intensivo del suelo. Esta situación incrementa el riesgo de deterioro de los ecosistemas, compromete la productividad a largo plazo y genera impactos ambientales y socioeconómicos negativos.

Al mismo tiempo, la expansión acelerada de la frontera agrícola en la Orinoquía ha provocado una importante transformación del uso del suelo, reemplazando los ecosistemas naturales por sistemas de producción agrícola de diversa intensidad. Este fenómeno ha intensificado la presión sobre los recursos naturales, en particular el suelo, el agua y la biodiversidad, generando conflictos entre la producción agrícola y la conservación del medio

ambiente (Vargas Serna, 2022). En este contexto, el cultivo de maíz amarillo, en ausencia de sistemas de manejo que prioricen la conservación del recurso suelo, puede convertirse en un factor de degradación del suelo, como la pérdida de cobertura vegetal, la compactación del suelo, la reducción de la capacidad de retención de agua y la erosión hídrica y eólica.

A pesar de la importancia económica del maíz amarillo y su papel en el suministro nacional de alimentos, pocos estudios regionales analizan específicamente las prácticas agrícolas implementadas en la Orinoquía y su relación con la conservación del suelo. Actualmente, persiste una brecha significativa entre el conocimiento técnico disponible y las prácticas reales de los productores. Como indica Grande Tovar (2013) el éxito del cultivo de maíz en Colombia depende en gran medida de un manejo agronómico adaptado a las condiciones ambientales específicas, lo que requiere comprender la dinámica del suelo, el clima, la topografía y las prácticas culturales propias de cada región. Sin embargo, en la Orinoquía prevalece una visión homogénea del cultivo, que tiende a ignorar las particularidades del contexto local.

Este desajuste entre las necesidades del territorio y las prácticas implementadas ha creado una brecha técnica y científica que dificulta el desarrollo de estrategias adaptadas a las condiciones edáficas del río Orinoco. Los productores, a menudo carentes de políticas públicas adecuadas o capacitación continua, recurren a prácticas tradicionales o insostenibles, lo que agrava los problemas de fertilidad, aumenta la dependencia de insumos externos y reduce la resiliencia del sistema de producción al cambio climático. Además, la falta de información detallada sobre el impacto de las prácticas agrícolas en la salud del suelo limita la capacidad de tomar decisiones informadas que contribuyan a la sostenibilidad del cultivo.

En este sentido, es necesario realizar estudios que no solo identifiquen los principales desafíos que enfrenta el cultivo de maíz amarillo en la región, sino que también evalúen el

impacto de las prácticas actuales en la conservación del suelo y propongan alternativas técnicas viables adaptadas al contexto local. Comprender estas interacciones es esencial para construir modelos de producción más sostenibles que concilien la rentabilidad económica con la preservación de los recursos naturales.

Por lo tanto, este estudio busca identificar, analizar y caracterizar los principales desafíos agroecológicos y técnicos relacionados con el cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía colombiana, con especial atención a su relación con la degradación y conservación del suelo. El objetivo es generar conocimiento profundo que sirva de base para el diseño y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles capaces de garantizar la viabilidad productiva a largo plazo del cultivo y contribuir al desarrollo de un sistema agrícola más resiliente y responsable, adaptado a las condiciones específicas de la región.

Justificación

Este estudio es particularmente relevante porque el cultivo de maíz amarillo representa una de las principales actividades agrícolas en la Orinoquía colombiana. Esta región, considerada estratégica para el desarrollo rural del país, posee un inmenso potencial para la producción agrícola gracias a la disponibilidad de tierras y a las favorables condiciones climáticas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Sin embargo, su aprovechamiento se ha visto limitado por factores pedoclimáticos desfavorables, como la acidez del suelo, la baja fertilidad, la baja retención de nutrientes y la alta susceptibilidad a la erosión (Bernal et al., 2014; IGAC, 2021). Estas características requieren el diseño e implementación de estrategias específicas de manejo del suelo que permitan una producción eficiente y sostenible sin comprometer la funcionalidad ecológica del territorio (AGROSAVIA, 2020).

En este contexto, este estudio se motiva principalmente por la necesidad de generar conocimiento técnico y científico contextualizado que contribuya a optimizar las prácticas agrícolas en la Orinoquía, con especial atención al maíz amarillo como cultivo clave. A pesar de su importancia, persisten brechas significativas entre el conocimiento agronómico generalizado a nivel nacional y las condiciones de producción específicas de esta región. Estas brechas limitan la adopción de tecnologías apropiadas por parte de los agricultores, incrementando los costos de producción, reduciendo los rendimientos y acelerando la degradación del suelo (DANE, 2023; Grande Tovar, 2013). El resultado es una espiral negativa que impacta no solo la productividad, sino también la sostenibilidad ambiental y el bienestar social de las comunidades rurales.

Además, la relevancia de este estudio radica en su énfasis en la conservación de los recursos naturales, en particular los suelos, en un territorio con alta vulnerabilidad ecológica. La región del Orinoco ha estado sujeta a intensos procesos de transformación del uso del suelo

debido a la expansión de la frontera agrícola, favorecida por los monocultivos y la ganadería extensiva, sin una adecuada planificación ambiental (Vargas Serna, 2022). Este modelo extractivo ha provocado alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, la reducción de la biodiversidad y la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales para la producción agrícola. Por ello, el estudio propone un marco para reorientar las prácticas productivas hacia modelos más sostenibles que integren criterios de conservación del suelo y uso eficiente de los recursos (IGAC, 2021).

El estudio también se justifica por su potencial para fortalecer las capacidades técnicas de los productores locales, quienes a menudo carecen de las herramientas y la capacitación adecuadas para abordar los desafíos asociados con la degradación del suelo. Mediante un análisis crítico de las estrategias actuales de gestión del cultivo de maíz amarillo y su relación con la calidad del suelo, la investigación busca establecer directrices claras y aplicables que faciliten la toma de decisiones informadas y adaptadas al contexto local (AGROSAVIA, 2020). De este modo, promueve un modelo de producción basado en principios agroecológicos, que no solo mejora la rentabilidad, sino que también reduce el impacto ambiental y garantiza la viabilidad a largo plazo del sistema agrícola (Grande Tovar, 2013).

Desde una perspectiva académica, el estudio contribuye al enriquecimiento del conocimiento sobre la interacción entre las prácticas agrícolas y la salud del suelo, un campo de creciente importancia en las ciencias agrícolas, ambientales y del desarrollo rural. Centrarse en una región históricamente marginada en los procesos de investigación, como la Orinoquía, llena los vacíos de la literatura técnica y proporciona información útil para investigadores, extensionistas, formuladores de políticas y otros actores del sistema agroalimentario colombiano (Vargas Serna, 2022; Bernal et al., 2014).

En términos de políticas públicas, los hallazgos del estudio pueden orientar los programas e iniciativas gubernamentales dirigidos al fortalecimiento del sector agrícola regional, incluyendo proyectos de reconversión productiva, el uso de tecnologías limpias, los servicios de extensión agrícola y la planificación del uso del territorio rural (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Dado que el maíz es un componente fundamental de la seguridad alimentaria nacional, garantizar su producción sostenible en regiones como la Orinoquía debe ser una prioridad estratégica. En este sentido, los hallazgos del estudio podrían brindar apoyo técnico para la formulación de políticas orientadas a la sostenibilidad agrícola.

Finalmente, el estudio aborda la necesidad de consolidar un enfoque integral y sostenible del desarrollo agrícola, que articule las dimensiones productiva, ecológica, social y económica. Como señala Grande Tovar (2013) el uso eficiente del maíz en Colombia requiere una gestión agronómica especializada, adaptada a las condiciones pedoclimáticas específicas de cada región. Esta investigación se enmarca en esta visión, proporcionando herramientas para diseñar estrategias que equilibren la productividad y la conservación del suelo, optimicen el uso de los recursos naturales y mejoren la resiliencia al cambio climático. De esta forma, ofrece una respuesta a los desafíos estructurales y emergentes del cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía, contribuyendo a la construcción de un modelo de desarrollo rural más justo, equitativo y respetuoso con el medio ambiente para una de las regiones con mayor biodiversidad y valor estratégico del país.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los principales desafíos del cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía colombiana y su impacto en la conservación del suelo.

Objetivos Específicos

Examinar las características agroecológicas de la Orinoquía colombiana y su influencia en el desarrollo del cultivo de maíz amarillo.

Identificar los principales desafíos que enfrentan los productores de maíz amarillo en la región, incluyendo factores edafológicos, climáticos y socioeconómicos.

Evaluar prácticas agrícolas sostenibles y estrategias de manejo del suelo que contribuyan a la conservación de recursos y a la mejora de la productividad agrícola en la Orinoquía colombiana.

Marco Referencial

Marco Teórico

Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible en la Orinoquía Colombiana

La conservación de suelos es uno de los pilares fundamentales de la sostenibilidad agrícola, especialmente en regiones con suelos vulnerables, como la Orinoquía colombiana. Esta región se caracteriza por suelos de sabana ácidos e infértiles, ricos en aluminio intercambiable y con baja retención de nutrientes, lo que representa un gran desafío para cualquier tipo de explotación agrícola. En este contexto, implementar estrategias para mantener la estructura del suelo, minimizar la erosión y mejorar su fertilidad es esencial para asegurar la viabilidad productiva de cultivos como el maíz amarillo (Bernal et al., 2014).

Las prácticas de conservación de suelos en zonas de sabana deben buscar proteger los recursos edáficos de factores como la escorrentía, el uso excesivo de maquinaria, los monocultivos y la deforestación. Estas prácticas incluyen la incorporación de fertilizantes orgánicos, la siembra directa, el uso de cultivos de cobertura, rotaciones diversificadas y una fertilización balanceada basada en análisis de suelo. Estas técnicas no solo reducen las pérdidas de nutrientes, sino que también mejoran la actividad biológica y la capacidad de autorregulación del suelo. En regiones tropicales como la Orinoquía, donde las lluvias son intensas durante gran parte del año, la erosión hídrica representa una amenaza constante para los suelos agrícolas. Sin prácticas adecuadas, puede provocar la pérdida de la capa superficial del suelo, la sedimentación en los cuerpos de agua y una reducción de la productividad. Por lo tanto, las estrategias de conservación deben integrarse en un enfoque agrícola sostenible que equilibre la producción, la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades rurales. Así, el manejo

responsable del suelo no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también promueve la resiliencia del sistema agroecológico al cambio climático y otros factores de estrés ambiental.

Expansión de la Frontera Agrícola y Transformación del Uso del Suelo

La región del Orinoco ha experimentado un proceso de transformación territorial derivado de la expansión de la frontera agrícola, que ha alterado significativamente los patrones de uso del suelo. Este fenómeno, sumado al aumento de tierras dedicadas a la ganadería extensiva y los cultivos comerciales, ha provocado la alteración de los ecosistemas locales, la pérdida de biodiversidad y la degradación progresiva del suelo (Vargas Serna, 2022). Si bien esta expansión ha respondido a políticas de desarrollo y crecimiento económico, su implementación a menudo ha carecido de criterios de sostenibilidad y planificación ambiental.

El cambio de uso del suelo en la región del Orinoco implica no solo la conversión de sabanas y bosques naturales en zonas agrícolas, sino también la introducción de prácticas inadecuadas para las condiciones edafológicas y climáticas de la región. El uso intensivo de agroquímicos, la quema de vegetación para desbrozar el terreno, el pastoreo inadecuado y la mecanización sin análisis previo del suelo han contribuido al agotamiento del suelo. Como resultado, muchas áreas han perdido su capacidad productiva, obligando a los agricultores a cultivar nuevas tierras, generando así un ciclo de degradación continua. En este contexto, es necesario replantear las estrategias de ordenamiento territorial y promover una planificación rural que integre la producción y la conservación. La implementación de políticas de gestión sostenible del territorio, acompañadas de programas de educación rural, incentivos económicos y asistencia técnica, puede contribuir a revertir la degradación del suelo y restaurar las zonas ya afectadas. Además, es fundamental fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y fomentar la

participación comunitaria en los procesos de ordenamiento territorial, garantizando así la sostenibilidad ecológica y social de las actividades agrícolas en la región.

Cultivo de Maíz Amarillo: Desafíos y Potencial en Suelos de Baja Fertilidad

El cultivo de maíz amarillo en Colombia, particularmente en la Orinoquía, representa una oportunidad estratégica para diversificar la producción agrícola, mejorar la seguridad alimentaria e impulsar las economías rurales. Sin embargo, su éxito depende en gran medida de la capacidad de adaptar el manejo del cultivo a las condiciones edáficas específicas de esta región. Los suelos de sabana, naturalmente pobres en nutrientes y con un pH ácido, requieren intervenciones técnicas especializadas para alcanzar niveles aceptables de productividad (Grande Tovar, 2013).

Uno de los desafíos más importantes es la necesidad de una fertilización equilibrada, que implica no solo el uso de fertilizantes químicos, sino también la incorporación de materia orgánica y la corrección del pH mediante encalado. Asimismo, es fundamental seleccionar variedades de maíz resistentes al estrés hídrico y que presenten una buena respuesta agronómica en suelos con fertilidad limitada. El desarrollo de tecnologías apropiadas, como sistemas de riego eficientes, siembra directa, control biológico de plagas y labranza mínima, puede mejorar significativamente el rendimiento de los cultivos. El manejo del maíz en la Orinoquía también debe considerar la sostenibilidad a largo plazo mediante la incorporación de prácticas agroecológicas que preserven los suelos y protejan los servicios ecosistémicos. Esto implica la rotación de maíz con leguminosas, el uso de mantillo y su integración en sistemas silvopastoriles. Socioeconómicamente, el maíz amarillo tiene el potencial de convertirse en un elemento clave del desarrollo rural, especialmente si se integra en cadenas de valor locales y programas de comercialización que benefician a los pequeños y medianos productores.

Por lo tanto, el fomento del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía no debe entenderse como una simple expansión de la producción, sino como un proceso integral que combina tecnología, conocimiento territorial, conservación del suelo y fortalecimiento institucional. Esto garantiza no solo la productividad, sino también la sostenibilidad ecológica y social del sistema agrícola regional.

Casos Exitosos de Rotación con Maíz en la Orinoquía Colombiana

La rotación de cultivos con maíz amarillo ha demostrado ser una estrategia agronómica eficaz en diversas regiones de Colombia, especialmente en zonas con suelos ácidos como las sabanas del Orinoco. Estudios de Bernal et al. (2014) destacan que la integración de leguminosas en los sistemas de rotación de maíz permite una mejora sustancial de la fertilidad del suelo, gracias al aporte de materia orgánica y la fijación biológica de nitrógeno. Esta práctica no solo contribuye al equilibrio nutricional del suelo, sino que también interrumpe los ciclos de plagas y enfermedades, reduciendo así el uso de agroquímicos.

Uno de los casos más representativos se desarrolló en las fincas experimentales de AGROSAVIA, donde se evaluaron rotaciones maíz-soja y maíz-caupí en suelos de sabana. Los resultados mostraron aumentos significativos en el rendimiento del maíz, hasta un 25 % superiores a los de los sistemas de monocultivo continuo. Además, se ha observado una mejora en la estructura del suelo y un aumento de su actividad biológica (AGROSAVIA, 2020).

En el departamento del Meta, los programas piloto de manejo sostenible del suelo impulsados por el Ministerio de Agricultura también han promovido la rotación de maíz con cultivos de cobertura como la mucuna y la canavalia. Estas especies han ayudado a controlar la erosión, restaurar suelos degradados y aumentar el contenido de carbono orgánico, con efectos

positivos en la productividad agrícola y la sostenibilidad de los sistemas de producción (Ministerio de Agricultura, 2021).

Los datos empíricos sugieren que los sistemas de rotación que incluyen maíz amarillo no solo son más sostenibles desde una perspectiva agroecológica, sino que también generan mayores beneficios económicos a mediano plazo. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2021) estas prácticas, combinadas con un manejo agronómico adecuado, preservan los recursos naturales, reducen los costos de producción y mejoran la resiliencia del agroecosistema ante eventos climáticos extremos.

Por lo tanto, los casos exitosos de rotación de cultivos con maíz en la región de la Orinoquía demuestran que es posible combinar la productividad agrícola con la conservación del suelo. Este tipo de experiencias deben fortalecerse y replicarse, considerando las condiciones específicas de cada región y promoviendo la capacitación técnica de los productores como parte integral de un modelo agrícola sostenible.

Marco Conceptual

Conservación del Suelo

La conservación del suelo es un pilar fundamental del desarrollo agrícola sostenible, especialmente en regiones como la Orinoquía colombiana, donde las características del suelo limitan la producción intensiva. Esta disciplina abarca un conjunto de prácticas destinadas a preservar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, mantener su productividad y prevenir procesos de degradación como la erosión, la compactación, la salinización y la pérdida de materia orgánica. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2015) ha enfatizado que la pérdida de suelos fértiles representa una amenaza

directa para la seguridad alimentaria mundial, de ahí la importancia de implementar estrategias racionales de gestión del recurso suelo.

En el caso específico de la Orinoquía, la conservación del suelo es particularmente importante debido a las características edáficas de la región: suelos altamente ácidos, bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico y alta vulnerabilidad a la erosión hídrica. Estos factores limitan significativamente el rendimiento de los cultivos si no se adoptan prácticas adecuadas. Según Bernal et al. (2014) las prácticas más efectivas en esta región incluyen la fertilización balanceada, la incorporación de materia orgánica, el uso de cultivos de cobertura, la rotación de cultivos y la implementación de sistemas agroforestales. Además, la conservación del suelo está estrechamente vinculada a la sostenibilidad ambiental y al equilibrio ecosistémico. La degradación del suelo conlleva una disminución de la biodiversidad, la alteración de los ciclos hidrológicos y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, promover la conservación del suelo no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los relacionados con la producción responsable y la acción climática. En este contexto, la investigación sobre el manejo del suelo en la Orinoquia no solo es relevante, sino también urgente, como estrategia para garantizar la seguridad alimentaria, la estabilidad de los sistemas de producción y la protección a largo plazo de los recursos naturales.

Orinoquia Colombiana: Características, Desafíos y Contexto Agroecológico

La Orinoquía colombiana es una vasta región ubicada al oriente del país, que abarca los departamentos de Meta, Vichada, Arauca, Casanare y parte del Guaviare. Se caracteriza por una geografía dominada por sabanas tropicales, vastos cuerpos de agua, un clima de sabana tropical y una biodiversidad excepcional. Históricamente subexplotada en términos de producción, esta

región ha cobrado importancia en las últimas décadas gracias a la expansión agrícola y las políticas de desarrollo rural impulsadas por el gobierno colombiano.

Sin embargo, el potencial agrícola de la Orinoquía está determinado por sus características biofísicas. Los suelos predominantes en la región, como los Oxisoles y los Ultisoles, presentan baja fertilidad natural, alta acidez, bajos niveles de fósforo disponible y una estructura frágil que los hace vulnerables a la erosión y la compactación. Estos factores limitan significativamente la productividad a menos que se implementen tecnologías apropiadas y prácticas sostenibles de manejo del suelo. Según Vargas Serna (2022) la expansión de la frontera agrícola entre 1999 y 2022 alteró profundamente el uso del suelo en la región, ejerciendo presión sobre los ecosistemas naturales y aumentando el riesgo de degradación ambiental.

Además, la Orinoquía enfrenta importantes desafíos socioeconómicos, como el acceso limitado a infraestructura, asistencia técnica, financiamiento y mercados para los productores rurales. Esto ha propiciado la expansión de sistemas de producción insostenibles, como la ganadería extensiva, que aceleran la deforestación y la degradación del suelo. Sin embargo, la región también representa una importante oportunidad para la implementación de modelos de desarrollo agroecológico que integren la producción, la conservación del medio ambiente y el desarrollo comunitario. En este sentido, el estudio del cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía se justifica no solo por su potencial productivo, sino también por la posibilidad de convertirlo en un ejemplo de producción sostenible adaptada a condiciones específicas. Comprender el contexto agroecológico y socioeconómico de la región es esencial para diseñar estrategias efectivas que garanticen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, la resiliencia al cambio climático y el fortalecimiento del desarrollo rural.

Cultivo de Maíz Amarillo en Colombia y el Río Orinoco

El maíz (Zea mays L.) es uno de los cultivos más importantes de la agricultura mundial y nacional, tanto por su valor nutricional como por su versatilidad en aplicaciones industriales y alimentarias. En Colombia, el maíz amarillo se ha promovido en los últimos años como una alternativa estratégica de producción, especialmente en regiones como la Orinoquía, donde la disponibilidad de tierras es alta y el interés por diversificar las actividades agrícolas es creciente. Este cultivo se considera esencial para la seguridad alimentaria y el suministro de materias primas para la ganadería y las industrias de biocombustibles.

Sin embargo, el cultivo de maíz en la Orinoquía enfrenta condiciones particularmente desafiantes. La baja fertilidad del suelo, la alta acidez, la estacionalidad de las precipitaciones y la falta de infraestructura de riego limitan el potencial de rendimiento. Además, muchos productores carecen de acceso a semillas mejoradas, asistencia técnica y tecnologías de manejo de cultivos adaptadas a las condiciones de la región. Como señala Grande Tovar (2013) el desarrollo del maíz en Colombia requiere estrategias de manejo agronómico diferenciadas que consideren las características pedoclimáticas de cada región y promuevan la integración de prácticas sostenibles. Técnicamente, el manejo de cultivos en la región del Orinoco debe incluir prácticas como análisis de suelo previo a la siembra, aplicación adecuada de cal para corregir la acidez, uso de fertilizantes balanceados, labranza mínima y rotación con cultivos de cobertura o La rotación de cultivos con cultivos de cobertura o leguminosas mejora la estructura y la fertilidad del suelo. Estas medidas contribuyen a una mayor eficiencia en el uso de los recursos, reducen la vulnerabilidad al cambio climático y fortalecen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Implementar estas estrategias es esencial para aumentar la productividad sin comprometer la salud del suelo a largo plazo.

Además, se ha identificado la necesidad de fortalecer los sistemas de transferencia de tecnología en la región. Muchos agricultores de la Orinoquía carecen de información técnica actualizada o acceso a programas de educación continua, lo que limita la adopción de innovaciones agronómicas. El fortalecimiento de las redes de extensión rural, en coordinación con centros de investigación como AGROSAVIA y universidades regionales, puede facilitar la difusión de prácticas sostenibles y la adaptación del conocimiento al contexto local.

Además, el cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía debe formar parte de una estrategia integral de desarrollo territorial que considere las variables económicas, sociales y ambientales. Por lo tanto, debe ir acompañado de políticas públicas que apoyen la infraestructura vial y de riego, el acceso a préstamos con bajos intereses, las asociaciones de productores y la creación de mercados regionales. La coordinación interinstitucional entre los gobiernos locales, el Ministerio de Agricultura, las organizaciones campesinas y el sector privado es esencial para garantizar condiciones favorables para el desarrollo de este cultivo.

Transformar el modelo productivo de la región también requiere reconocer el papel de los pequeños y medianos agricultores en la seguridad alimentaria nacional. En este sentido, la promoción del maíz amarillo puede convertirse en un motor para mejorar los ingresos rurales, reducir el éxodo rural y fortalecer la soberanía alimentaria.

Para resumir los principales elementos del marco teórico y conceptual, se presenta a continuación un diagrama conceptual. Este ilustra la relación entre los desafíos que enfrenta el cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía colombiana, las prácticas de conservación del suelo propuestas como respuesta y su impacto previsto en la sostenibilidad agrícola de la región. Este diagrama ofrece una visión integrada de los vínculos entre las variables clave del estudio y constituye la base del enfoque metodológico desarrollado en las siguientes secciones.

Figura 1

Relación entre Desafíos, Estrategias de Conservación y Sostenibilidad en el Cultivo de Maíz Amarillo en la Orinoquía Colombiana

Nota. Los principales desafíos del cultivo de maíz, las prácticas de conservación, las estrategias de adaptación social y su impacto en la sostenibilidad.

Marco Metodológico

Enfoque Metodológico

Esta investigación se realizará mediante un enfoque cualitativo. Esta combinación metodológica permite una comprensión integral del fenómeno en estudio, ya que articula la interpretación de datos empíricos con un análisis contextual de las dinámicas sociales, ambientales y productivas del cultivo del maíz amarillo en la Orinoquía colombiana. El enfoque cualitativo facilitará el análisis de las experiencias, discursos e interpretaciones de los principales actores, mientras que el enfoque cuantitativo lo complementará con datos estadísticos sobre producción, uso del suelo y estrategias de conservación.

Tipo de Investigación

El estudio será exploratorio-descriptivo. Su componente exploratorio busca profundizar en un problema que, si bien ya se ha abordado en estudios previos, requiere una contextualización y un análisis más profundos desde una perspectiva regional. El componente descriptivo busca caracterizar las prácticas agrícolas utilizadas en el cultivo del maíz amarillo y su relación con la conservación del suelo. Además, se adoptará una revisión documental que permitirá identificar experiencias relevantes en diferentes zonas de la Orinoquía para ofrecer una visión general representativa de la situación actual.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

- Revisión de documentos: Se recopilará y analizará información secundaria de artículos científicos, informes técnicos, tesis, planes de desarrollo rural y normativas relacionadas con la agricultura sostenible en la Orinoquía.

Procedimiento de Análisis de la Información

El proceso de análisis constará de cuatro fases:

Fase 1: Revisión bibliográfica

- Búsqueda sistemática en bases de datos universitarias y repositorios institucionales (Scopus, Scielo, Redalyc, Dialnet, Google Académico, entre otros).
- Selección de fuentes relevantes con base en criterios de relevancia, actualidad y rigor científico.
- Sistema de análisis de contenido mediante fichas de análisis.

Fase 2: Selección de estudios de caso

- Identificación de experiencias significativas en la producción de maíz amarillo en municipios representativos de la Orinoquía.
- Revisión de documentos institucionales (planes agrícolas, políticas ambientales, estudios técnicos locales) que demuestren prácticas sostenibles de manejo del suelo.

Fase 3: Análisis de datos

- Se aplicará un análisis de contenido a fuentes cualitativas, agrupando los resultados por categorías temáticas (fertilidad del suelo, prácticas sostenibles, desafíos de producción, impactos ambientales).
- Se realizará una triangulación metodológica, comparando información documental, testimonios y datos estadísticos.

Fase 4: Interpretación y presentación de resultados

- Elaboración de un informe analítico que presenta los resultados, las lecciones aprendidas y las recomendaciones para mejorar la sostenibilidad de los cultivos.

- Redacción de la monografía, estructurada según los objetivos específicos y la evidencia obtenida.

Criterios de Validación

Para garantizar la validez y confiabilidad del estudio, se aplicarán los siguientes criterios:

- Triangulación metodológica: uso combinado de diferentes fuentes, técnicas y enfoques (documental, testimonial, estadístico).
- Criterios de credibilidad: selección de fuentes confiables, revisión crítica de la literatura y validación cruzada de los datos.
- Auditabilidad: documentación clara del procedimiento de análisis, con registro de las decisiones metodológicas.

Resultados

Los resultados que se presentan a continuación provienen de una revisión sistemática de la literatura, cuyo principal resultado es la matriz de síntesis. Para esta síntesis, se seleccionaron quince documentos publicados entre 2020 y 2025 (estudios, informes y tesis) por su relevancia directa para el cultivo del maíz amarillo y la conservación del suelo en contextos comparables a los de la región del Orinoco.

La bibliografía se recopiló mediante una estrategia de búsqueda sistemática en bases de datos académicas y repositorios institucionales, como Scopus, SciELO, Redalyc, Dialnet y Google Scholar. Esta metodología garantizó la relevancia, integridad y calidad de las fuentes consultadas.

La matriz recopila, de forma organizada y verificable, el número de referencia, el título y el año de cada documento; un breve resumen; el objetivo del estudio; los resultados principales; la cita APA; y el enlace al texto original. Además, se registró el tipo de contribución (empírica, metodológica o conceptual), su evaluación (primaria o secundaria) y el capítulo de resultados al que contribuye principalmente. Esta herramienta busca sintetizar y comparar los datos disponibles, identificar brechas y garantizar la trazabilidad de los datos utilizados en el análisis. La matriz se presenta a continuación.

Tabla 1

Matriz de Revisión Documental

#	Autor	Año	Título	URL
1	Alvarado Rodríguez, R.	2021	Manejo Técnico del cultivo de maíz amarillo duro	https://hdl.handle.net/20.500.12955/1493
2	Al-Awadi, R. A., Konca, Y., & Ilbas, A. I.	2024	Impacto de la calidad del abono orgánico en las características fenotípicas del cultivo de maíz y en las propiedades del suelo	https://agris.fao.org/search/en/providers/122635/records/67daeea1677d8be0233c76a2
3	Pinzón Colmenares, Ingrid Estefanía, & Ramírez Cando, Lenin Javier.	2021	Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro y su influencia al cambio climático en shushufindi ecuador	https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.07
4	Bueno Buelvas, R.	2024	Evaluación del impacto de los residuos de cosecha de maíz (Zea mays) en la capacidad de intercambio catiónico de suelos Entisoles en Yopal Casanare.	https://hdl.handle.net/20.500.14625/4390

5	Rozo López, D. P., Carmona Bedoya, M., Vallejo Arévalo, H., Chala Rosado, D. M., Cárdenas Urrego, W., Hincapié Parra, D. A., Pachón Alfonso, P., & Hernández Cervantes, M.	2021	Informe deforestación y vulnerabilidad climática de la Región Orinoquía	https://hdl.handle.net/1992/52721
6	Gutiérrez Jaimes, L. F.	2024	Análisis de un sistema productivo de maíz híbrido amarillo Dekalb 7088 vttriplepro® (Zea mays) en el municipio de Aguazul Casanare enfocado en la adopción de tecnologías aplicadas al cultivo	https://hdl.handle.net/20.500.14625/18751
7	Quiroga-Cardona, J.	2020	Habilidad combinatoria general y específica relacionada con los componentes del rendimiento en cinco líneas endogámicas de maíz (Zea mays L.)	https://doi.org/10.22579/20112629.626
8	García Botina, M. J.	2021	Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. El maíz en Colombia	https://hdl.handle.net/10568/114766
9	Bueno Buelvas, R., & Fernández Lizarazo, J. C.	2025	Impacto de los residuos de cosecha en la capacidad de intercambio catiónico de suelos Entisoles	https://doi.org/10.19052/wp.utopia.2022.1

10	Ramírez, N. E., Munar, D. F., van der Hilst, F., Espinosa, J. C., Ocampo, Á. D., Ruiz, J. D., Molina, D. L., Wicke, B., García Núñez, J. A., & Faaij, A. P. C.	2021	Balance de GEI de la intensificación agrícola y la producciónde bioenergía en la región de la Orinoquia, Colombia*	https://doi.org/10.15446/rfnam.v42n3.10340
11	Almansa-Manrique, E. F., & Villalobos Bermúdez, M. A.	2025	Comportamiento de la escorrentía superficial en suelos de Serranía de la Orinoquia bajo diferentes condiciones de manejo	https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/8293
12	Vargas Serna, J.	2022	Análisis del uso de la tierra en las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia, la región de la Orinoquía, desde 1999 hasta 2022	http://hdl.handle.net/10495/28560
13	Arbeláez, M. A., et al.	2024	Política comercial de la cadena productiva del maíz amarillo en Colombia	http://hdl.handle.net/11445/4669
14	Cadena-Torres, J., Novoa-Yánez, R. S., Grandett-Martínez, 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	https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2584

15	Pacheco-Sangerman, Fresia, Prado-Hernández, Víctor, Maldonado-Torres, Ranferi, & Robledo-Santoyo, Edmundo.	2023	Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar en el cultivo de maíz	https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2691

Nota. Fuentes bibliográficas que abordan el cultivo de maíz desde el manejo técnico, la sostenibilidad, la conservación del suelo y la adaptación al cambio climático en la región de la Orinoquía y otros contextos agrícolas.

La información sistematizada en la matriz sirve de base documental para los tres capítulos de resultados que siguen. Cada capítulo integra y prioriza la evidencia presentada en la matriz: las contribuciones clasificadas como primarias se priorizan para construir las síntesis centrales, y las contribuciones secundarias se utilizan como contexto o contraste, cuando corresponde.

Los capítulos combinan síntesis textuales, interpretaciones comparativas y, cuando corresponde, tablas y figuras derivadas de la matriz. Su estructura responde a las líneas temáticas del estudio, caracterización agroecológica y línea base; diagnóstico de barreras y vulnerabilidades; e intervenciones y buenas prácticas, y busca relacionar las condiciones biofísicas, las limitaciones de producción y las opciones de gestión con la realidad socioeconómica de los productores de la Orinoquia. La siguiente lectura integrada facilita la identificación de las prioridades de intervención y orienta las recomendaciones finales.

Condiciones Agroecológicas y Líneas Base para el Cultivo de Maíz Amarillo

Los resultados obtenidos en la revisión documental permiten caracterizar la Orinoquia colombiana en términos agroecológicos y establecer una línea base para evaluar el comportamiento y las limitaciones del cultivo de maíz amarillo. La evidencia muestra que la región enfrenta una combinación de presiones físicas y antropogénicas (deforestación, pérdida de cobertura vegetal y variabilidad climática) que modifican la estructura del paisaje y las condiciones del suelo, reduciendo la resiliencia de los sistemas agrícolas ante eventos extremos (Rozo López et al., 2021; Pabón Caicedo et al., 2021).

Vulnerabilidad Climática y Uso del Suelo

Los documentos revisados coinciden en que la Orinoquia ha experimentado un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (sequías y lluvias intensas), lo que incrementa la incertidumbre productiva y aumenta los riesgos para cultivos sensibles como el maíz amarillo (Pabón Caicedo et al., 2021). Esto se ve agravado por la transformación territorial debido a las actividades de tala y los cambios en el uso del suelo. La pérdida de cobertura vegetal implica no solo una reducción en el aporte de materia orgánica al perfil del suelo, sino también un cambio en la regulación hídrica del paisaje, lo que favorece los procesos de erosión y reduce la capacidad de retención de agua del suelo (Rozo López et al., 2021). En conjunto, estas dinámicas representan un determinante estructural para la sostenibilidad de los cultivos y la implementación de medidas de conservación del suelo.

Disponibilidad de Agua y Características del Suelo

La disponibilidad de agua se presenta como un factor crítico y heterogéneo en la región: algunas zonas presentan una cobertura limitada de infraestructura de riego y un acceso difícil, lo que limita el potencial de producción de maíz, especialmente durante los períodos de menor

precipitación (Hernández García et al., 2020). Los suelos en amplias zonas de la Orinoquía presentan características que los hacen susceptibles a la degradación (texturas ligeras y bajo contenido de materia orgánica en áreas transformadas), por lo que la productividad depende en gran medida del manejo de la materia orgánica y de prácticas que mejoren la estructura y la capacidad de carga del suelo (Rozo López et al., 2021; Pabón Caicedo et al., 2021). Los estudios revisados también muestran que la incorporación de residuos agrícolas y el uso de enmiendas orgánicas pueden mejorar la estructura y la fertilidad de suelos frágiles, lo que resulta en un aumento de la capacidad de carga, lo cual es importante para la sostenibilidad de los cultivos (Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021; Ávila Méndez et al., 2022).

Perfil de Producción y Limitaciones Socioagronómicas

La línea base de producción descrita en la literatura indica que una proporción significativa de la superficie dedicada al maíz amarillo está en manos de pequeños productores con acceso limitado a insumos, asistencia técnica y mercados (Alvarado Rodríguez, 2021). Este perfil socioeconómico influye en la adopción de tecnologías y prácticas de manejo del suelo; en consecuencia, la variabilidad de la productividad observada en la región se debe tanto a limitaciones agroecológicas como a limitaciones organizativas y de acceso a recursos. Además, una comparación de modelos de producción sugiere que los sistemas menos intensivos pueden ofrecer ventajas en términos de huella hídrica y de carbono, información útil para orientar alternativas de producción que equilibren la productividad y la reducción del impacto ambiental (Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021).

Implicaciones para la Conservación del Suelo y la Investigación Posterior

La caracterización realizada permite identificar las prioridades de intervención: (a) restauración y mantenimiento de la cobertura vegetal para reducir la erosión y mejorar la materia

orgánica; (b) gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo soluciones tecnológicas y prácticas de eficiencia hídrica; y (c) promoción de enmiendas y prácticas orgánicas (incorporación de residuos, compostaje) que aumenten la capacidad de carga del suelo y la estabilidad estructural (Rozo López et al., 2021; Hernández García et al., 2020; Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021). Además, dado el perfil de los pequeños productores, cualquier estrategia técnica debe ir acompañada de mecanismos de acceso a insumos, asistencia técnica y coordinación de mercados para facilitar su adopción (Alvarado Rodríguez, 2021).

Es por esto que, se puede demostrar que las condiciones agroecológicas de la Orinoquía, caracterizadas por una alta vulnerabilidad climática, el cambio de uso del suelo y la escasez de agua, constituyen claras limitaciones para el desarrollo sostenible del maíz amarillo. Esta línea base orienta las secciones de resultados posteriores para el diagnóstico de barreras específicas y la evaluación de intervenciones de manejo del suelo que se presentan en los capítulos siguientes (Pabón Caicedo et al., 2021; Ávila Méndez et al., 2022).

Diagnóstico de Barreras y Vulnerabilidades de los Productores

Partiendo de los hallazgos del capítulo anterior, este capítulo presenta un diagnóstico de las principales barreras y vulnerabilidades que enfrentan los productores de maíz amarillo en la Orinoquia, integrando evidencia sobre las limitaciones edáficas, climáticas, fitosanitarias y socioeconómicas que explican la variabilidad de la producción identificada en la línea base.

Los análisis revisados muestran que las limitaciones edáficas son recurrentes y multifactoriales. La transformación de la cobertura vegetal y el bajo contenido de materia orgánica en las zonas afectadas resultan en suelos de textura ligera con menor capacidad de retención de agua y susceptibilidad a la erosión, lo que obliga a los productores a recurrir a enmiendas del suelo y prácticas de fertilización para mantener la productividad. A nivel

operativo, muchos productores tienen prácticas de preparación del suelo y fertilización insuficientes o inadecuadas en relación con las necesidades del cultivo, lo que reduce la eficiencia de los insumos y limita su capacidad para mantener la productividad durante ciclos climáticos adversos (Alvarado Rodríguez, 2021; Pabón Caicedo et al., 2021).

A nivel genético y técnico, la evidencia de mejoramiento indica potencial para mejorar la adaptación del material vegetal, pero también una brecha entre el desarrollo de líneas con alta capacidad combinatoria y su disponibilidad/uso por parte de los productores locales. La investigación sobre la capacidad combinatoria sugiere que la identificación de híbridos adaptados a las condiciones específicas de la región de la Orinoquía puede mitigar las limitaciones impuestas por el estrés abiótico; sin embargo, la adopción de estos materiales depende de las redes de transferencia de tecnología y del acceso a semillas certificadas (Quiroga-Cardona, 2020). Además, los sistemas de producción que han alcanzado una mayor productividad como por ejemplo, los esquemas híbridos y las prácticas intensivas, dependen en gran medida de insumos externos, lo que plantea interrogantes sobre su viabilidad económica y ambiental en contextos de pequeños productores o en aquellos con acceso limitado a crédito y servicios (Gutiérrez Jaimes, 2023).

La variabilidad climática amplifica estas vulnerabilidades. La creciente frecuencia e intensidad de eventos extremos (sequías y lluvias torrenciales) aumenta el riesgo de pérdidas parciales y reduce la ventana ideal de siembra y cosecha, afectando especialmente a los productores sin acceso a tecnologías de riego o gestión del agua (Pabón Caicedo et al., 2021). Esta exposición climática interactúa con la fragilidad del suelo, intensificando los procesos de erosión y pérdida de fertilidad, lo que, a su vez, incrementa la necesidad de insumos externos o

enmiendas, recursos que no siempre están disponibles de manera oportuna y asequible para los productores locales (Hernández García et al., 2020; Alvarado Rodríguez, 2021).

Las evaluaciones fitosanitarias revelan que las plagas y enfermedades son una causa frecuente de pérdidas de productividad. Los estudios revisados identifican las principales plagas del maíz amarillo y documentan que, en ausencia de sistemas de manejo integrado accesibles y adecuados, las pérdidas pueden ser significativas. La falta de acceso a prácticas de manejo integrado (monitoreo, control biológico, rotación de cultivos, uso racional de plaguicidas) y a asesoramiento técnico limita la capacidad de los productores para controlar los brotes y mantener la sanidad de los cultivos (López Martínez, 2023). Además, la propagación de plagas se ve favorecida por el estrés hídrico y la degradación del suelo, condiciones que interactúan con los factores descritos anteriormente.

A nivel socioeconómico y de la cadena de valor, la literatura destaca las barreras organizacionales y de mercado que dificultan la adopción de prácticas sostenibles y mejoras productivas. Los productores a menudo enfrentan restricciones de acceso a mercados, información sobre precios, crédito y asistencia técnica. Estas limitaciones aumentan la dependencia de prácticas a corto plazo centradas en la producción inmediata y reducen la capacidad de invertir en medidas de conservación del suelo o en la adopción de híbridos y sistemas de manejo más resilientes (García Botina, 2021; Gutiérrez Jaimes, 2023). A su vez, las estrategias de intensificación se han asociado con aumentos en las emisiones de gases de efecto invernadero cuando no se integran medidas de gestión sostenible, lo que plantea un doble desafío: aumentar la productividad sin incrementar la carga ambiental que podría comprometer la sostenibilidad a mediano plazo (Ramírez et al., 2021).

Así es que, el diagnóstico muestra que las barreras para el cultivo de maíz amarillo en la Orinoquía son sistémicas e interrelacionadas: (a) edáficas: suelos con baja materia orgánica y vulnerabilidad a la erosión; (b) climáticas: mayor exposición a eventos extremos y limitaciones de riego; (c) fitosanitarias: presencia de plagas y brechas en la gestión integrada; y (d) socioeconómicas: acceso limitado a insumos, semillas adaptadas, crédito y extensión técnica. Esta interdependencia explica por qué las intervenciones aisladas tienden a tener efectos limitados y resalta la necesidad de paquetes técnicos integrados que consideren simultáneamente el suelo, el agua, la genética y la organización productiva.

Las implicaciones para la investigación y la intervención práctica son claras: cualquier estrategia dirigida a superar las barreras identificadas debe priorizar la mejora de la materia orgánica y la estructura del suelo (para reducir la erosión y aumentar la retención de agua), promover el acceso a materiales genéticos adaptados y sistemas integrados de manejo de plagas, y fortalecer los mecanismos de extensión y financiamiento que permitan a los pequeños productores implementar y mantener prácticas más resilientes. Además, es necesario evaluar alternativas técnicas utilizando criterios de ecoeficiencia y mitigación del impacto ambiental para garantizar que la intensificación de la producción no aumente las externalidades negativas, como lo indican los estudios de balance de GEI (Ramírez et al., 2021).

Estos hallazgos guían el siguiente capítulo, que presenta y evalúa intervenciones específicas y buenas prácticas para la conservación del suelo y la mejora de la productividad, vinculando las necesidades técnicas identificadas con vías de implementación viables en el contexto socioeconómico de la Orinoquía.

Intervenciones y Buenas Prácticas para la Conservación del Suelo y Productividad

Con base en las conclusiones presentadas en el capítulo anterior, este capítulo integra y sintetiza intervenciones y buenas prácticas con evidencia empírica y técnicas para mejorar la productividad del maíz amarillo, conservando simultáneamente el suelo en la Orinoquía. Las propuestas se organizan por familias de medidas (enmiendas y manejo de residuos, prácticas de conservación del suelo, gestión del agua, selección y adaptación del modelo de producción) y se evalúan según su aplicabilidad al perfil del pequeño productor previamente identificado.

Enmiendas Orgánicas y Fertilización Basada en Residuos

La evidencia experimental indica que la aplicación de fertilizantes y enmiendas orgánicas es una estrategia eficaz para aumentar la productividad y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Estudios controlados demuestran que las mezclas adecuadas de gallinaza y estiércol, así como un compostaje bien gestionado, aumentan la disponibilidad de nutrientes y la materia orgánica, lo que resulta en una mayor productividad del maíz y una mejor estructura del suelo (Al-Awadi et al., 2024). En suelos frágiles como los Entisoles presentes en diversas zonas de la Orinoquía, la adición sistemática de materia orgánica reduce la susceptibilidad a la compactación y mejora la capacidad de retención de agua. Por lo tanto, estos insumos orgánicos constituyen una intervención prioritaria y viable para los pequeños productores, siempre que se acompañen de procesos productivos y acceso local a aditivos (Bueno Buelvas, 2021; Bueno Buelvas y Fernández Lizarazo, 2025).

Manejo de Residuos de Cultivo y Acolchado

La incorporación de residuos de cultivo y el mantenimiento del acolchado, ya sea vivo o muerto, en la superficie son prácticas complementarias que contribuyen a la estabilidad estructural del perfil del suelo y reducen la erosión. La literatura revisada documenta un aumento

de la capacidad de carga y la estabilidad del suelo cuando se incorporan residuos o se mantiene el acolchado, beneficios especialmente relevantes en pendientes suaves y suelos con bajo contenido de materia orgánica (Bueno Buelvas, 2021; Bueno Buelvas y Fernández Lizarazo, 2025). Estas prácticas también promueven ciclos de nutrientes más cerrados y reducen la necesidad de insumos externos, lo que las hace compatibles con el perfil socioeconómico de los productores con acceso limitado a insumos comerciales.

Prácticas de Conservación del Suelo: Rotación de Cultivos, Cultivos de Cobertura y Estructuras

Un conjunto de prácticas establecidas, rotación de cultivos, cultivos de cobertura permanentes, siembra directa parcial y estructuras de control de escorrentía (p. ej., terrazas en micropendientes), han demostrado ser eficaces para reducir la pérdida de suelo y aumentar la fertilidad aparente a mediano plazo. Estos enfoques, recopilados en compendios técnicos, son aplicables con diversos grados de complejidad tecnológica y pueden adaptarse a sistemas de pequeña escala. Su implementación, especialmente a nivel local y por fases, facilita la adopción y mejora la estabilidad de la producción sin requerir inversiones prohibitivas (Rodríguez, 2021). Para maximizar su impacto, deben integrarse con mejoras en la gestión de la materia orgánica y el agua.

Labranza Utilizada en el Cultivo: Intensidad, Oportunidad y Enfoque Conservacionista

En el marco de las prácticas de agricultura de conservación, la preparación del suelo antes del cultivo de maíz es un factor determinante, ya que influye en su condición física (agregación, porosidad, densidad aparente) y su vulnerabilidad a la erosión pluvial y la escorrentía desde el inicio del ciclo productivo. La labranza convencional, caracterizada por múltiples pasadas e inversión del suelo, tiende a exponer la superficie y reducir la protección que

ofrecen los residuos de cultivo; además, puede acelerar la pérdida de materia orgánica y promover la obstrucción superficial, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía, lo que a su vez incrementa el riesgo de erosión del suelo y pérdida de nutrientes durante lluvias intensas (Bueno Buelvas, 2021; Rodríguez, 2021).

Por el contrario, la labranza mínima o la labranza cero (total o parcial) forma parte de la agricultura de conservación al buscar la mínima perturbación y una mayor cobertura vegetal. En estos sistemas, los residuos de cultivo se retienen como una barrera que amortigua el impacto de la lluvia, reduce la evaporación y contribuye gradualmente al enriquecimiento de la materia orgánica del suelo. En la práctica, esto puede lograrse mediante la apertura de surcos localizados dentro de la hilera de siembra, la labranza en franjas o la escarificación superficial sin invertir completamente el perfil del suelo (Bueno Buelvas, 2021; Rodríguez, 2021).

La compactación del suelo debe abordarse de forma específica y preventiva: en lugar de aumentar la labranza de forma generalizada, se recomienda diagnosticar las zonas críticas y, de ser necesario, realizar un subsolado localizado o una escarificación profunda, complementado con la reducción del número de pasadas y la gestión del flujo de tráfico para evitar la recompactación. Para los pequeños agricultores, un enfoque realista es adoptar estos cambios gradualmente (menos pasadas, conservación parcial de residuos y, posteriormente, aumento de la rotación/cultivos de cobertura), reconociendo que la reducción de la labranza puede requerir ajustes en el manejo de malezas mediante estrategias integradas. En general, la integración de la labranza como práctica explícita fortalece el vínculo entre el establecimiento del cultivo y la conservación del suelo, asociándola con el manejo de residuos, los cultivos de cobertura y el control de la escorrentía (Bueno Buelvas, 2021; Rodríguez, 2021).

Gestión del Agua y Tecnologías Apropiadas

Dado el déficit y la heterogeneidad de la cobertura de riego en la Orinoquía, las intervenciones relacionadas con el uso eficiente del agua son cruciales. Las tecnologías de bajo costo (almacenamiento simple de agua, microaspersores, prácticas de gestión del riego según la demanda) y las medidas de conservación del agua del suelo (mulching, aumento de la materia orgánica) han demostrado potencial para reducir la vulnerabilidad de los cultivos a la sequía y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos (Hernández García et al., 2020). Estas soluciones deben priorizarse en zonas con infraestructura limitada y diseñarse teniendo en cuenta la capacidad de mantenimiento de los productores locales.

Selección de Modelos de Producción y Criterios de Ecoeficiencia

La elección de los modelos de producción debe equilibrar la productividad y los costos ambientales. Los estudios de ecoeficiencia muestran que los sistemas menos intensivos o integrados pueden tener menores huellas hídricas y de carbono sin sacrificar la rentabilidad cuando se optimizan los insumos y se incorporan prácticas de conservación (Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021). En la Orinoquía, esto implica priorizar modelos que reduzcan la dependencia de insumos externos, promuevan el reciclaje de residuos y optimicen el uso del agua, siempre evaluados mediante indicadores que incluyen la productividad, la huella ambiental y la viabilidad económica para los pequeños productores.

Adaptación y Resiliencia: Variedades y Diversificación

Las estrategias de adaptación, diversificación de cultivos, uso de variedades más tolerantes al estrés hídrico o térmico y sincronización de fechas de siembra, fortalecen la capacidad de los sistemas para afrontar la variabilidad climática. La selección de material genético adecuado a las condiciones locales, combinada con prácticas de gestión del suelo y el

agua, constituye una intervención integral que reduce los riesgos y mejora la productividad esperada (Ávila Méndez et al., 2022; Quiroga-Cardona, 2020). Para que estas medidas sean eficaces, se requieren políticas de apoyo que faciliten el acceso a semillas certificadas y mecanismos de transferencia de tecnología.

Integración de Paquetes Técnicos y Consideraciones Socioeconómicas

Las intervenciones analizadas son más eficaces cuando se implementan como paquetes integrados que abordan simultáneamente el suelo, el agua, la genética y la organización de la producción. La evidencia sugiere que las intervenciones aisladas (p. ej., solo fertilización inorgánica o solo riego) tienden a lograr resultados subóptimos y pueden aumentar las externalidades negativas (Ramírez et al., 2021). Por lo tanto, se recomienda desarrollar paquetes técnicos como la incorporación de aditivos orgánicos + acolchado de residuos + prácticas de conservación del agua + acceso a semillas adaptadas, y apoyarlos mediante la extensión y el financiamiento local. De igual manera, la priorización de las intervenciones debe considerar la ecoeficiencia y la equidad: las medidas deben reducir los impactos ambientales y ser accesibles para los pequeños productores (Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021).

Implicaciones Prácticas y Líneas de Acción

Con base en los resultados, se proponen las siguientes líneas de acción para la Orinoquía: (1) promover la producción local y el acceso a fertilizantes orgánicos y compost; (2) institucionalizar el manejo de residuos y las prácticas de acolchado para aumentar la materia orgánica y reducir la erosión; (3) promover tecnologías de riego de bajo costo y medidas de conservación del agua del suelo; (4) apoyar programas de mejoramiento genético y la distribución de semillas adaptadas; (5) desarrollar paquetes técnicos integrados y programas de extensión con un enfoque participativo y apoyo financiero escalonado; y (6) evaluar las

intervenciones utilizando indicadores de productividad, salud del suelo y ecoeficiencia (Al-Awadi et al., 2024; Bueno Buelvas, 2021; Rodríguez, 2021; Hernández García et al., 2020; Pinzón Colmenares y Ramírez, 2021).

En definitiva, las intervenciones con mayor respaldo empírico para mejorar la productividad del maíz amarillo y la conservación del suelo en la Orinoquía son aquellas que combinan insumos de materia orgánica (enmiendas y residuos), prácticas de conservación y gestión eficiente del agua, complementadas con la selección de material genético y el apoyo institucional. El éxito de su implementación dependerá de estrategias de transferencia de tecnología, financiamiento y mecanismos de mercado que faciliten su adopción sostenida por parte de los pequeños productores.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación integrada nos permiten extraer una conclusión única y coherente sobre las condiciones y necesidades del cultivo de maíz amarillo en la Orinoquia: la región presenta una configuración agroecológica y socioeconómica que, combinada con los procesos de transformación del paisaje y una mayor variabilidad climática, limita la resiliencia y la sostenibilidad productiva. La pérdida de cobertura vegetal y la reducción de materia orgánica en muchos suelos han reducido la capacidad de retención de agua y aumentado la susceptibilidad a la erosión, mientras que la heterogeneidad en la disponibilidad de agua y la cobertura de riego genera marcadas diferencias en el potencial de productividad entre localidades.

Las barreras que enfrentan los productores son múltiples y están interrelacionadas. A nivel del suelo, la fragilidad estructural y el bajo contenido de materia orgánica requieren intervenciones específicas para restaurar y mantener la fertilidad. A nivel climático, las sequías más frecuentes y las lluvias intensas aumentan la exposición a daños en la producción y reducen las ventanas óptimas de manejo. En cuanto a las medidas fitosanitarias, las plagas y enfermedades encuentran condiciones favorables cuando los cultivos están bajo estrés y cuando faltan sistemas de manejo integrado accesibles. Desde una perspectiva socioeconómica, el predominio de pequeñas unidades de producción con acceso limitado a insumos, semillas certificadas, crédito y asistencia técnica dificulta la adopción de prácticas más sostenibles con mayor impacto técnico.

Las prácticas con mayor potencial para conciliar la productividad y la conservación del suelo son aquellas implementadas de forma integrada. La incorporación sistemática de enmiendas orgánicas y fertilizantes, junto con el manejo de residuos de cultivo y el acolchado, aumenta la materia orgánica, mejora la estructura del suelo y aumenta su capacidad de carga.

Además, la rotación de cultivos, el acolchado permanente o temporal, la siembra en sistemas de labranza reducida y, en zonas apropiadas, pequeñas estructuras de control de escorrentía reducen la erosión y estabilizan la productividad. La gestión eficiente del agua, incluyendo tecnologías de bajo costo para el almacenamiento y el riego a demanda, así como prácticas que mejoran la retención de humedad del suelo, es esencial en zonas con infraestructura limitada. La selección y el acceso a material genético adaptado y la diversificación de cultivos fortalecen la resiliencia al estrés abiótico.

La evidencia indica que los mayores beneficios se obtienen cuando estas prácticas se integran en paquetes técnicos acompañados de medidas de apoyo. Para que las intervenciones sean adoptables y sostenibles para los pequeños productores, es necesario facilitar la producción local y el acceso a fertilizantes orgánicos y compost, institucionalizar la gestión de residuos y los sistemas de acolchado, promover tecnologías de riego adecuadas y asegurar canales de distribución de semillas adaptadas. Apoyar la extensión rural con enfoques participativos y mecanismos de financiación escalonados es crucial para la difusión y sostenibilidad de las innovaciones.

En términos de evaluación y políticas, las intervenciones deben medirse mediante indicadores que integren la productividad, la salud del suelo y la eficiencia ambiental, para que la intensificación no aumente las externalidades negativas. Se deben priorizar los criterios de ecoeficiencia y equidad al seleccionar los modelos de producción y diseñar los incentivos, garantizando que las soluciones propuestas sean respetuosas con el medio ambiente y accesibles a las realidades locales.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones finales se presentan en formato de texto continuo, con el objetivo de facilitar la adopción de medidas para mejorar la productividad del maíz amarillo y garantizar la conservación del suelo en la Orinoquía. Promover la producción local y el acceso a fertilizantes orgánicos y compost mediante iniciativas comunitarias y asociativas que utilizan residuos agrícolas y ganaderos es prioritario. Además, la institucionalización de prácticas de gestión y utilización de residuos agrícolas y la promoción del acolchado aumentarán el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando su estructura y la capacidad de retención de agua en las parcelas familiares. También se recomienda la difusión de paquetes técnicos integrados, desarrollados y validados localmente en parcelas piloto. Estos paquetes combinan la incorporación de fertilizantes orgánicos, el manejo del acolchado, prácticas mínimas de conservación del suelo (rotaciones, labranza reducida, franjas de acolchado) y soluciones de gestión hídrica adecuadas para los pequeños productores, garantizando así que las recomendaciones técnicas sean operativas, escalables y económicamente viables para la mayoría de las unidades de producción de la región.

Fortalecer la asistencia técnica y los modelos de extensión participativa es esencial para la adopción sostenida de estas prácticas: capacitar a promotores locales, adaptar el contenido a contextos culturales y productivos específicos y apoyar procesos de aprendizaje presencial facilitan la transferencia de tecnología y la resolución de problemas operativos. Al mismo tiempo, se debe promover el acceso a semillas adaptadas mediante programas de mejoramiento participativo y sistemas locales de multiplicación que reduzcan la dependencia de fuentes externas y aumenten la disponibilidad de material genético con mejores respuestas al estrés hídrico y del suelo. Para abordar la heterogeneidad en la cobertura de riego, se recomienda

priorizar tecnologías de bajo costo y fácil mantenimiento (almacenamiento de agua a pequeña escala, riego según la demanda, prácticas de conservación de la humedad del suelo) integradas con mejoras en la materia orgánica que aumenten la eficiencia del recurso hídrico.

Las iniciativas técnicas deben complementarse con instrumentos de política y financiamiento que faciliten su adopción: líneas de crédito preferenciales, incentivos para prácticas de conservación y esquemas de pago por resultados ambientales pueden reducir la barrera de inversión inicial para los pequeños productores. Asimismo, promover acuerdos comerciales que reconozcan las prácticas sostenibles ayudará a garantizar la rentabilidad económica de productos con menor impacto ambiental. Todos los programas y proyectos deben incorporar indicadores de desempeño desde la fase de diseño, incluidas medidas de productividad, salud del suelo (materia orgánica, porosidad, capacidad de carga), eficiencia en el uso del agua y criterios de ecoeficiencia, para garantizar que la intensificación no aumente las externalidades negativas.

Finalmente, es fundamental implementar pruebas piloto y sistemas de monitoreo participativo en zonas representativas de la Orinoquia para evaluar la efectividad y la adopción de los paquetes técnicos propuestos en condiciones reales. Estas pruebas piloto deben combinar mediciones agronómicas, análisis de la salud del suelo, evaluaciones de la huella ambiental y estudios de adopción socioeconómica. La retroalimentación de estas experiencias debe utilizarse para ajustar tecnologías, modelos de extensión y mecanismos financieros, y para construir vías de expansión técnicamente robustas y socialmente equitativas. Solo mediante la coordinación de intervenciones técnicas, apoyo institucional y procesos de aprendizaje local será posible conciliar las mejoras productivas con la conservación de los recursos edáficos y la resiliencia a la variabilidad climática en la región.

Referencias Bibliográficas

AGROSAVIA. (2020). *Boletín técnico: Tecnologías para mejorar la productividad del maíz en suelos ácidos*. https://www.agrosavia.co

Al-Awadi, R. A., Konca, Y., & Ilbas, A. I. (2024). Impact of organic fertilizer quality on the phenotypic characteristics of corn crop and soil properties. *Peruvian Journal of Agronomy, 8*(3), 186–191. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/jpagronomy/article/view/2061

Almansa-Manrique, E. F., & Villalobos Bermúdez, M. A. (2025). Comportamiento de la escorrentía superficial en suelos de Serranía de la Orinoquia bajo diferentes condiciones de manejo. *Memorias del Simposio Ecuador Water Week 2025. Hidrología inteligente: Innovación y sostenibilidad en la gestión del agua ante el cambio climático, 12*(4, Especial). AGROSAVIA. https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/8293

Alvarado Rodríguez, R. (2021). *Manejo técnico del cultivo de maíz amarillo duro* [Video]. Instituto Nacional de Innovación Agraria. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=wsAtpSMlcnY

Arbeláez, M. A., et al. (2024). *Política comercial de la cadena productiva del maíz amarillo en Colombia*. Fedesarrollo.

Bernal, G., Navas, P., & Hernández, M. (2014). *Manejo integral del suelo en sabanas de la Orinoquía colombiana para el cultivo de maíz*. AGROSAVIA. https://repositorio.agrosavia.co/

Bernal, J. H., Navas, G. E., & Hernández, R. S. (2014). Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de Sabanas Ácidas de Colombia. En *Fertilizar Asociación Civil*. https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2014/09/6.pdf

Bueno Buelvas, R. (2021). *Evaluación del impacto de los residuos de cosecha de maíz (Zea mays) en la capacidad de intercambio catiónico de suelos Entisoles en Yopal Casanare* [Tesis de maestría, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional Universidad de La Salle. https://hdl.handle.net/20.500.14625/4390

Bueno Buelvas, R., & Fernández Lizarazo, J. C. (2022). Impacto de los residuos de cosecha en la capacidad de intercambio catiónico de suelos Entisoles. *Utopía, (2022)*(1). https://doi.org/10.19052/wp.utopia.2022.1

Cadena-Torres, J., Novoa-Yánez, R. S., Grandett-Martínez, 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), 68–79. https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2584

DANE. (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022: Resultados para cultivos de maíz en la región Orinoquía*. https://www.dane.gov.co

García Botina, M. J. (2021, agosto). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante: El maíz en Colombia* [Informe]. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). https://hdl.handle.net/10568/114766

Grande Tovar, C. D. (2013a). Potencial del maíz amarillo en Colombia: una mirada desde la agroindustria. *Revista de Ciencias Agrícolas, 30*(2), 76–85. https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/cagricolas/article/view/939

Grande Tovar, C. D. (2013d). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*. https://doi.org/10.21500/22563202.604

Gutiérrez Jaimes, L. F. (2023). *Análisis de un sistema productivo de maíz híbrido amarillo Dekalb 7088 VTTriplePro® (Zea mays) en el municipio de Aguazul Casanare enfocado en la adopción de tecnologías aplicadas al cultivo* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional Universidad de La Salle. https://hdl.handle.net/20.500.14625/18751

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2021). *Estudio de suelos de la región Orinoquía: Caracterización, uso y manejo*. https://www.igac.gov.co

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Política para el desarrollo agropecuario sostenible en la Orinoquía colombiana*. https://www.minagricultura.gov.co

Pacheco-Sangerman, F., Prado-Hernández, V., Maldonado-Torres, R., & Robledo-Santoyo, E. (2022). Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar en el cultivo de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13*(6), 1079–1090. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2691

Pinzón Colmenares, I. E., & Ramírez Cando, L. J. (2021). Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro y su influencia al cambio climático en Shushufindi, Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 33*(1), 76–91. https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.07

Quiroga-Cardona, J. (2020). Habilidad combinatoria general y específica relacionada con los componentes del rendimiento en cinco líneas endogámicas de maíz (Zea mays L.). *Orinoquia, 24*(2), 15–26. https://doi.org/10.22579/20112629.626

Ramírez, N. E., Munar, D. F., van der Hilst, F., Espinosa, J. C., Ocampo, Á. D., Ruiz, J. D., Molina, D. L., Wicke, B., García Núñez, J. A., & Faaij, A. P. C. (2021). Balance de GEI

de la intensificación agrícola y la producción de bioenergía en la región de la Orinoquía, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 42*(3), e10340. https://doi.org/10.15446/rfnam.v42n3.10340

Rozo López, D. P., Carmona Bedoya, M., Vallejo Arévalo, H., Chala Rosado, D. M., Cárdenas Urrego, W., Hincapié Parra, D. A., Pachón Alfonso, P., & Hernández Cervantes, M. (2021). *Informe deforestación y vulnerabilidad climática de la Región Orinoquía*. https://hdl.handle.net/1992/52721

Vargas Serna, A. (2022). Transformaciones del paisaje y conservación del suelo en la expansión de la frontera agrícola en la Orinoquía. *Revista de Estudios Ambientales, 12*(1), 33–48. https://revistasambientales.org/ojs/index.php/rea/article/view/512

Vargas Serna, J. (2022). *Análisis del uso de la tierra en las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia, la región de la Orinoquía, desde 1999 hasta 2022* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. http://hdl.handle.net/10495/28560