

Sistemas de Información Aplicados al sector agropecuario: Innovación, Datos y Sostenibilidad

Maritza Aguirre-Munizaga
Cecilia Valle-Lituma
Ahmed El Salous



Sistemas de Información Aplicados al sector agropecuario: Innovación, Datos y Sostenibilidad

Maritza Aguirre-Munizaga
Cecilia Valle-Lituma
Ahmed El Salous

ISBN: 978-9942-53-193-3
Primera edición, 2026

© Autores

Maritza Aguirre-Munizaga

Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-0708-1811>

Cecilia Valle-Lituma

Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0009-0003-0328-3261>

Ahmed El Salous

Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-7395-5420>

© Editorial Grupo Compás, 2026

Guayaquil, Ecuador
www.grupocompas.com
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2026

Este libro aborda los principios, aplicaciones e investigaciones clave sobre el uso de tecnologías de la información en la agricultura. La transformación digital en el ámbito agrícola ha dado paso al desarrollo de sistemas de información que permiten una gestión más eficiente, sostenible y científica de los recursos agropecuarios.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial generativa

En la elaboración de esta obra se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa como apoyo complementario para la creación de determinados recursos visuales y para tareas de asistencia editorial. Estas herramientas no fueron empleadas como autoras ni sustituyeron el criterio académico, científico o profesional de los autores.

Todo el contenido generado o asistido mediante inteligencia artificial fue revisado, contrastado y validado por los autores antes de su incorporación al manuscrito. La verificación incluyó la pertinencia conceptual, la coherencia temática, la precisión de la información, la correspondencia de las citas y referencias bibliográficas, así como la adecuación del contenido al contexto agropecuario abordado en la obra.

Los autores asumen plena responsabilidad por la versión final del libro, incluidas sus afirmaciones, interpretaciones, conclusiones, recursos gráficos y referencias. Asimismo, declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial se realizó bajo principios de transparencia, integridad académica y supervisión humana, sin delegar en dichas herramientas decisiones relacionadas con la autoría, la validez científica o la responsabilidad ética del contenido.

ISBN: 978-9942-53-193-3

DOI: 10.31876/9789942531933

Distribución online

Acceso abierto



Cita

Aguirre-Munizaga, M., Valle-Lituma, C., & El Salous, A. (2026). *Sistemas de información aplicados al sector agropecuario: innovación, datos y sostenibilidad*. Editorial Grupo Compás.

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.

Introducción

La transformación digital del sector agropecuario ha generado nuevas formas de producir, administrar recursos y tomar decisiones. En este proceso, los sistemas de información se han convertido en herramientas necesarias para recopilar, organizar, procesar y analizar datos relacionados con el suelo, el clima, los cultivos, la producción animal, los insumos y las condiciones del mercado. Su aplicación permite sustituir decisiones basadas únicamente en la experiencia por procesos sustentados en información verificable, sin desconocer el conocimiento acumulado por productores y técnicos. La agricultura actual enfrenta desafíos relacionados con el cambio climático, el uso eficiente del agua, la degradación de los recursos naturales, la seguridad alimentaria, el incremento de los costos de producción y la necesidad de mejorar la productividad. Frente a estas condiciones, las tecnologías digitales permiten monitorear variables productivas, identificar riesgos, anticipar escenarios y formular recomendaciones para una mejor gestión de los sistemas agrícolas y pecuarios. Entre estas tecnologías se encuentran el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, los sistemas de información geográfica, la teledetección, los sensores inteligentes, la computación en la nube y las plataformas de visualización de datos.

Los sistemas de información aplicados al sector agropecuario integran componentes tecnológicos, datos y conocimiento especializado para apoyar la planificación, el seguimiento y la evaluación de las actividades productivas. Su utilidad se evidencia en aplicaciones como el monitoreo de cultivos, la programación del riego, la detección de plagas y enfermedades, la evaluación de la fertilidad del suelo, la predicción de rendimientos, la trazabilidad de los productos y la gestión de las cadenas agroalimentarias. Estas aplicaciones contribuyen a optimizar el uso de recursos, reducir pérdidas y fortalecer la capacidad de respuesta ante condiciones climáticas, productivas y económicas cambiantes. En este contexto la transformación digital del agro no depende exclusivamente de la incorporación de equipos y programas informáticos. Su implementación requiere conectividad, infraestructura, capacitación, disponibilidad de datos confiables y participación de los actores involucrados. En las zonas rurales, la brecha digital continúa siendo una limitación para el acceso y aprovechamiento de estas herramientas, especialmente entre pequeños productores. Por esta razón, las soluciones

tecnológicas deben ser accesibles, escalables y adaptadas a las condiciones económicas, sociales y productivas de cada territorio.

El presente libro, titulado *Sistemas de Información Aplicados al Sector Agropecuario: Innovación, Datos y Sostenibilidad*, analiza los fundamentos, las aplicaciones y las perspectivas de los sistemas de información en la agricultura. Su propósito es presentar una visión integradora sobre la forma en que los datos y las tecnologías digitales pueden apoyar la gestión agropecuaria, la toma de decisiones y el desarrollo de sistemas productivos más eficientes y sostenibles.

La obra se organiza en tres capítulos. El primero aborda los fundamentos de los sistemas de información agropecuarios, su evolución, los principales elementos tecnológicos y su relación con la agricultura de precisión. El segundo examina las aplicaciones de estos sistemas en la toma de decisiones agrícolas, incluyendo los sistemas de soporte a decisiones descriptivos, predictivos y prescriptivos, la agricultura basada en datos, el monitoreo en tiempo real y la inteligencia geoespacial. El tercer capítulo analiza las tendencias actuales, la inteligencia artificial aplicada al agro, el uso de blockchain para la trazabilidad alimentaria, los estudios de caso en América Latina y los principales retos tecnológicos, sociales, económicos y éticos relacionados con su adopción. Se consideran aspectos como la brecha digital, la escalabilidad de las soluciones, el impacto sobre los pequeños productores, la gobernanza de los datos y la necesidad de enfoques multidisciplinarios. Desde esta perspectiva, la innovación tecnológica se entiende como un proceso que debe integrar la informática, la agronomía, la estadística, la gestión, las ciencias sociales y el conocimiento territorial. La tecnología, por sí sola, no resuelve los problemas del campo; debe responder a necesidades productivas concretas y acompañarse de formación, asistencia técnica y políticas institucionales. Esta obra está dirigida a estudiantes, docentes, investigadores, profesionales, técnicos, productores y responsables de la gestión agropecuaria interesados en comprender y aplicar sistemas de información en contextos agrícolas. Su contenido busca contribuir al análisis de la transformación digital del sector y ofrecer elementos conceptuales y prácticos para orientar futuras investigaciones, proyectos tecnológicos y procesos de innovación vinculados con el desarrollo sostenible del agro.

Índice

Introducción.....	1
 Capítulo 1	6
Fundamentos de los Sistemas de Información Agropecuarios	6
Introducción a los sistemas de información	7
Evolución de los sistemas en el contexto agropecuario	9
Elementos tecnológicos clave.....	12
Rol de los sistemas en la agricultura de precisión	16
 Capítulo 2 Aplicaciones de Sistemas de Información para la Toma de Decisiones Agrícolas.....	21
Sistemas de soporte a decisiones (DSS) agrícolas	23
DSS descriptivos en sistemas agrícolas.....	27
DSS predictivos basados en modelos analíticos.....	28
DSS prescriptivos y la optimización de decisiones agronómicas.....	29
Agricultura basada en datos (Data-driven Agriculture).....	31
Sistemas de monitoreo en tiempo real	34
Visualización e inteligencia geoespacial	40
 Capítulo 3 Investigación, Retos y Perspectivas de los Sistemas de Información Agropecuarios	47
Estado del arte y tendencias actuales.....	48
Inteligencia artificial aplicada al agro.....	48

Blockchain y trazabilidad alimentaria.....	50
Estudios de caso relevantes en América Latina.....	52
Proyectos institucionales y gubernamentales.....	54
Impacto de los sistemas en pequeños productores.....	54
Barreras tecnológicas, sociales y económicas	55
Brecha digital en el agro	56
Escalabilidad de las soluciones.....	57
Lineamientos para futuras investigaciones científicas	58
Enfoques multidisciplinarios	58
 Marco ético y sostenibilidad.....	 59
Conclusiones Generales	65
Recomendaciones	68
 Referencias Bibliográficas.....	 71

Capítulo 1

Fundamentos de los Sistemas de Información Agropecuarios

Introducción a los sistemas de información

Las actividades agropecuarias comprenden todas las acciones humanas orientadas a la producción de alimentos, fibras, biocombustibles y materias primas mediante la agricultura y la ganadería. Estas prácticas integran dimensiones biológicas, tecnológicas y socioeconómicas, y su finalidad es transformar los recursos naturales, como el suelo, el agua y la biodiversidad, en bienes y servicios útiles para la sociedad (The State of Food and Agriculture. 2020, Overcoming Water Challenges in Agriculture, 2020).

Dichas actividades incluyen la agricultura (cultivo de la tierra) y la ganadería (cría de animales), forman parte esencial del sector primario de la economía. Este sector se caracteriza por la extracción directa de recursos naturales, siendo fundamental para la subsistencia humana y el desarrollo económico de las sociedades(Bejarano Rivera et al., 2021a)

Actualmente, las actividades agropecuarias desempeñan un papel crucial en el desarrollo económico de los países, especialmente en aquellos con economías rurales predominantes. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector agropecuario contribuye al crecimiento económico mediante cinco funciones básicas:

1. Incrementar la oferta de alimentos para el consumo interno.
2. Liberar fuerza de trabajo para otros sectores económicos.
3. Ampliar el mercado para productos industriales.
4. Generar ahorro doméstico para la inversión.
5. Producir divisas a través de las exportaciones agroalimentarias(Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020, 2020)

La agricultura no solo provee alimentos, sino también servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación del clima, la conservación del suelo y la provisión de agua limpia. Además, los agroecosistemas albergan

biodiversidad funcional ,como polinizadores y enemigos naturales de plagas, que garantizan la sostenibilidad del sistema (Power, 2010)

La agricultura y la ganadería en Ecuador han contribuido significativamente al Producto Interno Bruto (PIB), especialmente en décadas anteriores, cuando representaban cerca del 30% del PIB nacional. Aunque su participación ha disminuido con el crecimiento del sector industrial, el agro sigue siendo esencial para la seguridad alimentaria, la generación de empleo rural y la estabilidad social (Chuncho Juca et al., 2021)

Así mismo, la producción agrícola sustentable es clave para enfrentar el cambio climático. Bejarano-Rivera et al. (2021) señalan que la agricultura debe ser orgánica y sostenible para no alterar el clima, y que representa alrededor del 25 % de la Población Económicamente Activa (PEA) y aporta el 8.5 % al PIB en países como Ecuador (Bejarano Rivera et al., 2021b).

La digitalización del sector agropecuario representa una transformación profunda en la forma en que se gestionan los procesos agrícolas, pecuarios y agroindustriales. Este proceso implica la incorporación de tecnologías digitales como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, inteligencia artificial, sistemas de información geográfica (SIG), sensores inteligentes y plataformas en la nube, con el objetivo de mejorar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad del sector (Trendov et al., 2019)

A lo largo de la historia, la agricultura ha experimentado un progreso constante, impulsado principalmente por avances tecnológicos, el empleo de tecnología se posiciona como una herramienta primordial para potenciar significativamente la producción agroalimentaria. Una alternativa que ha ganado numerosos seguidores es la implementación de la robótica y automatización en las labores agrícolas, utilizando maquinaria avanzada capaz de realizar tareas como siembra, pulverización y cosecha(Riveros Burgos, 2023)

Sin embargo, la digitalización también plantea retos importantes, especialmente en zonas rurales, donde la brecha digital limita el acceso a infraestructura tecnológica, conectividad y formación digital. La exclusión digital puede traducirse en exclusión socioeconómica, afectando a pequeños

productores y comunidades vulnerables (Rodríguez-Soto & Sáenz-Segura, 2025).

Evolución de los sistemas en el contexto agropecuario

Durante milenios, la agricultura se basó en sistemas tradicionales caracterizados por la baja mecanización, el uso de semillas nativas y la rotación natural de cultivos. Estos sistemas, aún predominantes en muchas comunidades rurales, están fuertemente ligados al conocimiento empírico y a la conservación de la biodiversidad (Ci & Ma, 2016)

La agricultura tradicional mantiene un enfoque local y diversificado, orientado al autoconsumo y con una alta dependencia de los ciclos naturales (Gliessman, 2014). Aunque su productividad es limitada, su resiliencia ecológica ha sido reconocida como una base fundamental para la agricultura sostenible moderna (Toledo & Barrera Bassols, 2008)

El punto de inflexión más significativo en la evolución de los sistemas agrícolas ocurrió con la Revolución Verde (1950-1980), impulsada por la introducción de semillas híbridas, fertilizantes químicos, pesticidas y sistemas de riego intensivo (Evenson & Gollin, 2003)

El sector agrícola ha experimentado cambios significativos en los últimos siglos, influenciados por las revoluciones industriales. Estos cambios han evolucionado desde la agricultura tradicional hasta la agricultura mecanizada y la actual agricultura de precisión. Si bien el modelo de agricultura industrial ha incrementado la producción, también se ha enfrentado a diversos desafíos en los últimos años. Se espera que la Industria 5.0 tenga un impacto significativo en el sector agrícola y que potencialmente conduzca a una quinta revolución agrícola (Haloui et al., 2024).

La evolución de los sistemas agrícolas refleja la interacción entre el ser humano, el ambiente y la tecnología a lo largo de la historia. Desde los primeros cultivos neolíticos hasta la agricultura de precisión del siglo XXI, los sistemas de producción han experimentado transformaciones profundas motivadas por el crecimiento poblacional, la globalización, los avances científicos y la necesidad de sostenibilidad ambiental. Estos cambios han

modificado no solo las técnicas de cultivo, sino también las estructuras sociales, económicas y ecológicas que sustentan la producción agrícola(Altieri et al., 2018b).

En el siglo XXI, la evolución de los sistemas agrícolas está marcada por la digitalización y la agricultura de precisión, que incorporan herramientas como sensores remotos, inteligencia artificial y sistemas de información geográfica(Zhang et al., 2014).

La definición de Revolución Industrial está asociada con los avances tecnológicos que se introducen como nuevos mecanismos de transformación de la sociedad. En el transcurso del tiempo se han desarrollado diferentes revoluciones pasando de la revolución 1.0 hasta la 5.0, supeditando el progreso de los sectores económicos(Taj & Zaman, 2022).

En América Latina, instituciones como la FAO, el IICA y la CEPAL han impulsado políticas de innovación agropecuaria que incluyen el desarrollo de SIA como parte de una agenda regional. Estas políticas buscan fortalecer la capacidad de los países para generar, gestionar y utilizar información agrícola de manera estratégica, promoviendo la inclusión digital y el desarrollo rural sostenible (Sistemas y políticas de innovación para el sector agropecuario en América Latina, 2019).

Además, estudios realizados en Ecuador evidencian que la adopción de tecnologías agropecuarias ha tenido un impacto positivo en la eficiencia de los sistemas productivos, lo que refuerza la importancia de los SIA como instrumentos de apoyo técnico y estratégico(Hugo Sánchez & Zambrano Mendoza, 2019).

Los sistemas de información (SI) desempeñan un papel fundamental en la agricultura inteligente, ya que permiten la recopilación, el análisis y la gestión de datos para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad en la agricultura, no obstante, el principal desafío es la brecha digital en la ruralidad. el impacto de los sistemas de información en la agricultura con relación a la eficiencia agrícola. Se deducen las tendencias, se destacan patrones y recomendaciones basadas en las investigaciones

analizadas con el fin de mejorar la implementación y uso de SI en la agricultura inteligente (Bowen Quiroz & Medranda Cobeña, 2024a).

Un sistema de información (SI) está compuesto por varios elementos clave: la base de datos, que almacena la información de forma estructurada; la capa de lógica de negocio, que contiene las reglas y algoritmos para el procesamiento de datos; la capa de presentación, que permite la interacción con el usuario; y los servicios de seguridad, que garantizan la protección de la información (Lapiedra et al., 2021).

En el contexto de la agricultura inteligente, los SI se han convertido en herramientas clave para la gestión de recursos naturales, el monitoreo de cultivos y la toma de decisiones basada en datos, integrando tecnologías como IoT, Big Data y computación en la nube, los (SI) desempeñan un papel esencial en el desarrollo de la agricultura inteligente, al facilitar la recopilación, procesamiento y análisis de datos que optimizan la toma de decisiones, mejoran la eficiencia operativa, promueven la sostenibilidad y aumentan la rentabilidad en el sector agrícola. A través de una revisión sistemática de literatura, los autores identifican tendencias emergentes, patrones tecnológicos y recomendaciones estratégicas que permiten fortalecer la implementación y el uso de los SI en contextos agrícolas, especialmente en regiones con desafíos de conectividad y brechas digitales (Bowen Quiroz & Medranda Cobeña, 2024b).

Además, los SI pueden adoptar diversas arquitecturas como cliente-servidor, red entre pares, modelo vista-controlador (MVC), o microservicios, dependiendo de las necesidades de la organización. Su diseño debe considerar aspectos como la escalabilidad, el rendimiento y la integración con otros sistemas (López-Mallama et al., 2023).

El desarrollo tecnológico en el sector agropecuario en el marco de la Agricultura 4.0 y 5.0 ha permitido la generación de tecnologías y aplicaciones de todo tipo. Estas innovaciones asociadas con dispositivos y plataformas inteligentes son tecnologías emergentes y disruptivas que buscan acelerar el desarrollo tecnológico, social y económico. Entre estas tecnologías, se encuentra la inteligencia artificial, el internet de las cosas, el aprendizaje automático, cadena de bloques, grandes datos, la realidad aumentada, la

computación en la nube, sistemas robóticos, entre otros (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA & Ovalle Másmela, 2023).

El concepto de agricultura 4.0 ha emergido como una evolución de la agricultura de precisión (AP) a través de la difusión del Internet de las cosas (IoT), la analítica de datos, y el machine learning, que han sido aplicados en toda la cadena de valor del sector agropecuario. Sin embargo, los desafíos que enfrenta la agricultura hoy en día van mucho más allá de los meramente tecnológicos. El logro de la meta Hambre Cero de aquí a 2030 exigirá que se utilicen aplicaciones de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), primordiales para que el sector primario se convierta en impulsor del desarrollo económico y sostenible (Tovar-Quiroz, 2023).

La Agricultura 5.0 representa una revolución tecnológica diseñada para abordar desafíos como el cambio climático, la degradación ambiental y el incremento en la demanda de alimentos, las herramientas como sensores inteligentes, UAVs y big data permiten un monitoreo y toma de decisiones informadas en tiempo real, reduciendo el consumo de recursos y los impactos ambientales. Estas tecnologías optimizan la gestión del agua, fertilizantes y pesticidas, además de fomentar prácticas regenerativas y la preservación de la biodiversidad (Lucio Quintana, 2025).

Elementos tecnológicos clave

Los avances actuales en la gestión de datos están impulsando el crecimiento exponencial de la agricultura inteligente, ya que los datos se han convertido en un elemento clave en la agricultura moderna para ayudar a los productores en la toma de decisiones críticas. La información objetiva adquirida mediante sensores ofrece valiosas ventajas con el fin de maximizar la productividad y la sostenibilidad. Este tipo de explotaciones agrícolas gestionadas con datos se basan en información que puede aumentar la eficiencia al evitar el mal uso de los recursos y la contaminación ambiental. La agricultura basada en datos, con la ayuda de soluciones robóticas que incorporan técnicas de inteligencia artificial, sienta las bases para la agricultura sostenible del futuro (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

La agricultura de precisión representa un enfoque transformador para la agricultura moderna que integra tecnologías avanzadas para optimizar la producción de cultivos y minimizar el impacto ambiental, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección, la tecnología de tasa variable (VRT), el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial son tecnología clave por sus contribuciones a la eficiencia agrícola. Las principales aplicaciones abarcan la cartografía de suelos, el monitoreo de la salud de los cultivos, el riego automatizado y la optimización de la cosecha(Panotra et al., 2025).

La aplicación de la tecnología Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la agricultura ha cobrado mayor relevancia en la última década. Las principales áreas de aplicación de SIG identificadas incluyen: estimación del rendimiento de los cultivos, evaluación de la fertilidad del suelo, monitoreo de patrones de cultivo, evaluación de sequías, detección y manejo de plagas y enfermedades de los cultivos, agricultura de precisión y manejo de fertilizantes y malezas. La tecnología SIG tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad agrícola mediante la integración de la dimensión espacial de la agricultura en las políticas agrícolas. Además, el potencial de los SIG para promover la toma de decisiones basada en evidencia está en aumento (Mathenge et al., 2022).

En este contexto, la computación neuromórfica ha recibido cada vez más atención recientemente, ya que puede procesar información e interactuar con el mundo de forma similar al cerebro humano. La agricultura es un sistema complejo que incluye numerosos procesos de siembra, cría, cosecha, procesamiento, almacenamiento, logística y consumo. Los dispositivos inteligentes, junto con robots de inteligencia artificial (IA) y sistemas del Internet de las Cosas (IoT), se utilizan actualmente y requieren mejoras para adaptarse al crecimiento de la computación. La computación neuromórfica tiene un gran potencial para impulsar el desarrollo de la agricultura inteligente(Lu & Xiao, 2024).

La inteligencia artificial (IA) está transformando el sector agroindustrial al facilitar tareas como la predicción del clima, la detección de plagas y enfermedades, y la optimización del uso de agua y fertilizantes. Estas aplicaciones no solo aumentan la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas

agrícolas, sino que también mejoran la productividad y la resiliencia frente al cambio climático(Hernández-Salazar et al., 2024).

Así mismo, la Inteligencia artificial y aprendizaje autónomo (machine learning) Ofrece algoritmos formales para la precisión de la predicción y la evaluación del rendimiento, así como la clasificación de patrones que pueden resolver problemas de conocimiento(Indu et al., 2022).

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en la agricultura marca una nueva era de precisión y eficiencia. Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) permiten la detección temprana de enfermedades en los cultivos mediante la clasificación basada en imágenes, reduciendo así las pérdidas de rendimiento. Las redes de Memoria a Largo Plazo (LSTM) respaldan la modelización predictiva para la previsión de rendimiento y la evaluación de la salud del suelo, lo que facilita la asignación de recursos . Si bien la mecanización y la automatización siguen siendo desafíos globales, las aplicaciones modernas de IA y aprendizaje automático (ML) han transformado las prácticas agrícolas. Las herramientas de IA, incluidos los algoritmos de ML, los modelos de aprendizaje profundo (DL), el Internet de las Cosas (IoT) y los Sistemas de Apoyo a la Decisión (DSS), juega un papel para abordar desafíos como la maximización del rendimiento de los cultivos, el riego de precisión, el control de plagas y la toma de decisiones informadas. También las aplicaciones de la IA influye en el mejoramiento vegetal , el riego, la logística y el envasado (Nautiyal et al., 2025).

Las soluciones del Internet de las Cosas (IoT), basadas en la adquisición de datos y el procesamiento inteligente mediante sensores específicos para cada aplicación, están conectando el mundo físico con el digital. Los nodos sensores, se encargan de la monitorización del terreno y del entorno, consideran la humedad y la temperatura del suelo, la temperatura del aire, la radiación ultravioleta (UV) y la humedad relativa del campo de cultivo. Los datos de los nodos sensores se recopilan de forma inalámbrica a través de la nube mediante servicios web, y un sistema web de visualización de información y apoyo a la toma de decisiones proporciona información en tiempo real basada en el análisis de los datos de los sensores y los pronósticos meteorológicos(Goap et al., 2018).

La integración del Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) ha transformado la agricultura moderna al permitir la agricultura de precisión, la monitorización en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos, las innovaciones recientes han resaltado el potencial de la IA en el borde para la inferencia local, los sistemas blockchain para la gobernanza descentralizada de datos y las plataformas autónomas para la automatización a nivel de campo (Miller et al., 2025).

Actualmente, la agricultura de precisión, basada en el uso de algoritmos de aprendizaje profundo y vehículos aéreos no tripulados (VANT), ofrece una solución eficaz para diversas aplicaciones agrícolas, incluyendo la identificación y el tratamiento de enfermedades de las plantas. En los últimos años, el monitoreo de enfermedades de las plantas mediante plataformas VANT se ha convertido en una de las aplicaciones agrícolas más importantes, despertando un creciente interés entre los investigadores. La detección y el tratamiento precisos de las enfermedades de las plantas en sus etapas iniciales son cruciales para mejorar la producción agrícola (Bouguettaya et al., 2023).

La agricultura de precisión AP se define como “aplicar tecnologías actuales a métodos agrícolas convencionales”, con el objetivo de que sean “altamente eficientes, sostenibles y rentables para el agricultor”, se ha experimentado una profunda transformación tecnológica impulsada por la digitalización y la gestión basada en datos buscando optimizar el uso de los recursos naturales, incrementar la productividad y reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas (Danbaki et al., 2020).

Es una estrategia emergente de gestión agrícola que está transformando la forma en que se cultiva la tierra. Actualmente, existe un compromiso creciente con la reducción del uso excesivo de insumos químicos en la agricultura. Se han aplicado numerosas tecnologías para aumentar la seguridad de los productos agrícolas y disminuir sus impactos ambientales negativos, un objetivo coherente con la agricultura sostenible. La agricultura de precisión se ha consolidado como un componente valioso del marco para alcanzar este objetivo (Liaghat, 2010).

Rol de los sistemas en la agricultura de precisión

La agricultura de precisión, impulsada por la convergencia de sensores inteligentes y tecnologías avanzadas, se ha convertido en una fuerza transformadora en las prácticas agrícolas modernas. Se centra principalmente en la integración de sensores inteligentes, junto con tecnologías como el Internet de las Cosas (IdC), el análisis de big data y la Inteligencia Artificial (IA) (Soussi et al., 2024).

El uso de la agricultura de precisión (AP) aumentar la producción agrícola y reducir las pérdidas de insumos, el uso de tecnologías de teledetección para la AP ha aumentado rápidamente en las últimas décadas. La disponibilidad sin precedentes de imágenes satelitales de alta resolución (espacial, espectral y temporal) ha impulsado el uso de la teledetección en numerosas aplicaciones de AP, como el monitoreo de cultivos, la gestión del riego, la aplicación de nutrientes, el control de enfermedades y plagas, y la predicción del rendimiento. El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) ha aumentado considerablemente durante la última década debido a su rentabilidad y flexibilidad para obtener las imágenes de alta resolución. Al mismo tiempo, la disponibilidad de una gran cantidad de datos satelitales ha impulsado a los investigadores a explorar técnicas avanzadas de almacenamiento y procesamiento de datos, como la computación en la nube y el aprendizaje automático (Sishodia et al., 2020).

Las tecnologías habilitantes de la agricultura inteligente en sinergia con los sistemas de información mejoran la eficiencia y la productividad de los cultivos, permiten tomar decisiones precisas sobre el riego, la fertilización, la siembra y la cosecha. Alineando los beneficios de la agricultura inteligente con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas se tiene:

- ODS 2: Hambre cero, ayuda a aumentar la producción de alimentos, lo que contribuye ayudar a reducir el hambre y la malnutrición.
- ODS 6: Agua limpia y saneamiento, ayuda a reducir el consumo de agua, lo que puede contribuir a la conservación de los recursos hídricos.

- ODS 12: Producción y consumo responsables, ayuda a reducir los residuos, enfermedades, plagas en los cultivos y la contaminación, lo que puede contribuir a un consumo más sostenible y saludable.(Bowen Quiroz & Medranda Cobeña, 2024c)

Los principales objetivos del concepto de agricultura de precisión son: Optimizar el uso de insumos agrícolas, aplicando solo la cantidad necesaria de agua, fertilizante o pesticida, Incrementar la productividad y la rentabilidad mediante decisiones adaptadas a cada zona del cultivo, reducir los impactos ambientales, evitando la contaminación de suelos y aguas, y aumentar la sostenibilidad agrícola, garantizando la producción a largo plazo con menor degradación ambiental (Panotra et al., 2025)

El cambio climático y el crecimiento poblacional han aumentado exponencialmente los desafíos para la agricultura, requiriendo soluciones innovadoras basadas en diversas tecnologías de hardware y software e inclusive algoritmos para análisis de datos y predecir las necesidades de nutrientes y climatológicas, rumbo a una optimización de los recursos, el uso de control difuso, sensores IoT, y aprendizaje automático pueden reducir el uso de herbicidas casi un 89%, disminuir la dosificación del fertilizante, y el error en la predicción del cultivo no supera el 12% (Castillo Ortiz et al., 2025).

La agricultura inteligente en otro estudio revela un innovador sistema de Internet de las Cosas (IoT) diseñado para revolucionar las prácticas agrícolas al proporcionar monitorización en tiempo real de los parámetros del suelo, como la temperatura, la humedad, la salinidad, la CE, el pH, el nitrógeno, el potasio y los niveles de fósforo. Las pruebas de campo realizadas con cultivos de arroz en Rahim Yar Khan (Pakistán) demostraron la notable capacidad del sistema para medir con precisión los ocho parámetros críticos. Al integrar tecnologías avanzadas de IoT, computación en la nube, algoritmos predictivos y un sensor de suelo inteligente, este sistema revoluciona la agricultura al permitir el monitoreo en tiempo real de factores críticos que influyen en el metabolismo de los cultivos de arroz. Empodera a los agricultores con información basada en datos para mejorar la productividad, optimizar el uso de recursos y mejorar la sostenibilidad. Esta solución escalable aborda los desafíos de la agricultura moderna al reducir el impacto ambiental y fortalecer

la resiliencia de los cultivos. Centrada en liberar el potencial de la toma de decisiones basada en datos (Shahab et al., 2025)

La inteligencia artificial (IA) es uno de esos exponentes del cambio que ofrece posibles soluciones en varios campos de producción agrícola. Se hará hincapié en la automatización robótica, las aplicaciones de aprendizaje automático y el concepto de agricultura de precisión. Los mayores rendimientos agrícolas y la resiliencia son posibles gracias a los avances genéticos y la IA en la optimización de recursos. Las futuras aplicaciones potenciales de la IA en la agricultura siguen cambiando el sector en nombre de la mejora de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad mundiales (Aijaz et al., 2025).

En el riego, la IAoT permite a los agricultores optimizar la distribución del agua mediante la detección de la humedad del suelo en tiempo real, el análisis predictivo y la programación dinámica del riego. La gestión precisa de nutrientes utiliza vehículos aéreos no tripulados, sensores de suelo y análisis de datos impulsados por IA para monitorizar la disponibilidad de nutrientes e informar sobre estrategias de fertilización optimizadas, mejorando así la eficiencia de los nutrientes y reduciendo la degradación ambiental. De igual manera, la IAoT en la gestión de enfermedades mejora la vigilancia y las capacidades predictivas al integrar los datos de los sensores con los modelos de IA para detectar tempranamente el estrés abiótico, lo que permite intervenciones oportunas y específicas (Bayar et al., 2025).

Las tecnologías de IoT adaptadas al contexto agrícola son esenciales para transformar la labor del agricultor, generando un impacto positivo y propiciando cambios sociales, culturales y económicos que, en conjunto, constituyen la base para el progreso de la sociedad. En el sistema de riego por goteo presentado, se ha observado un ahorro de agua del 30%, al suministrar agua de manera precisa y localizada a cada cultivo de forma individual. Este tipo de riego no solo contribuye a la reducción del uso de agua, sino que también ayuda a minimizar la proliferación de especies no deseadas en el área de cultivo. Cabe destacar que estos datos fueron obtenidos a través de un sistema de riego artesanal, por lo que el ahorro de agua con un sistema comercial industrial podría mejorar significativamente. Según los resultados, concluimos que este método es altamente beneficioso,

ya que aplica el agua directamente cerca de las raíces de los cultivos, optimizando la absorción y la eficiencia hídrica (Murga Roche et al., 2025).

Las aplicaciones prácticas en la producción real incluyen el riego inteligente automatizado, la monitorización del estado de los cultivos y el control de plagas mediante IA, la maquinaria agrícola autónoma, la optimización de la cadena de suministro mediante blockchain e IoT, y la automatización de invernaderos para entornos controlados. Estas tecnologías ofrecen importantes ventajas económicas al aumentar la productividad, reducir los costes de los insumos y mejorar la eficiencia. Los agricultores pueden maximizar el rendimiento y minimizar los gastos operativos, lo que se traduce en una mayor rentabilidad y una mayor resiliencia ante las fluctuaciones del mercado. Las técnicas de agricultura de precisión reducen el desperdicio, conservan los recursos naturales y disminuyen la huella de carbono, haciendo que la agricultura sea más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Mansoor et al., 2025)

La agricultura climáticamente inteligente (CSA) ofrece una vía transformadora para mitigar los impactos adversos del cambio climático, a la vez que mejora la resiliencia de la producción alimentaria. La CSA integra tres pilares interrelacionados: mejora de la productividad, adaptación y mitigación mediante la adopción de variedades de cultivos tolerantes al estrés, gestión precisa de nutrientes y agua, agricultura de conservación y sistemas agroforestales. Estudios de caso de África y Asia demuestran que la implementación de prácticas de CSA puede mejorar los rendimientos entre un 15 % y un 30 %, mejorar la captura de carbono en el suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta en un 25 %. (Begna & Wakweya, 2025)

Por otro lado, la Industria 5.0 marca una era transformadora en la industria alimentaria al combinar tecnologías computacionales avanzadas con el ingenio humano para lograr sistemas alimentarios sostenibles, eficientes y altamente personalizados. A diferencia de la Industria 4.0, que se centraba principalmente en la automatización y la producción en masa, la Industria 5.0 sitúa la sostenibilidad y la bioeconomía en su núcleo, impulsando avances en seguridad alimentaria, gestión de recursos y personalización centrada en el consumidor. Al integrar el IoT, la robótica, la IA y el big data, la industria está

preparada para mejorar la monitorización en tiempo real, el análisis predictivo y la optimización de la cadena de suministro, minimizando así el desperdicio y garantizando la calidad y seguridad alimentaria. (Singh et al., 2025).

Capítulo 2

Aplicaciones de Sistemas de Información para la Toma de Decisiones Agrícolas

La transformación digital en la agricultura contemporánea ha redefinido los mecanismos mediante los cuales se toman decisiones en los sistemas de producción vegetal y animal (Nasirahmadi & Hensel, 2022). En este contexto, los Sistemas de Información (SI) se consolidan como pilares técnicos y metodológicos para integrar, procesar y analizar datos provenientes de múltiples fuentes, generando conocimiento útil y accionable para productores, técnicos y tomadores de decisión. El presente capítulo aborda de manera estructurada las principales aplicaciones de los SI en el ámbito agrícola, articulando aspectos técnicos con enfoques territoriales y productivos pertinentes a América Latina.

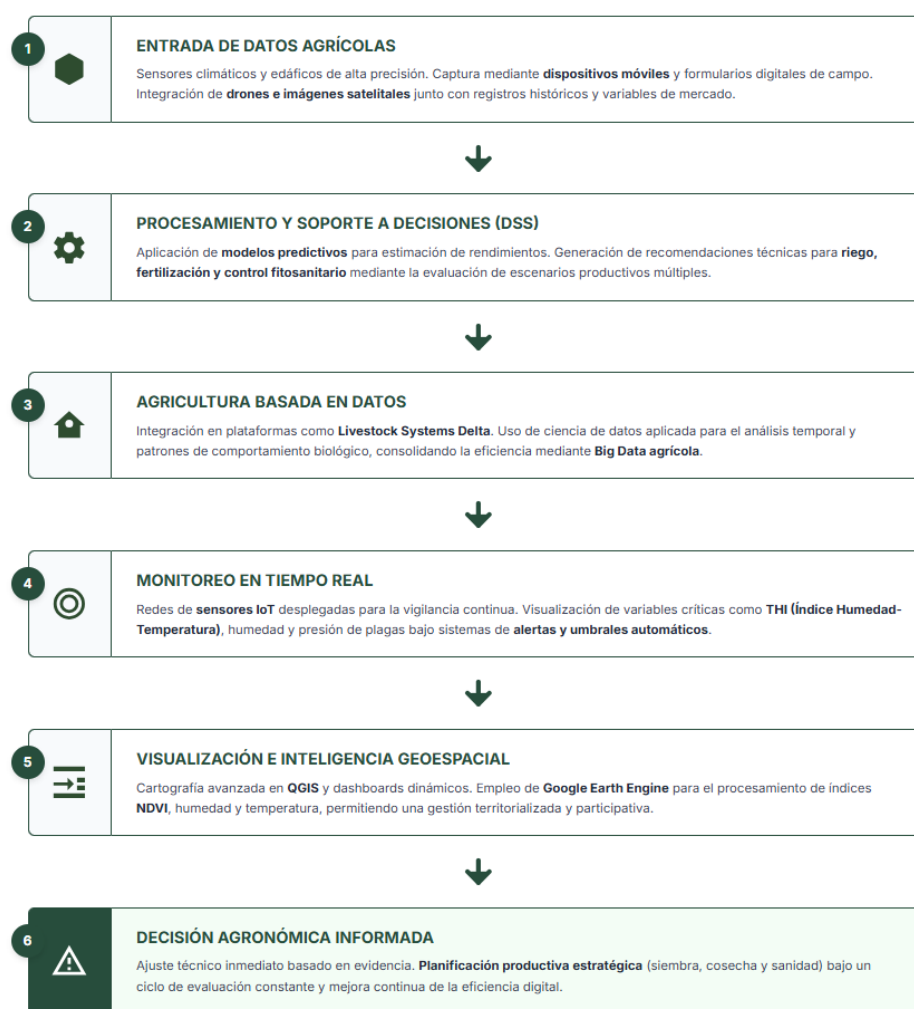
El análisis se organiza en cuatro secciones centrales. En primer lugar, se estudian los sistemas de soporte a decisiones (DSS) agrícolas como herramientas integradoras que permiten formular recomendaciones técnicas a partir de modelos predictivos y bases de datos operacionales. Posteriormente, se explora la agricultura basada en datos, un enfoque que prioriza la recolección sistemática, el almacenamiento eficiente y el procesamiento analítico de grandes volúmenes de información agroproductiva. A continuación, se examinan los sistemas de monitoreo en tiempo real, destacando el uso de sensores, redes IoT y mecanismos de alerta para la vigilancia continua de variables críticas. Finalmente, se profundiza en el papel de la visualización e inteligencia geoespacial, con énfasis en herramientas como QGIS, Google Earth Engine y plataformas de desarrollo personalizado.

Como complemento visual y guía conceptual, se ha generado una infografía de flujo integral mediante la plataforma Gemini, titulada “Flujo de aplicaciones de Sistemas de Información para decisiones agrícolas inteligentes”. Esta infografía (ver Figura 1) sintetiza los principales procesos descritos en el capítulo: desde la captura de datos y su procesamiento analítico, hasta la visualización y toma de decisiones agronómicas informadas. Su inclusión responde al interés de facilitar la comprensión entre tecnologías digitales, conocimiento técnico y gestión agropecuaria territorializada.

La estructura del capítulo permite comprender cómo los sistemas de información no solo optimizan procesos productivos, sino que también fortalecen la sostenibilidad, la resiliencia climática y la competitividad de los

sistemas agroalimentarios. Cada sección incorpora referencias científicas con identificadores DOI y ejemplos contextualizados en la realidad agrícola de América Latina, en consonancia con los objetivos metodológicos del libro.

Figura 1. Sistemas de Información para decisiones agrícolas inteligentes



Sistemas de soporte a decisiones (DSS) agrícolas

Los sistemas de soporte a decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) han emergido como una herramienta crucial para la modernización de la

agricultura en contextos donde la variabilidad climática, la presión sobre los recursos naturales y la necesidad de incrementar la productividad convergen. Un DSS agrícola integra información diversa proveniente de sensores, bases de datos climáticas e indicadores agronómicos, con modelos analíticos que permiten al productor tomar decisiones técnicamente fundamentadas. Estos sistemas no reemplazan el criterio humano, sino que lo fortalecen mediante información procesada y simulaciones predictivas.

Los DSS, en el ámbito agrario constituyen estructuras computacionales diseñadas para asistir a los productores y administradores en la resolución de problemas complejos y semiestructurados. A diferencia de las herramientas de gestión administrativa convencional, un DSS integra bases de datos, modelos biofísicos y herramientas analíticas que permiten evaluar escenarios antes de ejecutar acciones en el campo (Aguirre-Munizaga, 2025a). Su propósito fundamental radica en transformar volúmenes masivos de datos crudos en conocimiento accionable, optimizando el uso de recursos y minimizando la incertidumbre inherente a los sistemas biológicos y climáticos.

La estructura de un DSS incluye una base de datos, una base de modelos y una interfaz de usuario. Esta arquitectura permite combinar datos históricos con escenarios proyectados, evaluando impactos potenciales de decisiones como el momento de siembra, la rotación de cultivos o el uso de fertilizantes. Su aplicación se extiende a contextos de agricultura extensiva e intensiva, adaptándose a las condiciones específicas del entorno productivo (Ver figura 2).

Figura 2. Representación de un DSS Agrícola



Autor: Aguirre-Munizaga Maritza

En el contexto de la agricultura moderna, la captura de datos ha evolucionado desde registros manuales hacia la integración de redes de sensores inalámbricos y telemetría satelital. Estos flujos de información alimentan modelos matemáticos que simulan el crecimiento de cultivos o el comportamiento de plagas, permitiendo que el decisor interactúe con el sistema para visualizar las consecuencias de diversas estrategias de fertilización, riego o cosecha.

En América Latina, el uso de DSS ha sido promovido por instituciones como el IICA y centros de investigación nacionales que han desarrollado plataformas locales para la toma de decisiones agrícolas. En Ecuador, algunos proyectos vinculados a universidades y organismos de cooperación internacional han incorporado DSS en sistemas agroclimáticos y de alerta temprana.

En el marco de la agricultura de precisión, los DSS basados en sensores de suelo y plantas han demostrado una eficacia notable en la gestión hídrica. Mediante algoritmos que procesan el potencial hídrico y la evapotranspiración real, el sistema determina el momento exacto y la dosis precisa de riego necesaria para cada sector de la parcela. Esta capacidad de respuesta táctica reduce el desperdicio de agua y previene el estrés hídrico, factores críticos en regiones con alta vulnerabilidad climática. La integración de estos modelos predictivos permite, además, anticipar riesgos de enfermedades fúngicas al cruzar datos de humedad relativa y temperatura superficial.

La aplicación de estos sistemas no se limita a la producción vegetal, pues la ganadería de precisión también se beneficia de arquitecturas DSS orientadas al bienestar animal y la eficiencia reproductiva. Mediante el uso de dispositivos portátiles y monitores de actividad, los sistemas analizan patrones de comportamiento para detectar celos o signos tempranos de patologías. El procesamiento de estas variables en tiempo real permite al ganadero intervenir de manera proactiva, optimizando los ciclos de producción y reduciendo el uso de fármacos profilácticos, lo cual impacta directamente en la rentabilidad y sostenibilidad de la explotación.

Un aspecto clave de los DSS es su capacidad de incorporar conocimiento experto codificado mediante reglas, ecuaciones o algoritmos que modelan el comportamiento de los cultivos o de las plagas. Esto permite al sistema no solo almacenar datos, sino también generar recomendaciones específicas. Por ejemplo, un DSS puede sugerir un calendario de riego basado en el tipo de suelo, el estado fenológico del cultivo y las condiciones meteorológicas proyectadas.

El desarrollo de DSS se ha beneficiado de los avances en inteligencia artificial, particularmente en técnicas de inferencia bayesiana, aprendizaje supervisado y redes neuronales. Estas herramientas permiten construir sistemas más

robustos, capaces de aprender de los errores pasados y refinar sus recomendaciones con el tiempo (Da Silva Vieira et al., 2022).

Sin embargo, la adopción de DSS enfrenta limitaciones estructurales, principalmente relacionadas con la conectividad, la alfabetización digital y la disponibilidad de datos localizados. La mayoría de los modelos han sido diseñados en contextos del hemisferio norte, lo que obliga a adaptaciones significativas para su aplicación en la agricultura tropical y subtropical (Assandri et al., 2021).

A pesar de estas barreras, se han documentado mejoras en eficiencia y rendimiento cuando los DSS se implementan correctamente, especialmente en cultivos como arroz, café, caña de azúcar y banano. El éxito está condicionado por el acompañamiento técnico, la capacitación continua y la adaptación de los sistemas al lenguaje y cultura local.

En conclusión, los DSS representan una herramienta estratégica para la agricultura del siglo XXI, en tanto permiten traducir datos complejos en decisiones agronómicas accionables. Su impacto no depende solo de la tecnología, sino del ecosistema institucional que garantice su acceso, comprensión y uso efectivo por parte de los agricultores.

Utilizando el análisis generado se destaca 3 tipos de DSS:

DSS descriptivos en sistemas agrícolas

Los sistemas de soporte a decisiones descriptivos constituyen el nivel más básico de los DSS agrícolas y se orientan a la recopilación, organización y visualización de información proveniente de diferentes fuentes de datos. Su función principal es presentar el estado actual del sistema productivo mediante indicadores claros y comprensibles, sin realizar inferencias predictivas ni sugerencias automáticas. En el contexto agrícola, estos sistemas suelen emplearse para el seguimiento de balances hídricos, monitoreo de variables climáticas, registros de crecimiento fenológico y control de insumos utilizados durante el ciclo productivo.

Desde el punto de vista técnico, los DSS descriptivos integran bases de datos agroclimáticas, sensores de campo y registros históricos para generar reportes, gráficos y mapas temáticos accesibles a productores y técnicos. La visualización de balances hídricos, por ejemplo, permite identificar déficits o excesos de agua en el suelo, facilitando decisiones informadas basadas en evidencia observable. Aunque estos sistemas no generan recomendaciones directas, su valor radica en mejorar la comprensión del sistema agrícola y en reducir la incertidumbre asociada a la gestión cotidiana de los recursos naturales.

DSS predictivos basados en modelos analíticos

Los DSS predictivos representan un nivel superior de complejidad al incorporar modelos matemáticos, estadísticos y de aprendizaje automático con el objetivo de anticipar el comportamiento futuro de los sistemas agrícolas. Estos sistemas utilizan datos históricos y en tiempo real para estimar escenarios probables relacionados con rendimiento de cultivos, aparición de plagas, estrés hídrico o impacto de variables climáticas extremas. Modelos de regresión, redes neuronales, árboles de decisión y algoritmos de aprendizaje supervisado son comúnmente empleados en este tipo de DSS.

En la agricultura de precisión, los DSS predictivos han demostrado ser especialmente útiles para la detección temprana de brotes de plagas y enfermedades, permitiendo intervenciones oportunas que reducen pérdidas económicas y el uso innecesario de agroquímicos. En regiones como América Latina, donde la variabilidad climática es elevada, estos sistemas aportan una ventaja estratégica al facilitar la planificación anticipada de labores agrícolas. No obstante, su efectividad depende en gran medida de la calidad, representatividad y actualización de los datos utilizados para entrenar los modelos predictivos.

DSS prescriptivos y la optimización de decisiones agronómicas

Los DSS prescriptivos constituyen el nivel más avanzado de los sistemas de soporte a decisiones, ya que no solo predicen escenarios futuros, sino que también proponen acciones óptimas para alcanzar objetivos específicos. Estos sistemas integran modelos predictivos con algoritmos de optimización y reglas de decisión que consideran múltiples restricciones técnicas, económicas y ambientales. En el ámbito agrícola, los DSS prescriptivos pueden recomendar dosis óptimas de fertilización, calendarios de riego, fechas de siembra o estrategias de cosecha ajustadas a condiciones locales.

La implementación de DSS prescriptivos permite pasar de una gestión reactiva a una gestión proactiva y estratégica de los sistemas productivos. Al evaluar simultáneamente variables como disponibilidad de agua, precios de insumos, condiciones climáticas y estado del cultivo, estos sistemas contribuyen a maximizar la eficiencia en el uso de recursos y a mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola. Sin embargo, su adopción requiere mayor infraestructura tecnológica, capacidades analíticas avanzadas y un acompañamiento técnico adecuado para garantizar que las recomendaciones generadas sean comprendidas y aplicadas correctamente por los usuarios finales.

En base a la clasificación generada se destaca sus principales funciones en la tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de DSS en el sector agropecuario

Tipo de DSS	Principales funciones	Impactos cuantificables	Fuente con DOI / Referencia
DSS descriptivos	Visualizan y reportan información agrícola, como balances hídricos y estado de variables agronómicas	Mejora en eficiencia de riego hasta 40-60% mediante monitoreo de humedad del suelo y ajustes precisos de agua, reduciendo desperdicio sin afectar rendimiento del cultivo.	de Lakhiar et al. (2024). <i>A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology. Agriculture</i> , 14(7), 1141. https://doi.org/10.3390/agriculture14071141 (MDPI)
DSS predictivos	Predicen eventos futuros como brotes de plagas y condiciones climáticas adversas mediante modelos estadísticos o de aprendizaje automático	Incremento de rendimiento entre 20-30% y reducción de uso de insumos (agua y fertilizantes) entre 40-60% al aplicar recomendaciones predictivas detalladas para riego y manejo espacial del cultivo.	Chen et al. (2025). <i>Modern agricultural technologies for sustainable food security. Frontiers in Plant Science</i> . https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657 (Frontiers)
DSS prescriptivos	Sugieren acciones óptimas de y	Reducción de insumos químicos y fertilizantes	Rahimi Azghadi et al. (2024). <i>Precise Robotic Weed Spot-Spraying for Reduced Herbicide</i>

Tipo de DSS	Principales funciones	Impactos cuantificables	Fuente con DOI / Referencia
	manejo (fertilización, riego, cosecha) mediante algoritmos de optimización	hasta ~35% de aproximación focalizada de tratamientos y recomendaciones, manteniendo o mejorando la productividad total.	con <i>Usage</i> . arXiv. (Resultados de ensayo cuantitativo). (arXiv)

Agricultura basada en datos (Data-driven Agriculture)

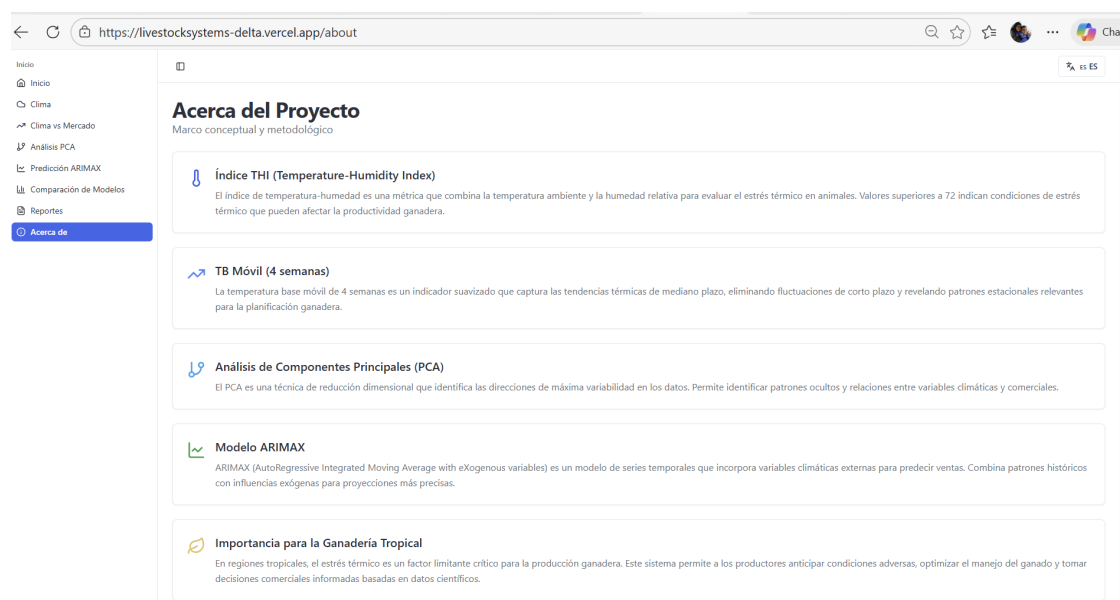
La agricultura basada en datos constituye un enfoque que transforma procesos productivos mediante la integración sistemática de información cuantitativa para sustentar decisiones agronómicas y operativas. Este paradigma se apoya en la recolección, curación y análisis de grandes volúmenes de datos generados por dispositivos de campo, sensores ambientales, imágenes remotas y registros administrativos, con el propósito de optimizar la productividad, la sostenibilidad y la eficiencia de los sistemas agrícolas. La incorporación de modelos analíticos avanzados y técnicas estadísticas en este contexto permite extraer patrones de comportamiento de cultivos, suelo y clima que no serían detectables mediante métodos tradicionales de observación (Niloofar et al., 2021).

Un elemento definitorio de la agricultura basada en datos es su capacidad para integrar múltiples fuentes heterogéneas dentro de un marco coherente de análisis. Esto implica no solo la recolección de datos sino también su procesamiento, su normalización y su interoperabilidad para garantizar que la información sea comparable y utilizable. La guía de FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) constituye un principio rector para el manejo de datos agropecuarios en proyectos modernos, facilitando el intercambio de información y la replicabilidad de resultados entre

instituciones de investigación, productores y entidades de políticas públicas (Van Eeckhout et al., 2025).

En la ganadería intensiva y extensiva, la generación de datos se ha expandido con rapidez debido a la proliferación de sensores de comportamiento animal, cámaras de visión computarizada, medidores de ambiente y sistemas de posicionamiento global. Por ejemplo, plataformas globales como *Livestock Data for Decisions* promueven redes de colaboración internacional que impulsan la transformación de sistemas ganaderos mediante decisiones basadas en evidencia, enlazando investigadores, hacedores de políticas y técnicos en torno a indicadores claves de desempeño productivo y ambiental (Ver Figura 3).

Figura 3. Plataforma de Análisis Bio-Climático y Mercado Ganadero



Autor: Aguirre-Munizaga Maritza

La plataforma *Livestock Systems* constituye un caso interesante de aplicación de agricultura basada en datos orientada a la sostenibilidad ganadera. Aunque la literatura científica publicada específica sobre esta plataforma es limitada, su diseño responde a las necesidades contemporáneas de análisis integrados de mercado, clima y dinámica del sistema ganadero. Este tipo de

soluciones permite combinar información climática, productiva y de mercados en un repositorio unificado para evaluar tendencias, riesgos y oportunidades de negocio. La inclusión de datos de calidad y su visualización adecuada favorece la toma de decisiones basada en métricas verificables y no solo en intuición. El uso de datos estructurados en sistemas como *Livestock Systems* ejemplifica la convergencia entre inteligencia de negocio y gestión operativa en la agricultura moderna.

La agricultura basada en datos no está exenta de desafíos. La heterogeneidad de formatos, la interoperabilidad entre fuentes de información y la garantía de calidad de los registros son barreras técnicas que demandan soluciones robustas de ingeniería de datos. La ausencia de protocolos estandarizados puede limitar la integración eficiente de diferentes sistemas y obstaculizar el valor derivado del análisis conjunto de datos climáticos, productivos y económicos.

Además, la seguridad y la gobernanza de los datos adquieren relevancia estratégica para proteger la información sensible de los productores y garantizar la confianza de los usuarios en la gestión de sistemas basados en datos. Políticas claras de propiedad, uso y acceso de datos son requisitos indispensables para promover prácticas sostenibles sin comprometer la privacidad ni la competitividad.

En contexto latinoamericano, iniciativas de datos abiertos y plataformas colaborativas han empezado a consolidarse como herramientas para favorecer decisiones agrícolas informadas. La disponibilidad de datos climatológicos de alta resolución, inventarios de uso de la tierra y registros de producción gestionados por entidades nacionales posibilita la construcción de modelos predictivos adaptados a las condiciones regionales y culturales de los productores. Estos desarrollos son particularmente relevantes en países como Ecuador donde la diversidad de zonas agroecológicas genera necesidades diferenciadas de manejo de datos para cultivos tropicales, frutales y sistemas mixtos.

La agricultura basada en datos redefine el rol del productor y del asesor técnico, elevándolos a gestores de información capaces de interpretar modelos predictivos y aplicar recomendaciones técnicas respaldadas por

evidencia. Este enfoque transforma la agricultura tradicional al habilitar análisis prospectivos que anticipan escenarios de riesgo y oportunidad, incrementan la resiliencia a perturbaciones externas y optimizan la asignación de recursos limitados.

Finalmente, la consolidación de la agricultura basada en datos como una disciplina que integra sistemas de información, ciencia de datos y prácticas agronómicas contribuye a una mayor sostenibilidad de los sistemas productivos. La capacidad de vincular datos históricos con proyecciones futuras proporciona a los tomadores de decisiones herramientas cuantitativas confiables para planificar estrategias de producción más eficientes y menos dependientes de supuestos subjetivos.

Sistemas de monitoreo en tiempo real

Los sistemas de monitoreo en tiempo real constituyen una faceta crítica de los sistemas de información aplicados al sector agrícola, dado que permiten la observación continua de variables clave que influyen directamente en la productividad y la sostenibilidad. Estos sistemas recolectan datos de forma permanente desde sensores ambientales, estaciones meteorológicas automáticas, unidades de telemetría y dispositivos de campo que miden variables como temperatura, humedad del suelo, radiación solar, niveles de agua, calidad del aire y comportamiento animal. La disponibilidad de datos en tiempo real sostiene decisiones operativas oportunas, por ejemplo, programar riegos, ajustar dosis de fertilización o activar alertas de riesgo sanitario en producción animal (Aguirre-Munizaga, 2025b).

La evolución de los sistemas de monitoreo en tiempo real en la agricultura refleja una transición progresiva desde soluciones aisladas hacia plataformas integradas con capacidades analíticas avanzadas. A lo largo de tres décadas, se ha pasado de estaciones climáticas rudimentarias y sensores cableados a arquitecturas basadas en IoT que operan en redes inalámbricas, alimentan dashboards interactivos y se conectan a sistemas de soporte a decisiones (DSS). Esta trayectoria evidencia cómo la incorporación de variables como temperatura, humedad, radiación solar y contenido de agua en el suelo, recolectadas en tiempo real, ha permitido optimizar el riego, prevenir

enfermedades y reducir el uso de insumos, todo en función de la toma de decisiones agronómicas más precisas y contextualizadas.

En el contexto actual, plataformas como Livestock Systems representan un punto de madurez tecnológica, al combinar datos en tiempo real con visualizaciones dinámicas y modelos predictivos aplicables tanto a cultivos como a sistemas ganaderos. Esta integración permite una lectura sincrónica de variables biofísicas y climáticas, facilitando alertas tempranas y recomendaciones geo-contextualizadas. Así, los sistemas de monitoreo ya no solo cumplen una función informativa, sino que se convierten en un componente clave dentro del ecosistema digital agrícola, promoviendo una agricultura más resiliente, eficiente y sostenible, especialmente en regiones vulnerables como América Latina (Ver figura 4).

Figura 4. Evolución de los sistemas de monitoreo



El monitoreo en tiempo real se fundamenta en arquitecturas tecnológicas que integran sensores, redes de comunicación de datos y plataformas de almacenamiento y procesamiento que operan con latencia mínima. La comunicación puede realizarse mediante redes inalámbricas de área amplia de baja potencia (LPWAN), tecnologías celulares o satelitales cuando la cobertura terrestre es limitada. Estos componentes permiten que los datos capturados en campo se transmitan casi de inmediato a servidores centrales o sistemas en la nube, facilitando su acceso desde interfaces web o aplicaciones móviles para su interpretación por parte de técnicos y productores.

La implementación de estos sistemas en contextos agrícolas ofrece una ventaja competitiva al permitir anticiparse a eventos adversos. Por ejemplo, los datos meteorológicos en tiempo real pueden alimentar modelos predictivos que estiman la probabilidad de heladas, sequías o tormentas severas, posibilitando la adopción de contramedidas antes de que ocurra el impacto. Asimismo, sensores de humedad del suelo permiten optimizar la dosificación de agua en sistemas de riego, reduciendo el uso innecesario de recursos hídricos y mejorando la eficiencia energética de las bombas y equipos asociados.

La integración de Internet de las cosas (IoT) en estos sistemas ha ampliado significativamente las capacidades de monitoreo, dado que los dispositivos IoT pueden operar de manera autónoma y con consumo energético muy bajo. Esto es especialmente útil en zonas rurales con acceso limitado a energía eléctrica convencional, donde la utilización de paneles solares o baterías de larga duración puede sostener operaciones por largos periodos. Estos dispositivos generan flujos de datos que, una vez procesados mediante algoritmos de análisis de series temporales, entregan patrones de comportamiento que facilitan decisiones operativas en cortos plazos. entregan patrones de comportamiento que facilitan decisiones operativas en cortos plazos.

Un componente crucial en los sistemas de monitoreo en tiempo real es la integración de alertas automatizadas, que se activan cuando los valores de las variables superan umbrales definidos en función de criterios técnicos. Estas alertas pueden enviarse mediante mensajes de texto, notificaciones móviles o

correos electrónicos, contribuyendo a que los responsables de la gestión agrícola respondan rápidamente a condiciones que puedan comprometer la producción. La utilidad de estas alertas ha sido documentada tanto en cultivos extensivos como en invernaderos, donde las condiciones microclimáticas requieren ajustes finos y constantes.

La experiencia en regiones tropicales y subtropicales, incluida América Latina, evidencia que la adopción de monitoreo en tiempo real puede enfrentar desafíos relacionados con la conectividad y la disponibilidad de infraestructura tecnológica. En zonas remotas, la falta de cobertura de redes de datos puede limitar la transmisión continua de información, por lo que se implementan soluciones híbridas que almacenan datos localmente cuando la conectividad es intermitente y sincronizan la información cuando esta está disponible. Esta estrategia permite mantener la integridad de los registros incluso en condiciones de conectividad deficiente.

El procesamiento de grandes volúmenes de datos generados por sistemas de monitoreo en tiempo real también requiere plataformas robustas de análisis que apliquen técnicas de ciencia de datos, como el filtrado de ruido, la detección de anomalías y la generación de resúmenes estadísticos. Estos enfoques posibilitan extraer información útil de manera eficiente, permitiendo interpretar tendencias y variaciones de forma clara para los tomadores de decisiones. La combinación de procesamiento en la periferia (edge computing) con análisis centralizado ha demostrado mejorar los tiempos de respuesta y reducir la carga de transmisión de datos.

En el campo de la producción animal, los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten la evaluación continua de parámetros fisiológicos y de comportamiento, lo que favorece la detección temprana de enfermedades o estrés, incrementando la calidad de producción y reduciendo pérdidas económicas. Estas aplicaciones son especialmente relevantes en sistemas de producción intensiva, donde las condiciones ambientales y de manejo pueden afectar de forma directa la salud de los animales.

La sinergia entre sistemas de monitoreo en tiempo real y otras soluciones de sistemas de información agrícola, como plataformas de gestión integrada de datos o sistemas de soporte a decisiones, potencia aún más la capacidad de

responder a eventos complejos. La disponibilidad simultánea de datos históricos y datos en tiempo real permite modelar escenarios integrados y proponer estrategias que consideran tanto patrones pasados como condiciones presentes, mejorando la resiliencia de los sistemas productivos.

Tabla 2. Bases de análisis

Protocolo IoT	Características técnicas	Aplicaciones agrícolas	Impactos cuantificables	Referencia
LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)	Red de área extensa de monitoreo	Implementación en campo de humedad de suelo y riego automatizado	Permite comunicación de sensores a larga distancia con bajo consumo de energía, lo que reduce la necesidad de mantenimiento de baterías y cubre superficies agrícolas.	Miles et al. (2020). Estudio de rendimiento de LoRaWAN para IoT en agricultura. <i>Computer de Networks</i> . de https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107374 (ScienceDirect)
	Cobertura típica hasta varios kilómetros.	Recopilación remota de datos con bajo consumo energético.		
NB-IoT (Narrowband IoT)	Tecnología celular LPWAN optimizada para cobertura profunda, alta densidad de conexiones y larga duración de batería (más de 10 años). Funciona en	Monitoreo continuo de salud de árboles, condiciones de ambiente y variables meteorológicas donde otras tecnologías fallan. extensiones, beneficiando	Proporciona alta penetración de señal y gran densidad de nodos en áreas rurales, lo que puede extender la conectividad a zonas donde otras tecnologías fallan.	Información técnica estándar sobre NB-IoT y sus aplicaciones IoT.

Protocolo IoT	Características técnicas	Aplicaciones agrícolas	Impactos cuantificables	Referencia
	espectro licenciado con soporte de operadores móviles.	se de la infraestructur a celular existente.		
Sigfox (LPWAN OG)	Red global de bajo consumo y baja tasa de datos, diseñada para dispositivos que envían pequeños paquetes de información de forma intermitente, con cobertura global a través de operadores Sigfox.	Utilizado en sistemas IoT de monitoreo ambiental en tiempo real, control de variables en huertos inteligentes y aplicaciones agrícolas de bajo ancho de banda.	En entornos agrícolas con sensores extensamente distribuidos, ofrece largo alcance y bajo consumo de energía , ideal para monitoreo con datos pequeños y periódicos.	Sistema IoT agrícola basado en Sigfox con validación experimental en producción hidropónica. Montaña-Blacio (2023). <i>Ingenius</i> (revistas.ups.edu.ec)
MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	Protocolo de mensajería ligero <i>publish-subscribe</i> ideal para conexiones con ancho de banda limitado, alto pH), rendimiento y baja latencia. Muy eficiente para transmitir datos de sensores IoT	Implementad o en monitoreo remoto de parámetros ambientales (temperatura, humedad, alto pH), y visualización en dashboards y control de actuadores IoT a	Mejora la eficiencia de transmisión de datos IoT en tiempo real, reduciendo el uso de ancho de banda y acelerando la coordinación de alertas y respuestas , lo que favorece una toma de decisiones más rápida y precisa.	Sistema agrícola inteligente usando IoT y MQTT para monitoreo de variables ambientales. <i>Springer – IoT Based Smart Farming System</i> (Springer Nature Link)

Protocolo IoT	Características técnicas	Aplicaciones agrícolas	Impactos cuantificables	Referencia
	plataformas en control la nube.	climático en invernaderos y campos.		

Visualización e inteligencia geoespacial

La visualización y el análisis geoespacial constituyen componentes fundamentales en los sistemas de información aplicados a la agricultura, especialmente cuando se requiere tomar decisiones basadas en la variabilidad espacial de los sistemas productivos. A través de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los mapas temáticos y las plataformas de visualización interactiva, es posible representar y analizar datos sobre clima, suelos, cultivos, uso de la tierra y variables socioeconómicas en escalas que van desde la parcela hasta la región.

La visualización geoespacial trasciende su función tradicional como recurso gráfico y se consolida como una herramienta cognitiva fundamental para el análisis y la toma de decisiones en contextos complejos. Los mapas temáticos y los paneles geoespaciales permiten sintetizar grandes volúmenes de datos espaciales y temporales en representaciones comprensibles, facilitando la reducción de la carga cognitiva del usuario y favoreciendo procesos de interpretación más eficientes. En este sentido, la visualización no solo comunica información, sino que estructura el razonamiento analítico.

En ámbitos como la agricultura, el ambiente y la planificación territorial, los datos suelen ser heterogéneos, masivos y altamente interdependientes. La representación cartográfica posibilita integrar variables climáticas, edáficas, productivas y socioeconómicas en un mismo marco espacial, lo que permite identificar patrones de distribución, relaciones espaciales y comportamientos

atípicos que resultan difíciles de detectar mediante tablas o listados numéricos. La disposición espacial de la información actúa como un organizador cognitivo que orienta la atención hacia zonas críticas, tendencias recurrentes o áreas de riesgo.

A su vez, los paneles geospaciales interactivos fortalecen el análisis exploratorio al permitir la manipulación directa de capas, escalas y periodos temporales. Esta interacción favorece la formulación de hipótesis, la comparación de escenarios y la detección temprana de anomalías espaciales, apoyando decisiones más informadas y oportunas. Desde esta perspectiva, la visualización geoespacial no debe entenderse como un complemento estético del sistema de información, sino como un componente estratégico que transforma datos complejos en conocimiento accionable.

El uso de SIG ha sido ampliamente adoptado en América Latina para estudios de zonificación agroecológica, evaluación de aptitud de tierras, planificación hídrica y monitoreo de cultivos. Estas aplicaciones integran datos espaciales provenientes de imágenes satelitales, drones, sensores de campo y estaciones meteorológicas con datos tabulares, permitiendo generar modelos precisos de distribución de variables críticas para la producción agrícola (Tan et al., 2023).

Una de las herramientas más accesibles y versátiles para investigadores, técnicos y gestores es QGIS, software libre que permite manipular capas de información espacial, realizar análisis de superposición, interpolaciones de variables y generar visualizaciones cartográficas de alta calidad. QGIS ha sido implementado en varios proyectos de agricultura de precisión en Ecuador, particularmente en el diseño de estrategias de riego, análisis de estrés hídrico y evaluación del impacto de eventos climáticos extremos sobre zonas productivas.

Por otro lado, Google Earth Engine (GEE) ha revolucionado el procesamiento de imágenes satelitales para uso agrícola. Esta plataforma permite analizar series temporales de datos de sensores remotos (como Landsat, Sentinel y MODIS) para detectar cambios en la cobertura de cultivos, estimar índices de vegetación (como NDVI) y evaluar la dinámica de la humedad del suelo y la temperatura superficial. El uso de GEE en estudios agrícolas permite procesar

grandes volúmenes de datos con alta frecuencia temporal y espacial, lo cual es crucial para el monitoreo continuo de sistemas agrícolas extensivos.

La evolución reciente de las tecnologías geoespaciales ha permitido incorporar capas analíticas más complejas en el diseño de modelos de decisión agrícola. Por ejemplo, la superposición de capas de uso de suelo, topografía, textura del suelo, y variables climáticas como precipitación o temperatura media, facilita la construcción de mapas de aptitud agrícola, zonas de vulnerabilidad agroclimática, o rutas óptimas para distribución de productos perecibles. Este enfoque multicapa, desarrollado a través de herramientas como QGIS o Google Earth Engine, habilita un entendimiento más holístico de los sistemas agroecológicos y su variabilidad espacial y temporal.

Para ilustrar esta integración, se pueden diseñar diagramas tipo “corte de capas geográficas” en donde cada estrato representa una dimensión crítica del sistema: la base edáfica, seguida por el uso de suelo, la capa climática proyectada, y finalmente las variables de producción. En conjunto, este tipo de visualización facilita la interpretación de datos por parte de actores diversos, desde investigadores hasta tomadores de decisión en instituciones públicas. Estas representaciones gráficas son particularmente útiles en procesos de planificación agrícola territorial y alerta temprana agroclimática.

Además, la inteligencia geoespacial encuentra un uso creciente en modelos predictivos apoyados en aprendizaje automático, en donde las variables espaciales (como la altitud o el índice de vegetación NDVI) se combinan con datos históricos para anticipar rendimientos, presencia de plagas o estrés hídrico. En Ecuador, se han aplicado modelos geoestadísticos integrados con mapas de THI (Índice de Temperatura y Humedad) para proyectar riesgos pecuarios en regiones costeras y amazónicas. Estos modelos no solo visualizan las zonas críticas, sino que permiten proyectar escenarios futuros bajo diferentes condiciones climáticas.

Un caso avanzado de implementación se observa en dashboards personalizados contruidos con Streamlit, como los utilizados por el proyecto Livestock Systems Delta, que integra mapas con capas dinámicas (NDVI, temperatura, pluviosidad) y datos económicos en tiempo real. Esta plataforma

permite al usuario modular temporalmente las capas, comparar años agrícolas y tomar decisiones sobre alimentación animal, rotación de potreros o gestión forrajera según la evolución espacial de los indicadores. La flexibilidad de estas plataformas permite su adaptación a cultivos específicos, como cacao, mango o arroz, integrando variables como biomasa, fenología o demanda hídrica.

Se recalca que, el uso de tecnologías abiertas (FOSS4G) como Leaflet o GeoServer, en combinación con bibliotecas de visualización como Plotly o Bokeh, permite escalar estas soluciones a ambientes web interactivos, accesibles incluso en dispositivos móviles. Esta democratización del acceso a herramientas geoespaciales fortalece el enfoque territorial participativo y promueve una agricultura de precisión asequible, basada en evidencia empírica y representación espacial clara.

En el contexto de la transformación digital de la gestión agropecuaria, plataformas como Livestock Systems Delta han comenzado a integrar visualizaciones geoespaciales interactivas en sus paneles de control. Estas interfaces permiten a los usuarios explorar información climática, productiva y de mercado sobre territorios específicos, apoyando decisiones relacionadas con la planificación forrajera, gestión del riesgo y comercialización de productos pecuarios. La combinación de mapas interactivos con gráficos dinámicos mejora significativamente la comprensión del comportamiento espacial de las variables agrícolas.

El desarrollo de dashboards personalizados en Streamlit ha cobrado relevancia como solución ligera, de código abierto y altamente adaptable para la visualización de datos agrícolas. Estas aplicaciones web permiten combinar mapas georreferenciados con estadísticas descriptivas, pronósticos y alertas, facilitando la toma de decisiones informadas por parte de técnicos y productores. En Ecuador, algunos grupos de investigación han implementado dashboards en Streamlit para monitorear variables como el Índice de Temperatura y Humedad (THI), el riesgo agroclimático para cultivos de cacao, y los flujos de comercialización de productos hortícolas.

La inteligencia geoespacial no se limita a la representación visual, sino que permite realizar análisis espaciales complejos como la identificación de zonas

críticas, la predicción de rendimientos agrícolas mediante modelos geoestadísticos, la optimización de rutas de distribución y la evaluación de impactos de políticas agrarias en diferentes regiones. Estos análisis requieren no solo datos confiables, sino también capacidades analíticas interinstitucionales y acceso a plataformas interoperables.

La integración de visualización geoespacial en los sistemas de información agrícola facilita la comunicación entre investigadores, productores, autoridades locales y organismos de cooperación. Los mapas y dashboards actúan como mediadores del conocimiento técnico, permitiendo presentar resultados complejos de forma comprensible para usuarios no especialistas. Esto mejora la apropiación de las herramientas tecnológicas y fomenta la toma de decisiones participativas basadas en evidencia.

Es así que, persisten desafíos asociados a la disponibilidad de infraestructura computacional en zonas rurales, la capacitación técnica en SIG, y la necesidad de datos georreferenciados actualizados. Superar estas limitaciones requiere fortalecer las capacidades locales, promover estándares abiertos de datos geoespaciales y desarrollar soluciones tecnológicas adaptadas al contexto de pequeños y medianos productores.

Con estos antecedentes se resalta que, la visualización e inteligencia geoespacial permiten contextualizar los fenómenos agrícolas dentro de sus dimensiones territoriales, facilitando la toma de decisiones más precisas, sostenibles y territorialmente diferenciadas. Su implementación efectiva requiere una articulación entre tecnologías, instituciones y actores del sistema agroalimentario.

La presente figura 5 resume métricas claves derivadas de estudios recientes sobre la aplicación de herramientas de visualización geoespacial en contextos agropecuarios. Se presentan cuatro dimensiones de impacto en procesos de toma de decisiones agrícolas: eficiencia operativa, reducción de costos, mejora en rendimientos y sostenibilidad productiva. Estas métricas permiten visualizar de forma inmediata los beneficios concretos de integrar plataformas como SIG, Google Earth Engine o dashboards interactivos en la gestión agrícola.

En primer lugar, se destaca un aumento del 85 % en la efectividad de las decisiones gracias a la integración de datos espaciales en modelos de gestión. Esta mejora está asociada a la capacidad de identificar zonas críticas, evaluar riesgos y planificar intervenciones de forma diferenciada a nivel territorial. En segundo lugar, se evidencia una reducción de hasta el 30 % en costos operativos, producto del uso de análisis geoespacial que optimiza recursos como fertilizantes, agua y mano de obra.

El tercer impacto cuantificable corresponde a una mejora del 20 % en el rendimiento agrícola, atribuida a la toma de decisiones informadas basadas en variables espaciales como humedad del suelo, temperatura superficial y estrés hídrico. Finalmente, la infografía señala que el 75 % de los agricultores que emplean visualización geoespacial reportan prácticas más sostenibles, lo que sugiere un vínculo positivo entre el uso de estas herramientas y la transición hacia sistemas agrícolas resilientes.

Estas cifras consolidan el papel estratégico de la visualización geoespacial en la agricultura de precisión y en la formulación de políticas basadas en evidencia. La infografía cumple una función didáctica y sintetizadora dentro del capítulo, facilitando la comprensión de beneficios técnicos que a menudo requieren extensos análisis cuantitativos.

Figura 5. Impacto cuantificable de la visualización geoespacial en la agricultura



Capítulo 3

Investigación, Retos y Perspectivas de los Sistemas de Información Agropecuarios

Estado del arte y tendencias actuales

El análisis del estado del arte en los sistemas de información aplicados a la agricultura permite identificar las principales líneas de desarrollo tecnológico que están redefiniendo la gestión de los sistemas productivos. En los últimos años, la convergencia entre tecnologías digitales, capacidades de procesamiento de datos y herramientas analíticas avanzadas ha impulsado la aparición de nuevas soluciones orientadas a mejorar la precisión, eficiencia y sostenibilidad de la actividad agrícola.

Estas tendencias no solo responden a avances científicos, sino también a la necesidad de enfrentar desafíos globales como la variabilidad climática, la seguridad alimentaria y la optimización del uso de recursos. En este contexto, destacan enfoques emergentes como la inteligencia artificial y las tecnologías de registro distribuido, cuya aplicación en el sector agropecuario está generando transformaciones significativas en la forma en que se produce, monitorea y gestiona la información agrícola.

Inteligencia artificial aplicada al agro

El desarrollo reciente de la inteligencia artificial (IA) ha transformado significativamente los sistemas de información en la agricultura, permitiendo avanzar desde modelos descriptivos hacia enfoques predictivos y prescriptivos con mayor precisión.

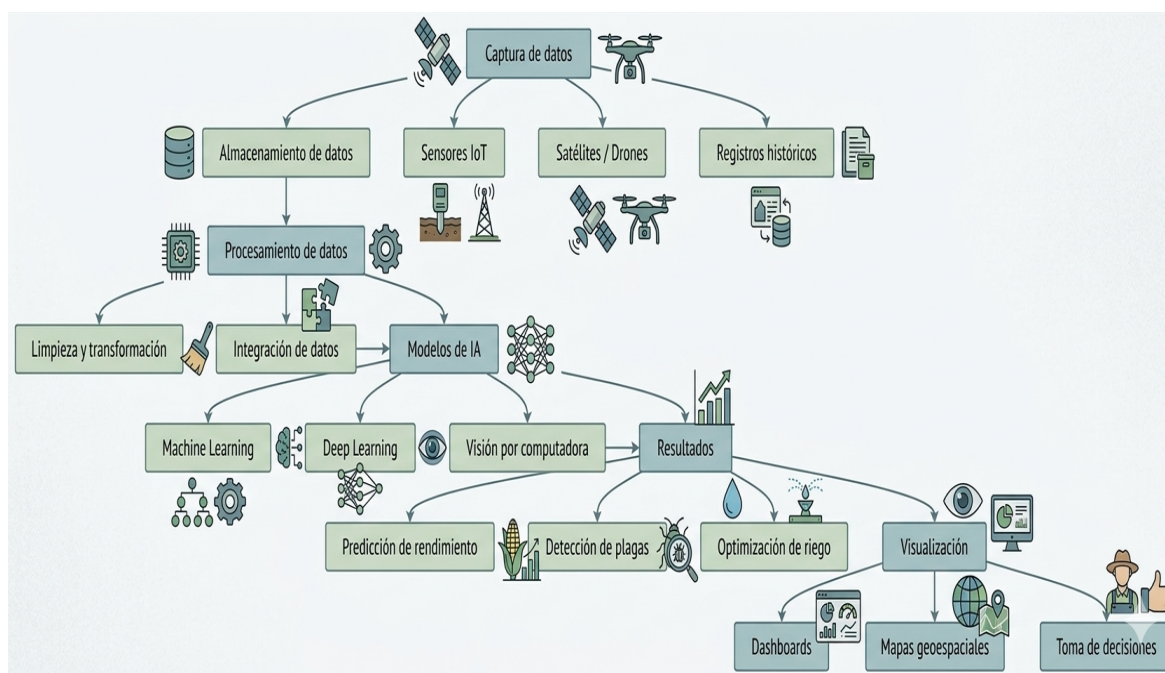
La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, redes neuronales y modelos de visión por computadora ha facilitado la automatización de procesos como la detección de enfermedades, la estimación de rendimientos y la clasificación de cultivos a partir de imágenes satelitales o capturadas mediante drones.

En el contexto agrícola, la IA permite integrar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, estaciones meteorológicas y sistemas geoespaciales, generando modelos capaces de identificar patrones complejos que no son evidentes mediante análisis tradicionales. Este enfoque ha demostrado mejoras en la eficiencia productiva y en la gestión de riesgos

asociados a la variabilidad climática. Por ejemplo, estudios recientes evidencian que el uso de modelos de aprendizaje automático puede mejorar la predicción de rendimientos y optimizar el uso de insumos agrícolas, contribuyendo a sistemas productivos más sostenibles (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Asimismo, la incorporación de técnicas de visión artificial ha permitido el desarrollo de sistemas automatizados para la identificación temprana de plagas y enfermedades, reduciendo la dependencia de inspecciones manuales y mejorando la precisión en la aplicación de tratamientos fitosanitarios. Estas herramientas resultan especialmente relevantes en regiones como América Latina, donde la diversidad de cultivos y condiciones agroecológicas requiere soluciones adaptativas y escalables.

Figura 6. Arquitectura de Inteligencia Artificial aplicada a sistemas agrícolas



El gráfico representa la arquitectura funcional de un sistema basado en inteligencia artificial aplicado a la agricultura, mostrando el flujo desde la captura de datos hasta la toma de decisiones automatizada.

Sin duda alguna, la integración de tecnologías digitales en la agricultura constituye un proceso progresivo que implica la articulación de diversas herramientas, plataformas y fuentes de datos dentro de un mismo entorno operativo.

Los sistemas de información no funcionan de manera aislada; su valor reside precisamente en la capacidad de interconectar dispositivos, bases de datos, modelos analíticos y usuarios finales en un flujo continuo de información. Este proceso de integración permite transformar datos dispersos en conocimiento estructurado, facilitando la toma de decisiones en diferentes niveles del sistema productivo.

En el ámbito agrícola, esta integración suele involucrar sensores de campo, estaciones meteorológicas, imágenes satelitales, sistemas de gestión de cultivos y plataformas de visualización. La combinación de estas tecnologías permite capturar información en tiempo real, procesarla mediante modelos analíticos y presentarla de manera comprensible a través de dashboards o sistemas de soporte a decisiones. De esta forma, se construyen ecosistemas digitales capaces de responder a la variabilidad espacial y temporal característica de la agricultura.

Uno de los aspectos clave en este proceso es la interoperabilidad entre sistemas. La existencia de múltiples formatos de datos, protocolos de comunicación y plataformas tecnológicas plantea la necesidad de establecer estándares que permitan el intercambio eficiente de información. La adopción de arquitecturas abiertas y el uso de APIs facilitan la conexión entre sistemas heterogéneos, permitiendo que los datos fluyan desde la captura hasta la toma de decisiones sin pérdida de calidad o consistencia.

Blockchain y trazabilidad alimentaria

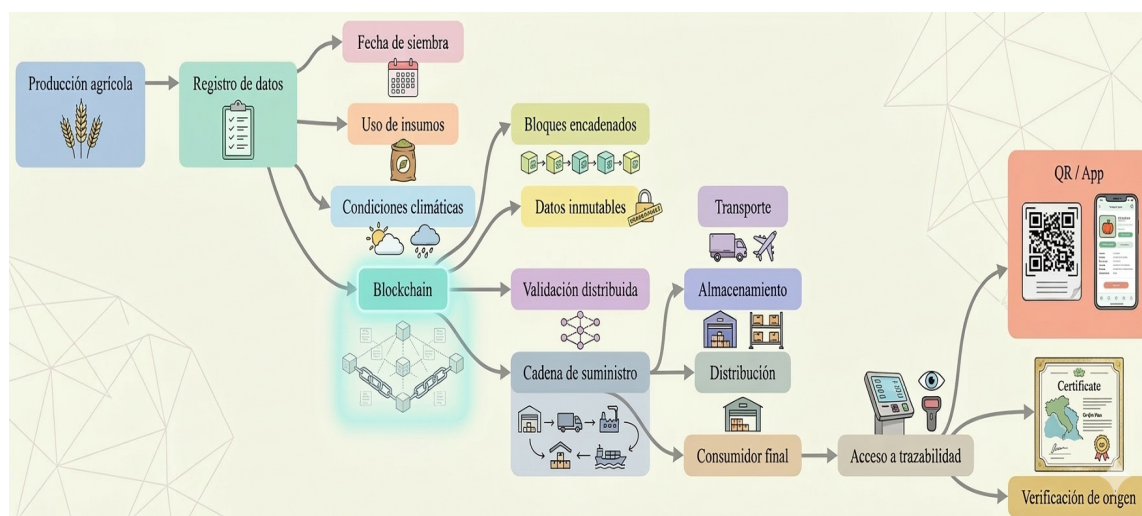
La trazabilidad en las cadenas agroalimentarias ha adquirido una importancia creciente en el contexto de la seguridad alimentaria, la transparencia comercial y el cumplimiento de normativas internacionales. En este escenario, la tecnología blockchain se presenta como una solución innovadora para

garantizar la integridad, inmutabilidad y transparencia de la información a lo largo de la cadena de suministro.

El uso de blockchain en sistemas de información agrícola permite registrar cada etapa del proceso productivo, desde la siembra hasta la comercialización, asegurando que los datos no puedan ser alterados una vez almacenados. Esto facilita la verificación del origen de los productos, la identificación de posibles fallas en la cadena y la generación de confianza entre productores, distribuidores y consumidores. En estudios recientes, se ha evidenciado que la implementación de blockchain mejora la eficiencia de los sistemas de trazabilidad y reduce los costos asociados a la verificación de información (Casino et al., 2019).

Además, la integración de blockchain con tecnologías como sensores IoT y sistemas geoespaciales permite construir plataformas de trazabilidad más completas, en las que los datos de producción se registran automáticamente y se vinculan con información espacial y temporal. Este enfoque resulta particularmente relevante para productos agrícolas destinados a mercados internacionales, donde la certificación de origen y calidad es un requisito fundamental.

Figura 7. Arquitectura de Blockchain para trazabilidad agrícola



La figura ilustra el funcionamiento de un sistema de trazabilidad agrícola basado en blockchain, mostrando cómo se registran y validan las transacciones a lo largo de la cadena agroalimentaria.

Estudios de caso relevantes en América Latina

El análisis de estudios de caso en América Latina permite comprender de manera contextualizada cómo los sistemas de información agrícola han sido implementados en escenarios reales, considerando las particularidades sociales, económicas y ambientales de la región. Estos casos evidencian tanto los avances alcanzados en la digitalización del sector agropecuario como las limitaciones que aún persisten en su adopción. A través de iniciativas institucionales, proyectos gubernamentales y experiencias locales, se identifican modelos de implementación que han contribuido a mejorar la productividad, la gestión de riesgos y el acceso a información estratégica. El análisis y estudio de estas experiencias resulta fundamental para extraer lecciones aplicables y orientar el desarrollo de soluciones adaptadas a las condiciones de los sistemas agrícolas latinoamericanos.

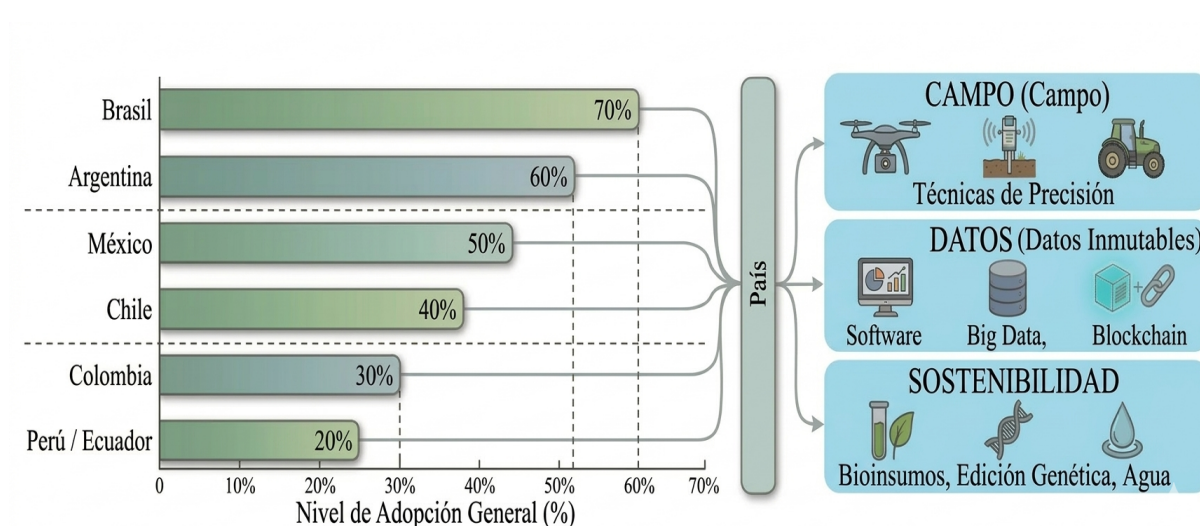
Por otra parte, es necesario conocer que la integración tecnológica en la agricultura presenta avances significativos, aunque heterogéneos. Mientras que grandes explotaciones agrícolas han incorporado sistemas avanzados de monitoreo y análisis, los pequeños y medianos productores enfrentan limitaciones asociadas a costos, conectividad y capacidades técnicas. En este contexto, el desarrollo de soluciones modulares, escalables y adaptadas a condiciones locales resulta fundamental para ampliar la adopción de sistemas de información.

Estas integraciones de tecnologías digitales no deben entenderse únicamente desde una perspectiva técnica, sino que es necesario considerar factores organizacionales, culturales y educativos que influyen en la adopción y uso efectivo de estas herramientas. La capacitación de los usuarios, la generación de confianza en los sistemas y la adaptación a prácticas productivas tradicionales son elementos determinantes para el éxito de cualquier iniciativa de digitalización agrícola.

En este sentido, los sistemas de información integrados permiten avanzar hacia modelos de agricultura más precisos, sostenibles y resilientes. La capacidad de combinar datos de diferentes fuentes y escalas facilita una comprensión más profunda de los sistemas productivos, contribuyendo a optimizar el uso de recursos y a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

En Latinoamérica el nivel de adopción de tecnologías agrícolas ha avanzado significativamente en los últimos años, destacando a Brasil con un 70% en el uso de este tipo de tecnologías ocupando el primer lugar, le sigue Argentina con 60%, los cuales se consideran líderes regionales en el uso de tecnologías agrícolas. Los tres pilares estratégicos considerados son el Campo, el cual está enfocado en técnicas de precisión como drones y maquinaria autónoma; los Datos, que priorizan la trazabilidad mediante Blockchain y Big Data; y la Sostenibilidad, centrada en el uso de bioinsumos, edición genética y el uso efectivo del agua, sin duda la transformación digital busca optimizar la productividad y la gestión eficiente de recursos en la región.

Figura 8. Tecnologías Agrícolas en Latinoamérica



Proyectos institucionales y gubernamentales

En América Latina, diversos proyectos institucionales han impulsado la implementación de sistemas de información agrícola con el objetivo de mejorar la productividad, la sostenibilidad y la gestión de recursos. Organismos gubernamentales y centros de investigación han desarrollado plataformas que integran datos climáticos, edáficos y productivos para apoyar la toma de decisiones en el sector agropecuario.

Un ejemplo relevante es el uso de sistemas de monitoreo agroclimático en países como México, Brasil y Argentina, donde instituciones públicas han implementado redes de estaciones meteorológicas y plataformas digitales para el seguimiento de variables críticas. Estos sistemas permiten generar alertas tempranas ante eventos extremos, como sequías o heladas, contribuyendo a la reducción de riesgos productivos.

Asimismo, programas de agricultura digital han promovido el uso de tecnologías geoespaciales y sistemas de soporte a decisiones en la planificación territorial y la gestión de cultivos. Estas iniciativas evidencian el papel estratégico de los sistemas de información en la formulación de políticas públicas basadas en evidencia.

Impacto de los sistemas en pequeños productores

El impacto de los sistemas de información en pequeños productores ha sido objeto de creciente atención en la literatura científica. Si bien estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la eficiencia y la productividad, su adopción en este segmento enfrenta desafíos específicos relacionados con el acceso a recursos, la conectividad y la capacitación.

Estudios recientes indican que la implementación de sistemas de información adaptados a las necesidades de pequeños productores puede generar mejoras significativas en la gestión de cultivos, el uso de insumos y la comercialización de productos. En particular, el acceso a información climática y de mercado permite a los productores tomar decisiones más informadas, reduciendo la incertidumbre y mejorando sus ingresos (Fabregas et al., 2019).

No obstante, para lograr un impacto sostenible, es necesario desarrollar soluciones accesibles, con interfaces simples y modelos de implementación que consideren las condiciones socioeconómicas de los usuarios. La participación de organizaciones locales y la capacitación continua son factores clave para garantizar la adopción efectiva de estas tecnologías.

Barreras tecnológicas, sociales y económicas

A pesar del potencial transformador de los sistemas de información en la agricultura, su implementación enfrenta una serie de barreras que condicionan su alcance y efectividad. Estas limitaciones no se restringen al ámbito tecnológico, sino que involucran factores sociales, económicos e institucionales que inciden directamente en la adopción de innovaciones. La heterogeneidad de los sistemas productivos, la desigualdad en el acceso a recursos y las brechas en capacidades técnicas configuran un entorno complejo que requiere ser analizado de manera integral. Comprender estas barreras permite no solo identificar los obstáculos existentes, sino también diseñar estrategias que faciliten la incorporación sostenible de tecnologías digitales en el sector agropecuario.

Uno de los aspectos críticos en este contexto es la limitada disponibilidad de infraestructura tecnológica adecuada en zonas rurales. La conectividad a internet, el acceso a dispositivos digitales y la estabilidad de las redes de comunicación siguen siendo insuficientes en muchas regiones agrícolas, lo que restringe la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real y plataformas basadas en la nube. Esta situación obliga a diseñar soluciones que operen en condiciones de conectividad intermitente o que integren mecanismos de almacenamiento local y sincronización diferida, lo cual incrementa la complejidad técnica de los sistemas y puede afectar su rendimiento.

Adicionalmente, las barreras culturales y organizacionales desempeñan un papel determinante en la adopción de tecnologías digitales en el agro.

La resistencia al cambio, asociada en muchos casos a prácticas productivas tradicionales y a la percepción de riesgo frente a nuevas herramientas, limita

la incorporación de sistemas de información en la gestión cotidiana. A esto se suma la falta de modelos de negocio claros que demuestren beneficios económicos directos en el corto plazo, lo que reduce el interés de los productores en invertir en estas tecnologías. Superar estas limitaciones requiere no solo innovación tecnológica, sino también estrategias de acompañamiento, demostración de resultados y construcción de confianza en los usuarios finales.

Brecha digital en el agro

La brecha digital constituye uno de los principales obstáculos para la adopción de sistemas de información en la agricultura. Esta brecha se manifiesta en la desigualdad en el acceso a tecnologías digitales, conectividad y capacidades técnicas entre diferentes regiones y tipos de productores.

En zonas rurales, la limitada infraestructura de telecomunicaciones dificulta el uso de plataformas basadas en la nube y el acceso a datos en tiempo real. Esta situación restringe el potencial de los sistemas de información y limita su impacto en la mejora de la productividad agrícola. Además, la falta de alfabetización digital puede generar resistencia al uso de nuevas tecnologías, especialmente en contextos donde predominan prácticas tradicionales.

A esta problemática se suma la brecha en el acceso a dispositivos tecnológicos adecuados, como smartphones, sensores o equipos de monitoreo, que son esenciales para la implementación de soluciones digitales en campo. En muchos casos, los productores dependen de equipos obsoletos o comparten dispositivos, lo que reduce la frecuencia y calidad del uso de las herramientas disponibles. Asimismo, los costos asociados a la adquisición, mantenimiento y actualización de estos equipos representan una barrera adicional, particularmente para pequeños productores con recursos limitados.

Otro elemento relevante es la desigualdad en el acceso a información y servicios digitales adaptados al contexto local. Muchas plataformas agrícolas están diseñadas para entornos con alta conectividad y niveles técnicos avanzados, lo que dificulta su adopción en sistemas productivos tradicionales. La ausencia de contenidos en lenguaje accesible, la falta de soporte técnico y

la escasa contextualización de los datos limitan la utilidad práctica de estas herramientas. En este sentido, cerrar la brecha digital no solo implica mejorar la infraestructura tecnológica, sino también desarrollar soluciones inclusivas, accesibles y orientadas a las necesidades reales del sector agrícola.

Escalabilidad de las soluciones

Otro desafío relevante es la escalabilidad de las soluciones tecnológicas, muchos sistemas de información agrícola se desarrollan en contextos específicos y presentan dificultades para ser adaptados a diferentes condiciones agroecológicas o socioeconómicas. La diversidad de cultivos, climas y prácticas productivas en América Latina requiere soluciones flexibles y adaptables.

La escalabilidad también implica la capacidad de integrar nuevos datos, usuarios y funcionalidades sin comprometer el rendimiento del sistema. En este sentido, el uso de arquitecturas modulares y tecnologías abiertas puede facilitar la expansión de los sistemas y su adaptación a diferentes contextos.

Un elemento adicional que condiciona la escalabilidad es la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos provenientes de múltiples fuentes, como sensores, imágenes satelitales y registros productivos. A medida que los sistemas crecen, se incrementa la necesidad de infraestructuras capaces de procesar datos en tiempo real y de manera distribuida.

En este contexto, el uso de servicios en la nube, arquitecturas basadas en microservicios y técnicas de procesamiento paralelo permite sostener el rendimiento del sistema y garantizar su operatividad en escenarios de alta demanda. Sin una adecuada planificación de estas capacidades, la expansión de los sistemas puede generar cuellos de botella que afectan la calidad de la información y la toma de decisiones.

Por otra parte, la escalabilidad no debe entenderse únicamente desde una perspectiva técnica, sino también organizacional y económica. La adopción de sistemas de información en diferentes territorios requiere modelos de implementación que consideren costos sostenibles, esquemas de financiamiento y estrategias de soporte técnico a largo plazo. Además, es

necesario establecer mecanismos de gobernanza de datos y coordinación institucional que permitan la integración de múltiples actores sin generar fragmentación de la información. En este sentido, la escalabilidad efectiva depende de la capacidad de articular tecnología, gestión y políticas públicas en un marco coherente que favorezca la expansión ordenada de estas soluciones.

Lineamientos para futuras investigaciones científicas

El avance de los sistemas de información agrícola plantea la necesidad de orientar la investigación científica hacia enfoques que integren la complejidad de los sistemas productivos y las dinámicas territoriales. En este contexto, la definición de lineamientos para futuras investigaciones resulta esencial para consolidar el desarrollo de soluciones tecnológicas pertinentes, sostenibles y socialmente inclusivas. La generación de conocimiento en este campo debe trascender el enfoque técnico y considerar dimensiones económicas, ambientales y éticas que inciden en la implementación de estas herramientas. Estos lineamientos buscan contribuir a la construcción de agendas de investigación que respondan a las necesidades del sector agrícola y promuevan una transformación digital basada en evidencia y responsabilidad social.

Enfoques multidisciplinarios

El desarrollo de sistemas de información agrícola requiere la integración de conocimientos provenientes de diversas disciplinas, como la agronomía, la informática, la estadística y las ciencias sociales. Un enfoque multidisciplinario permite abordar la complejidad de los sistemas agroalimentarios y diseñar soluciones que consideren tanto aspectos técnicos como sociales.

Las futuras investigaciones deben promover la colaboración entre investigadores, instituciones y actores del sector productivo, fomentando la cocreación de conocimiento y el desarrollo de tecnologías adaptadas a las necesidades reales del campo. Este enfoque contribuye a generar soluciones más pertinentes y sostenibles.

Marco ético y sostenibilidad

La incorporación de sistemas de información en el sector agropecuario genera oportunidades para mejorar la productividad, optimizar el uso de los recursos y fortalecer la capacidad de respuesta frente a riesgos climáticos, sanitarios y económicos. Sin embargo, estas ventajas también plantean responsabilidades relacionadas con la forma en que las tecnologías son diseñadas, implementadas y utilizadas. La transformación digital del agro no debe evaluarse únicamente por su capacidad para automatizar procesos o incrementar rendimientos, sino también por sus efectos sobre las personas, las comunidades rurales, los recursos naturales y las relaciones económicas que forman parte de los sistemas agroalimentarios.

Uno de los principales desafíos éticos se relaciona con la recopilación y utilización de datos agrícolas. Los sensores, drones, dispositivos móviles, plataformas digitales, imágenes satelitales y sistemas de gestión pueden registrar información sobre localización de parcelas, características del suelo, rendimientos, prácticas productivas, costos, comercialización y comportamiento de los productores. Estos datos poseen valor técnico y económico, por lo que su tratamiento requiere reglas claras sobre propiedad, acceso, almacenamiento, intercambio y reutilización. La incorporación de principios de gestión de datos como localización, accesibilidad, interoperabilidad y reutilización puede facilitar la cooperación científica e institucional, pero no debe interpretarse como una autorización para utilizar información sin límites o sin considerar los derechos de quienes la generan (Van Eeckhout et al., 2025).

La gobernanza de los datos agrícolas debe establecer quién puede acceder a la información, con qué propósito, durante cuánto tiempo y bajo qué condiciones puede compartirse con terceros. Los productores y organizaciones rurales deben conocer qué información se recopila y cuáles son los beneficios, riesgos y posibles usos derivados de su tratamiento. Cuando los sistemas incluyan datos personales, productivos o georreferenciados, se deberán adoptar medidas de seguridad que reduzcan los riesgos de acceso no autorizado, pérdida, alteración o explotación comercial indebida. También deben existir mecanismos para corregir información errónea, retirar autorizaciones cuando corresponda y definir responsabilidades frente a incidentes de seguridad.

La privacidad debe considerarse desde las primeras etapas del diseño tecnológico y no únicamente después de que el sistema haya sido implementado. Esto implica recopilar solo los datos necesarios, establecer niveles de acceso, emplear mecanismos de autenticación y mantener respaldos adecuados. Cuando sea posible, la información utilizada para investigación, capacitación o desarrollo de modelos analíticos debe ser anonimizada o agregada, especialmente si su divulgación puede afectar la competitividad, la seguridad o la reputación de productores y organizaciones. La confianza constituye un requisito para que los actores del sector compartan datos y adopten plataformas digitales de manera sostenida.

Otro aspecto relevante corresponde al uso de inteligencia artificial y modelos predictivos en la toma de decisiones agrícolas. Los algoritmos pueden contribuir a predecir rendimientos, detectar enfermedades, estimar necesidades de riego o recomendar dosis de fertilización. No obstante, sus resultados dependen de la calidad, representatividad y actualización de los datos utilizados. Un modelo entrenado con información procedente de determinadas zonas, cultivos o condiciones productivas puede generar recomendaciones inadecuadas cuando se aplica en territorios diferentes. Por esta razón, los sistemas deben ser sometidos a procesos de validación técnica y territorial antes de ser utilizados en decisiones que puedan producir consecuencias económicas o ambientales.

La transparencia de los algoritmos constituye un principio necesario para evitar que las recomendaciones sean aceptadas de manera automática. Los usuarios deben comprender, al menos de forma general, qué variables utiliza el sistema, cuáles son sus limitaciones y qué nivel de incertidumbre presentan sus resultados. La inteligencia artificial debe funcionar como una herramienta de apoyo y no como un sustituto absoluto del conocimiento agronómico, la experiencia productiva o el criterio profesional. El desarrollo de modelos explicables favorece la comprensión de las recomendaciones y permite identificar errores, sesgos o resultados que no correspondan con las condiciones observadas en el campo (Taj & Zaman, 2022).

También deben establecerse mecanismos de responsabilidad cuando una recomendación tecnológica produce consecuencias negativas. El productor no debería asumir por sí solo los efectos derivados de errores de

programación, datos incompletos, fallas de conectividad o modelos que no fueron validados para su contexto. Las instituciones desarrolladoras, empresas proveedoras, investigadores y entidades que administran las plataformas deben definir claramente sus responsabilidades, ofrecer asistencia técnica y comunicar las limitaciones de los sistemas. La innovación responsable exige que las decisiones relevantes conserven supervisión humana y que exista la posibilidad de cuestionar o rechazar una recomendación automatizada.

Desde una perspectiva social, la transformación digital debe evitar la ampliación de las desigualdades existentes en el sector agropecuario. Las diferencias de conectividad, ingresos, infraestructura y alfabetización digital pueden provocar que los beneficios de la agricultura inteligente se concentren en empresas o productores con mayor capacidad económica. Las tecnologías de alto costo, las licencias restrictivas, las plataformas disponibles únicamente en determinados idiomas y las soluciones que requieren conectividad permanente pueden excluir a pequeños productores y comunidades rurales. La digitalización debe acompañarse de capacitación, asistencia técnica, interfaces comprensibles y alternativas que funcionen en condiciones de conectividad limitada (Trendov et al., 2019).

La equidad en el ámbito tecnológico implica diseñar sistemas considerando las capacidades y necesidades de los usuarios finales. Las soluciones deben ser accesibles, escalables y compatibles con los recursos disponibles en cada territorio. El uso de software libre, arquitecturas modulares, estándares abiertos y dispositivos de bajo consumo puede reducir costos y disminuir la dependencia de proveedores específicos. Sin embargo, la selección de estas alternativas debe acompañarse de planes de mantenimiento, actualización y soporte técnico. Una plataforma que no puede mantenerse después de finalizar un proyecto de investigación difícilmente puede considerarse sostenible.

La participación de los productores durante el diseño y evaluación de los sistemas también constituye un componente ético. Las tecnologías desarrolladas sin conocimiento del territorio pueden responder a criterios técnicos correctos, pero resultar poco útiles para las condiciones reales del

trabajo agrícola. La cocreación permite incorporar prácticas productivas, restricciones económicas, formas de organización y conocimientos acumulados por las comunidades. El conocimiento tradicional no debe ser tratado como un elemento inferior frente al conocimiento digital, sino como una fuente que puede complementar los datos obtenidos mediante sensores, modelos y plataformas. Su utilización debe reconocer la contribución de las comunidades y evitar procesos de apropiación sin autorización o sin beneficios para sus poseedores.

En materia ambiental, la sostenibilidad de los sistemas de información debe analizarse desde una perspectiva integral. Estas tecnologías pueden mejorar la programación del riego, reducir aplicaciones innecesarias de fertilizantes y plaguicidas, controlar pérdidas y apoyar una gestión más precisa de los recursos. Las técnicas de agricultura de precisión también pueden contribuir a disminuir desperdicios y reducir impactos sobre el suelo, el agua y la biodiversidad (Mansoor et al., 2025). Sin embargo, estos beneficios no se producen de manera automática, pues dependen de la correcta interpretación de los datos y de que las recomendaciones sean aplicadas bajo criterios agronómicos adecuados.

La infraestructura digital también genera impactos ambientales. La fabricación y sustitución de sensores, baterías, equipos de comunicación, drones y dispositivos informáticos demanda materias primas y produce residuos electrónicos. A esto se añade el consumo de energía requerido por servidores, redes de comunicación, plataformas en la nube y procesos de inteligencia artificial. Por esta razón, la evaluación de las soluciones debe considerar su ciclo de vida completo, desde la adquisición de los equipos hasta su mantenimiento, reutilización y disposición final. La selección de dispositivos reparables, de bajo consumo energético y con una vida útil razonable puede reducir el impacto ambiental y los costos operativos.

La sostenibilidad a nivel económico requiere que los beneficios generados por el sistema guarden relación con los costos de adquisición, operación, capacitación y mantenimiento. Una solución puede ser técnicamente funcional, pero resultar inviable si exige pagos permanentes, conectividad costosa o personal altamente especializado que no está disponible en el territorio. Antes de escalar una tecnología, es necesario evaluar su costo total

de propiedad, la disponibilidad de repuestos, la estabilidad de los proveedores y la capacidad institucional para sostenerla. La Industria 5.0 propone precisamente una articulación entre innovación, sostenibilidad y participación humana, superando una visión centrada exclusivamente en la automatización (Singh et al., 2025).

La sostenibilidad institucional depende de la existencia de políticas, procedimientos y responsabilidades claramente definidos. Las universidades, centros de investigación, organismos públicos, asociaciones de productores y empresas tecnológicas deben coordinar la gestión de datos, la transferencia de conocimientos y el mantenimiento de las soluciones. También es necesario documentar los sistemas, conservar registros de las decisiones adoptadas y evaluar periódicamente su funcionamiento. La auditoría técnica y ética permite identificar desviaciones, efectos no previstos y necesidades de actualización.

Un sistema de información agropecuario éticamente responsable debe proteger los datos, facilitar la comprensión de sus resultados, prevenir sesgos, respetar el conocimiento territorial y distribuir sus beneficios de manera equitativa. Al mismo tiempo, debe contribuir a conservar los recursos naturales, reducir impactos ambientales y mantener su viabilidad económica y tecnológica. La innovación digital será sostenible cuando responda a problemas reales, fortalezca las capacidades humanas y mantenga al productor como participante activo de la toma de decisiones. En consecuencia, la eficiencia tecnológica no debe constituir el único criterio de valoración. También deben considerarse la justicia social, la autonomía de los usuarios, la protección ambiental, la transparencia y la responsabilidad institucional. Solo bajo estas condiciones los sistemas de información podrán contribuir a una agricultura más productiva, resiliente e inclusiva.

Conclusiones Generales

El análisis desarrollado a lo largo del libro permite establecer que los sistemas de información aplicados a la agricultura han evolucionado desde herramientas de registro y control hacia plataformas integradas que articulan datos, modelos analíticos y procesos de toma de decisiones. Esta transformación responde a la necesidad de gestionar sistemas productivos cada vez más complejos, caracterizados por la variabilidad climática, la presión sobre los recursos naturales y las exigencias de los mercados. En este contexto, los sistemas de información se consolidan como un componente estratégico para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la competitividad del sector agropecuario.

La incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial, el análisis geoespacial y las redes de sensores ha permitido avanzar hacia una agricultura basada en evidencia, en la que las decisiones se fundamentan en datos confiables y actualizados. Estas herramientas facilitan la identificación de patrones, la anticipación de riesgos y la optimización del uso de insumos, contribuyendo a una gestión más precisa de los sistemas productivos. Asimismo, la integración de plataformas digitales ha favorecido la interoperabilidad entre diferentes fuentes de información, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante escenarios dinámicos.

Sin embargo, el impacto de estos avances no es uniforme. Persisten brechas significativas en el acceso a tecnología, conectividad y capacidades técnicas, especialmente en pequeños y medianos productores. Estas limitaciones evidencian que la transformación digital en la agricultura no depende únicamente del desarrollo tecnológico, sino también de condiciones sociales, económicas e institucionales que faciliten su adopción. La reducción de estas brechas constituye un desafío prioritario para garantizar una transición inclusiva hacia sistemas agrícolas más eficientes.

En el ámbito latinoamericano, los sistemas de información han demostrado su utilidad en la gestión agroclimática, la planificación territorial y la mejora de procesos productivos. No obstante, su implementación requiere enfoques adaptados a las realidades locales, considerando la diversidad de sistemas agrícolas y las condiciones socioeconómicas de los actores involucrados. La articulación entre instituciones públicas, centros de investigación y sector

productivo resulta fundamental para consolidar iniciativas sostenibles y escalables.

Finalmente, el desarrollo futuro de los sistemas de información agrícola deberá orientarse hacia enfoques integrales que combinen innovación tecnológica con responsabilidad social y ambiental. La investigación científica tiene el reto de generar soluciones que no solo incrementen la productividad, sino que también contribuyan a la conservación de los recursos naturales y al bienestar de las comunidades rurales. En este sentido, los sistemas de información representan una oportunidad para construir modelos agrícolas más resilientes, basados en conocimiento, cooperación y uso eficiente de la información.

Recomendaciones

A partir del análisis desarrollado, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas al diseño, desarrollo e implementación de sistemas de información agrícola que sean eficaces, sostenibles y escalables en contextos reales:

En primer lugar, es fundamental promover el desarrollo de sistemas de información basados en arquitecturas modulares e interoperables. La adopción de estándares abiertos y el uso de interfaces de programación permiten integrar diversas fuentes de datos y facilitar la evolución del sistema sin requerir rediseños completos. Esta característica resulta clave para garantizar la escalabilidad y adaptación a diferentes contextos productivos y territoriales.

En segundo lugar, se recomienda priorizar el uso de tecnologías accesibles y de bajo costo, especialmente en entornos rurales. La implementación de soluciones basadas en software libre, sensores de bajo consumo energético y plataformas en la nube contribuye a reducir las barreras de entrada y a ampliar el acceso de pequeños y medianos productores. La sostenibilidad tecnológica depende, en gran medida, de la capacidad de mantener y actualizar estos sistemas sin generar dependencia excesiva de recursos externos.

Asimismo, es necesario fortalecer los procesos de formación y capacitación en competencias digitales para los usuarios finales. La eficacia de los sistemas de información no radica únicamente en su diseño técnico, sino en su uso adecuado por parte de productores, técnicos y gestores. Programas de capacitación continua, acompañamiento técnico y desarrollo de interfaces intuitivas favorecen la adopción y el aprovechamiento real de las herramientas implementadas.

Otra recomendación relevante es la integración de enfoques basados en datos y modelos analíticos que permitan avanzar hacia sistemas predictivos y prescriptivos. La incorporación de inteligencia artificial, análisis geoespacial y monitoreo en tiempo real debe orientarse a resolver problemas concretos del sector agrícola, como la optimización del riego, la gestión de plagas o la planificación productiva. Estos enfoques deben implementarse de manera progresiva, asegurando la calidad y consistencia de los datos utilizados.

En relación con la sostenibilidad, se sugiere incorporar criterios ambientales y sociales en el diseño de los sistemas de información. Esto implica considerar el uso eficiente de recursos naturales, la reducción de impactos negativos y la inclusión de pequeños productores en los procesos de digitalización. Los sistemas deben contribuir no solo a mejorar la productividad, sino también a fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones adversas.

Desde una perspectiva institucional, es recomendable fomentar la articulación entre actores públicos, privados y académicos. La cooperación interinstitucional facilita el intercambio de datos, el desarrollo de proyectos conjuntos y la generación de soluciones más robustas. Asimismo, se requiere el establecimiento de políticas públicas que impulsen la digitalización del sector agrícola y promuevan el acceso equitativo a tecnologías de información.

Finalmente, se recomienda desarrollar marcos normativos claros relacionados con la gestión, seguridad y propiedad de los datos agrícolas. La confianza en los sistemas de información depende de la transparencia en el manejo de la información y de la protección de los datos generados por los usuarios. La implementación de principios éticos y de gobernanza de datos contribuirá a consolidar el uso responsable y sostenible de estas tecnologías.

En conjunto, estas recomendaciones apuntan a consolidar sistemas de información agrícola que no solo sean técnicamente viables, sino también socialmente pertinentes, económicamente accesibles y ambientalmente sostenibles.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Munizaga, M. (2025). Importancia de la Formulación y Evaluación de Proyectos en los Sistemas de Información Gerencial. *Nexus Research Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.62943/nrj.v4n1.2025.212>
- Aguirre-Munizaga, M. (2025). Integración de sistemas de información con tecnologías abiertas para el monitoreo en estaciones meteorológicas universitarias (1.a ed.). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.355250809>
- Aijaz, N., Lan, H., Raza, T., Yaqub, M., Iqbal, R., & Pathan, M. S. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability. *Journal of Agriculture and Food Research*, 20, 101762. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101762>
- Altieri, M. A., Farrell, J. G., Hecht, S. B., Liebman, M., Magdoff, F., Murphy, B., Norgaard, R. B., & Sikor, T. O. (2018). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture* (2.a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429495465>
- Assandri, D., Pampuro, N., Zara, G., Bianco, A., Cavallo, E., & Budroni, M. (2021). Co-Composting of Brewers' Spent Grain with Animal Manures and Wheat Straw: Influence of Two Composting Strategies on Compost Quality. *Agronomy*, 11(7), 1349. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071349>
- Bayar, J., Ali, N., Cao, Z., Ren, Y., & Dong, Y. (2025). Artificial intelligence of things (AIoT) for precision agriculture: Applications in smart irrigation, nutrient and disease management. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101629. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101629>
- Begna, T., & Wakweya, R. B. (2025). Mitigating Climate Change Impacts on Food Security via Climate-Smart Agriculture. *Plant Stress*, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101152>

- Bejarano Rivera, C., López Villacís, I., Vaca Vaca, C., & Mera Andrade, R. (2021). Producción Agrícola Sustentable para el sector pecuario y el cambio climático. *Revista Alfa*, 5(14), 274-284. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.117>
- Bouguettaya, A., Zarzour, H., Kechida, A., & Taberkit, A. M. (2023). A survey on deep learning-based identification of plant and crop diseases from UAV-based aerial images. *Cluster Computing*, 26(2), 1297-1317. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03627-x>
- Bowen Quiroz, G. A., & Medranda Cobeña, G. I. (2024). Impacto de los sistemas de información en la agricultura inteligente: Una revisión general. *Revista InGenio*, 7(2), 117-136. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v7i2.824>
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Castillo Ortiz, S. Y., Flores Cabrera, J. C., Ayala Castillo, M. Á., Carachure Pichardo, C. D., & Ayala Castillo, A. Á. (2025). Optimización del sector agrícola mediante el análisis de datos para una gestión eficiente de los recursos naturales: Una perspectiva para México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 241-257. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.16816
- Chuncho Juca, L., Uriguen Aguirre, P., & Apolo Vivanco, N. (2021). Ecuador: Análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(1), 08-17. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.547>
- Ci, N., & Ma, A. (2016). Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 01(s5). <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, & Ovalle Másmela, J. C. (2023). Tecnologías emergentes para el agro y su aplicación en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.estudiodevigilancia.2023.2>
- Da Silva Vieira, G., Rocha, B. M., Fonseca, A. U., De Sousa, N. M., Ferreira, J. C., Cabacinha, C. D., & Soares, F. (2022). Automatic detection of insect predation through the segmentation of damaged leaves. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100056>
- Danbaki, C. A., Onyemachi, N. C., Gado, D. S. M., Mohammed, G. S., Agbenu, D., & Ikegwuro, P. U. (2020). Precision Agriculture Technology: A Literature Review. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, 30-34. <https://doi.org/10.9734/ajarr/2020/v14i330335>
- Evenson, R. E., & Gollin, D. (2003). Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758-762. <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- Fabregas, R., Kremer, M., & Schilbach, F. (2019). Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. *Science*, 366(6471), eaay3038. <https://doi.org/10.1126/science.aay3038>
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17881>
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Rama Krishna, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>
- Haloui, D., Oufaska, K., Oudani, M., & El Yassini, K. (2024). Bridging Industry 5.0 and Agriculture 5.0: Historical Perspectives, Opportunities, and

- Future Perspectives. Sustainability, 16(9), 3507.
<https://doi.org/10.3390/su16093507>
- Hernández-Salazar, C. A., González-Estrada, O. A., & González-Silva, G. (2024). Integración de la inteligencia artificial y la agricultura de precisión en cultivos de café. *Revista UIS Ingenierías*, 23(4).
<https://doi.org/10.18273/revuin.v23n4-2024012>
- Hugo Sánchez, V., & Zambrano Mendoza, J. L. (2019). Adopción e impacto de las tecnologías agropecuarias generadas en el Ecuador. *La Granja*, 30(2), 28-39. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.03>
- Indu, Baghel, A. S., Bhardwaj, A., & Ibrahim, W. (2022). Optimization of Pesticides Spray on Crops in Agriculture using Machine Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2022/9408535>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Lapiedra, R., López-Muñoz, J.-F., Ferrer Gilabert, S., & Darocha Huerta, J. (2021). Planificación y organización de los sistemas de información en la empresa (1.a ed.). Universitat Jaume I.
<https://doi.org/10.6035/Sapientia169>
- Liaghat. (2010). A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 50-55. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2010.50.55>
- López-Mallama, O. M., Dorado Zúñiga, M. Á., & Martínez Hidalgo, D. (2023). Aplicabilidad de los sistemas de información en una EAPB de la ciudad de Cali 2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 7786-7801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6758
- Lu, S., & Xiao, X. (2024). Neuromorphic Computing for Smart Agriculture. *Agriculture*, 14(11), 1977. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111977>

- Lucio Quintana, A. (2025). Integración de tecnologías de Agricultura 5.0 en la educación superior: Un enfoque hacia la sostenibilidad agropecuaria. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.14630544>
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Chung, Y. S., & Baek, J.-H. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: Trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- Mathenge, M., Sonneveld, B. G. J. S., & Broerse, J. E. W. (2022). Application of GIS in Agriculture in Promoting Evidence-Informed Decision Making for Improving Agriculture Sustainability: A Systematic Review. *Sustainability*, 14(16), 9974. <https://doi.org/10.3390/su14169974>
- Miller, T., Mikiciuk, G., Durlik, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., & Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*, 25(12), 3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
- Murga Roche, A. R., García Godínez, D. R., Rivas Quex, M. R., & Celada Argueta, V. J. (2025). EFFICIENT FARMING: OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA AGRICULTURA A TRAVÉS DE LA AGRICULTURA 4.0. *Gente Clave*, 9(2), 78-84. <https://doi.org/10.65050/rgc.v9n2a7>
- Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm. *Sensors*, 22(2), 498. <https://doi.org/10.3390/s22020498>
- Nautiyal, M., Joshi, S., Hussain, I., Rawat, H., Joshi, A., Saini, A., Kapoor, R., Verma, H., Nautiyal, A., Chikara, A., Ahmad, W., & Kumar, S. (2025). Revolutionizing agriculture: A comprehensive review on artificial intelligence applications in enhancing properties of agricultural produce. *Food Chemistry: X*, 29, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102748>

- Nilloofar, P., Francis, D. P., Lazarova-Molnar, S., Vulpe, A., Vochin, M.-C., Suci, G., Balanescu, M., Anestis, V., & Bartzanas, T. (2021). Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and greenhouse gas emissions: Overview and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106406. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106406>
- Panotra, N., Deepika, R. B., Roy, P., Singh, Y., Sinha, S., Choudhary, N., Choudhary, B., Gangwar, A., Mohanty, L. K., & Gopal, R. (2025). Advances in Precision Agriculture: A Review of Technologies, Applications and Future Prospects. *Archives of Current Research International*, 25(8), 722-737. <https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i81454>
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Riveros Burgos, C. (2023). Transformación digital en la agricultura: Superando las brechas para una producción eficiente. *Idesia (Arica)*, 41(2), 3-4. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292023000200003>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Shahab, H., Naeem, M., Iqbal, M., Aqeel, M., & Ullah, S. S. (2025). IoT-driven smart agricultural technology for real-time soil and crop optimization. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>
- Singh, K. A., Patra, F., Ghosh, T., Mahnot, N. K., Dutta, H., & Duary, R. K. (2025). Advancing food systems with industry 5.0: A systematic review of smart technologies, sustainability, and resource optimization.

- Sustainable Futures, 9, 100694.
<https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100694>
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136.
<https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- Sistemas y políticas de innovación para el sector agropecuario en América Latina. (2019). E-Papers.
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherio, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 24(8), 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
- Taj, I., & Zaman, N. (2022). Towards Industrial Revolution 5.0 and Explainable Artificial Intelligence: Challenges and Opportunities. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 12(1), 285-310.
<https://doi.org/10.12785/ijcds/120124>
- Tan, J., Hou, J., Xu, W., Zheng, H., Gu, S., Zhou, Y., Qi, L., & Ma, R. (2023). PosNet: Estimating lettuce fresh weight in plant factory based on oblique image. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108263.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108263>
- The state of food and agriculture. 2020, Overcoming water challenges in agriculture. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Toledo, V. M., & Barrera Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: La importancia ecológica de la sabidurías tradicionales. Icaria Editorial.
- Tovar-Quiroz, A. D. (2023). Agricultura 4.0: Uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2).
<https://doi.org/10.23850/22565035.5536>
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Van Eeckhout, J., Dimic, M., & Angulo, C. (2025). Agrixel. AI-Based Service Standard for Agricultural Data in Agri-Food Use Cases. En K. Trejo, I. Aguiló, J. V. Riera, & J. Pascual (Eds.), *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/FAIA250589>

Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. (2020). FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1441es>

Zhang, C., Walters, D., & Kovacs, J. M. (2014). Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests– A Case Study in Northeastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, 9(11), e112894. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112894>



Maritza Aguirre-Munizaga

Maritza Aguirre-Munizaga es ingeniera en Sistemas Computacionales, magíster en Análisis y Visualización de Datos Masivos y máster en Tecnologías de la Información y la Comunicación Aplicadas a la Educación. Se desempeña como docente e investigadora en la carrera de Computación de la Universidad Agraria del Ecuador.

Su trayectoria académica se orienta a la inteligencia artificial, ciencia de datos, sistemas de información, transformación digital y aplicación de tecnologías computacionales en los ámbitos educativo y agropecuario. Ha participado en proyectos de investigación, publicaciones científicas y procesos de innovación relacionados con el análisis predictivo, la gestión de datos, la agricultura inteligente y el desarrollo de sistemas para apoyar la toma de decisiones.

En la presente obra aporta una perspectiva tecnológica sobre los sistemas de información agropecuarios, la agricultura basada en datos, la inteligencia artificial, los sistemas de soporte a decisiones y el uso sostenible de los recursos productivos.



Cecilia Valle-Lituma

Cecilia Valle-Lituma es autora y académica vinculada a la Universidad Agraria del Ecuador. Su participación en actividades de investigación se relaciona con el análisis de los procesos productivos agropecuarios, agroindustriales, manejo y control en Postcosecha y la incorporación de herramientas tecnológicas orientadas a mejorar la gestión, sostenibilidad y toma de decisiones en el sector agrícola.

Como coautora de esta obra, contribuye al estudio de los sistemas de información aplicados al sector agropecuario, considerando áreas como la agricultura de precisión, el monitoreo de variables productivas, la innovación tecnológica y el aprovechamiento de datos para el fortalecimiento de los sistemas agrícolas.

Su trabajo promueve la integración de conocimientos técnicos, científicos y tecnológicos para responder a los retos actuales del sector agropecuario y favorecer el desarrollo de soluciones adaptadas al contexto ecuatoriano.



Ahmed El Salous

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

Ha impartido cátedra tanto dentro como fuera del Ecuador y participa activamente como docente en programas de posgrado. Asimismo, ha dirigido y tutorizado un elevado número de investigaciones en los niveles de pregrado, maestría y doctorado, contribuyendo de manera significativa a la formación de nuevos profesionales e investigadores.

Su producción académica incluye numerosas publicaciones científicas, entre ellas artículos en revistas de alto impacto, libros y capítulos de libros. Además, ha participado como ponente y asistente en diversos eventos científicos nacionales e internacionales, consolidando su experiencia, prestigio y reconocimiento en el ámbito académico y científico.

ISBN: 978-9942-53-193-3



Compás
capacitación e investigación