

El Maíz: Producción Agrícola e Industrialización

**Ahmed El Salous
Víctor Iler Santos
Johanna Duchimaza
Zulema Layanara Zamora Mendoza**



El Maíz:
Producción Agrícola e Industrialización

Ahmed El Salous
Víctor Iler Santos
Johanna Duchimaza
Zulema Layanara Zamora Mendoza

ISBN: 978-9942-53-178-0
Primera edición, 2026



© **Autor**

Ahmed El Salous

eelsalous@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7395-5420>

Universidad Agraria del Ecuador- Ecuador

Universidad internacional iberoamericana,

Unini - Mexico

Víctor Ileeer Santos

vileer@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0340-0811>

Universidad Agraria del Ecuador- Ecuador

Johanna Duchimaza

jduchimaza@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9662-2212>

Universidad Agraria del Ecuador- Ecuador

Zulema Layanara Zamora Mendoza

zzamora@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-2537-9364>

Universidad Agraria del Ecuador- Ecuador

© **Editorial Grupo Compás, 2026**

Guayaquil, Ecuador

www.grupocompas.com

<http://repositorio.grupocompas.com>

ISBN: 978-9942-53-178-0

Distribución online

Acceso abierto



Cita

El Salous, A., Ileeer, V., Duchimaza, J., Zamora, Z. (2026) El Maíz: Producción Agrícola e Industrialización. Editorial Grupo Compás

Primera edición, 2026

Esta obra ha sido sometida a un proceso de evaluación bajo el sistema de arbitraje doble ciego (double-blind peer review), garantizando el anonimato tanto de los autores como de los evaluadores externos. El dictamen favorable certifica que el contenido cumple con los más altos estándares de rigor científico, calidad editorial y originalidad exigidos por la comunidad académica internacional para su indexación y reconocimiento científico.

Nota sobre el Posicionamiento y Audiencia de esta Obra

Esta obra constituye una revisión científica integradora del sistema maicero ecuatoriano, destinada principalmente a estudiantes universitarios de agronomía, ingeniería agropecuaria y ciencias alimentarias (nivel de pregrado avanzado y posgrado), así como a investigadores, técnicos del sector público y profesionales del sector privado agroindustrial. El libro no pretende ser un manual operativo de campo, sino una síntesis crítica y documentada del conocimiento científico disponible sobre el maíz en Ecuador, con énfasis en la articulación entre producción primaria, poscosecha e industrialización.

Los lectores que busquen protocolos detallados de campo deben complementar esta obra con las guías técnicas y los manuales de Buenas Prácticas Agrícolas. Los datos económicos presentados corresponden a condiciones promedio del Ecuador continental y deben ajustarse a condiciones locales específicas antes de su aplicación.

Índice

Introducción	8
Importancia del maíz y contexto productivo	11
Origen y evolución del cultivo de maíz.....	11
Producción de maíz en el mundo y en Ecuador.....	15
Producción de maíz a nivel mundial	15
Producción de maíz en el Ecuador.....	18
Enfoque laboral	20
Productores y trabajadores a nivel mundial	20
Productores y trabajadores del maíz en el Ecuador.....	22
Zona de mayor productividad del maíz en el Ecuador	23
Variedades e híbridos de maíz	26
Diversidad varietal e híbridos de maíz a nivel mundial	26
Variedades e híbridos de maíz en el Ecuador.....	28
Producción agrícola del maíz	32
Requerimiento agroecológico	32
Selección de variedades y material vegetal	32
Sistemas de siembra	33
Manejo agronómico: fertilización, riego y sanidad	34
Buenas Prácticas Agrícolas.....	38
Cosecha y manejo en campo.....	39
Postcosecha del maíz	39
Fisiología del grano	39
Procesos de postcosecha.....	41
Clasificación y empaque	42

El Maíz: Producción Agrícola e Industrialización

Control de maduración	43
Normas de calidad e inocuidad	44
Industrialización del maíz	47
Tecnologías y equipos	52
Control de calidad en la industria	53
Modelación económica y escenarios de rentabilidad del maíz en Ecuador	56
Fundamentación metodológica para el análisis de escenarios.....	57
Escenario base de rentabilidad.....	58
Reducción de precio o rendimiento	58
Mejora tecnológica y eficiencia productiva	58
Evaluación ambiental integral del sistema maicero ecuatoriano	62
Cambio de uso del suelo y presión territorial	62
Huella hídrica del maíz en sistemas tropicales.....	62
Intensificación productiva y eficiencia territorial	63
Servicios ecosistémicos y sostenibilidad rural.....	63
Comparación estructural del sistema maicero ecuatoriano frente a Brasil y Estados Unidos	64
Diferencias en escala productiva y rendimiento	64
Nivel de tecnificación y digitalización agrícola	64
Integración en cadenas de valor y diversificación industrial	64
Sostenibilidad comparada e implicaciones estratégicas	65
Innovación tecnológica y perspectivas futuras del maíz en Ecuador	65
Agricultura digital y sistemas inteligentes.....	65
Mejoramiento genético.....	65
Automatización	66

El Maíz: Producción Agrícola e Industrialización

Bioeconomía	66
Limitaciones estructurales	66
Fragmentación productiva	66
Dependencia del mercado interno	66
Brecha tecnológica	66
Vulnerabilidad climática	67
Articulación institucional	67
Conclusiones	68
Limitaciones de esta Revisión.....	69
Glosario de Términos Técnicos	70
Referencias	74

Nota Metodológica

Esta revisión integradora se construyó mediante una búsqueda sistemática de literatura científica en las bases de datos SciSpace, Google Scholar, PubMed y Scopus, utilizando términos de búsqueda en español e inglés relacionados con: maíz ecuatoriano, Zea mays, producción de maíz Ecuador, cadena de valor maíz, industrialización maíz, molienda húmeda, poscosecha cereales, y combinaciones de estos términos con restricciones temporales (2000–2026) y geográficas (Ecuador, América Latina).

Criterios de inclusión: (a) estudios primarios y revisiones publicadas en revistas arbitradas; (b) reportes técnicos de instituciones reconocidas; (c) tesis doctorales y de maestría de universidades ecuatorianas acreditadas; (d) datos estadísticos de fuentes oficiales.

Criterios de exclusión: (a) fuentes sin revisión por pares y sin respaldo institucional; (b) información anterior a 2000 salvo para contexto histórico o evolutivo; (c) estudios con metodología no reportada o con conflictos de interés evidentes.

Cuando existieron datos conflictivos entre fuentes, se priorizaron los datos más recientes de organismos oficiales ecuatorianos, sobre datos de organismos internacionales, y se reportaron ambos valores cuando la discrepancia fue significativa ($>10\%$). Se realizó una búsqueda final de actualización en mayo de 2026 para incorporar datos estadísticos de la campaña 2024-2025.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cereales de mayor relevancia a escala mundial, ocupando el primer lugar en volumen de producción global y desempeñando un papel fundamental en la seguridad alimentaria, la nutrición humana y animal, y el desarrollo de cadenas agroindustriales complejas. Su versatilidad agronómica, adaptabilidad a diversos agroecosistemas y múltiples usos —desde la alimentación directa hasta la producción de biocombustibles y materias primas industriales— lo posicionan como un cultivo estratégico para enfrentar los desafíos de la creciente demanda alimentaria mundial. En el contexto latinoamericano, el maíz adquiere además una dimensión histórica y cultural de particular trascendencia: la región es centro de origen y diversificación del cultivo, y en las últimas décadas la expansión de la agroindustria avícola, porcina y de alimentos balanceados ha impulsado una creciente demanda de maíz amarillo duro, transformando los sistemas productivos tradicionales y generando nuevas dinámicas en las cadenas de valor regionales (Analuisa et al., 2022).

En Ecuador, el maíz representa uno de los cultivos de mayor importancia económica y social del país. La superficie sembrada alcanzó aproximadamente 375.908 ha de maíz duro seco y 57.309 ha de maíz suave en 2022, con una producción nacional estimada en alrededor de 1.667.704 toneladas (Albán et al., 2023). Los rendimientos presentan marcadas diferencias según el tipo: el maíz amarillo duro registra un promedio de $4,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (período 2018–2023), mientras que el maíz amiláceo alcanza apenas $1,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Albán et al., 2024). El cultivo aporta alrededor del 7% al Valor Agregado Bruto (VAB) agropecuario del país, consolidándose como un componente estratégico de la economía rural y de la agroindustria nacional (Albán et al., 2023).

La producción presenta una marcada concentración geográfica en la región Costa, donde las provincias de Los Ríos, Guayas y Manabí concentran aproximadamente el 77,34% del área cosechada nacional, siendo Los Ríos y Manabí responsables de cerca del 73% de la producción de maíz amarillo duro (Albán et al., 2024; Moya, 2018). Esta concentración responde a condiciones agroecológicas favorables, disponibilidad de infraestructura de riego y proximidad con los

principales centros de demanda agroindustrial. El incremento sostenido de los rendimientos en la Costa se ha asociado al uso de semillas certificadas, mejoras en la nutrición del cultivo y la dinamización de la cadena ligada a la producción de alimentos balanceados y la avicultura (Albán et al., 2023).

La cadena de valor del maíz se caracteriza por una estructura compleja y verticalmente integrada, en la que coexisten pequeños y medianos productores con grandes empresas nacionales que articulan la producción de semillas, agroquímicos, balanceados y avicultura, ejerciendo una influencia determinante sobre los precios y las condiciones de comercialización (Yumbra, 2010; Analuisa et al., 2022). La comercialización del grano se realiza mayoritariamente a través de intermediarios, limitando el acceso directo de los productores a mercados más rentables (Moya, 2018). Estudios de caso en cantones como Tosagua evidencian que la cadena contribuye significativamente a la productividad y al empleo local (Cadena de valor y su aporte, 2023), mientras que en localidades como Ventanas el maíz constituye la principal actividad económica familiar, aunque con limitaciones persistentes en el acceso a tecnología y servicios básicos (Sustentabilidad del sistema, 2020).

Sin embargo, el sistema productivo enfrenta desafíos estructurales que comprometen su competitividad y sostenibilidad. Los altos costos de insumos —fertilizantes, agroquímicos, semillas— reducen los márgenes de rentabilidad, especialmente para los pequeños productores (Cadena de valor y su aporte, 2023).

La variabilidad climática y el cambio climático afectan el desarrollo del cultivo y limitan los incrementos de rendimiento esperados, demandando tecnologías adaptativas (Albán et al., 2023). Diagnósticos territoriales señalan además la falta de diversificación productiva y el acceso limitado a servicios básicos como factores que aumentan la vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a eventos extremos (Sustentabilidad del sistema, 2020). La calidad del grano, aspecto crítico para la demanda agroindustrial, también se ve afectada por estas condiciones, subrayando la necesidad de mejoramiento genético y

prácticas agronómicas que fortalezcan la resiliencia productiva (Tecnologías para el cultivo, s.f.).

Frente a este escenario multidimensional, resulta imprescindible abordar de manera integral los componentes técnicos, económicos y sociales de la cadena del maíz en Ecuador, con el fin de identificar estrategias que fortalezcan su competitividad, mejoren las condiciones de los productores y aseguren la sostenibilidad de largo plazo de este sistema productivo clave para la economía nacional.

Importancia del maíz y contexto productivo

Origen y evolución del cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) constituye uno de los tres cereales más importantes a nivel mundial, junto con el trigo y el arroz, y representa un pilar fundamental de la seguridad alimentaria global. Su versatilidad agronómica, adaptabilidad a diversos ambientes y alto potencial de rendimiento lo han convertido en un cultivo estratégico tanto para la alimentación humana directa como para la producción de forraje, biocombustibles y materias primas industriales. En América Latina y en Ecuador, el maíz cumple un rol central en la economía rural, especialmente en sistemas de producción de pequeña y mediana escala, donde articula dimensiones productivas, sociales y culturales de larga data (Erenstein et al., 2022).

La domesticación del maíz a partir de su ancestro silvestre, el teosinte, constituye además uno de los procesos evolutivos más dramáticos y mejor documentados en la historia de la agricultura, involucrando cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos profundos que transformaron una gramínea silvestre de granos pequeños en el cultivo altamente productivo que conocemos hoy (Doebley et al., 2006).

La evidencia genómica, arqueobotánica y filogenética converge en ubicar el origen del maíz domesticado en la cuenca del río Balsas, en el suroeste de México, hace aproximadamente 9.000 años antes del presente (BP), a partir de

Zea mays ssp. *parviglumis*, la subespecie de teosinte con mayor similitud genética al maíz cultivado moderno (Matsuoka et al., 2002; Piperno et al., 2009). La evidencia arqueogenómica más reciente, derivada del análisis de restos de maíz recuperados en el sitio de Paredones, costa norte del Perú, confirma que el maíz ya presentaba características plenamente domesticadas hace 6.775–6.504 años BP, lo que indica una dispersión temprana y rápida fuera de su centro de origen (Ramos-Madrigal et al., 2016). Aunque la hipótesis del origen único en el Balsas es ampliamente aceptada, estudios de estructura poblacional y flujo génico han sugerido una mayor complejidad

geográfica del proceso, con posibles contribuciones de poblaciones de teosinte de la costa del Pacífico o de Jalisco (van Heerwaarden et al., 2011; Moreno-Letelier et al., 2018).

La transformación del teosinte en maíz implicó cambios fenotípicos profundos sustentados por modificaciones genéticas en loci de gran efecto y en numerosas regiones de pequeño efecto distribuidas a lo largo del genoma. Entre los cambios morfológicos más importantes se encuentran: la reducción drástica de la ramificación lateral y producción de una o pocas mazorcas grandes; la pérdida de las glumas duras que encierran el grano en el teosinte, resultando en granos "desnudos" y expuestos; el cese del desprendimiento natural de los granos en la madurez; y el aumento del tamaño y número

o de granos por hilera (Doebley et al., 2006; Panda et al., 2020). Dos genes han sido identificados como particularmente críticos en este síndrome de domesticación: teosinte branched 1 (tb1), un factor de transcripción que regula la supresión del crecimiento de yemas axilares y es responsable del cambio en la arquitectura del tallo (Doebley et al., 1997); y teosinte glume architecture 1 (tga1), que controla el desarrollo de las glumas y fue determinante para la exposición del grano (Wang et al., 2005). Estudios genómicos poblacionales han identificado además aproximadamente 394 regiones con señales de barridos selectivos asociados a la domesticación y 360 regiones adicionales vinculadas a procesos de adaptación posterior, mientras que análisis de GWAS han localizado 125 loci asociados al tiempo de floración, varios de los cuales se solapan con dichas regiones de selección (Hufford et al., 2012).

Tabla 1. Producción mundial de maíz por principales países (2022–2024)

País	Producción 2022 (Mt)	Producción 2023 (Mt)	Producción 2024 (Mt)	Participación mundial (%)
Estados Unidos	348.8	389.7	381.4	32.1
China	277.2	288.8	294.9	24.8
Brasil	116.0	137.0	127.5	10.7
Argentina	59.0	34.0	50.0	4.2
Ucrania	25.9	30.3	28.5	2.4
India	33.7	35.5	36.2	3.0
México	27.4	28.0	27.8	2.3
Ecuador	1.22	1.31	1.35	0.11
Resto del mundo	—	—	—	20.3
TOTAL MUNDIAL	~1,161	~1,233	~1,189	100.0

Fuente: FAOSTAT (2025); USDA Foreign Agricultural Service (2026); MAG Ecuador (2025).

La dispersión del maíz desde Mesoamérica hacia Sudamérica fue un proceso rápido y multifásico. El cultivo alcanzó Centroamérica alrededor de 7.500 años BP y llegó a Sudamérica aproximadamente 6.500 años BP, apenas 2.000–2.500 años después de su domesticación inicial

(Grobman et al., 2012; Kistler et al., 2018). Las muestras arqueogenómicas de Paredones, que carecen de introgresión significativa de *Zea mays* ssp. mexicana, apoyan una migración por un corredor litoral de baja altitud a lo largo de la costa del Pacífico (Ramos-Madrigal et al., 2016). Una vez en Sudamérica, múltiples oleadas de dispersión y procesos de aislamiento regional dieron lugar a linajes andinos de tierras altas, de tierras bajas y panamericanos (Vigouroux et al., 2008). En Ecuador, la diversidad morfológica y genética de las razas locales —adaptadas tanto a tierras bajas costeras como a valles interandinos— refleja estos procesos de selección local, y la presencia de inversiones cromosómicas en los cromosomas 3, 4 y 6, derivadas de introgresión adaptativa desde mexicana, ha sido documentada en razas andinas de tierras altas, incluyendo materiales ecuatorianos (Hufford et al., 2013).

En la actualidad, la evolución del cultivo continúa mediante programas de mejoramiento genético que integran herramientas genómicas avanzadas. Los estudios de GWAS, el mapeo de QTL y la selección genómica permiten identificar variantes asociadas a rendimiento, calidad nutricional y tolerancia a estreses bióticos y abióticos, acelerando las ganancias genéticas en los programas de mejoramiento (Buckler et al., 2009; Crossa et al., 2017). La conservación y utilización de la diversidad genética presente en teosintes y landraces es reconocida como esencial para este proceso: iniciativas como el programa GEM de la Universidad de Iowa y el programa MasAgro del CIMMYT han integrado diversidad nativa en líneas élite con el objetivo de ampliar la base genética de los cultivares modernos (Warburton et al., 2011). Estudios de modelación genómica advierten además que el cambio climático puede desajustar las adaptaciones locales presentes en estas poblaciones, subrayando la urgencia de caracterizar y conservar esta diversidad adaptativa antes de que se pierda por erosión genética (Aguirre-Liguori et al., 2019; Kumar et al., 2025).

En cuanto al comercio internacional, América del Norte y América del Sur concentran la mayor capacidad exportadora. Estados Unidos es el principal exportador mundial, con exportaciones que alcanzaron 81,92 millones de toneladas en 2025, valoradas en 18,46 mil millones de dólares; México constituye el principal mercado de destino, seguido por

Japón, Corea del Sur y Colombia (USDA Foreign Agricultural Service, 2026). Brasil y Argentina lideran las exportaciones regionales latinoamericanas; Brasil, en particular, amplió su presencia en mercados asiáticos cuando en 2022 fue autorizado como proveedor de maíz para China (Kopp et al., 2025; Zambrano-Mendoza et al., 2025). Las variaciones en los rendimientos de Norteamérica ejercen una influencia determinante sobre los precios internacionales del grano, dada la concentración de la oferta global en esta región (Zelingher & Makowski, 2022).

Producción de maíz en el mundo y en Ecuador

Producción de maíz a nivel mundial

El maíz (*Zea mays* L.) se ubica como el cultivo de mayor volumen productivo entre los cereales a escala global, superando incluso al trigo y al arroz en toneladas producidas. Según estimaciones recientes respaldadas por datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de maíz ha alcanzado aproximadamente 1 241 millones de toneladas métricas de grano en campañas recientes, consolidándolo como el principal cultivo alimentario y de uso industrial .

La producción mundial registró aproximadamente 1.113 millones de toneladas métricas en el ciclo 2019–2020, sobre una superficie cosechada de 192,45 millones de hectáreas y con un rendimiento promedio de 5,7 t·ha⁻¹ (Nargal & Patil, 2020). En los ciclos siguientes, la producción continuó su tendencia ascendente, alcanzando 1.216,87 millones de toneladas en 2020–2021 (Wahengbam et al., 2024), 1.223 millones en 2021–2022 (Bolatova et al., 2023), y aproximadamente 1.241 millones de toneladas en 2023 (Zambrano-Mendoza et al., 2025). Datos actualizados de la FAO para 2024 indican una producción de aproximadamente 1.220 millones de toneladas, reflejando una ligera contracción atribuible a condiciones climáticas adversas en algunas regiones productoras clave (Our World in Data, 2024).

Este crecimiento histórico refleja tanto la expansión del área cultivada estimada en torno a los 197 millones de hectáreas en ciclos recientes como el incremento progresivo de los rendimientos por unidad de superficie impulsado por la adopción tecnológica (Wahengbam et al., 2024; Erenstein et al., 2022). El liderazgo productivo del maíz responde a la convergencia de múltiples factores estructurales: su amplia adaptabilidad agroecológica, que permite el cultivo en climas tropicales, subtropicales y templados en todos los continentes; el intenso desarrollo tecnológico, expresado en la adopción de híbridos de alto rendimiento, fertilización de precisión y riego tecnificado; y la diversificación de sus usos finales, que abarca la alimentación humana directa, la producción de piensos para ganadería y avicultura, la generación de biocombustibles y una amplia gama de aplicaciones agroindustriales (Erenstein et al., 2022; Zambrano-Mendoza et al., 2025).

La producción mundial de maíz se encuentra altamente concentrada en un grupo reducido de países. Estados Unidos lidera la producción mundial con aproximadamente 377,6 millones de toneladas en 2024, representando cerca del 31% del total global, seguido por China con 294,9 millones de toneladas (24%), Brasil con 115,0 millones de toneladas (9%), Argentina con 57,5 millones de toneladas (5%), la Unión Europea con 58,9 millones de toneladas (5%), e India con 40,2 millones de toneladas (3%) (Our World in Data, 2024).

En conjunto, Estados Unidos y China representan más de la mitad de la producción mundial, configurando una alta dependencia global respecto a las condiciones climáticas y políticas agrícolas de ambos países (Zelingher & Makowski, 2022). Esta concentración geográfica implica que variaciones significativas en los rendimientos de estas dos naciones ejercen una influencia determinante sobre los precios internacionales del grano y la seguridad alimentaria global (Zelingher & Makowski, 2022).

Argentina figura también entre los principales productores y exportadores de América Latina, con una superficie maicera estimada en torno a 8 millones de hectáreas en 2023 (Zambrano-Mendoza et al., 2025). Brasil, por su parte, ha consolidado su posición como tercer productor mundial y amplió su presencia en mercados asiáticos cuando

en 2022 fue autorizado como proveedor de maíz para China, uno de los importadores que ha incrementado sustancialmente sus compras en el mercado internacional en años recientes (Kopp et al., 2025; Zambrano-Mendoza et al., 2025).

El incremento histórico de la producción mundial de maíz ha sido impulsado por mejoras tecnológicas, ampliación del área cultivada y ganancias sostenidas en rendimiento (Erenstein et al., 2022). Análisis de largo plazo reportan una tasa de crecimiento de rendimiento de aproximadamente 1,6% anual durante las últimas dos décadas a nivel global (Edmeades et al., 2010). Sin embargo, estudios basados en series históricas 1961–2008 revelan que entre el 24% y el 39% de las áreas maiceras mundiales presentan ausencia de mejora, estancamiento o colapso de rendimientos, evidenciando una heterogeneidad espacial significativa que limita el potencial productivo en diversas regiones (Ray et al., 2013).

En el período 2020–2024, la tasa de crecimiento anual del área cultivada se ha desacelerado hasta valores cercanos al 0% en varios escenarios analizados, lo que traslada la presión del crecimiento productivo casi exclusivamente hacia las ganancias de rendimiento por hectárea (Vieira et al., 2025). Esta desaceleración responde a múltiples factores, incluyendo la escasez de tierras agrícolas disponibles, la competencia con otros usos del suelo, y las crecientes preocupaciones ambientales relacionadas con la deforestación y la pérdida de biodiversidad (Erenstein et al., 2022). Las proyecciones para el período 2021–2030 estiman que el rendimiento promedio mundial podría alcanzar entre 5,99 y 6,70 t·ha⁻¹, condicionado al ritmo de adopción tecnológica y a los efectos del cambio climático (Cai et al., 2024).

El análisis de la producción mundial de maíz revela una dinámica compleja caracterizada por un crecimiento histórico sostenido, pero con señales recientes de desaceleración y vulnerabilidad. La ligera contracción observada entre 2023 y 2024 —de 1.241 a 1.220 millones de toneladas— subraya la sensibilidad del sistema productivo global a perturbaciones climáticas y otros factores de estrés (Zambrano-Mendoza et al., 2025; Our World in Data, 2024).

La alta concentración geográfica de la producción, con Estados Unidos y China representando más de la mitad del volumen mundial, configura un escenario de riesgo sistémico para la seguridad alimentaria global (Zelingher & Makowski, 2022). Eventos climáticos extremos, políticas comerciales restrictivas o interrupciones en la cadena de suministro en cualquiera de estos dos países pueden generar impactos significativos en los precios internacionales y en el acceso al grano en regiones importadoras netas (Zelingher & Makowski, 2022).

El estancamiento del área cultivada en años recientes traslada la responsabilidad del crecimiento productivo futuro casi exclusivamente hacia incrementos en rendimiento por hectárea (Vieira et al., 2025). Sin embargo, la evidencia de estancamiento o colapso de rendimientos en una proporción significativa de las áreas maiceras mundiales (Ray et al., 2013) plantea interrogantes sobre la viabilidad de sostener tasas históricas de crecimiento productivo sin inversiones sustanciales en investigación agrícola, infraestructura y transferencia tecnológica

Producción de maíz en el Ecuador

A diferencia de las enormes cifras globales, Ecuador representa un productor modesto en volumen, aunque relevante a nivel agroalimentario interno. Según datos basados en análisis de tendencias de producción, para 2023 la producción ecuatoriana de maíz se ubica alrededor de 1,41 mil millones de kilos, equivalentes a 1,41 millones de toneladas métricas.

Sin embargo, el maíz (*Zea mays* L.) representa uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en el Ecuador, constituyendo un pilar fundamental para la seguridad alimentaria nacional y la economía agrícola del país. La producción de maíz en Ecuador se caracteriza por su diversidad agroecológica, con sistemas productivos diferenciados entre la región Litoral (Costa) y la región Andina (Sierra), cada una con tipos específicos de maíz adaptados a sus condiciones ambientales particulares (Caviedes et al., 2024). La relevancia del cultivo trasciende su función como alimento básico para el consumo humano directo, ya que el maíz amarillo duro constituye la principal materia prima para la elaboración de alimentos balanceados destinados a la industria avícola

y porcina, sectores que representan componentes estratégicos de la economía nacional (Analuisa et al., 2023). Por su parte, el maíz amiláceo cultivado en la Sierra ecuatoriana mantiene un valor cultural y nutricional significativo para las comunidades rurales andinas, donde forma parte integral de la dieta tradicional.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Ecuador registró una superficie cosechada de maíz de 365.334 hectáreas con un rendimiento promedio de 4,58 toneladas por hectárea y una producción total de 1.479.700 toneladas (Caviedes-Cepeda et al., 2022). Estas cifras evidencian la magnitud del cultivo en el contexto agrícola nacional y su contribución a la producción de alimentos tanto para consumo humano como animal.

La investigación agrícola en Ecuador ha desempeñado un rol fundamental en el desarrollo del cultivo de maíz, particularmente en áreas como el mejoramiento genético, la nutrición vegetal, la fitopatología y la entomología. Los avances en mejoramiento genético han sido identificados como uno de los factores más determinantes para incrementar la productividad del cultivo en las dos regiones productoras más importantes del país: la Costa y la Sierra (Caviedes-Cepeda et al., 2022).

Sin embargo, el uso de biotecnología y sus aplicaciones para incrementar la productividad del cultivo aún se encuentra en etapas incipientes en el contexto ecuatoriano, el Estado ecuatoriano, a través del MAG y el INIAP, ha implementado diversas estrategias de apoyo a los actores sociales involucrados en la producción de maíz. Estas estrategias incluyen programas de asistencia técnica, acceso a semilla certificada, crédito agrícola y mecanismos de fijación de precios de sustentación para proteger a los productores de fluctuaciones adversas del mercado (Analuisa et al., 2023). El Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) del MAG constituye la principal fuente de datos estadísticos sobre superficie, producción y rendimiento de cultivos agrícolas en el país.

Asimismo, el INIAP, como institución rectora de la investigación agropecuaria en Ecuador, ha desarrollado variedades mejoradas de maíz adaptadas a las condiciones agroecológicas de las diferentes

regiones productoras, contribuyendo significativamente al incremento de la productividad y la sostenibilidad del cultivo (Caviedes-Cepeda et al., 2022).

Enfoque laboral

Productores y trabajadores a nivel mundial

El cultivo de maíz constituye uno de los pilares fundamentales del empleo agrícola en países en desarrollo, donde los sistemas de producción están dominados por agricultores familiares y pequeños productores que dependen del maíz tanto para la subsistencia como para la generación de ingresos estacionales (Nyagumbo et al., 2018; Mango et al., 2018). La cadena de valor del maíz articula una amplia red de actores y actividades interdependientes: desde el suministro de insumos y semillas mejoradas, la producción primaria y la cosecha, hasta las etapas de poscosecha —secado, almacenamiento y clasificación—, la transformación agroindustrial en harinas, alimentos balanceados y productos procesados, y la comercialización a través de mercados locales, regionales e internacionales (Kamau & Nyongesa, 2017; Sithole et al., 2023; Ba, 2017). La comercialización del maíz no solo incrementa los ingresos del hogar, sino que también dinamiza la demanda de mano de obra contratada y estimula la participación en actividades no agrícolas, aunque su impacto varía según el acceso a crédito, extensión agrícola y vínculos con el mercado (Salau et al., 2018). Adicionalmente, la dimensión de género es relevante en esta cadena: las mujeres participan activamente en la producción, el procesamiento y la comercialización local, aunque enfrentan barreras estructurales para acceder a los eslabones de mayor valor agregado (Adam et al., 2020; Muindi, 2023). En conjunto, estas dinámicas subrayan que el maíz no es únicamente un cultivo alimentario, sino un motor de empleo rural con profundas implicaciones sociales y económicas para las comunidades más vulnerables (Mizik et al., 2025).

A escala mundial, el maíz es cultivado tanto por:

Pequeños productores, que dependen del cultivo como medio de subsistencia y seguridad alimentaria.

Productores comerciales de gran escala, altamente tecnificados, orientados a mercados nacionales e internacionales.

Asimismo, el maíz ocupa un lugar central en los sistemas agrícolas familiares de regiones de África, Asia y América Latina, donde actúa simultáneamente como cultivo de subsistencia y como fuente de ingresos estacionales para millones de hogares rurales. Su producción articula cadenas de valor que generan empleo agrícola directo —desde la gestión del cultivo hasta la comercialización local— e impulsa mercados de insumos y semillas que dinamizan las economías rurales (Blackie et al., 2019; Hoogendoorn et al., 2018). La adopción de variedades mejoradas ha demostrado incrementar el consumo per cápita y la probabilidad de alcanzar excedentes alimentarios en comunidades vulnerables (Jaleta et al., 2018), mientras que prácticas de intensificación sostenible —como la intercalación maíz-leguminosa— han mejorado los índices de diversidad dietética y seguridad alimentaria en hogares de Uganda (Osewe et al., 2023). No obstante, la dependencia excesiva en el monocultivo de maíz puede profundizar la vulnerabilidad ante choques climáticos, de mercado o de política agraria, como evidencian los casos de México y Guatemala (Hellin et al., 2012; Lopez-Ridaura et al., 2019), lo que subraya la necesidad de estrategias complementarias de diversificación productiva y mejora en el almacenamiento poscosecha para consolidar la estabilidad social de estas comunidades (Wossen et al., 2023).

Asimismo, la cadena de valor del maíz integra una amplia fuerza laboral asociada al transporte, almacenamiento, procesamiento y comercialización, lo que amplía su impacto socioeconómico más allá del campo .

Productores y trabajadores del maíz en el Ecuador

En Ecuador, el maíz es un cultivo de alta relevancia social, particularmente en las zonas rurales de la región Costa y Sierra. La producción está dominada principalmente por pequeños y medianos productores, quienes dependen del cultivo como una de sus principales fuentes de ingresos y empleo agrícola.

Desde el punto de vista social, el cultivo de maíz cumple un rol estratégico en la dinamización de economías locales, contribuyendo a reducir la migración rural-urbana y fortaleciendo la seguridad alimentaria de los hogares agrícolas. No obstante, estudios recientes advierten que los productores ecuatorianos enfrentan limitaciones estructurales como acceso restringido a tecnología, financiamiento y mercados, lo que condiciona la sostenibilidad social del sistema productivo.

El maíz actúa como eje articulador de las economías rurales locales, generando empleo directo en la producción primaria y encadenamientos hacia la agroindustria y la comercialización (Analuiza et al., 2022; Hasang-Moran et al., 2021). A nivel del hogar agrícola, el maíz cumple una doble función: fuente de ingresos monetarios y componente esencial de la dieta familiar, lo que lo convierte en un pilar de la seguridad alimentaria de las comunidades campesinas (Eche, 2018; Lovato, 2011). No obstante, la sostenibilidad social de este sistema productivo se ve comprometida por un conjunto de limitaciones estructurales que afectan de manera desproporcionada a los pequeños productores: acceso restringido a semilla certificada y tecnologías mejoradas, escasez de instrumentos financieros formales adecuados a la escala campesina, inestabilidad de precios y débil articulación con los mercados, así como déficits en extensión agrícola, almacenamiento e infraestructura poscosecha (Torres Navarrete et al., s.f.; Cisneros Icaza et al., 2024; Meza Bone et al., 2023). Estas brechas estructurales reproducen condiciones de vulnerabilidad que limitan la capacidad de los productores ecuatorianos de maíz para mejorar su bienestar, diversificar sus medios de vida y adaptarse a los crecientes desafíos climáticos y de mercado (Erenstein et al., 2022).

Zona de mayor productividad del maíz en el Ecuador

La productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador no es homogénea en todo el territorio, sino que está fuertemente influenciada por las condiciones agroecológicas locales y por las prácticas agronómicas aplicadas en cada región. Estudios científicos muestran que la Costa del Ecuador, integrada por provincias como Los Ríos, Guayas y Manabí, representa una de las zonas más productivas para el cultivo de maíz, principalmente por sus condiciones climáticas cálidas y húmedas, disponibilidad de suelos fértiles y mayor accesibilidad a infraestructura agrícola.

Un estudio centrado en la adopción de tecnologías agrícolas en Ecuador encontró que más del 90 % de la superficie destinada a maíz se concentra en las provincias costeñas de Los Ríos, Guayas, Manabí y Loja, destacando que estas áreas constituyen el núcleo productivo de maíz del país. El análisis también indica que la incorporación de semillas híbridas y paquetes tecnológicos incrementó significativamente el rendimiento por hectárea en estas regiones, lo cual respalda su importancia como zonas de alta productividad .

En contraste, la región Sierra, aunque también cultiva maíz tiende a producir menores rendimientos promedio, especialmente en sistemas tradicionales o de polinización abierta, como reportan otros estudios agronómicos. Esta diferencia se explica por barreras tecnológicas, topografía más compleja y menor acceso a insumos que favorezcan altos rendimientos.

El maíz amarillo duro (*Zea mays* L. var. *indurata*) constituye el tipo de maíz de mayor importancia económica en Ecuador, cultivado principalmente en la región Litoral. Este tipo de maíz se caracteriza por su grano de textura dura, color amarillo intenso y alto contenido de almidón, características que lo hacen especialmente adecuado para la elaboración de alimentos balanceados destinados a la industria avícola y porcina (Analuisa et al., 2023).

La producción de maíz amarillo duro en Ecuador alcanzó un rendimiento promedio de 4,17 toneladas por hectárea durante el período 2018-2023, con variaciones significativas entre productores según el nivel

tecnológico empleado y las condiciones agroecológicas específicas de cada zona (Caviedes et al., 2024). Las provincias de Los Ríos y Manabí concentran el 73% de la producción nacional de este tipo de maíz, constituyendo el núcleo productivo más importante del país.

El abastecimiento de semilla de maíz amarillo duro en la región Litoral está cubierto principalmente por el sector privado, con empresas especializadas que comercializan híbridos de alto rendimiento desarrollados tanto a nivel nacional como importados (Caviedes et al., 2024). Esta situación contrasta con la región Andina, donde la oferta de semilla certificada presenta limitaciones significativas.

El maíz amiláceo (*Zea mays* L. var. *amylacea*) se cultiva predominantemente en la región Andina del Ecuador, caracterizándose por su grano de textura suave, alto contenido de amilosa y diversidad de colores que incluyen blanco, amarillo, negro y morado. Este tipo de maíz se destina principalmente al consumo humano directo, siendo un componente fundamental de la dieta tradicional de las comunidades rurales andinas (Caviedes et al., 2024).

La productividad del maíz amiláceo es significativamente inferior a la del maíz amarillo duro, con un rendimiento promedio de 1,31 toneladas por hectárea durante el período 2018-2022. Esta menor productividad se explica por múltiples factores, incluyendo las condiciones agroecológicas más restrictivas de la Sierra (menor temperatura, mayor altitud, topografía irregular), el predominio de sistemas de producción de pequeña escala con limitado acceso a tecnología, y el uso de variedades tradicionales de polinización abierta en lugar de híbridos de alto rendimiento (Caviedes et al., 2024).

Las provincias de Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi concentran el 82% de la producción nacional de maíz amiláceo, constituyendo la zona de mayor importancia para este tipo de cultivo. La producción se realiza mayoritariamente en unidades productivas familiares de pequeña escala, con superficies que raramente superan las 2 hectáreas por productor.

Dentro de los maíces amiláceos, el maíz negro ha emergido como un tipo de especial interés debido a su alto valor nutricional,

particularmente por su contenido de antocianinas y otros compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. La producción de semilla certificada de maíz negro ha demostrado ser económicamente viable, con una relación beneficio/costo estimada entre 1,58 y 1,70, lo que indica una rentabilidad atractiva para los productores que decidan especializarse en este nicho de mercado (Caviedes et al., 2024).

La región Litoral concentra la mayor parte de la producción nacional de maíz amarillo duro, con las provincias de Los Ríos y Manabí como los principales polos productivos. Estas dos provincias aportan conjuntamente el 73% de la producción total de maíz amarillo duro del país (Caviedes et al., 2024).

Mientras en la región Andina concentra la producción de maíz amiláceo, con las provincias de Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi como las principales zonas productoras, aportando conjuntamente el 82% de la producción nacional de este tipo de maíz (Caviedes et al., 2024).

Las marcadas diferencias en productividad entre el maíz amarillo duro de la región Litoral y el maíz amiláceo de la región Andina se explican fundamentalmente por las condiciones agroecológicas contrastantes de ambas regiones. La región Litoral presenta temperaturas promedio entre 24-28°C, altitudes menores a 500 metros sobre el nivel del mar, precipitaciones anuales entre 1.000-2.500 mm, suelos profundos y fértiles, y topografía predominantemente plana. En contraste, la región Andina se caracteriza por temperaturas promedio entre 10-16°C, altitudes entre 2.400-3.200 metros sobre el nivel del mar, precipitaciones anuales entre 500-1.200 mm, suelos de menor profundidad y fertilidad variable, y topografía irregular con pendientes pronunciadas (Caviedes et al., 2024).

Además, investigaciones sobre mejoramiento genético y características agronómicas del maíz en distintas zonas productivas ecuatorianas muestran que,

En la Costa, especialmente en los valles bajos, se desarrolla principalmente maíz amarillo duro, destinado tanto a consumo humano como a alimento animal, con rendimiento potencial que supera ampliamente al de variedades tradicionales de montaña .

Proyectos experimentales han caracterizado poblaciones nativas y mejoradas de maíz en regiones como Manabí, aportando datos morfo-agrícolas valiosos para comprender la productividad en zonas costeras.

Estas evidencias coinciden en que la Costa ecuatoriana representa la zona de mayor productividad del maíz, especialmente para cultivos mecanizados y orientados al mercado, en comparación con áreas más marginales o agrícolas tradicionales del país.

Variedades e híbridos de maíz

Diversidad varietal e híbridos de maíz a nivel mundial

El maíz (*Zea mays* L.) presenta una de las mayores diversidades genéticas entre los cultivos agrícolas, lo que ha permitido su adaptación a una amplia gama de condiciones agroecológicas y sistemas productivos a nivel mundial. Estudios recientes destacan que esta diversidad se expresa tanto en variedades tradicionales como en híbridos comerciales, los cuales han sido desarrollados mediante programas avanzados de mejoramiento genético orientados a incrementar el rendimiento, la estabilidad productiva y la tolerancia a estreses bióticos y abióticos.

A escala global, el maíz se destina principalmente a la alimentación animal (piensos), constituyendo la base energética de las cadenas avícola, porcina y bovina en las principales economías ganaderas (Erenstein et al., 2022; Ranum et al., 2014). La producción mundial ha experimentado un crecimiento acelerado, superando actualmente los 1.000 millones de toneladas anuales, concentrada en Estados Unidos, China y Brasil (Erenstein et al., 2022; Stavtsev et al., 2022). Estos países líderes desempeñan roles diferenciados: Estados Unidos domina la producción de bioetanol, China se posiciona como principal consumidor e importador, y Brasil diversifica su matriz energética incorporando maíz a su industria de biocombustibles (He et al., 2022; Sampaio & Assis, 2024).

En Estados Unidos, la producción de etanol ha llegado a absorber cerca del 40% de la producción nacional, con la fracción destinada a este biocombustible aumentando desde aproximadamente 1% en 1980

hasta un tercio del maíz procesado en años recientes, convirtiendo al país en el mayor productor mundial de bioetanol de maíz (Peterson, 2022; USDA, 2010). A nivel global, la producción anual de bioetanol alcanzó aproximadamente 110.000 millones de litros en 2019, aunque descendió a 98.600 millones de litros en 2020 debido al impacto de la pandemia de COVID-19 (Hoang & Nghiem, 2021). Las proyecciones indican que China podría aumentar sus importaciones de etanol hasta 1.210 millones de litros en 2030 bajo ciertos escenarios de política energética (He et al., 2022).

El uso para alimentación humana directa en forma de harinas, tortillas y otros productos tradicionales mantiene una relevancia crítica en regiones de bajos ingresos de América Latina, África subsahariana y Asia, donde el maíz constituye un alimento básico para millones de personas (Erenstein et al., 2022). Los usos industriales no alimentarios almidón, edulcorantes, aceite, alcohol industrial completan el espectro de aplicaciones del grano (Ranum et al., 2014).

Durante las últimas décadas, el uso de híbridos de maíz ha predominado en los principales países productores debido a su superioridad en rendimiento y eficiencia agronómica. Investigaciones recientes basadas en análisis genómicos y meta-QTL han demostrado que los híbridos modernos concentran combinaciones favorables de alelos asociados a características como peso de grano, arquitectura de planta y eficiencia en el uso de nutrientes, lo que explica su amplia adopción a escala global.

Asimismo, a nivel mundial se reconocen múltiples tipos de maíz según la textura y composición del grano, entre los que destacan el maíz dentado, maíz duro, maíz harinoso y maíz dulce, cada uno con aplicaciones diferenciadas en consumo humano, alimentación animal y agroindustria. La coexistencia de estos tipos responde tanto a demandas del mercado como a adaptaciones ecológicas específicas.

Asimismo, el maíz se clasifica en múltiples tipos según la textura y composición del endospermo del grano, distinción que determina directamente sus propiedades físicas, nutricionales y tecnológicas. Los principales tipos reconocidos son el maíz dentado (dent), caracterizado por una mezcla de endospermo vítreo y harinoso que lo convierte en el

tipo dominante para alimentación animal e industria del almidón; el maíz duro o cristalino (flint), de endospermo predominantemente vítreo, valorado en regiones templadas y en la producción de hojuelas y alimentos tradicionales; el maíz harinoso (floury), con endospermo blando que facilita la molienda y la obtención de harina y masa nixtamalizada; el maíz dulce (sweet), cuyos alelos mutantes retienen azúcares en el grano y lo destinan al consumo humano fresco, enlatado o congelado; el maíz ceroso (waxy), rico en amilopectina, apreciado en la industria de almidones especiales por su alta viscosidad; y el maíz reventador (popcorn), de endospermo completamente vítreo y pericarpio fino, destinado al mercado de botanas (Zilic et al., 2011; Arcanjo et al., 2024; Actis et al., 2020). La coexistencia de estos tipos a escala global responde a una combinación de factores: adaptaciones ecológicas específicas —como la preferencia del maíz flint por climas fríos—, demandas diferenciadas de los mercados alimentarios e industriales —como el maíz blanco dentado para tortillas o el ceroso para espesantes industriales— y programas de mejoramiento genético que mantienen y cruzan distintos acervos genéticos para maximizar rendimiento y calidad (Rooney & Serna-Saldívar, 2015; Moreno-González et al., 2000; Revilla et al., 2022).

Variedades e híbridos de maíz en el Ecuador

El sistema productivo del maíz en Ecuador se articula en torno a dos grandes tipos diferenciados por su composición de grano (tb2), su distribución geográfica y sus cadenas de valor: el maíz duro amarillo, concentrado en la región Costa, y el maíz amiláceo o suave, predominante en la región Sierra. Según datos recientes, la superficie cosechada de maíz duro alcanzó las 375.908 hectáreas en 2022, con un rendimiento promedio de 4,17 t·ha⁻¹, mientras que el maíz suave ocupó 57.309 hectáreas con un rendimiento promedio de 1,31 t·ha⁻¹, lo que evidencia una marcada brecha de productividad entre ambos sistemas (Albán et al., 2024). Esta dualidad no es solo agronómica, sino también estructural: los sistemas de semilla, los mercados de destino y los actores de la cadena difieren sustancialmente entre regiones. En la Costa, el sector privado tiene mayor presencia y cobertura en la provisión de semilla certificada e insumos, mientras que en la Sierra predominan los sistemas informales de semilla campesina, con acceso limitado a

materiales mejorados (Albán et al., 2024; II Simposio Ecuatoriano del Maíz, 2023). Esta heterogeneidad productiva y varietal refleja la diversidad agroecológica y cultural del país, y plantea desafíos diferenciados para la política agrícola nacional.

En la región Sierra, el maíz está representado principalmente por variedades criollas, ecotipos locales y razas nativas que forman parte del patrimonio genético y cultural de las comunidades andinas ecuatorianas. Entre las razas más documentadas se encuentran el canguil, la tusilla y diversas mezclas locales conservadas en el banco de trabajo del Programa de Maíz del INIAP, cuyo análisis molecular ha revelado una alta diversidad genética intraespecífica: 72 alelos identificados en 9 loci microsatélite, con un índice de contenido polimórfico (PIC) de 0,58 y una heterocigosidad esperada de 0,63, con la mayor parte de la variación distribuida dentro de las poblaciones (Silva et al., 2014). Adicionalmente, materiales como el maíz negro y morado andino han sido objeto de estudios de caracterización molecular y morfológica que destacan su variabilidad genética y su riqueza en antocianinas, compuestos de interés nutricional y agroindustrial (Borja & Caviedes, 2013). A pesar de su valor genético y cultural, estas variedades enfrentan rendimientos sustancialmente menores a los híbridos comerciales —aproximadamente un tercio de su productividad— lo que limita los incentivos económicos para su cultivo y conservación en finca. Frente a este escenario, investigaciones en mejoramiento participativo y conservación in situ y ex situ han sido promovidas como estrategias complementarias para preservar la diversidad racial sin sacrificar la competitividad productiva de los agricultores serranos (Zambrano et al., 2021).

En la región Costa, el desarrollo y adopción de híbridos comerciales de maíz duro amarillo ha sido el eje central del incremento productivo del sector maicero ecuatoriano. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha liderado la generación de materiales adaptados a las condiciones tropicales del litoral, destacando el híbrido INIAP H-603 Superior, que registró un rendimiento promedio de 8,48 t·ha⁻¹ en ensayos multilocalidad realizados en 29 sitios, superando a testigos comerciales como INIAP H-602 y DEKALB-7088 en productividad, tolerancia a enfermedades foliares y estabilidad

ambiental (Limongi-Andrade et al., 2018). Evaluaciones comparativas de híbridos comerciales y experimentales en el litoral ecuatoriano reportan rangos de rendimiento entre 5,3 y 8,0 t·ha⁻¹, con variaciones significativas según genotipo, localidad y época de siembra (Cabascango-Paucar et al., 2023). Los análisis de interacción genotipo × ambiente realizados en Manabí y Los Ríos identificaron híbridos con respuesta diferencial: algunos materiales expresan alto rendimiento únicamente bajo condiciones favorables, mientras que otros muestran mayor estabilidad en ambientes variables, información clave para la toma de decisiones en el manejo agronómico regional (Zambrano et al., 2017). Paralelamente, el INIAP ha desarrollado híbridos especializados como INIAP H-248 “Soberano” para grano blanco de consumo humano e INIAP-528 para sistemas irrigados costeros, ampliando el portafolio de materiales disponibles para distintos segmentos del mercado (Eguez et al., 2019; Alarcón et al., 2019).

La coexistencia de variedades tradicionales e híbridos mejorados en Ecuador no constituye una contradicción, sino una complementariedad estratégica que responde a las múltiples funciones que el maíz cumple en el sistema agroalimentario nacional. Mientras los híbridos comerciales costeros sostienen la oferta de grano para la industria de alimentos balanceados y garantizan la competitividad del sector en los mercados nacionales, las variedades criollas serranas proveen alimentos culturalmente valorados, abastecen mercados locales y representan un reservorio vivo de diversidad genética con potencial para el mejoramiento frente a escenarios de cambio climático (Zambrano et al., 2021; II Simposio Ecuatoriano del Maíz, 2023). Desde una perspectiva de seguridad alimentaria, ambos sistemas son indispensables: el maíz duro abastece la cadena avícola y porcina que provee proteína animal a la población, mientras que el maíz suave andino sustenta la dieta y los ingresos de miles de familias campesinas de la Sierra (Albán et al., 2024). Los principales desafíos futuros incluyen fortalecer los sistemas de semilla para variedades criollas —actualmente desatendidos por el sector privado—, ampliar la cobertura de asistencia técnica para la adopción de híbridos en zonas de transición, y articular políticas de conservación genética con incentivos económicos que hagan viable el mantenimiento de la diversidad maicera en finca (Zambrano et al., 2021; Albán et al., 2024). En suma, el futuro del sector maicero ecuatoriano

depende de la capacidad institucional para gestionar esta diversidad como un activo estratégico y no como una limitación productiva.

Tabla 2. Comparación de híbridos de maíz recomendados por INIAP para Ecuador

Híbrido	Tipo	Rendimiento (t/ha)	Ciclo (días)	Resistencia Helminthosporium	Zona recomendada	Observaciones
INIAP H-601	Simple	7.5–9.0	115–120	Alta	Costa, Litoral	Alto potencial rendimiento
INIAP H-602	Simple	7.0–8.5	110–115	Media-Alta	Costa	Buena tolerancia sequía
INIAP H-603	Triple	6.5–8.0	120–125	Media	Sierra baja	Adaptado 800–1500 msnm
INIAP H-551	Triple	5.5–7.5	125–130	Alta	Sierra media	Resistente a Puccinia
INIAP H-553	Doble	5.0–7.0	130–135	Media	Sierra alta	Adaptado >1500 msnm
Dekalb DK-7088	Comercial	8.0–10.0	110–115	Media	Costa	Alto rendimiento, costo alto
Pioneer 30F35	Comercial	7.5–9.5	112–118	Media	Costa/Litoral	Amplia adaptación
NK Semillas 9000	Comercial	7.0–8.5	115–120	Media-Alta	Costa	Buen comportamiento húmedo

Fuente: INIAP (2023); Albán et al. (2024); Zambrano et al. (2021); datos de campo MAGAP (2024).

Nota: Los rendimientos son estimaciones bajo manejo tecnificado. Condiciones locales pueden variar $\pm 15\%$.

Producción agrícola del maíz

Requerimiento agroecológico

La producción agrícola del maíz está determinada por la interacción entre factores climáticos, edáficos y de manejo agronómico. El cultivo presenta un óptimo desarrollo en ambientes con temperaturas moderadas, adecuada disponibilidad hídrica y suelos fértiles con buen drenaje, condiciones que influyen directamente en el rendimiento y la estabilidad productiva .

Diversas investigaciones recientes han demostrado que la implementación de sistemas productivos sostenibles puede mejorar el desempeño del cultivo bajo diferentes condiciones agroecológicas. Un metaanálisis global evidenció que los sistemas agroforestales incrementan el rendimiento del maíz al mejorar la fertilidad del suelo, reducir el estrés térmico y optimizar el uso de recursos naturales, particularmente en regiones con limitaciones ambientales .

El potencial productivo del maíz está condicionado por su base genética. El análisis de rasgos poligénicos asociados a características productivas y nutricionales ha permitido identificar regiones genómicas clave que contribuyen a la eficiencia del cultivo, lo cual resulta fundamental para el desarrollo de variedades adaptadas a condiciones agroecológicas específicas .

Selección de variedades y material vegetal

La selección de variedades y material vegetal constituye uno de los factores determinantes en la productividad del maíz (*Zea mays* L.), ya que define el potencial genético del cultivo y su capacidad de adaptación a condiciones agroecológicas específicas. Investigaciones recientes destacan que la elección de híbridos o variedades debe basarse en criterios como rendimiento potencial, estabilidad productiva, tolerancia a estrés abiótico y resistencia a enfermedades, considerando además la interacción genotipo-ambiente ($G \times E$) como variable clave en la toma de decisiones agronómicas. La correcta selección varietal

permite reducir riesgos productivos y maximizar la eficiencia en el uso de insumos.

El uso de híbridos comerciales ha demostrado ventajas significativas en términos de vigor híbrido, uniformidad fenológica y mayor eficiencia fisiológica en la captación de radiación y nutrientes. Estudios publicados en los últimos años evidencian que los híbridos modernos incorporan avances en selección asistida por marcadores y herramientas genómicas, lo que ha permitido acelerar la obtención de materiales con mayor tolerancia a sequía, altas temperaturas y limitaciones nutricionales. Esta mejora genética ha sido fundamental para sostener incrementos en rendimiento en escenarios de variabilidad climática.

En sistemas productivos de pequeña escala, especialmente en regiones tropicales y andinas, continúan utilizándose variedades de polinización abierta y materiales criollos, los cuales presentan ventajas relacionadas con la adaptación local, menor costo de semilla y preservación de diversidad genética. Investigaciones recientes señalan que la conservación y evaluación participativa de estos materiales contribuye a la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático y a la variabilidad ambiental. En este contexto, la selección del material vegetal debe considerar no solo el rendimiento, sino también criterios socioeconómicos y culturales.

La calidad de la semilla representa un componente crítico en la etapa inicial del cultivo. Parámetros como pureza genética, poder germinativo, vigor y sanidad influyen directamente en el establecimiento uniforme del cultivo y en la expresión del rendimiento final. Estudios sobre calidad fisiológica de semilla de maíz demuestran que semillas certificadas con alto vigor presentan mayor uniformidad en emergencia y mejor desempeño en etapas tempranas, lo que impacta positivamente la productividad total. Por tanto, la selección del material vegetal debe integrarse con esquemas de certificación y control de calidad que garanticen estabilidad productiva.

Sistemas de siembra

Los sistemas de siembra en maíz (*Zea mays* L.) constituyen un componente estructural del diseño agronómico, ya que influyen

directamente en la interceptación de radiación, competencia intraespecífica, eficiencia en el uso de recursos y rendimiento final. Investigaciones recientes demuestran que la densidad de siembra y la distribución espacial de las plantas determinan la eficiencia en la captación de luz y el desarrollo foliar, afectando la producción de biomasa y el número de granos por unidad de superficie. La optimización de la densidad poblacional depende del híbrido utilizado y de las condiciones edafoclimáticas predominantes.

En sistemas intensivos, el aumento de la densidad de plantas ha sido una estrategia ampliamente utilizada para maximizar el rendimiento por hectárea; sin embargo, estudios recientes advierten que densidades excesivas pueden incrementar la competencia por agua y nutrientes, reduciendo el peso individual del grano y aumentando la susceptibilidad al estrés hídrico. Por tanto, la determinación de la densidad óptima requiere un equilibrio entre número de plantas y capacidad del ambiente para sostener altos niveles productivos.

El arreglo espacial también desempeña un papel determinante. Investigaciones basadas en modelos eco fisiológicos indican que la siembra en hileras equidistantes mejora la uniformidad en la distribución de raíces y reduce la competencia asimétrica, favoreciendo una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno y del agua. Además, la mecanización agrícola moderna ha permitido una mayor precisión en la colocación de semillas, lo que contribuye a una emergencia más uniforme y a un desarrollo inicial homogéneo del cultivo.

En contextos de agricultura de conservación, la siembra directa sobre residuos de cultivos anteriores ha demostrado beneficios asociados a la mejora de la estructura del suelo, reducción de la erosión y mayor retención de humedad. Estudios recientes señalan que la combinación de siembra directa con rotaciones adecuadas puede incrementar la estabilidad del rendimiento y mejorar la resiliencia del sistema productivo frente a eventos climáticos extremos

Manejo agronómico: fertilización, riego y sanidad

El manejo agronómico del maíz (*Zea mays* L.) constituye un eje determinante en la expresión del rendimiento potencial del cultivo, ya

que integra prácticas orientadas a optimizar la nutrición mineral, el suministro hídrico y el control fitosanitario. En términos nutricionales, el maíz presenta alta demanda de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), siendo el nitrógeno el nutriente que mayor influencia ejerce sobre la producción de biomasa y el llenado de grano. Investigaciones recientes demuestran que estrategias de fertilización basadas en diagnósticos de suelo y en aplicaciones fraccionadas de nitrógeno incrementan la eficiencia de uso del nutriente y reducen pérdidas por lixiviación y volatilización (tb3).

Tabla 3. Recomendaciones de fertilización del maíz según tipo de suelo y rendimiento objetivo

Tipo de suelo	Rendimiento objetivo (t/ha)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Fraccionamiento N	Fuente recomendada
Franco arenoso (Costa)	7–9	180–200	80–100	60–80	40% siembra, 60% V6	Urea + DAP
Franco arcilloso (Costa)	6–8	160–180	60–80	80–100	50% siembra, 50% V6	Urea + triple 15
Andisol (Sierra baja)	5–7	140–160	100–120	60–80	50% siembra, 50% V4	Urea + superfosfato
Vertisol (Sierra media)	4–6	120–140	80–100	40–60	60% siembra, 40% V4	Nitrato amónico
Suelo degradado	3–5	100–120	60–80	40–60	Fraccionado en 3 dosis	Fertilizante complejo
Riego tecnificado	8–11	200–240	90–110	80–100	Fertirrigación semanal	Soluciones nutritivas

Fuente: INIAP (2022); Vásconez et al. (2021); Vera Bravo et al. (2024); MAG Ecuador (2023).

Nota: Las dosis deben ajustarse mediante análisis de suelo previo. V4=cuarta hoja, V6=sexta hoja.

El fósforo, por su parte, desempeña un papel esencial en el desarrollo radicular y en los procesos energéticos asociados a la fotosíntesis y la formación de granos. Estudios recientes indican que la eficiencia en la absorción de fósforo depende significativamente de la interacción entre el sistema radicular y la microbiota del suelo, lo que ha impulsado el uso de biofertilizantes y microorganismos promotores del crecimiento como complemento a la fertilización convencional. Estas estrategias contribuyen a mejorar la disponibilidad de nutrientes y a fortalecer la sostenibilidad del sistema productivo.

En relación con el manejo hídrico, el maíz presenta mayor sensibilidad al déficit de agua durante la etapa de floración y el llenado inicial del grano. Investigaciones publicadas en los últimos años evidencian que la implementación de riego deficitario controlado, basado en monitoreo de humedad del suelo y en modelos de evapotranspiración, puede optimizar el uso del agua sin comprometer significativamente el rendimiento. La eficiencia en el uso del agua se ha convertido en un factor estratégico frente a escenarios de variabilidad climática y disponibilidad limitada de recursos hídricos.

Desde el punto de vista fitosanitario, el manejo integrado de plagas (tb4) y enfermedades constituye un componente esencial del sistema agronómico. Estudios recientes destacan que la combinación de resistencia genética, monitoreo poblacional y uso racional de insumos fitosanitarios reduce la presión de plagas como *Spodoptera frugiperda* y enfermedades foliares, al tiempo que minimiza impactos ambientales. La adopción de enfoques integrados permite disminuir la dependencia exclusiva de control químico y favorecer la sostenibilidad productiva.

Tabla 4. Principales plagas y enfermedades del maíz en Ecuador: identificación y manejo

Organismo	Nombre científico	Tipo	Síntoma principal	Manejo recomendado
Gusano cogollero	Spodoptera frugiperda	Plaga insecto	Daño en cogollo, excremento	Spinetoram, Clorpirifós, MIP
Gusano de la mazorca	Helicoverpa zea	Plaga insecto	Daño en granos del ápice	Bacillus thuringiensis, trampas
Áfido del maíz	Rhopalosiphum maidis	Plaga insecto	Clorosis, transmisión de virus	Imidacloprid, control biológico
Trips del maíz	Frankliniella williamsi	Plaga insecto	Plateado en hojas jóvenes	Spinosad, manejo cultural
Roya común	Puccinia sorghi	Enfermedad fúngica	Pústulas anaranjadas en hojas	Triazoles, variedades resistentes
Tizón de la hoja	Helminthosporium turcicum	Enfermedad fúngica	Lesiones alargadas gris-verde	Mancozeb, variedades resistentes
Pudrición del tallo	Fusarium moniliforme	Enfermedad fúngica	Pudrición basal, acame	Rotación, fungicidas sistémicos
Mancha de asfalto	Phyllachora maydis	Enfermedad fúngica	Manchas negras brillantes	Sin control químico eficiente
Virus del rayado fino	MRFV (Maize RF Virus)	Enfermedad viral	Rayado fino en hojas	Control vector (Dalbulus maidis)
Carbón común	Ustilago maydis	Enfermedad fúngica	Agallas en mazorca/tallo	Semillas certificadas, rotación

Fuente: Cabrera et al. (2021); INIAP (2023); Viera et al. (2025); MAG Ecuador (2024).

Buenas Prácticas Agrícolas

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) constituyen un sistema integral de manejo orientado a optimizar la productividad bajo criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia en el uso de recursos e inocuidad del producto. Investigaciones recientes destacan que la implementación de prácticas agrícolas basadas en evidencia científica mejora la estabilidad del rendimiento y reduce externalidades ambientales asociadas al uso intensivo de insumos . La adopción de protocolos técnicos estandarizados favorece la trazabilidad y el cumplimiento de estándares de calidad en cadenas agroalimentarias modernas.

Uno de los componentes centrales de las BPA es el uso racional de fertilizantes y fitosanitarios. Estudios recientes indican que la aplicación basada en agricultura de precisión y monitoreo agronómico reduce pérdidas de nutrientes y minimiza la contaminación de suelos y aguas superficiales, incrementando simultáneamente la eficiencia productiva del cultivo .

La conservación del suelo constituye otro eje fundamental dentro de las BPA. Investigaciones publicadas en los últimos años evidencian que prácticas como rotación de cultivos, cobertura vegetal permanente y reducción del laboreo mejoran la estructura del suelo, incrementan la materia orgánica y favorecen la retención de humedad, lo que impacta positivamente en la productividad del maíz bajo condiciones variables

En términos de inocuidad y calidad del grano, estudios recientes han demostrado que el manejo adecuado durante la etapa de maduración y almacenamiento reduce significativamente la incidencia de micotoxinas, particularmente en ambientes tropicales con alta humedad relativa . La implementación de protocolos preventivos dentro del campo y en etapas posteriores permite disminuir riesgos sanitarios y mejorar la competitividad del producto en mercados exigentes.

Cosecha y manejo en campo

La etapa de cosecha en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) representa un momento crítico dentro del sistema productivo, ya que influye directamente en la calidad física, fisiológica y sanitaria del grano. La literatura científica reciente señala que el momento óptimo de cosecha se determina cuando el grano alcanza la madurez fisiológica y presenta contenidos de humedad entre 20 % y 25 %, lo que permite minimizar pérdidas por desgrane, daño mecánico y deterioro fisiológico. La anticipación o retraso en la cosecha puede afectar significativamente el rendimiento comercial y la calidad del producto final.

El manejo en campo durante la cosecha también incide en la integridad del grano. Investigaciones recientes han demostrado que ajustes inadecuados en maquinaria cosechadora incrementan la proporción de granos quebrados y fisurados, lo que favorece la colonización por hongos y la posterior acumulación de micotoxinas durante el almacenamiento. La regulación adecuada de velocidad de cilindro, separación de cóncavos y flujo de material resulta determinante para reducir pérdidas mecánicas.

Postcosecha del maíz

Fisiología del grano

La etapa de postcosecha es crítica para preservar la calidad del grano de maíz, ya que durante esta fase pueden producirse pérdidas significativas por deterioro fisiológico y microbiológico. Desde el punto de vista fisiológico, el grano alcanza su máxima calidad al llegar a la madurez fisiológica, momento en el cual se completa la acumulación de materia seca y se definen sus propiedades estructurales y químicas (tb5).

Tabla 5. Composición química del grano de maíz amarillo duro y sus fracciones anatómicas

Fracción	Proporción (% grano)	Almidón (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Endospermo	80–85	86–89	8–10	0.8– 1.2	0.3– 0.5	0.3–0.4
Germen (embrión)	10–12	8–10	18–20	33– 40	8–10	9–11
Pericarpio	5–6	7–9	3–4	1.0– 1.5	85– 90	0.5–0.8
Pedicelo (tip cap)	0.8–1.0	5–7	9–10	3–4	75– 80	1.5–2.0
GRANO ENTERO	100	71–73	8–10	3.8– 5.0	2.0– 3.0	1.2–1.5
Maíz amarillo duro (Ecuador promedio)	100	70.2	8.8	4.2	2.4	1.3

Fuente: Actis et al. (2020); Almaraz et al. (2022); Wang et al. (2022); datos INIAP Ecuador (2023).

El contenido de humedad del grano es uno de los principales factores que determinan su estabilidad durante el almacenamiento. Valores elevados de humedad favorecen la respiración del grano, el desarrollo de hongos y el incremento de pérdidas postcosecha, especialmente en sistemas de almacenamiento tradicionales con deficiencias técnicas .

La calidad sanitaria del grano está estrechamente relacionada con la presencia de micotoxinas, como aflatoxinas y fumonisinas. Estudios realizados en granos y productos derivados del maíz han demostrado que las condiciones de almacenamiento influyen de manera directa en la incidencia de estos contaminantes, representando un riesgo para la salud humana y animal .

Procesos de postcosecha

Los procesos de postcosecha del maíz (*Zea mays* L.) comprenden una serie de operaciones técnicas destinadas a preservar la calidad física, fisiológica y sanitaria del grano desde el momento de la cosecha hasta su almacenamiento o comercialización. La literatura científica reciente señala que entre 10 % y 20 % de la producción mundial de granos puede perderse debido a prácticas inadecuadas de manejo postcosecha, especialmente en sistemas tropicales con alta humedad relativa. Estas pérdidas incluyen deterioro mecánico, infestaciones por insectos y desarrollo de hongos toxigénicos.

El secado constituye una de las etapas más críticas dentro del manejo postcosecha. Investigaciones actuales indican que la reducción rápida del contenido de humedad hasta niveles iguales o inferiores al 13 % disminuye significativamente la actividad metabólica del grano y limita la proliferación de microorganismos. Los sistemas de secado pueden variar desde métodos tradicionales de exposición solar hasta secadores mecánicos con control de temperatura y flujo de aire, siendo estos últimos más eficientes en términos de uniformidad y reducción de daños.

El almacenamiento debe garantizar condiciones de temperatura y humedad controladas para evitar el deterioro del grano. Estudios recientes demuestran que el uso de almacenamiento hermético reduce la incidencia de insectos y la acumulación de micotoxinas al limitar el intercambio gaseoso y generar atmósferas modificadas con bajo contenido de oxígeno. Esta tecnología ha mostrado resultados favorables en la conservación de calidad en maíz almacenado durante periodos prolongados.

El manejo adecuado durante la etapa de transporte y manipulación también influye en la integridad del grano. Investigaciones publicadas en los últimos años destacan que el daño mecánico incrementa la susceptibilidad a infecciones fúngicas y pérdidas de peso durante el almacenamiento, por lo que se recomienda minimizar caídas libres, impactos y fricción excesiva durante el movimiento del producto .

Clasificación y empaque

La clasificación del maíz (*Zea mays* L.) posterior a la cosecha constituye un proceso técnico orientado a estandarizar la calidad del grano en función de parámetros físicos, sanitarios y comerciales. Estudios recientes indican que la clasificación basada en peso hectolitrito, tamaño de grano, porcentaje de impurezas y presencia de granos dañados permite segmentar lotes homogéneos y mejorar la eficiencia en la comercialización. La aplicación de tecnologías de selección óptica y sistemas automatizados ha incrementado la precisión en la detección de defectos físicos y contaminantes, reduciendo la variabilidad en la calidad final del producto.

La separación de granos quebrados, material extraño y granos afectados por insectos o hongos es determinante para preservar la estabilidad durante el almacenamiento. Investigaciones recientes demuestran que lotes con mayor proporción de granos dañados presentan mayor tasa respiratoria y susceptibilidad al deterioro microbiológico, lo que impacta negativamente en la vida útil del grano. Por tanto, la clasificación no solo cumple una función comercial, sino también preventiva desde el punto de vista sanitario.

En cuanto al empaque, la elección del sistema de envasado influye directamente en la conservación de la calidad del maíz. Estudios científicos recientes destacan que materiales con baja permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno contribuyen a mantener condiciones estables de humedad y a limitar el desarrollo de plagas durante el almacenamiento y transporte. El uso de envases herméticos y tecnologías de atmósfera modificada ha mostrado resultados favorables en la reducción de infestaciones y en la preservación de la integridad del grano.

El etiquetado y la trazabilidad forman parte integral del proceso de empaque en sistemas agroindustriales modernos. Investigaciones actuales subrayan que la implementación de sistemas digitales de seguimiento mejora la transparencia en la cadena de suministro y facilita el cumplimiento de estándares de calidad exigidos por mercados nacionales e internacionales. La integración de clasificación rigurosa y empaque adecuado fortalece la competitividad del maíz en cadenas comerciales estructuradas.

Control de maduración

El control de maduración en el maíz (*Zea mays* L.) está directamente relacionado con la evolución fisiológica del grano desde la madurez fisiológica hasta la madurez comercial, etapa en la cual se alcanzan condiciones óptimas para cosecha y almacenamiento. Estudios recientes indican que la dinámica de pérdida de humedad del grano en campo depende de factores ambientales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, los cuales influyen en la tasa de secado natural y en la estabilidad estructural del pericarpio. Un manejo inadecuado durante esta fase puede incrementar la susceptibilidad a daños mecánicos y deterioro fisiológico.

La determinación precisa del momento de cosecha requiere monitoreo del contenido de humedad y evaluación del estado del punto negro en el grano, indicador de madurez fisiológica. Investigaciones recientes demuestran que la cosecha en estados intermedios de humedad puede aumentar la incidencia de fisuras internas, lo que afecta la calidad industrial y la resistencia al almacenamiento prolongado. Por el contrario, retrasar excesivamente la cosecha incrementa el riesgo de ataque de insectos y exposición a lluvias tardías.

El control de maduración también implica estrategias para uniformizar el secado en campo, especialmente en sistemas con alta variabilidad fenológica. Estudios recientes destacan que la selección de híbridos con menor variabilidad en floración y llenado de grano contribuye a una maduración más homogénea, facilitando operaciones mecanizadas y reduciendo pérdidas. Esta uniformidad fenológica mejora la eficiencia logística y disminuye costos operativos.

El uso de desecantes agrícolas en sistemas intensivos ha sido evaluado como herramienta para sincronizar la maduración y facilitar la cosecha mecanizada. Sin embargo, investigaciones actuales advierten que su aplicación debe realizarse bajo criterios técnicos estrictos, ya que dosis inadecuadas pueden afectar la calidad fisiológica del grano y su viabilidad en caso de destinarse a semilla.

Normas de calidad e inocuidad

Las normas de calidad e inocuidad en el maíz (*Zea mays* L.) constituyen un componente estratégico dentro de los sistemas agroalimentarios, ya que establecen los criterios técnicos necesarios para garantizar la seguridad del producto y su aceptación en mercados nacionales e internacionales. Estos estándares contemplan parámetros físicos como humedad, porcentaje de impurezas, granos dañados y peso hectolítrico, así como límites máximos permitidos de contaminantes químicos y biológicos. Estudios recientes señalan que la armonización de estándares de calidad reduce barreras técnicas al comercio y mejora la competitividad de los países exportadores de granos .

Uno de los principales riesgos asociados a la inocuidad del maíz es la contaminación por micotoxinas, especialmente aflatoxinas y fumonisinas, cuya presencia está influenciada tanto por condiciones agroclimáticas como por prácticas de manejo postcosecha. Investigaciones recientes demuestran que eventos de estrés térmico y déficit hídrico durante el desarrollo del cultivo incrementan la susceptibilidad a infecciones por hongos toxigénicos, mientras que un almacenamiento inadecuado favorece la acumulación de toxinas por encima de los límites regulatorios. La aplicación de sistemas de monitoreo continuo y análisis cuantitativo mediante métodos cromatográficos avanzados ha permitido mejorar la detección temprana y reducir riesgos para la salud pública.

En cuanto a residuos de plaguicidas, los marcos regulatorios internacionales establecen límites máximos de residuos (LMR) basados en evaluaciones toxicológicas y análisis de riesgo. Estudios recientes destacan que el cumplimiento de LMR depende en gran medida de la correcta dosificación, calibración de equipos y respeto de periodos de

carencia, siendo el monitoreo sistemático un elemento clave para evitar rechazos en mercados de exportación. El fortalecimiento de programas de capacitación técnica para productores y operadores agrícolas contribuye significativamente a la reducción de residuos por encima de los umbrales establecidos.

Por otro lado, Los requisitos de exportación del maíz (*Zea mays* L.) están determinados por un conjunto de normativas técnicas, sanitarias y fitosanitarias que regulan el comercio internacional de granos. Estos requisitos buscan garantizar que el producto cumpla con estándares de calidad, inocuidad y trazabilidad exigidos por los países importadores. Investigaciones recientes indican que el cumplimiento de regulaciones fitosanitarias, límites máximos de micotoxinas y residuos de plaguicidas constituye uno de los principales factores que determinan la competitividad del maíz en el comercio global

Uno de los componentes fundamentales en la exportación de maíz es la certificación fitosanitaria, la cual acredita que el producto está libre de plagas cuarentenarias y enfermedades reguladas por convenios internacionales. Estudios recientes destacan que la armonización de medidas sanitarias y fitosanitarias reduce costos de transacción y facilita el acceso a mercados, aunque también puede representar barreras técnicas para países con menor capacidad de control y monitoreo. La implementación de sistemas de inspección y muestreo basados en análisis de riesgo ha mejorado la eficiencia en los procesos de certificación.

La trazabilidad y documentación comercial también constituyen requisitos esenciales. Estudios actuales evidencian que la digitalización de certificados de origen, registros de producción y sistemas electrónicos de documentación aduanera incrementan la transparencia y reducen tiempos logísticos en operaciones de exportación. La integración de tecnologías digitales en cadenas agroalimentarias fortalece la confiabilidad del producto frente a compradores internacionales.

La sostenibilidad ambiental y las certificaciones asociadas a buenas prácticas agrícolas están adquiriendo creciente relevancia en mercados de alto valor. Investigaciones recientes muestran que estándares

vinculados a reducción de huella de carbono, uso eficiente de recursos y cumplimiento de criterios sociales influyen cada vez más en las decisiones de compra internacional. En este contexto, la competitividad exportadora del maíz no depende únicamente de su calidad física, sino también de atributos ambientales y sociales verificables.

Industrialización del maíz

El procesamiento agroindustrial del maíz permite transformar el grano en productos con mayor valor comercial y nutricional, fortaleciendo la competitividad de la cadena productiva. Procesos como la molienda (tb7) y la nixtamalización influyen directamente en la calidad del producto final y en la disponibilidad de compuestos bioactivos .

Tabla 7. *Etapas del proceso de molienda húmeda del maíz: parámetros y productos obtenidos*

Etapas	Parámetros clave	Duración	Producto obtenido	Control de calidad
1. Limpieza y acondicionamiento	Humedad inicial <14%	Continuo	Grano limpio	Tamizado, aspiración
2. Remojo (maceración)	SO ₂ : 0.5–1.0 g/kg; T: 48–52°C; pH: 3.8–4.2	36–48 horas	Grano macerado	pH, °Brix, acidez
3. Molienda gruesa	Abertura rodillos: 0.5–1 mm	Continuo	Masa gruesa	Granulometría
4. Separación germen	Ciclones hidráulicos; densidad 1.02–1.05	Continuo	Germen húmedo	Rendimiento, grasa
5. Molienda fina	Molinos de impacto/discos	Continuo	Lechada de almidón	Viscosidad, fineza
6. Separación fibra	Tamices 50–200 mesh	Continuo	Fibra de gluten	Humedad, proteína
7. Separación gluten	Centrífugas; densidad diferencial	Continuo	Gluten húmedo	Proteína, humedad

				(60–70% prot.)	
8. Lavado y secado almidón	Lavado: etapas; secado: 55°C	8–12 T 50–	Variable	Almidón seco >99%	Humedad, blancura, cenizas

Fuente: Rausch et al. (2003); Ramirez et al. (2009); Bothast & Schlicher (2005); Thiele et al. (2024).

Investigaciones recientes han evidenciado que los métodos de procesamiento afectan significativamente la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos y otros componentes funcionales del maíz. En particular, la nixtamalización ha demostrado mejorar la calidad nutricional y la inocuidad de los productos derivados, consolidándose como una estrategia clave de valor agregado

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales del maíz constituye una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental del procesamiento. La valorización de estos subproductos permite la obtención de nuevos productos con valor agregado y promueve enfoques de economía circular dentro del sector agroindustrial

La industrialización del maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los pilares de las cadenas agroalimentarias contemporáneas, debido a su alta concentración de almidón y a su capacidad de transformación en múltiples productos con valor agregado. Estudios recientes señalan que el procesamiento industrial del maíz abarca sistemas de molienda húmeda y seca que permiten la obtención de almidones modificados, glucosa, fructosa, etanol, aceites y coproductos destinados a la industria pecuaria y química, consolidando su papel estratégico en la bioindustria global .

La industrialización del maíz se basa fundamentalmente en la molienda húmeda, proceso que fracciona el grano en almidón, germen (aceite), gluten y fibra mediante remojo prolongado, molienda y separaciones hidráulicas (Jackson & Shandera, 1995; Rausch et al., 2003). En 2006, la producción de almidón por molienda húmeda en Estados Unidos

alcanzó aproximadamente 23.000 millones de kilogramos (Ramirez et al., 2009). El almidón constituye la materia prima para jarabes de glucosa, jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS), almidones modificados y, crecientemente, para bioplásticos y adhesivos biobasados (Maulana et al., 2022).

Los coproductos proteicos —gluten meal y gluten feed— se destinan a la alimentación animal, mientras que el aceite de germen se comercializa para usos alimentarios e industriales (Jackson & Shandera, 1995). Los rendimientos típicos de almidón oscilan entre 58% y 65% del peso del grano según las condiciones de proceso (Singh & Singh, 2004). Las biorefinerías modernas integran molienda y fermentación para maximizar el valor económico, produciendo etanol y coproductos comercializables como los granos secos de destilería con solubles (DDGS), ingrediente importante en alimentación animal global (Bothast & Schlicher, 2005).

En el ámbito energético, el maíz ha adquirido relevancia como materia prima para la producción de bioetanol, especialmente en economías con políticas orientadas a la transición hacia fuentes renovables. Investigaciones recientes destacan mejoras significativas en la eficiencia de fermentación y en la integración de procesos de biorrefinería, lo que ha permitido optimizar el rendimiento energético y reducir la huella ambiental del etanol derivado de maíz. Este enfoque integral favorece modelos de economía circular en los cuales los subproductos del procesamiento son reincorporados a otras cadenas productivas.

Asimismo, el desarrollo de biomateriales y bioplásticos derivados del almidón de maíz ha ampliado las aplicaciones industriales del cultivo, posicionándolo como insumo clave en estrategias de sustitución de polímeros sintéticos convencionales. Investigaciones recientes demuestran que los biopolímeros basados en almidón presentan propiedades funcionales competitivas cuando se combinan con tecnologías de modificación estructural, fortaleciendo la sostenibilidad del sector agroindustrial.

Las aplicaciones emergentes incluyen bioplásticos biodegradables, adhesivos para madera y materiales de construcción experimentales como el "CoRncrete" (Kulshreshtha, 2015; Maulana et al., 2022). La

valorización de subproductos mediante tecnologías avanzadas, como extracción supercrítica para recuperar compuestos bioactivos, representa un área de creciente interés (Santana & Meireles, 2023). Sin embargo, la molienda húmeda es intensiva en energía y agua, planteando desafíos de sostenibilidad (Rausch et al., 2003). Los procesos enzimáticos alternativos ("e-milling") buscan reducir el uso de dióxido de azufre y mejorar la eficiencia ambiental (Ramirez et al., 2009).

Se proyecta que el maíz se convertirá en el cultivo más ampliamente cultivado en la próxima década, impulsado por la demanda de biocombustibles, productos industriales y alimentos (Erenstein et al., 2022). La literatura subraya la necesidad de intensificación sostenible, inversión en investigación y desarrollo (I+D) y adaptación al cambio climático para asegurar que la industrialización del maíz contribuya a la seguridad alimentaria, energética y al desarrollo económico global (Erenstein et al., 2022).

En el contexto ecuatoriano, la industrialización del maíz se concentra principalmente en la producción de balanceados para el sector pecuario, particularmente en las cadenas avícola y porcina. Análisis recientes del sistema agroalimentario nacional indican que el maíz duro seco representa uno de los insumos más relevantes para la formulación de dietas animales, estableciendo una relación directa entre la producción maicera y la estabilidad de la oferta de proteína animal en el país .

El procesamiento interno incluye además la molienda seca para la elaboración de harinas destinadas al consumo humano y a la industria alimentaria tradicional. Sin embargo, estudios comparativos sobre competitividad agroindustrial en América Latina evidencian que el Ecuador presenta un menor grado de diversificación hacia bioproductos avanzados, lo que limita el aprovechamiento integral del potencial industrial del cultivo .

La evidencia científica reciente permite afirmar que el maíz ha transitado de ser un cultivo alimentario primario a convertirse en una materia prima estratégica dentro de esquemas de bioeconomía y transformación industrial avanzada. A nivel global, su integración en sistemas de

biorrefinería y producción de biomateriales refleja una evolución tecnológica orientada a la sostenibilidad y diversificación productiva.

La agroindustria del maíz mantiene una fuerte dependencia del sector pecuario, lo que garantiza estabilidad en la demanda interna, pero también limita la diversificación industrial. Desde una perspectiva estratégica, la incorporación progresiva de tecnologías de mayor valor agregado podría fortalecer la competitividad del sistema maicero nacional, reducir vulnerabilidades estructurales y ampliar los encadenamientos productivos dentro del sector agroindustrial .

La generación de productos derivados del maíz constituye una forma de valor agregado que transforma un cultivo básico en múltiples bienes comerciales e industriales, lo cual incrementa el valor económico y genera nuevas oportunidades de mercado para los productores y transformadores rurales. En sistemas agro productivos andinos y tropicales, la diversificación de productos derivados del maíz ha ido más allá de la simple comercialización del grano, incluyendo productos como harinas precocidas, sémolas, snacks extruidos y otros alimentos funcionales que responden a la demanda de mercados diferenciados aún en contextos de pequeña y mediana escala productiva.

El agregado de valor implica no solo transformar el maíz en productos procesados, sino también adaptar métodos que conserven o mejoren la calidad nutricional y funcional del grano a través de procesos tradicionales como la nixtamalización o la fermentación y su integración con técnicas modernas de procesamiento, como extrusión y estabilización térmica .

Los derivados del maíz pueden extenderse a usos no alimentarios, tales como la producción de bioproductos (bioplásticos o adhesivos) y subproductos con valor tecnológico, que incorporan las tendencias actuales de economía circular y sostenibilidad ambiental.

Estos procesos diversificados permiten multiplicar las fuentes de ingresos a lo largo de la cadena bilateral, ya que se aprovechan componentes específicos del grano como el almidón, proteínas o fibra para diferentes aplicaciones alimentarias e industriales, lo que es especialmente relevante en países con alto potencial de producción de

maíz como Ecuador, donde existe interés por ampliar la oferta más allá de la provisión primaria .

Tecnologías y equipos

La modernización tecnológica en el procesamiento del maíz es un componente clave para agregar valor y aumentar la competitividad de los derivados industriales, especialmente en sistemas agroindustriales de países tropicales como Ecuador. En este contexto, la extrusión como técnica de procesado ha ganado alta importancia por su capacidad de generar productos expandidos con características funcionales mejoradas, tales como textura, densidad y aceptación sensorial, al ajustar parámetros como temperatura y velocidad de tornillo durante el proceso de transformación del grano (*Zea mays* L.) en productos alimentarios industrializados .

Los equipos de extrusión aplicados en la transformación del maíz engloban sistemas de tornillo único o doble, diseñados para controlar variables termo-mecánicas (temperatura, contenido de humedad, presión) que determinan las propiedades físico-químicas y sensoriales de los productos finales, como snacks extrudidos y harinas funcionales. En Ecuador, los resultados de aplicación de extrusión en variedades mejoradas de maíz demuestran que condiciones óptimas de 150 °C y 280 rpm generan productos con índices de expansión elevados y densidad reducida, atributos esenciales en la industria de snacks y cereal listo para consumo, ampliando así la gama de productos derivados del maíz con valor agregado .

La literatura científica reciente señala que las tecnologías de fraccionamiento seco y húmedo, que comprenden operaciones unitarias como separación de componentes del grano, molienda, clasificación por tamaño y extracción dirigida de biopolímeros, constituyen enfoques avanzados para optimizar la funcionalidad de los ingredientes derivados y su uso industrial. Estas técnicas permiten la obtención de componentes específicos almidón, proteínas o fibrosos con propiedades funcionales adaptadas a productos alimentarios y no alimentarios, lo que puede traducirse en mayor eficiencia procesal y diversificación de productos

Los equipos asociados a estas tecnologías incluyen molinos de alta precisión, sistemas de cribado dinámico y separadores de flujo de aire que permiten una molino-clasificación integrada, reduciendo el tamaño de partícula de forma controlada y promoviendo un perfil funcional más estable de las harinas o fracciones extraídas. Esta optimización tecnológica incide directamente en la eficiencia del proceso industrial y en la calidad final de los derivados, lo cual es especialmente relevante para industrias emergentes que buscan mejorar la calidad y competitividad del maíz nacional frente a productos importados .

Control de calidad en la industria

El control de calidad en la industria del maíz (tb 8) implica garantizar que los granos mantengan atributos físico-químicos aceptables (humedad, impurezas, daño físico, presencia de micotoxinas) para ser transformados eficientemente en productos derivados sin comprometer seguridad alimentaria ni rendimiento tecnológico. Este control es crucial tanto en plantas procesadoras como en etapas postcosecha previas.

Tabla 8. *Parámetros de control de calidad en la industrialización del maíz*

Parámetro	Norma/Límite	Método	Frecuencia	Acción correctiva
Humedad del grano	≤14.0%	NIR / Halógeno	Cada lote	Secado adicional
Aflatoxinas totales	≤10 ppb (FDA); ≤4 ppb (UE)	ELISA / HPLC	Cada lote	Rechazo del lote
Proteína (almidón)	≤0.35%	Kjeldahl	Diario	Ajuste separación
Humedad almidón final	≤14.0%	Karl Fischer	Horario	Ajuste secado

Blancura almidón	≥92 (Kett)	Colorimetría	Horario	Lavado adicional
Cenizas almidón	≤0.15%	Calcinación 550°C	Diario	Ajuste lavado
Viscosidad RVA	Según especificación	Amilógrafo RVA	Por lote	Ajuste proceso
Recuento microbiano	<10,000 UFC/g	Placa agar	Semanal	Limpieza y sanitización

Fuente: FDA (2024); Reglamento UE 2023/915; NTE INEN 1155 (Ecuador); Rausch et al. (2003).

Un factor clave en la calidad industrial es el contenido de humedad durante almacenamiento y antes del procesamiento. El almacenamiento (tb 9) en condiciones controladas de humedad y temperatura ayuda a preservar parámetros funcionales del grano, como germinación, composición metabólica y perfiles sensoriales, lo cual influye en la idoneidad para procesos industriales posteriores. Por ejemplo, demostraron que diferentes tipos de bolsas herméticas y niveles de humedad afectan significativamente la preservación de calidad y reducirían degradación por hongos o deterioro en la etapa postcosecha.

Tabla 9. *Comparación de sistemas de almacenamiento de maíz en Ecuador*

Sistema	Capacidad (t)	Pérdidas (%/mes)	Costo (USD/t)	Vida útil (meses)	Recomendado para
Silo metálico hermético	5–50	0.1–0.3	8–15	8–12	Pequeños/medianos productores
Silo bolsa (bag silo)	50–500	0.2–0.5	5–8	6–9	Medianos productores
Bodega convencional	Ilimitada	1.5–3.0	2–5	3–6	Comercio local
Silo industrial metálico	>1,000	0.05–0.1	15–25	12–18	Agroindustria
Silo subterráneo (troje)	1–5	0.5–1.0	1–3	4–6	Agricultura familiar
Almacén fumigado	Variable	0.3–0.8	6–12	6–12	Acopiadores medianos

Fuente: Amos et al. (2025); FAO (2022); Programa Nacional de Poscosecha MAG Ecuador (2023).

Nota: Las pérdidas dependen fuertemente de la humedad inicial del grano (<14% recomendado) y condiciones de temperatura.

La implementación de tecnologías de almacenamiento hermético tales como bolsas herméticas multicapa o PICS (Purdue Improved Crop Storage) se ha asociado con reducciones claras en daño físico, infestación de insectos y pérdida de viabilidad, contribuyendo de forma indirecta al control de calidad al preservar atributos físico-químicos que

de otro modo se perderían con métodos tradicionales de almacenamiento.

Modelación económica y escenarios de rentabilidad del maíz en Ecuador

El análisis económico del cultivo de maíz amarillo duro en Ecuador (tb10) requiere considerar la heterogeneidad de los sistemas productivos: desde pequeños agricultores familiares (≤ 5 ha) hasta empresas agrícolas tecnificadas (> 50 ha). Esta sección presenta un análisis costo-beneficio detallado basado en datos de campo 2023-2024, seguido de escenarios de sensibilidad que permiten evaluar la viabilidad económica bajo diferentes condiciones de precio, rendimiento y acceso a tecnología.

La producción de maíz en Ecuador constituye uno de los principales rubros agrícolas del país, con una superficie sembrada que en los últimos años ha superado las 250.000 hectáreas, concentrándose principalmente en las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas. Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPA), el rendimiento promedio nacional oscila entre 5,5 y 6,0 toneladas por hectárea, consolidando al cultivo como base del abastecimiento interno para la industria balanceadora y la seguridad alimentaria nacional.

Desde la perspectiva económica, el ingreso del agricultor de maíz depende del rendimiento obtenido, el precio mínimo de sustentación y los costos de producción. El Ministerio de Agricultura y Ganadería ha establecido precios de referencia cercanos a USD 16,50 por quintal para maíz amarillo duro en los últimos ciclos productivos. Considerando costos de producción estimados entre USD 1.700 y 1.800 por hectárea, el margen neto promedio puede situarse entre USD 350 y 450 por hectárea bajo condiciones técnicas estándar, lo que evidencia márgenes reducidos y alta sensibilidad a variaciones climáticas y de mercado.

En este escenario de rentabilidad limitada, la economía circular se posiciona como una estrategia que puede mejorar la sostenibilidad social al diversificar fuentes de ingreso y reducir pérdidas productivas. La literatura científica reciente señala que la transición hacia modelos circulares en agricultura permite capturar valor de residuos y

subproductos, generar nuevas cadenas productivas locales y fortalecer la resiliencia económica en territorios rurales, particularmente en América Latina

Desde la dimensión social, la sostenibilidad implica garantizar acceso a financiamiento, inclusión productiva y fortalecimiento de capacidades locales. Investigaciones sobre la cadena de valor del maíz en Ecuador evidencian que la gestión crediticia diferenciada y la asociatividad mejoran la capacidad de inversión de pequeños productores, reduciendo vulnerabilidad financiera y facilitando adopción de innovaciones tecnológicas, condición necesaria para implementar esquemas de economía circular exitosos.

En consecuencia, la integración de principios de economía circular en la cadena del maíz en Ecuador no solo contribuye a la reducción de impactos ambientales, sino que puede convertirse en un instrumento de fortalecimiento social al diversificar ingresos, generar empleo rural y aumentar la resiliencia económica de productores frente a fluctuaciones del mercado. Sin embargo, su implementación efectiva requiere articulación entre políticas públicas, financiamiento agrícola y transferencia tecnológica adaptada a las condiciones productivas nacionales.

Fundamentación metodológica para el análisis de escenarios

La modelación económica en sistemas agrícolas permite evaluar la estabilidad financiera del cultivo frente a variaciones de precio (tb11), rendimiento y costos de producción. En el caso del maíz, la volatilidad del mercado internacional y la sensibilidad a factores climáticos hacen necesario incorporar enfoques de análisis de escenarios y sensibilidad económica para estimar la sostenibilidad del sistema productivo a mediano plazo. Estudios recientes sobre cadenas globales de maíz han demostrado que la rentabilidad del cultivo está altamente condicionada por fluctuaciones de precios y productividad regional, lo que justifica la aplicación de modelos económicos adaptativos en contextos nacionales como el ecuatoriano .

Escenario base de rentabilidad

Bajo condiciones promedio en Ecuador (rendimientos cercanos a 5,5–6,0 t ha⁻¹ y precios alrededor de USD 16,50 por quintal), el margen neto por hectárea se sitúa en un rango limitado, lo que expone al productor a riesgos financieros si se presentan reducciones en productividad o aumentos en costos de insumos. La literatura internacional sobre sistemas maiceros indica que márgenes estrechos son característicos en países con estructuras productivas de pequeña y mediana escala, donde el acceso limitado a tecnología y financiamiento amplifica la vulnerabilidad económica

Reducción de precio o rendimiento

Una disminución de USD 1 por quintal en el precio de comercialización puede reducir el ingreso bruto por hectárea en aproximadamente 6–8 %, afectando significativamente la rentabilidad final. De manera similar, reducciones de rendimiento por estrés hídrico o eventos climáticos extremos pueden llevar el sistema productivo por debajo del punto de equilibrio económico. Investigaciones recientes sobre impactos climáticos en la producción de maíz demuestran que la variabilidad interanual en rendimiento puede generar pérdidas económicas superiores al 15 % en regiones vulnerables, subrayando la importancia de estrategias de gestión del riesgo.

Mejora tecnológica y eficiencia productiva

La incorporación de semillas mejoradas, manejo agronómico optimizado y tecnologías de precisión puede incrementar el rendimiento en 10–15 %, mejorando significativamente el margen neto por hectárea. Estudios comparativos en sistemas agrícolas muestran que la intensificación sostenible, cuando se combina con eficiencia en insumos y acceso a mercados, puede aumentar la rentabilidad sin incrementar proporcionalmente el impacto ambiental.

Tabla 10. *Análisis de costos de producción de maíz amarillo duro por hectárea (Ecuador, 2024)*

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unit. (USD)	Costo total (USD/ha)
COSTOS DIRECTOS				
Preparación del suelo	Hora/tractor	4	35.00	140.00
Semilla certificada	kg	20	8.50	170.00
Fertilizante (siembra)	kg N-P-K	200	0.95	190.00
Fertilizante (segunda)	kg Urea	150	0.70	105.00
Herbicidas	L/ha	3	18.00	54.00
Insecticidas	L/ha	2	22.00	44.00
Fungicidas	L/ha	1.5	25.00	37.50
Mano de obra siembra	Jornal	5	18.00	90.00
Mano de obra labores	Jornal	8	18.00	144.00

El Maíz: Producción Agrícola e Industrialización

Cosecha mecanizada	ha	1	120.00	120.00
Transporte	t	6	15.00	90.00
Subtotal costos directos				1,184.50
COSTOS INDIRECTOS				
Arrendamiento tierra	ha/ciclo	1	200.00	200.00
Administración (5%)	%	—	—	59.23
Imprevistos (3%)	%	—	—	35.54
COSTO TOTAL/ha				1,479.27

Fuente: Zambrano & Andrade Arias (2021); Alberto (2024); MAG Ecuador (2024); datos de campo propios.

Con un rendimiento promedio de 6.0 t/ha y un precio de venta de USD 280/t (precio MAG 2024), el ingreso bruto estimado es de USD 1,680/ha, generando un margen bruto de USD 495.73/ha (relación beneficio-costo: 1.34). Este margen es sensible a variaciones en el precio de venta y el rendimiento, como se analiza en la Tabla 10.

Tabla 11. *Análisis de sensibilidad: rentabilidad del maíz bajo diferentes escenarios (Ecuador, 2024)*

Escenario	Rendimiento (t/ha)	Precio (USD/t)	Ingreso bruto (USD)	Costo total (USD)	Margen neto (USD/ha)	RBC
Pesimista extremo	4.0	230	920	1,479	-559	0.62
Pesimista	5.0	255	1,275	1,479	-204	0.86
Base (actual)	6.0	280	1,680	1,479	+201	1.14
Base optimizado	6.5	280	1,820	1,479	+341	1.23
Optimista	7.5	300	2,250	1,479	+771	1.52
Tecnificado	9.0	280	2,520	1,750	+770	1.44
Precio alto	6.0	320	1,920	1,479	+441	1.30
Precio bajo + sequía	4.5	240	1,080	1,479	-399	0.73

Fuente: Elaboración propia con base en MAG Ecuador (2024); Zambrano & Andrade Arias (2021); datos de campo.

Nota: RBC = Relación Beneficio-Costo. Verde = rentable ($RBC > 1$); Rojo = no rentable ($RBC < 1$). Costo tecnificado incluye riego y mayor fertilización.

Evaluación ambiental integral del sistema maicero ecuatoriano

Cambio de uso del suelo y presión territorial

El cultivo de maíz, como parte de los sistemas agrícolas extensivos en América Latina, ha contribuido históricamente a procesos de transformación del uso del suelo, particularmente en regiones con expansión agrícola sostenida (Bongiovanni et al., 2023). A nivel global, la conversión de ecosistemas naturales hacia agricultura representa una de las principales fuentes de emisiones de carbono y pérdida de biodiversidad (Rockström et al., 2016). Estudios recientes indican que la expansión de cultivos básicos, incluido el maíz, ha sido un factor determinante en la modificación del paisaje agrícola y presión sobre ecosistemas tropicales, especialmente cuando no existen mecanismos de planificación territorial sostenible (Li et al., 2025).

Aunque la producción de maíz se concentra principalmente en zonas agrícolas consolidadas de la región Costa, el aumento en la demanda interna puede generar incentivos para intensificar el uso del suelo o expandir áreas cultivadas (Cuervo-Osorio et al., 2023). La gestión sostenible del territorio requiere evitar procesos de deforestación indirecta y promover prácticas de intensificación eficiente en tierras ya intervenidas, reduciendo así impactos ambientales asociados a expansión agrícola (Rockström et al., 2016; Dass et al., 2025).

Huella hídrica del maíz en sistemas tropicales

El maíz es un cultivo que demanda volúmenes significativos de agua, especialmente en sistemas con déficit hídrico o en periodos críticos de floración y llenado de grano (FAO, 2020). La huella hídrica agrícola integra el consumo directo de agua (verde y azul) y la contaminación potencial asociada al manejo de nutrientes (Mialyk et al., 2022). Investigaciones recientes sobre huella hídrica en cultivos extensivos indican que el maíz puede presentar variabilidad considerable en eficiencia hídrica dependiendo del sistema de manejo y condiciones climáticas regionales (Mialyk et al., 2022; Zhao et al., 2023).

Intensificación productiva y eficiencia territorial

La intensificación productiva se presenta como alternativa para aumentar producción sin expandir la frontera agrícola (Rockström et al., 2016). Sin embargo, la literatura científica advierte que la intensificación debe estar acompañada de mejoras en eficiencia de uso de recursos para evitar impactos ambientales adicionales (Rockström et al., 2016; Finger, 2023). Estudios sobre intensificación sostenible destacan que la combinación de innovación tecnológica, manejo integrado de cultivos y monitoreo digital puede incrementar rendimiento por hectárea reduciendo simultáneamente presión ambiental por unidad de producto (Dass et al., 2025; Shamsiri et al., 2024).

Servicios ecosistémicos y sostenibilidad rural

Además de los impactos directos, el sistema maicero puede influir en la provisión de servicios ecosistémicos como regulación del suelo, conservación de biodiversidad agrícola y mantenimiento de estructura edáfica (Cuervo-Osorio et al., 2023). Investigaciones recientes señalan que prácticas como rotación de cultivos, cobertura vegetal y manejo de residuos agrícolas contribuyen a mejorar la salud del suelo y a incrementar la resiliencia ecológica del sistema agrícola (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

En el ámbito rural ecuatoriano, la incorporación de prácticas sostenibles puede fortalecer no solo el componente ambiental, sino también la estabilidad productiva de largo plazo (Finger, 2023). La sostenibilidad integral del maíz requiere equilibrar productividad, rentabilidad y conservación ecológica, integrando enfoques técnicos y territoriales para evitar degradación progresiva de recursos naturales (Rockström et al., 2016; Cuervo-Osorio et al., 2023).

Comparación estructural del sistema maicero ecuatoriano frente a Brasil y Estados Unidos

Diferencias en escala productiva y rendimiento

Las diferencias en rendimiento entre países se asocian principalmente a factores como mecanización, mejoramiento genético y adopción tecnológica (Dohleman et al., 2024). La mayor escala productiva permite aprovechar economías de escala, reducir costos unitarios y aumentar competitividad internacional (Finger, 2023). Asimismo, sistemas con intensificación tecnológica muestran mayor eficiencia en uso de insumos y productividad por hectárea (Shamshiri et al., 2024).

Nivel de tecnificación y digitalización agrícola

En Estados Unidos y Brasil, la digitalización agrícola incluye sensores remotos, monitoreo satelital, sistemas de información geográfica y maquinaria automatizada que permiten optimizar fertilización, riego y control fitosanitario (Shamshiri et al., 2024). Estas herramientas han contribuido a incrementar productividad y eficiencia en uso de recursos (Finger, 2023; Lun et al., 2024).

En Ecuador, aunque existe adopción creciente de híbridos mejorados y mecanización parcial, la integración de tecnologías digitales sigue siendo limitada debido a restricciones económicas y acceso desigual a financiamiento (Cuervo-Osorio et al., 2023). Esta brecha tecnológica constituye una diferencia estructural relevante frente a sistemas productivos líderes, impactando directamente la competitividad del país en el mercado regional (Finger, 2023).

Integración en cadenas de valor y diversificación industrial

La diversificación industrial del maíz (biocombustibles, alimentos procesados y bioproductos) permite capturar mayor valor agregado y mejorar la resiliencia económica de los sistemas productivos (Finger, 2023). Estos encadenamientos productivos fortalecen la competitividad internacional y reducen la dependencia de materias primas sin procesar (Rockström et al., 2016).

Sostenibilidad comparada e implicaciones estratégicas

En términos de sostenibilidad, la agricultura moderna incorpora programas de manejo eficiente de nutrientes y reducción de emisiones, aunque persisten desafíos relacionados con presión sobre ecosistemas naturales (Bongiovanni et al., 2023). La literatura reciente señala que la competitividad futura del maíz dependerá de la capacidad de integrar productividad con reducción de impactos ambientales (Dohleman et al., 2024; Finger, 2023).

Innovación tecnológica y perspectivas futuras del maíz en Ecuador

Agricultura digital y sistemas inteligentes

La transformación digital ha permitido integrar sensores remotos, análisis geoespacial y modelos predictivos en la producción agrícola (Shamshiri et al., 2024). En cultivos extensivos como el maíz, estas tecnologías han demostrado mejorar eficiencia en uso de insumos y reducir variabilidad productiva intra-parcela (Lun et al., 2024).

En países en desarrollo, la adopción progresiva de agricultura digital puede cerrar brechas de productividad y mejorar resiliencia frente a eventos climáticos (Finger, 2023). Estas herramientas reducen incertidumbre productiva y fortalecen la toma de decisiones agronómicas (Shamshiri et al., 2024).

Mejoramiento genético

El mejoramiento genético ha permitido el desarrollo de híbridos más resistentes al estrés climático y enfermedades (Dohleman et al., 2024). Avances recientes en genómica están acelerando la adaptación del maíz a condiciones ambientales variables (Eyshi-Rezaei et al., 2023).

Automatización

La automatización agrícola contribuye a mejorar precisión, reducir costos operativos y aumentar eficiencia productiva (Shamshiri et al., 2024). En sistemas de gran escala, estas tecnologías reducen pérdidas y mejoran rentabilidad (Finger, 2023).

Bioeconomía

La bioeconomía basada en biomasa agrícola permite transformar residuos en productos de alto valor agregado, fortaleciendo la sostenibilidad económica (Finger, 2023). Esto puede generar nuevos encadenamientos productivos y mejorar resiliencia rural (Rockström et al., 2016).

Limitaciones estructurales

Fragmentación productiva

La fragmentación limita economías de escala y reduce capacidad de inversión tecnológica (Cuervo-Osorio et al., 2023). El asociativismo se presenta como alternativa para mejorar eficiencia sin expansión territorial (Rockström et al., 2016).

Dependencia del mercado interno

Los sistemas dependientes del mercado interno presentan menor diversificación comercial y menor resiliencia económica ante cambios en la demanda (Finger, 2023).

Brecha tecnológica

El acceso desigual a innovación limita la modernización agrícola y la productividad (Lun et al., 2024). La transferencia tecnológica es clave para cerrar brechas productivas (Shamshiri et al., 2024).

Vulnerabilidad climática

El maíz es altamente sensible a cambios climáticos, especialmente temperatura y precipitación (Eyshi-Rezaei et al., 2023). Estudios indican que el cambio climático puede provocar pérdidas significativas de rendimiento en regiones tropicales si no se implementan medidas de adaptación (Bangelesa et al., 2021).

La resiliencia dependerá de la integración de genética adaptativa, manejo agronómico y sistemas de información climática (Eyshi-Rezaei et al., 2023).

Articulación institucional

La transformación agrícola requiere coordinación entre investigación, sector privado y políticas públicas para garantizar sostenibilidad e innovación (Rockström et al., 2016; Finger, 2023)

Conclusiones

El sistema maicero ecuatoriano constituye un componente estratégico para la seguridad alimentaria nacional y el abastecimiento de la industria pecuaria, consolidándose como uno de los cultivos más relevantes en la región Costa. Sin embargo, su estructura productiva, basada mayoritariamente en pequeños y medianos productores, presenta limitaciones en economías de escala, tecnificación y acceso a innovación avanzada, lo que condiciona su competitividad frente a sistemas internacionales más desarrollados.

El análisis económico evidenció que la rentabilidad del cultivo es altamente sensible a variaciones en precio y rendimiento, lo que expone al productor a riesgos financieros significativos. La sostenibilidad económica del sistema depende no solo del volumen de producción, sino también de la eficiencia en el uso de insumos, la estabilidad del mercado interno y la adopción progresiva de tecnologías que incrementen productividad sin elevar desproporcionadamente los costos.

Desde la perspectiva ambiental, la sostenibilidad del cultivo debe evaluarse en función de su impacto territorial, eficiencia hídrica y capacidad de mantener servicios ecosistémicos. La intensificación productiva, si se orienta bajo criterios de eficiencia y responsabilidad ambiental, puede constituir una estrategia viable para satisfacer la demanda interna sin expandir la frontera agrícola.

Finalmente, la incorporación de innovaciones tecnológicas en las etapas de poscosecha y procesamiento, junto con el mejoramiento genético avanzado y la adopción de enfoques basados en la bioeconomía, constituye una estrategia clave para fortalecer la resiliencia climática, diversificar las fuentes de ingreso y elevar la competitividad del sector.

En este contexto, la transformación del sistema maicero ecuatoriano demandará una articulación efectiva entre la investigación científica, las políticas públicas y el sector productivo, con el propósito de consolidar un modelo más eficiente, sostenible y socialmente inclusivo.

Limitaciones de esta Revisión

Como toda revisión integradora, esta obra presenta limitaciones que el lector debe considerar al interpretar y aplicar la información presentada:

Representatividad geográfica: La mayoría de los datos primarios provienen de la zona costera ecuatoriana (Guayas, Los Ríos, Manabí), que concentra el 80% de la producción nacional. Los sistemas de sierra y amazonia están subrepresentados en la literatura disponible.

Actualización de datos estadísticos: Los datos de producción y precios corresponden principalmente al período 2018-2024. Las condiciones climáticas, de mercado y políticas pueden haber cambiado desde la publicación.

Sesgo de publicación: La literatura científica tiende a reportar resultados positivos. Los fracasos tecnológicos y los casos de baja rentabilidad están subrepresentados en algunas fuentes consultadas.

Limitaciones del análisis económico: Los modelos de rentabilidad presentados son simplificaciones. No incorporan costos de oportunidad del capital, riesgo climático estocástico ni externalidades ambientales.

Glosario de Términos Técnicos

Término	Definición
AMMI	Additive Main effects and Multiplicative Interaction. Método estadístico para analizar la interacción genotipo × ambiente en ensayos multilocales.
Andisol	Tipo de suelo derivado de cenizas volcánicas, común en la sierra ecuatoriana. Presenta alta capacidad de retención de fósforo.
Biopolímero	Polímero de origen biológico (ej. ácido poliláctico, PLA) derivado del almidón de maíz, utilizado en envases biodegradables.
Cadena de valor	Sistema de actividades económicas que añaden valor a un producto desde la producción primaria hasta el consumidor final.
DAP	Fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Fertilizante de alta concentración de fósforo y nitrógeno.
Endospermo	Tejido de reserva del grano de maíz que representa el 80-85% de su peso. Rico en almidón y proteínas de reserva (zeínas).

Genotipo	Constitución genética de un organismo. En mejoramiento vegetal, se refiere a una variedad o híbrido específico.
Helminthosporium turcicum	Hongo patógeno causante del tizón foliar del maíz. Puede reducir el rendimiento hasta 30% en condiciones favorables.
Híbrido simple	Cruce de dos líneas endogámicas puras. Presenta máxima heterosis pero semilla costosa y no reproducible.
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador. Principal institución de investigación agrícola del país.
Línea endogámica	Línea vegetal obtenida por autofecundación sucesiva (≥ 6 generaciones), con alta homocigosis. Base para producción de híbridos.
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Rector de las políticas agrícolas nacionales.
Maceración	Proceso de remojo del grano de maíz en solución diluida de SO_2 (dióxido de azufre) previo a la

	molienda húmeda. Ablanda el grano y solubiliza proteínas.
Molienda húmeda	Proceso industrial de separación de los componentes del grano de maíz (almidón, gluten, germen, fibra) mediante agua y procesos físico-químicos.
NIR	Near Infrared Reflectance. Tecnología de análisis rápido no destructivo para determinar humedad, proteína y almidón en granos.
Poscosecha	Conjunto de operaciones realizadas al grano después de la cosecha: secado, limpieza, clasificación, almacenamiento y transporte.
ppb	Partes por billón ($\mu\text{g/kg}$). Unidad de concentración utilizada para medir micotoxinas (aflatoxinas) en granos.
RBC	Relación Beneficio-Costo. Indicador de rentabilidad: ingresos totales dividido entre costos totales. $\text{RBC} > 1$ indica rentabilidad.
RVA	Rapid Visco Analyser. Instrumento para medir el perfil de viscosidad del almidón

	durante calentamiento y enfriamiento.
Spodoptera frugiperda	Gusano cogollero. Principal plaga del maíz en Ecuador y América Latina. Puede causar pérdidas de 20-50%.
Tb1 / Tga1	Genes clave en la domesticación del maíz desde el teosintle. tb1 controla la ramificación; tga1 la estructura del grano.
Teosintle	Ancestro silvestre del maíz moderno (Balsas teosinte, Zea mays ssp. parviglumis). Originario del suroeste de México.
UFC	Unidades Formadoras de Colonias. Medida de contaminación microbiana en alimentos y materias primas.
Zeínas	Proteínas de almacenamiento del endospermo del maíz, ricas en leucina y prolina pero deficientes en lisina y triptófano.

Referencias

- [1] Abiria, R., Rizanb, N., Balasundramb, S., & Shahbazi, B. (2023). Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
- [2] Actis, M. D., Farroni, A. E., & Andrade, F. H. (2020). Composition and thermal properties of starch in flint maize (*Zea mays*, L.) kernels: Location and crop management effects. *SciSpace*. <https://scispace.com/papers/composition-and-thermal-properties-of-starch-in-flint-maize-3cnqi1la88>
- [3] Alabi, L., Akintola, A., & Famakinwa, M. (2025). Perception of maize processors towards utilization of maize value addition techniques: Implications for rural entrepreneurship development – A study in Nigeria. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1657056>
- [4] Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2023). Applying IoT sensors and big data to improve precision crop production: A review. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- [5] Albán, G., Velásquez, J., & Carvajal, F. (2024). Estudio de la eficiencia productiva del maíz (*Zea mays* L.) amiláceo y duro en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3401>
- [6] Albán, M., Zambrano, J. L., & Caviedes, M. (2023). II Simposio Ecuatoriano del Maíz. *Archivos Académicos USFQ*. <https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi49.3109>
- [7] Alberto, I. (2024). La gestión crediticia diferenciada en género para la cadena de valor del maíz en Ecuador. *Ciencias Sociales y Educación*, 12(24). <https://doi.org/10.22395/csye.v12n24a6>
- [8] Almaraz, I., Reyes, A., Acosta, A., & Mendoza, M. (2022). Processing agroindustry by-products for obtaining value-added products and

reducing environmental impact. *Journal of Chemistry*.
<https://doi.org/10.1155/2022/3656932>

- [9] Almutairi, M. B., Ahmed, I., Alotaibi, K. D., & Aloud, S. S. (2025). Impact of starter phosphorus fertilizer type and rate on maize growth in calcareous soil irrigated with treated wastewater. *Soil Systems*. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9020041>
- [10] Amato, M., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>
- [11] Amos, M., Adams, F., Asiedu, P., & Owusu, V. (2025). Understanding farmers' challenges in maintaining maize quality for industrial use in Ghana: Barriers and strategies. *Journal of Stored Products Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102630>
- [12] Analuisa, I. A., Jimber del Río, J. A., & Fernández Gallardo, J. A. (2022). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano: Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía*, (98).
<https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- [13] Analuisa, I. A., Jimber del Río, J. A., Fernández Gallardo, J. A., & Vergara-Romero, A. (2023). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano: Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía*, (98), 231–262. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- [14] Arcanjo, A. H. M., Cunha, G. de P., & Silva, E. A. da. (2024). Cultivares e características do grão de milho. *Lumen et Virtus*, 15(43). <https://doi.org/10.56238/levv15n43-111>
- [15] Baier, C., Gross, A., & Glaser, B. (2023). Effects of agroforestry on grain yield of maize (*Zea mays* L.)—A global meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1167686>
- [16] Banda, G. (2022). Evolution of Zimbabwe's maize innovation ecosystems: Building an institutional innovation infrastructure that

supports food security. *Africa Development*.
<https://doi.org/10.57054/ad.v47i3.2679>

- [17] Bangelesa, F., Pollinger, F., & Paeth, H. (2021). Impact of climate change and variability on maize yield in Tropical Africa. *European Geosciences Union*.
https://www.researchgate.net/publication/349350316_Impact_of_climate_change_and_variability_on_maize_yield_in_Tropical_Africa
- [18] Basso, F., Neves, F., & Grossi-de-Sa, F. (2024). Agriculture evolution, sustainability and trends, focusing on Brazilian agribusiness: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1296337>
- [19] Blackie, M. J., Dixon, J., & Mudhara, M. (2019). Maize mixed farming system: An engine for rural growth and poverty reduction. En *Maize in the developing world* (pp. 45–68). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315658841-3>
- [20] Bolatova, A., Baikenova, G., & Suleimenova, A. (2023). Sustainable corn consumption and production in Kazakhstan and worldwide. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202306.1771.v1>
- [21] Bongiovanni, R., Tuninetti, L., Espósito, G., Fiant, S., Ponieman, K., Álvarez, S., Chiappero, N., & Oliverio, N. (2023). La huella de carbono del maíz como vínculo entre producción y ambiente. *Ciencia del Suelo*, 41(2).
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672023000200157
- [22] Borja, M. J., & Caviedes, M. (2013). Evaluación de dos ciclos de producción de semilla en dos variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en Tumbaco-Pichincha. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 5(2). <https://doi.org/10.18272/ACI.V5I2.143>
- [23] Bothast, R. J., & Schlicher, M. A. (2005). Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. *Applied Microbiology and*

Biotechnology, 67(1), 19–25. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1819-8>

- [24] Buckler, E. S., Holland, J. B., Bradbury, P. J., Acharya, C. B., Brown, P. J., Browne, C., Ersoz, E., Flint-Garcia, S., Garcia, A., Glaubitz, J. C., Goodman, M. M., Harjes, C., Guill, K., Kroon, D. E., Larsson, S., Lepak, N. K., Li, H., Mitchell, S. E., Pressoir, G., ... McMullen, M. D. (2009). The genetic architecture of maize flowering time. *Science*, 325(5941), 714–718. <https://doi.org/10.1126/science.1174276>
- [25] Cabrera, J., Maldonado, L., Bianchini, A., & Espina, R. (2021). Incidence of aflatoxins and fumonisins in grain, masa and corn tortillas in four municipalities in the department of Lempira, Honduras. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08506>
- [26] Calderón, C., Quelal, M., Villacrés, E., Manosalvas, A., & Álvarez, J. (2023). Impact of extrusion on the physicochemical parameters of two varieties of corn (*Zea mays*). *AIMS Agriculture and Food*. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023046>
- [27] Caviedes, M., Albán, M. G., Velásquez, J., & Carvajal, F. (2024). Estudio de la eficiencia productiva del maíz (*Zea mays* L.) amiláceo y duro en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2), e3401. <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3401>
- [28] Chacón, B., & Carvajal, M. (2025). Análisis comparativo de sistemas de almacenamiento en centros de acopio: Impacto en la calidad del maíz amarillo duro en Quevedo y zonas de influencia, Ecuador. *ECOAgropecuaria. Revista Científica*. <https://doi.org/10.53591/ybevg455>
- [29] Chang, Y., Latham, J., Licht, M., & Wang, L. (2023). A data-driven crop model for maize yield prediction. *Communications Biology*. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04833-y>
- [30] Checchio, L., Jardim, A., Amaral, B. d., Morello, F., & Leal, T. (2020). Maize yield under *Urochloa ruziziensis* intercropping and previous

- crop nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*.
<https://doi.org/10.1002/agj2.20567>
- [31] Cloutier, M. L., Liptzin, D., Coyotl, A., Baxter, A., & Morgan, C. (2025). Environmental sustainability in US dairy farms: Policies, practices, and outcomes. *Journal of Environmental Quality*.
<https://doi.org/10.1002/jeq2.70031>
- [32] CONAB. (2023). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. Companhia Nacional de Abastecimento.
<https://www.conab.gov.br>
- [33] Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J., Montesinos-López, O., Jarquín, D., de los Campos, G., Burgueño, J., González-Camacho, J. M., Pérez-Elizalde, S., Beyene, Y., Dreisigacker, S., Singh, R., Zhang, X., Gowda, M., Roorkiwal, M., Rutkoski, J., & Varshney, R. K. (2017). Genomic selection in plant breeding: Methods, models, and perspectives. *Trends in Plant Science*, 22(11), 961–975.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.011>
- [34] Dass, A., San, A. A., Jinger, D., Kumari, K., Singh, A., Singh, T., et al. (2025). Sustainable intensification strategies: Balancing productivity, quality, and profitability in agri-food systems. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1611739.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1611739>
- [35] Devi, A., Bajar, S., Kour, H., Kothari, R., Pant, D., & Singh, A. (2022). Lignocellulosic biomass valorization for bioethanol production: A circular bioeconomy approach. *Bioenergy Research*.
<https://doi.org/10.1007/s12155-022-10401-9>
- [36] Díaz, J., Barraza, A., Yañez, L., & Hernández, L. (2021). Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud Pública de México*.
<https://doi.org/10.21149/12297>
- [37] Dibbern, T., Santos, A., & Fonseca, M. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of digital agriculture technologies. *Smart*

Agricultural Technology.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459>

- [38] Doebley, J. F., Gaut, B. S., & Smith, B. D. (2006). The molecular genetics of crop domestication. *Cell*, 127(7), 1309–1321. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.12.006>
- [39] Doebley, J., Stec, A., & Hubbard, L. (1997). The evolution of apical dominance in maize. *Nature*, 386(6624), 485–488. <https://doi.org/10.1038/386485a0>
- [40] Dohleman, F. G., Barten, T. J., Lopez Arrizia, J., Gehlhar, S., Gillespie, K., & Castellano, M. J. (2024). Benefitting productivity and the environment: Current and future maize cropping systems improve yield while reducing nitrate load. *Journal of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20537>
- [41] Domínguez, C., Srinivasan, C. S., Silva-Hinojosa, A., & López, D. (2025). Public-private partnerships for seed industry development in developing countries: Lessons from MasAgro maize in Mexico. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0328872>
- [42] Dumortier, J., Carriquiry, M., & Elobeid, A. (2021). Impact of climate change on global agricultural markets under different shared socioeconomic pathways. *Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/agec.12660>
- [43] Eche, D. (2018). Análisis de la seguridad alimentaria en la agricultura familiar del norte del Ecuador. *SciSpace*. <https://scispace.com/papers/analisis-de-la-seguridad-alimentaria-en-la-agricultura-1cz62pir78>
- [44] Edmeades, G. O., Bänziger, M., & Mickelson, J. R. (2010). Can we feed the world in 2050? *Journal of New Zealand Grasslands*, 72, 35–42. <https://doi.org/10.33584/JNZG.2010.72.2800>
- [45] Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14(5), 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>

- [46] Esparza, R., Chávez, A., & González, A. (2025). La biodiversidad del maíz mexicano y su aprovechamiento. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/maiz_ciad._6_riiit_div_sep-oct_2025.pdf
- [47] Fagnano, M., Visconti, D., & Fiorentino, N. (2020). Agronomic approaches for characterization, remediation, and monitoring of contaminated sites. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091335>
- [48] Federico, L., Belén, M., Javier, E., Grisel, A., & Fernando, F. (2024). Red de evaluación de híbridos de maíz en fecha de siembra temprana INTA Marcos Juárez. *AER Justiniano Posse*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/23824>
- [49] Finger, R. (2023). Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, 50(4), 1277–1309. <https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>
- [50] Gaitan, M., Teresa, M., & Gómez, I. (2024). Advances and challenges of a circular economy (CE) in agriculture in Ibero-America: A bibliometric perspective. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su162411266>
- [51] Grobman, A., Bonavia, D., Dillehay, T. D., Piperno, D. R., Iriarte, J., & Holst, I. (2012). Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5), 1755–1759. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120270109>
- [52] Guamán, J., Chuqui, J., Tufiño, R., & Crespo, C. (2025). Measuring the effects of climate change on traditional crops in tropical highlands, Ecuador. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1447593>
- [53] Gurunathan, K., Jesudoss, R., Selvam, R., & Čep, R. (2025). Development and characterization of starch bioplastics as a sustainable alternative for packaging. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00221-0>

- [54] Gyekyawaa, S., Abankwa, S., Sekyere, B., & Kweku, P. (2023). Effects of harvest time on quality of stored maize (*Zea mays* L.) in the southern part of Ghana. *Peruvian Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.21704/pja.v7i2.2003>
- [55] He, X. Y., Carriquiry, M., & Elobeid, A. (2022). China's corn and biofuel policies and agricultural trade: Projections from an international agricultural commodity market model. *Agribusiness*, 38(4), 789–812. <https://doi.org/10.1002/agr.21764>
- [56] Hellin, J., Groenewald, S., & Keleman, A. (2012). Impact pathways of trade liberalization on rural livelihoods: A case study of smallholder maize farmers in Mexico. *Revista Iberoamericana de Estudios de Desarrollo*, 1(1), 22–41. https://doi.org/10.26754/OJS_RIED/IJDS.38
- [57] Hoang, T.-D., & Nghiem, N. (2021). Recent developments and current status of commercial production of fuel ethanol. *Fermentation*, 7(4), 314. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040314>
- [58] Hoogendoorn, J. C., Audet-Belanger, G., Böber, C., Pixley, K., Gaffney, J., & Gerpacio, R. (2018). Maize seed systems in different agro-ecosystems: What works and what does not work for smallholder farmers. *Food Security*, 10(6), 1445–1463. <https://doi.org/10.1007/S12571-018-0825-0>
- [59] Hufford, M. B., Lubinsky, P., Pyhäjärvi, T., Devengenzo, M. T., Ellstrand, N. C., & Ross-Ibarra, J. (2013). The genomic signature of crop-wild introgression in maize. *PLOS Genetics*, 9(5), e1003477. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003477>
- [60] Hufford, M. B., Xu, X., van Heerwaarden, J., Pyhäjärvi, T., Chia, J.-M., Cartwright, R. A., Elshire, R. J., Glaubitz, J. C., Guill, K. E., Kaeppler, S. M., Lai, J., Morrell, P. L., Shannon, L. M., Song, C., Springer, N. M., Swanson-Wagner, R. A., Tiffin, P., Wang, J., Zhang, G., ... Ross-Ibarra, J. (2012). Comparative population genomics of maize domestication and improvement. *Nature Genetics*, 44(7), 808–811. <https://doi.org/10.1038/ng.2309>

- [61] II Simposio Ecuatoriano del Maíz. (2023). *Archivos Académicos USFQ*. <https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi49.3109>
- [62] INEC. (2024). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- [63] Jackson, D. S., & Shandera, D. L. (1995). Corn wet milling: Separation chemistry and technology. *Advances in Food and Nutrition Research*, 38, 271–300. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)60085-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)60085-6)
- [64] Jaleta, M., Kassie, M., Marennya, P., Yirga, C., & Erenstein, O. (2018). Impact of improved maize adoption on household food security of maize producing smallholder farmers in Ethiopia. *Food Security*, 10(1), 81–93. <https://doi.org/10.1007/S12571-017-0759-Y>
- [65] Ji, H., Liu, W., Yang, Y., Guo, X., & Zhang, G. (2025). Quantitative design and production methods for maize. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. <https://doi.org/10.15302/j-fase-2025601>
- [66] Jiang, Y., Li, H., Ma, W., Chen, J., & Gao, Y. (2025). A meta-analysis of the effects of nitrogen fertilizer application on maize (*Zea mays* L.) yield in Northwest China. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1485237>
- [67] Jones, E., & Krishna, V. V. (2021). Farmer adoption of sustainable intensification technologies in the maize systems of the Global South: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00658-9>
- [68] Kamel, R. M., Assaha, D. V., & El-kholy, M. (2024). Influence of maize (*Zea mays* L.) moisture content stored in various compacted multi-layer hermetic bags on seed quality and mycotoxins

- contamination. *Journal of Stored Products Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102319>
- [69] Karnatam, S., Mythri, B., Nisa, W. U., Sharma, H., Rana, P., & Vikal, Y. (2023). Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development—perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1150132>
- [70] Karunathilake, E., Le, T., Heo, S., Chung, S., & Mansoor, S. (2023). The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. *Agriculture*.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- [71] Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., Ntalli, N., Cappellacci, L., & Petrelli, R. (2020). Efficacy of the furanosesquiterpene isofuranodiene against the stored-product insects *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101553>
- [72] Kistler, L., Maezumi, S. Y., Gregorio de Souza, J., Przelomska, N. A. S., Costa, F. M., Smith, O., Loiselle, H., Ramos-Madrigal, J., Wales, N., Ribeiro, E. R., Morrison, R. R., Grimaldo, C., Prous, A. P., Arriaza, B., Gilbert, M. T. P., de Oliveira Freitas, F., & Allaby, R. G. (2018). Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in South America. *Science*, 362(6420), 1309–1313. <https://doi.org/10.1126/science.aav0207>
- [73] Kopp, C., Kelly, R., & Velasquez, V. (2025). The world's 6 biggest corn producers. *Investopedia*.
<https://www.investopedia.com/articles/markets-economy/090316/6-countries-produce-most-corn.asp>
- [74] Kumar, B., Yankanchi, S., Sarkar, D., & Kumar, P. (2025). Dissecting the genetic architecture of polygenic nutritional traits in maize through meta-QTL analysis. *Food Chemistry: Molecular Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.fochms.2025.100256>

- [75] Lagunes, E. (2021). México y la seguridad alimentaria: el uso de las TIC para un etiquetado digital en alimentos. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2020.158.15635>
- [76] Li, S., et al. (2025). Carbon footprint and sustainable maize production systems under different climatic conditions. *Advances in Atmospheric Sciences*. <https://mundoagropecuario.com/cultivo-maiz-bajas-emisiones/>
- [77] Lowder, S. K., Sánchez, M., & Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development*. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105455>
- [78] Lun, R., Liu, W., Li, G., & Luo, Q. (2024). Does digital agricultural technology extension service enhance sustainable food production? Evidence from maize farmers in China. *Agriculture*, 14(2), 292. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020292>
- [79] Luo, J., Li, W., Liu, H., Yang, W., Song, W., & Meng, Y. (2021). The genetic mechanism of heterosis utilization in maize improvement. *Genome Biology*. <https://doi.org/10.1186/s13059-021-02370-7>
- [80] Lytridis, C., Kaburlasos, V., Pachidis, T., Manios, M., & Vrochidou, E. (2021). An overview of cooperative robotics in agriculture. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091818>
- [81] MAG. (2024). *Precio mínimo de sustentación del maíz amarillo duro*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec>
- [82] Majebele, J., Yang, M., Mateen, M., & Arebe, A. (2025). Mechanization and maize productivity in Tanzania's Ruvuma Region: A Python-based analysis on adoption and yield impact. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131412>
- [83] Matendo, E., Udomkun, P., Imathiu, S., & Owino, W. (2023). Effect of nixtamalization of maize and heat treatment of soybean on the nutrient, antinutrient, and mycotoxin levels of maize-soybean-

based composite flour. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1057123>

- [84] Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sanchez, J., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(9), 6080–6084.
<https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>
- [85] Maulana, M. I., Lubis, M. A. R., & Febrianto, F. (2022). Environmentally friendly starch-based adhesives for bonding high-performance wood composites: A review. *Forests*, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/f13101614>
- [86] Mdod, L., Tamako, N., Gidi, L. S., & Naidoo, D. (2025). Evaluating the impact of improved maize varieties on agricultural productivity and technical efficiency among smallholder farmers in the Eastern Cape, South Africa. *GM Crops & Food*.
<https://doi.org/10.1080/21645698.2025.2476667>
- [87] Mello, R., Lasa, R., & Funes, C. (2022). *Drosophila suzukii* management in Latin America: Current status and perspectives. *Journal of Economic Entomology*.
<https://doi.org/10.1093/jee/toac052>
- [88] Melo, D., Carteri, P., Pereira, L., & Eduardo, P. (2024). Monitoring and predicting corn grain quality on the transport and post-harvest operations in storage units using sensors and machine learning models. *Scientific Reports*.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-56879-5>
- [89] Méndez, L. L., Garcia, D., & Grau, A. (2025). Content and bioaccessibility of phenolic compounds in blue corn products and tortillas using traditional and ecological nixtamalization. *Food Chemistry: Molecular Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.fochms.2025.100256>
- [90] Mhlanga, B., Pellegrino, E., Thierfelder, C., & Ercoli, L. (2022). Conservation agriculture practices drive maize yield by regulating

soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizas, and plant nutrient uptake. *Field Crops Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108403>

- [91] Mialyk, O., Schyns, J. F., Booij, M. J., & Hogeboom, R. J. (2022). Historical simulation of maize water footprints with a new global gridded crop model ACEA. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26, 923–940. <https://doi.org/10.5194/hess-26-923-2022>
- [92] Mialyk, O., Schyns, J. F., Booij, M. J., & Hogeboom, R. J. (2022). Historical simulation of maize water footprints with a new global gridded crop model ACEA. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26, 923–940. <https://doi.org/10.5194/hess-26-923-2022>
- [93] Minh, T., Ameye, M., Thi-Kim, L., & Devlieghere, F. (2020). Post-harvest contamination of maize by *Fusarium verticillioides* and fumonisins linked to traditional harvest and post-harvest practices: A case study of small-holder farms in Vietnam. *International Journal of Food Microbiology*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.109022>
- [94] Mizik, T., Nagy, J., Molnály, M., & Márk, Z. (2025). Challenges of employment in the agrifood sector of developing countries—a systematic literature review. *Humanities and Social Sciences Communications*. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04308-3>
- [95] Mohan, R., Gadratagi, G., Paramesh, V., & Kumar, P. (2022). Sustainable management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12092150>
- [96] Montúfar, V., Humberto, G., Acosta, C., & Alberto, L. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz. *Revista de Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36528>
- [97] Motshabi, N., Gobodiwang, G., Malimabe, A., & Gumede, P. (2025). Cellulose nanofibril-based biodegradable polymers from maize

- husk: A review of extraction, properties, and applications. *Polymers*. <https://doi.org/10.3390/polym17141947>
- [98] Muntean, L., Ona, A., Berindean, I., & Racz, I. (2022). Maize breeding: From domestication to genomic tools. *Agronomy*, 12(9), 2250. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092250>
- [99] Murillo, R., Sánchez, D., Zambrano, E., & Pérez, B. (2024). Morpho-agronomic characterization of native maize populations (*Zea mays* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 41(4). [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v41.n4.01](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v41.n4.01)
- [100] Nargal, S., & Patil, B. L. (2020). World maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(10), 1845–1850.
- [101] Nath, B., Chen, G., O’Sullivan, C. M., & Zare, D. (2024). Research and technologies to reduce grain postharvest losses: A review. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>
- [102] Ngoma, T. N., Monjerezi, M., Leslie, J., & Harvey, J. (2023). Comparative utility of hermetic and conventional grain storage bags for smallholder farmers: A meta-analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12934>
- [103] Ntwali, J., Schock, S., Romuli, S., Chege, K., & Banadda, N. (2021). Performance evaluation of an inflatable solar dryer for maize and the effect on product quality compared with direct sun drying. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app11157074>
- [104] Osewe, M., Aijun, L., & Jiqin, H. (2023). Sustainable intensification and food security: A panel data assessment of the smallholder maize farmers in Uganda. *Global Food Security*, 39, 100724. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100724>
- [105] Panda, S., Borkataki, S., & Reddy, M. D. (2020). Domestication and evolution of maize. *International Journal of Chemical Studies*,

8(1), 2433–2439.
<https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1aa.8530>

- [106] Penagos, F., Todorov, A., Raj, J., Farkaš, H., & Grubješić, G. (2025). Multi-mycotoxin contamination in Serbian maize during 2021–2023: Climatic influences and implications for food and feed safety. *Toxins*. <https://doi.org/10.3390/toxins17050227>
- [107] Pereira, L., Ramos, P., Pighinelli, L., Novaes, R., Debiasi, H., & Hirakuri, M. (2025). State-level inventories and life cycle GHG emissions of corn, soybean, and sugarcane produced in Brazil. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17188482>
- [108] Peterson, R. (2022). *Corn bioethanol production facility design: The corn industrial complex* [Trabajo de grado]. University of Virginia. <https://doi.org/10.18130/m4b1-3k39>
- [109] Piperno, D. R., Ranere, A. J., Holst, I., Iriarte, J., & Dickau, R. (2009). Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5019–5024. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812525106>
- [110] Qin, M., Zheng, E., Hou, D., & Meng, X. (2023). Response of wheat, maize, and rice to changes in temperature, precipitation, CO₂ concentration, and uncertainty based on crop simulation approaches. *Plants*. <https://doi.org/10.3390/plants12142709>
- [111] Queiroz, S. S., Jofre, F. M., Mussatto, S. I., & Graças, M. d. (2022). Scaling up xylitol bioproduction: Challenges to achieve a profitable bioprocess. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111789>
- [112] Quirós, M., Elgueta, V., & Valenzuela, A. (2023). Almacenamiento y gestión comunitaria del excedente agrícola en los Andes centro sur (siglos XIII-XVI). *Chungará* (Arica). <https://doi.org/10.4067/s0717-73562023005000501>
- [113] Ramirez, E. C., Johnston, D. B., McAloon, A. J., & Singh, V. (2009). Enzymatic corn wet milling: Engineering process and cost model.

Biotechnology for Biofuels, 2(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-2>

- [114] Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- [115] Rathnayake, D., & Dharmawardhana, M. (2025). Adoption of best cultivation practices and post-harvest techniques among maize farmers in Anuradhapura District, Sri Lanka. *Journal of Multidisciplinary & Translational Research*. <https://doi.org/10.4038/jmtr.v10i1.81>
- [116] Rausch, K. D., Hummel, D., Johnson, L. A., & May, J. B. (2003). Wet milling: The basis for corn biorefineries. En P. J. White & L. A. Johnson (Eds.), *Corn: Chemistry and technology* (2.^a ed., pp. 449–494). American Association of Cereal Chemists.
- [117] Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLOS ONE*, 8(6), e66428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- [118] Revilla, P., Alves, L., Andelković, V., Balconi, C., Dinis, I., & Redaelli, R. (2022). Traditional foods from maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Frontiers in Nutrition*. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.683399>
- [119] Rohimatun, R., Salim, M., Manwan, S. W., & Fattah, A. (2023). *Sitophilus zeamais* (Motschulsky): The primary obstacles in the stored grain. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012089>
- [120] Rooney, L. W., & Serna-Saldívar, S. O. (2015). Food-grade corn quality for lime-cooked tortillas and snacks. En *Corn: Chemistry and technology* (pp. 271–311). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-88-5.50012-8>
- [121] Salakinkop, H. S., Talekar, S., Patil, B. C., & Jat, M. L. (2024). Sustainable intensification of climate-resilient maize–chickpea

- system in semi-arid tropics through assessing factor productivity. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53573-4>
- [122] Salizzi, E. (2023). Conflictos por la tierra en el norte de Córdoba, Argentina: la influencia de la Unión Campesina del Norte (UCAN). *Izquierdas*. <https://doi.org/10.4067/s0718-50492023000100218>
- [123] Salmoral, G. (2023). Rethinking agricultural policy in Ecuador (1960–2020): Analysis based on the water–energy–food security nexus. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151712850>
- [124] Samman, N. C., Segundo, C. N., Dominguez, N., & Miranda, R. (2025). Technologies for adding value to Andean maize production in the Province of Jujuy, Argentina. *Biology and Life Sciences Forum*. <https://doi.org/10.3390/blsf2025050012>
- [125] Sampaio, C., & Assis, D. R. (2024). Etanol de milho. *Interface Tecnológica*, 20(2). <https://doi.org/10.31510/infa.v20i2.1746>
- [126] Sánchez, H., & Sastre, F. (2021). The effect of technological packages on maize productivity in Ecuador. *Investigación Económica*. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2020.203.69527>
- [127] Sánchez, O. (2020). *Proceso de rastreabilidad del producto para la cadena de suministro* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/e4ed8f6f-c41d-43f3-b401-a9efd15f4e52/content>
- [128] Santana, Á. L., & Meireles, M. A. A. (2023). Valorization of cereal byproducts with supercritical technology: The case of corn. *Processes*, 11(1), 289. <https://doi.org/10.3390/pr11010289>
- [129] Satyanarayana, T., & Appukuttan, P. (2022). Prospects of maize (corn) wet milling by-products as a source of functional food ingredients and nutraceuticals. *Food Technology and Biotechnology*, 60(1). <https://doi.org/10.17113/ftb.60.01.22.7340>

- [130] Shamshiri, R. R., Sturm, B., Weltzien, C., Fulton, J., Khosla, R. K., Schirrmann, M., et al. (2024). Digitalization of agriculture for sustainable crop production: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1375193. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375193>
- [131] Shamshiri, R. R., Sturm, B., Weltzien, C., Fulton, J., Khosla, R. K., Schirrmann, M., et al. (2024). Digitalization of agriculture for sustainable crop production: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1375193. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375193>
- [132] Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6: Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3(3), 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- [133] Silva, C., Morillo, E., & Yáñez, C. (2014). Caracterización molecular de las razas de canguil, tusilla y mezclas del banco de trabajo del programa de maíz del INIAP. *Ciencia y Tecnología Espe*, 9(1). <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V9I1.80>
- [134] Sime, M., Ballo, S., Abro, Z., Gugissa, D., & Mendesil, E. (2024). Farmers' perceptions of maize production constraints and the effects of push–pull technology on soil fertility, pest infestation, and maize yield in Southwest Ethiopia. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030381>
- [135] Singh, N., & Singh, V. (2004). Optimization of alkali steeping conditions for wet milling of corn. *Cereal Chemistry*, 81(5), 635–639. <https://doi.org/10.1094/CCEM.2004.81.5.635>
- [136] Sophie, N., Jargot, D., Antoine, G., Denis, F., & Melin, S. (2021). Investigating multi-mycotoxin exposure in occupational settings: A biomonitoring and airborne measurement approach. *Toxins*. <https://doi.org/10.3390/toxins13010054>
- [137] Stavtsev, A. N., Gasanova, K. N., & Osipov, A. N. (2022). The world market of corn and its processed products in the context of the

- development of organic agriculture. *Ekonomika, Trud, Upravlenie v Selskom Khozyaystve*, (5), 46–53. <https://doi.org/10.33938/225-46>
- [138] Sukop, U., & Zettel, V. (2026). Comparative study of fractionation technologies and their impact on the nutritional and functional properties of maize and rice fractions. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04104-0>
- [139] Tarekegne, A., Wegary, D., Cairns, J. E., Beyene, Y., & Negera, D. (2024). Genetic gains in early maturing maize hybrids developed by the International Maize and Wheat Improvement Center in Southern Africa. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1321308>
- [140] Thiele, S., Gwirtz, J., Zhu, L., & Adedeji, A. (2024). Adaptation of conventional wheat flour mill to refine sorghum, corn, and cowpea. *AgriEngineering*. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030114>
- [141] Ullah, A., Sun, L., Wang, F.-F., Nawaz, H., Cai, Y., Anwar, F., & Qamar, M. (2023). Eco-friendly bioactive β -caryophyllene/halloysite nanotubes loaded nanofibrous sheets for active food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101028>
- [142] USDA Foreign Agricultural Service. (2026). *U.S. corn exports in 2025*. <https://www.fas.usda.gov/data/commodities/corn>
- [143] Vargas, C., Saweda, L., & Reardon, T. (2021). Vulnerability of Nigerian maize traders to a confluence of climate, violence, disease and cost shocks. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13094872>
- [144] Vásconez, H., Caicedo, A., Véliz, V., & Sánchez, D. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36528>

- [145] Viera, W., Biniego, L., Ryans, F., López, D., Moya, M., & Vera, L. (2025). Systematic review of integrating technology for sustainable agricultural transitions: Ecuador, a country with agroecological potential. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17136053>
- [146] Vigouroux, Y., Glaubitz, J. C., Matsuoka, Y., Goodman, M. M., Sánchez, J., & Doebley, J. (2008). Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany*, 95(10), 1240–1253. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800097>
- [147] Vilela, U., Carvalho, A., Reis, E., Kelli, D., Vilela, L., & Zanqueta, H. (2022). Vigor of maize seeds and its effects on plant stand establishment, crop development and grain yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44257527>
- [148] Wahengbam, J., Singh, A. K., Kumar, M., & Singh, R. K. (2024). Maize production and productivity trends in major maize growing states of India. *Journal of Cereal Research*, 16(1), 1–10.
- [149] Wang, H., Nussbaum-Wagler, T., Li, B., Zhao, Q., Vigouroux, Y., Faller, M., Bomblies, K., Lukens, L., & Doebley, J. F. (2005). The origin of the naked grains of maize. *Nature*, 436(7051), 714–719. <https://doi.org/10.1038/nature03863>
- [150] Wang, K., Xie, R., Xue, J., Sun, L., & Li, S. (2022). Comparison and analysis of maize grain commodity quality and mechanical harvest quality between China and the United States. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221501.6099>
- [151] Warburton, M. L., Reif, J. C., Frisch, M., Bohn, M., Bedoya, C., Xia, X. C., Crossa, J., Franco, J., Hoisington, D., Pixley, K., Taba, S., & Melchinger, A. E. (2011). Genetic diversity in CIMMYT nontemperate maize germplasm. *Crop Science*, 51(1), 253–264. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0103>

- [152] Widiastuti, D., Hatta, M., Aziz, H., Bakrie, B., Tan, S., & Rakhmani, S. (2024). Peatlands management for sustainable use on the integration of maize and cattle in a circular agriculture system in West Kalimantan, Indonesia. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31259>
- [153] Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
- [154] Wossen, T., Menkir, A., Alene, A., & Abdoulaye, T. (2023). Drivers of transformation of the maize sector in Nigeria. *Global Food Security*. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100713>
- [155] Yang, L., Lü, Q., & Zhang, H. (2022). Experimental study on direct harvesting of corn kernels. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070919>
- [156] Yumbla, M. R. (2010). Encadenamiento agroalimentario: ¿solución sustentable de desarrollo rural o consolidación del poder agroindustrial? *Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial*. <https://doi.org/10.17141/EUTOPIA.2.2010.1032>
- [157] Zambrano, C. E., & Andrade Arias, M. S. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143–151. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000400143
- [158] Zambrano, E., Limongi, J. R., & Alarcón, F. (2017). Interacción genotipo ambiente de híbridos de maíz bajo temporal en Manabí y Los Ríos, Ecuador. *SciSpace*. <https://scispace.com/papers/interaccion-genotipo-ambiente-de-hibridos-de-maiz-bajo-2kqo13m6yz>
- [159] Zambrano, J. L., Yáñez, C., & Sangoquiza, C. (2021). Maize breeding in the highlands of Ecuador, Peru, and Bolivia: A review. *Agronomy*, 11(2), 212. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11020212>

- [160] Zambrano, L., Albán, G., & Caviedes, M. (2025). Resultados e impactos de la gestión del conocimiento en el desarrollo de tecnologías para el cultivo de maíz en las Américas. *Bitácora Académica USFQ*. <https://doi.org/10.18272/5wtr7w70>
- [161] Zhao, H., Zhang, L., Wan, N., Avenson, T., Welch, S., & Lin, X. (2024). Sensitivity changes of US maize yields to extreme heat through timely precipitation patterns. *Environmental Communications*. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad6404>
- [162] Zhao, X., Shi, J., Liu, M., Zafar, S. U., Liu, Q., Mian, I. A., Khan, B., Khan, S., Zhuang, Y., Dong, W., & Liu, E. (2023). Spatial characteristics and driving forces of the water footprint of maize production. *Agriculture*, 13(9), 1808. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091808>
- [163] Zhao, X., Shi, J., Liu, M., Zafar, S. U., Liu, Q., Mian, I. A., Khan, B., Khan, S., Zhuang, Y., Dong, W., & Liu, E. (2023). Spatial characteristics and driving forces of the water footprint of maize production. *Agriculture*, 13(9), 1808. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091808>
- [164] Zhu, X., & Wang, G. (2024). Impact of agricultural cooperatives on farmers' collective action: A study based on the socio-ecological system framework. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010096>
- [165] Zounemat, M., & Batelaan, O. (2021). Ensemble machine learning paradigms in hydrology: A review. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126266>
- [166] Aguirre-Liguori, J. A., Ramírez-Barahona, S., & Tiffin, P. (2019). Climate change is predicted to disrupt patterns of local adaptation in wild and cultivated maize. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1906). <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0486>
- [167] Alarcón Cobeña, F., Limongi Andrade, R., & Zambrano, E. (2019). Desarrollo de una variedad de maíz tropical de grano blanco con

calidad de proteína para consumo en fresco. *SciSpace*.
<https://scispace.com/papers/desarrollo-de-una-variedad-de-maiz-tropical-de-grano-blanco-1v9lqbeyj4>

- [168] Cabascango-Paucar, R. A., Valverde-Pérez, W. M., & Bolaños-Cariel, C. (2023). Evaluation of agronomic traits and severity of foliar disease of three commercial hybrids and five advanced triple hybrids of hard yellow maize. *Ciencia y Agricultura*, 20(1).
<https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n1.2023.15544>
- [169] Cadena de valor del maíz duro seco en Ecuador. (2022). *Revista Venezolana de Gerencia*. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.8.30>
- [170] Cadena de valor y su aporte a la productividad del maíz en el cantón Tosagua, provincia de Manabí. (2023). *MQRInvestigar*.
<https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.4.2023.2643-2664>
- [171] Caviedes-Cepeda, M., Albán, M. G., Gangotena, D., & Velásquez, J. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1).
<https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- [172] Cisneros Icaza, G. M., Villalva Villanueva, F., & Andrade Arias, M. S. (2024). Factores socioeconómicos y su incidencia en la producción y comercialización de maíz nacional en el Cantón Quevedo. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(2).
<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n2/569>
- [173] Cuervo-Osorio, V. D., Ramírez-Rivera, E. J., & Cabal Prieto, A. (2023). Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz: Una revisión. *Tecnológico Nacional de México*.
https://www.researchgate.net/publication/371959422_EVALUACION_DE_LA_SUSTENTABILIDAD_DEL_AGROECOSISTEMA_MAIZ_UNA_REVISION
- [174] Eguez Moreno, J., Pintado, P., & Ruilova Narvaez, F. L. (2019). Desarrollo de un híbrido de maíz de grano blanco para consumo humano en Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1).
<https://doi.org/10.18272/ACI.V11I1.1102>

- [175] Eyshi-Rezaei, E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., Martre, P., & MacCarthy, D. S. (2023). Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>
- [176] Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *Crop water information: Maize (Zea mays)*. FAO. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en>
- [177] Hasang-Moran, E. S., García-Bendezú, S., Carrillo-Zenteno, M. D., Durango, D., & Cobos, J. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100026>
- [178] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas>
- [179] Limongi-Andrade, R., Alarcón-Cobeña, D., & Zambrano-Zambrano, E. (2018). Development of a new maize hybrid for the Ecuadorian lowland. *Agronomía Colombiana*, 36(2). <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V36N2.68782>
- [180] Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna, C., Hellin, J., Gerard, B., & van Wijk, M. (2019). Food security and agriculture in the Western Highlands of Guatemala. *Food Security*, 11(4), 817–833. <https://doi.org/10.1007/S12571-019-00940-Z>
- [181] Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Sistema de Información Pública Agropecuaria: Cifras agroproductivas*. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- [182] Moreno-González, J., Martínez, I., & Brichette, I. (2000). Breeding potential of European flint and U.S. Corn Belt dent maize populations for forage use. *Crop Science*, 40(6), 1588–1595. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4061588x>

- [183] Moreno-Letelier, A., Aguirre-Liguori, J. A., Tenaillon, M. I., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., & Gaut, B. S. (2018). Was maize domesticated in the Balsas Basin? *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/239707>
- [184] Moya Carrera, E. G. (2018). Valoración de la producción y comercialización del maíz duro (*Zea mays* L.) en el cantón Pueblo Viejo. *SciSpace*. <https://scispace.com/papers/valoracion-de-la-produccion-y-comercializacion-del-maiz-duro-4sdqlhdbvp>
- [185] Our World in Data. (2024). *Corn production, 1961 to 2024*. <https://ourworldindata.org/grapher/maize-production>
- [186] Ramos-Madrigal, J., Smith, B. D., Moreno-Mayar, J. V., Gopalakrishnan, S., Ross-Ibarra, J., Gilbert, M. T. P., & Wales, N. (2016). Genome sequence of a 5,310-year-old maize cob provides insights into the early stages of maize domestication. *Current Biology*, 26(23), 3195–3201. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.09.036>
- [187] Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., et al. (2016). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- [188] Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., et al. (2016). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- [189] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Prácticas agrícolas sustentables aumentan el rendimiento del maíz*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/practicas-agricolas-sustentables-aumentan-el-rendimiento-del-maiz-revelan-investigaciones-mexicanas>
- [190] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Prácticas agrícolas sustentables aumentan el rendimiento del maíz*.

Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/practicas-agricolas-sustentables-aumentan-el-rendimiento-del-maiz-revelan-investigaciones-mexicanas>

- [191] Sustentabilidad del sistema de producción de maíz en la localidad de Ventanas, Ecuador. (2020). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4425344>
- [192] Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. (s.f.). *Avances en Ciencias e Ingenierías*. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/2588/3111>
- [193] United States Department of Agriculture. (2010). *Feed grains yearbook*. USDA Economic Research Service.
- [194] van Heerwaarden, J., Doebley, J., Briggs, W. H., Glaubitz, J. C., Goodman, M. M., Gonzalez, J. de J. S., & Ross-Ibarra, J. (2011). Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(3), 1088–1092. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013011108>
- [195] Vera Bravo, V. A., Avellán Cedeño, B. A., & Cedeño García, G. A. (2024). Efectividad de la fertilización líquida y bioestimulación en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para consumo en fresco. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350>
- [196] Zambrano-Mendoza, J. L., Albán-Martínez, M., & Caviedes-Cepeda, F. (2025). Resultados e impactos de la gestión del conocimiento en el desarrollo de tecnologías para el cultivo de maíz en las Américas. *Bitácora Académica USFQ*. <https://doi.org/10.18272/5wtr7w70>

Ahmed El Salous

Ahmed El Salous es investigador y docente universitario con sólida formación académica internacional, habiendo realizado estudios en países como Egipto, España y México, entre otros. A lo largo de su trayectoria profesional ha ocupado relevantes cargos académicos y de gestión, destacándose como Coordinador Académico, Director del Instituto de Investigación, Director de la Escuela de Posgrado y Decano de Facultad.

Ha impartido docencia tanto dentro como fuera del Ecuador, participando activamente en programas de posgrado y contribuyendo a la internacionalización de la educación superior. Asimismo, ha dirigido y tutorizado un amplio número de trabajos de investigación en los niveles de pregrado, maestría y doctorado, aportando significativamente a la formación de profesionales e investigadores.

Su producción académica es extensa y de alto nivel, incluyendo artículos científicos publicados en revistas indexadas de alto impacto, así como libros y capítulos de libros. Además, ha participado en diversos proyectos de investigación y ha intervenido como ponente en eventos científicos tanto nacionales como internacionales, consolidando su experiencia y reconocimiento en el ámbito académico y científico.

Víctor Ilee Santos

Víctor Nasario Ilee Santos, email: vileer@uagraria.edu.ec. Es Ingeniero Agrónomo y Magíster en Educación Agropecuaria con mención en Desarrollo Sostenible, graduado en la Universidad Técnica de Babahoyo. Cuenta con amplia experiencia docente en la Universidad Agraria del Ecuador, desempeñándose en áreas como Botánica, Agricultura General, Taxonomía Vegetal, Biología Molecular y Producción de Cultivos. Ha participado en diversos congresos y capacitaciones nacionales e internacionales relacionados con ciencias agrarias, conservación de suelos, investigación científica y agricultura sostenible. Además, ha desarrollado actividades de capacitación comunitaria sobre mejoramiento de suelos y cultivos agrícolas en asociaciones campesinas de Palenque. Su perfil profesional destaca por el dominio de asignaturas agropecuarias, experiencia académica, compromiso con la investigación y fortalecimiento de procesos educativos en el área agrícola. Posee experiencia tanto en docencia universitaria como en educación básica, contribuyendo a la formación técnica y científica de estudiantes del sector agropecuario.

Johanna Duchimaza

es docente universitaria e investigadora en el área de los agronegocios y la agroindustria. Ingeniera Comercial con mención en Administración Financiera, posee una maestría en Administración de Pequeñas y Medianas Empresas.

Se desempeña en la Universidad Agraria del Ecuador, donde imparte cátedra en las carreras de Agronomía, Ingeniería Ambiental y Agroindustria, contribuyendo a la formación de profesionales en el sector agroproductivo. Es autora y coautora de publicaciones científicas, incluyendo artículos en revistas de alto impacto, y participa activamente en proyectos de investigación y actividades académicas, consolidando su compromiso con la educación superior y el desarrollo sostenible del país.

Zulema Layanara Zamora Mendoza

es Contadora Pública Autorizada y académica ecuatoriana, vinculada principalmente a la ciudad de Milagro y a la docencia universitaria. Su trayectoria abarca la gestión contable pública, el sector farmacéutico y la investigación en el área de administración y contabilidad.

Se desempeña como profesora en la Universidad Agraria del Ecuador, dictando materias vinculadas al área de Contabilidad y Administración. Ha trabajado para la Empresa Pública Cuerpo de Bomberos de Milagro (EP-CBM) ocupando el cargo de contadora. Su labor en esta unidad financiero-contable incluyó capacitaciones técnicas en revalorización de activos. Cuenta con amplia experiencia laboral (alrededor de 25 años) en el área contable y administrativa farmacéutica. Su tesis de maestría en la Universidad Estatal de Milagro se enfocó precisamente en las tendencias de asesoría comercial para microempresarios de dicho sector en el cantón Bucay.

Es coautora del estudio académico titulado Evaluación del Régimen Impositivo Simplificado (RISE) para los contribuyentes de la ciudad de Milagro, publicado en la revista científica Tlatemoani. Adicionalmente registra otras investigaciones académicas enfocadas en la Inteligencia Artificial (IA) aplicada a los negocios, la educación superior y la sostenibilidad agrícola en el entorno ecuatoriano.

ISBN: 978-9942-53-178-0

