

Tecnologías en la gestión de calidad para fortalecer la cadena de suministros en la agricultura: Breve revisión de la literatura

Technologies in quality management to strengthen the supply chain in agriculture: A brief review of the literature

*Ximena Y., Díaz Ramírez¹ 

¹Universidad Nacional de Trujillo - Escuela de Posgrado.

Recibido: Noviembre, 2025 / Aceptado: Noviembre, 2025 / Publicado: Diciembre 2025

RESUMEN

Este artículo analiza las tecnologías en la cadena de suministros en la agricultura, siendo esencial en la mejora y competitividad asegurando la sostenibilidad de los cultivos, y necesaria para garantizar una producción agrícola segura y de calidad. La cadena de suministros está experimentando cambios significativos con la integración de diversas tecnologías innovadoras. Estas herramientas no sólo optimizan los procesos, sino que también promueven la sostenibilidad y una mejor rentabilidad en los agricultores. Las innovaciones en la agricultura están creciendo hoy en día gracias a la agricultura 4.0 y la agricultura de precisión o tecnologías emergentes, esenciales para el progreso tecnológico como la inteligencia artificial (IA), cadena de bloques (blockchain), big data (BD), internet de las cosas (IoT), drones y satélites, automatización y robótica. Estas innovaciones tecnológicas son beneficiosas para la eficiencia en la automatización de procesos, de los productos agrícolas que permiten una reducción de tiempos y recursos, mejoran la trazabilidad ya que se puede seguir los productos desde el campo hasta el consumidor final, garantizando la calidad y seguridad alimentaria.

Palabras clave: *Gestión de calidad, cadena de suministros, agricultura, tecnologías, agricultura 4.0, trazabilidad.*

ABSTRACT

This article analyses the technologies in the agricultural supply chain, which are essential for improving competitiveness by ensuring the sustainability of crops and necessary to guarantee safe and quality agricultural production. The supply chain is undergoing significant changes with the integration of various innovate technologies. These tools not only optimize processes, but also promote sustainability and better profitability for farmers. Innovations in agriculture are growing today thanks to agriculture 4.0 and precision agriculture or emerging technologies, essential for technological progress such as artificial intelligence (AI), blockchain, big data (BD), internet of things (IoT), drones and satellites, automation and robotics. These technological innovations are beneficial for the efficiency in the automation of processes, of agricultural products that allow a reduction in time and resources, improve traceability since products can be followed from the field to the final consumer, guaranteeing quality and food safety.

Keywords: *Quality management, supply chain, agriculture, technologies, agricultura 4.0, traceability.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta desafíos crecientes en términos de calidad, eficiencia y sostenibilidad a lo largo de la cadena de suministros. La creciente demanda de productos agrícolas inocuos, trazables y productos de manera responsable ha impulsado la adopción de tecnologías digitales para mejorar la gestión de calidad desde el campo hasta el consumidor final (Ben-Dayaa et. al., 2020).

La cadena de suministros de cultivos agrícolas enfrenta actualmente desafíos significativos, especialmente en lo relacionado con la gestión de la calidad de sus procesos y operaciones logísticas. En los últimos años, el interés por las cadenas de valor ha ido en aumento, impulsado por consumidores cada vez más conscientes y exigentes respecto al origen de los alimentos y las prácticas utilizadas en su producción. Esta creciente preocupación ha motivado a muchas empresas del sector agrícola a adoptar enfoques orientados a la sostenibilidad y la transparencia a lo largo de toda la cadena. En este escenario, la Agricultura 4.0 se presenta como una estrategia fundamental para responder a estas nuevas demandas. Gracias al uso de tecnologías avanzadas, esta nueva forma de agricultura no solo facilita una producción más eficiente, sino que también contribuye a la reducción de pérdidas, la optimización del uso de recursos y una gestión más inteligente de los procesos productivos. Así, la Agricultura 4.0 se posiciona como una herramienta clave para avanzar hacia un modelo agrícola más sostenible y competitivo (Nikolić et al., 2021; Petrescu et al., 2020; Fontoura & Coelho, 2022; Akyazi, et al., 2020; Banco Mundial, 2019).

Las nuevas tecnologías las cuales utilizan gran cantidad de información se han convertido en un pilar importante en diversas áreas de la agricultura. Ayudando en diversas tareas de la cadena de suministros como: en la verificación de la calidad de las semillas, en el seguimiento del mercado y establecimiento en redes de distribución. Estas tecnologías optimizan las prácticas agrícolas, desde los métodos agrícolas hasta técnicas de riego, y métodos de cosecha (Albaaji & Chandra, 2023; Chandra, 2023; Tewari et al., 2020; Abioye & col., 2022). La IA ayuda al análisis en la agricultura en la toma de decisiones. Ayudando a los agricultores a optimizar tiempos como siembra, predecir rendimientos, gestionar futuros riesgos (Kırkaya, 2020; Vimodkar et al., 2020).

La gestión de calidad, es un sistema que ha evolucionado con el tiempo, teniendo enfoques de satisfacción para sus consumidores y usuarios; y que supera los enfoques iniciales de control de calidad, inspección, y aseguramiento. Siendo también un mecanismo de planeación, de la calidad de las empresas, a su vez debe estar ligado a una responsabilidad social que genere mejoras sociales generando retos y oportunidades para las empresas, creando estrategias que generen mejoras en su competitividad en el mercado (Amaya et al., 2020; Hernández et al., 2018; Blanco-Ariza et al., 2020; Araujo et al., 2020).

La calidad se evalúa en función de las diferentes percepciones de los consumidores, ya sea un bien o servicio. Es clave para entender las necesidades de los consumidores. Hablar de calidad es considerar un servicio para la satisfacción de necesidades, asumiendo un servicio de intercambio entre empresas y clientes (Loranca-Valle et al., 2019; Hernández, Barrios & Martínez, 2018; Blanco & Font, 2021).

Es por eso que; existen diversas áreas claves que contribuyen a la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad del sector, incrementando la productividad con las tecnologías avanzadas, reduciendo costos, permitiendo un monitoreo efectivo del uso de recursos naturales, aumentando la gestión y reducción de pérdidas, anticipándose a los problemas, ayudando a tomar medidas preventivas, teniendo acceso a mercados más amplios, y permitiendo a los agricultores comercializar sus productos.

Diversas investigaciones han abordado la incorporación de tecnologías en los procesos agrícolas, particularmente aquellas orientadas a mejorar la gestión de calidad y fortalecer la cadena de suministros. Estos trabajos evidencian un creciente interés por optimizar la trazabilidad, eficiencia logística y la sostenibilidad en los sistemas agroalimentarios.

Estudios como los de Ben-Dayaa et. al. (2020) han analizado el impacto del uso de tecnologías como sensores IoT, blockchain y sistemas de información en la mejora del control de calidad y la transparencia en las cadenas de valor agrícola. Otros autores como Xu (2022), se han centrado en la implementación de estándares de calidad y certificaciones apoyadas por herramientas digitales para mejorar la competitividad del sector agrícola.

La existencia de estos trabajos demuestra que el tema ha sido objeto de análisis en distintos contextos, sin embargo, aún existen vacíos específicos respecto al enfoque integrado entre tecnología, gestión de calidad y cadena de suministros en determinados cultivos o regiones. En ese sentido, el presente estudio busca aportar a este campo desde una perspectiva innovadora y contextualizada.

En este contexto, el propósito del artículo es analizar desde la revisión de literatura existente, como el uso de las tecnologías avanzadas, permite optimizar recursos, aumentar la sostenibilidad de los procesos, y mejorar la trazabilidad de los productos desarrollando sistemas que permitan rastrear el origen del producto asegurando transparencia en la cadena de suministros, automatizando los procesos y recopilando datos en tiempo real, a su vez la adopción de la agricultura 4.0 incorpora tecnologías para mejorar la toma de decisiones, promoviendo la capacitación continua a agricultores, reduciendo el impacto ambiental, reduciendo recursos naturales y las emisiones asociadas a prácticas agrícolas tradicionales

METODOLOGÍA

Análisis Bibliométrico de la data

Las búsquedas se realizaron de manera mixta con enfoque bibliométrico y una revisión de literatura (Bibliométrico – Review). Obteniendo los datos de la base de datos Scopus, incluyendo algunas limitaciones (palabras claves, años, área temática e idioma). Para la obtención de información se emplearon las palabras “technologies”, “supply chain”, “agriculture”, también se utilizó el operador booleano (AND) (Figura 1).

La búsqueda dio como resultado 263 documentos clasificándolos de la siguiente manera: 105 artículos, 69 review, 58 capítulos de libros, 19 documentos de conferencia, 7 libros, 2 retracted, 2 erratum y 1 breve encuesta. De los cuales solo se utilizaron 15 documentos para la redacción del artículo (Diagrama 1).

La data obtenida de la búsqueda se importó en formato CSV y se analizaron mediante el software de análisis bibliométrico VOSviewer, lográndose identificar las palabras claves con más ocurrencia, tomándose en cuenta para la revisión y reducción de literatura (Figura 2). Los datos recopilados en la base fueron procesados mediante el software VOSviewer (versión 1.6.20).

La recolección de datos de esta revisión es de 263 documentos sobre tecnologías en la cadena de suministros en agricultura, filtrando los años del 2022 al 2025, escritos en inglés. En el 2022 (68 documentos encontrados), 2023 (75 documentos encontrados), 2024 (112 documentos encontrados) y 2025 (8 documentos encontrados)

Figura N°01:

Palabra claves y operador booleano utilizados en la búsqueda

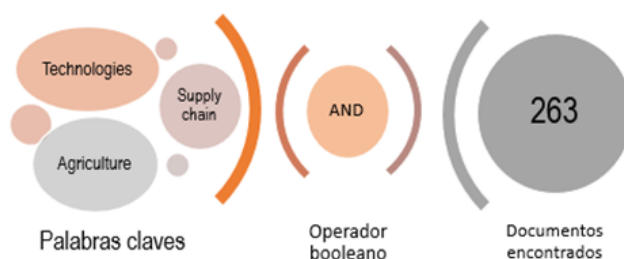


Diagrama N°01:

Flujograma prisma

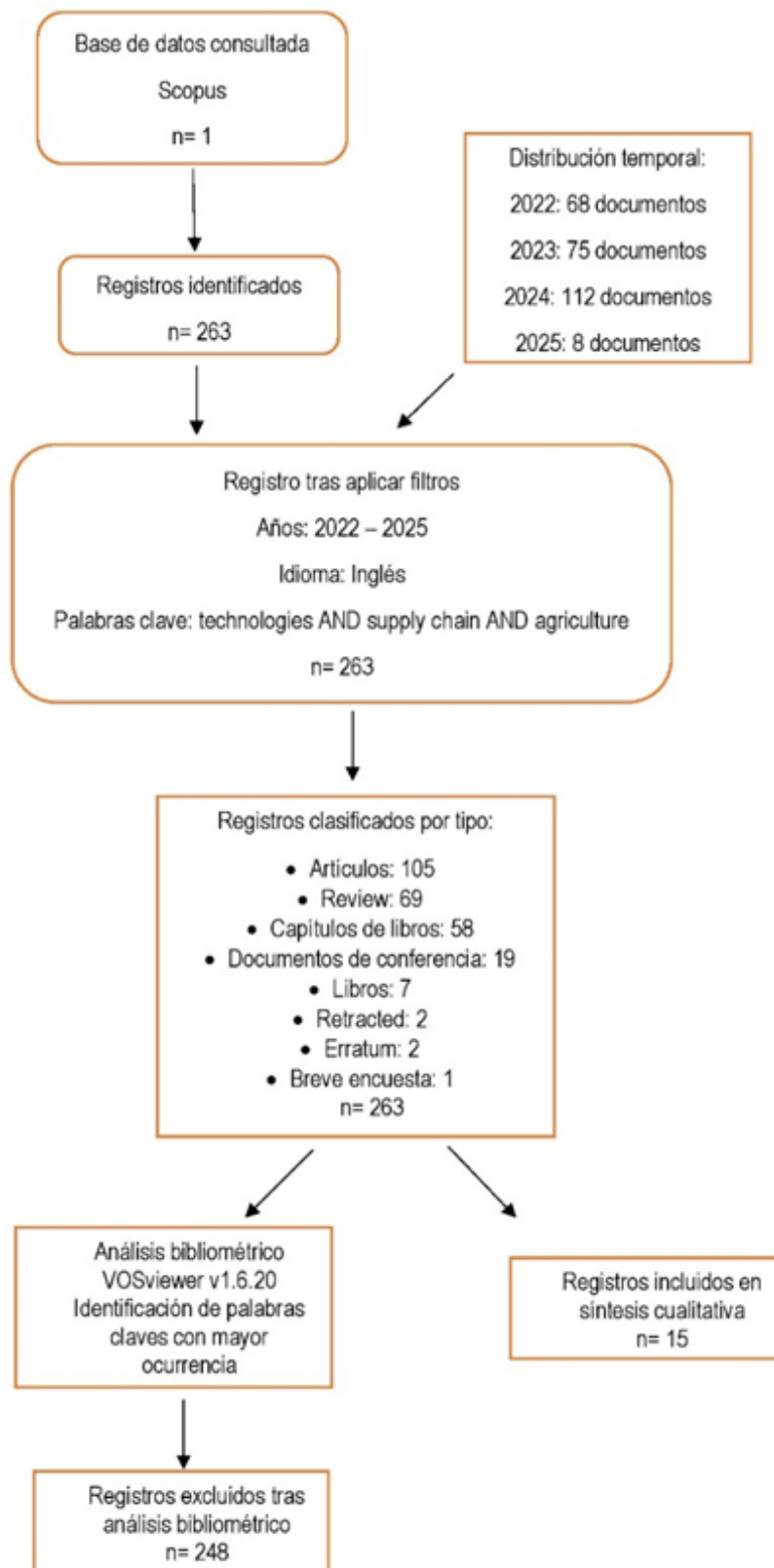
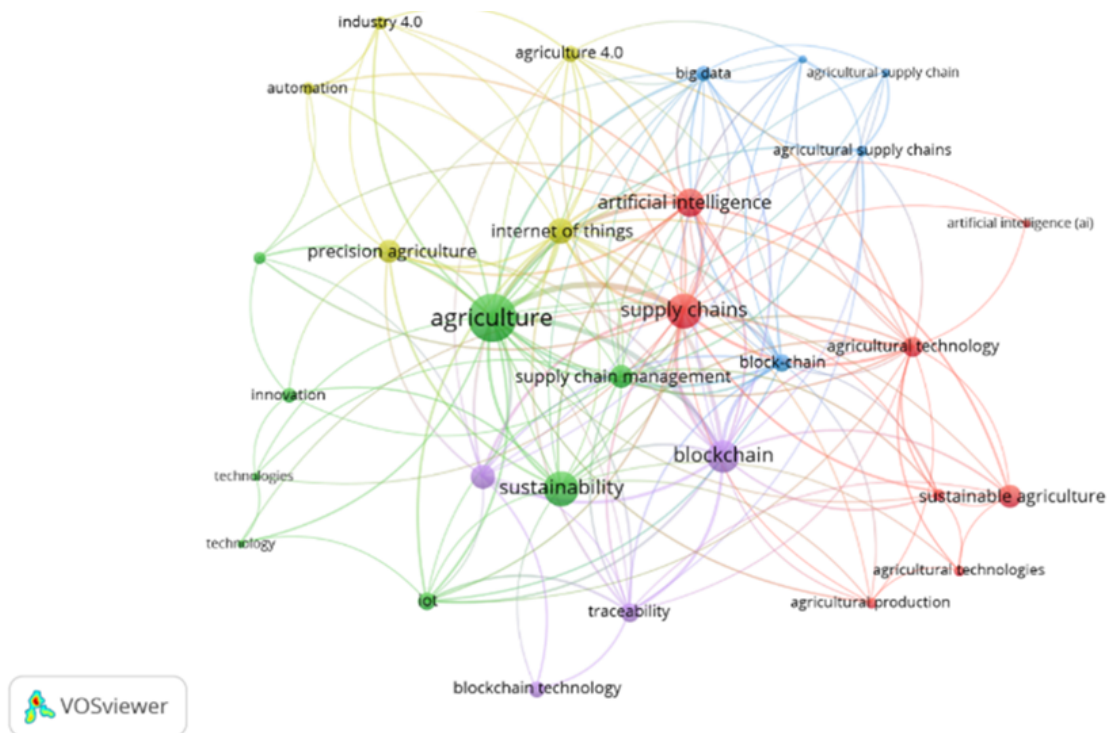


Figura N°02:*Software VOSviewer – Co – ocurrence - Keywords***Agricultura 4.0**

Lleva consigo muchos beneficios, para mejorar la producción, reducir costos de producción y garantizar una agricultura de precisión (Figura 3). La adopción de la agricultura 4.0, lleva expandiéndose, algunos países en desarrollo tienen limitaciones por falta de fondos, tecnologías, habilidades y políticas modernas de comunicación, información y automatización para gestionar la producción y distribución para obtener una mejor producción, productividad y calidad de productos agrícolas; teniendo como resultado costos reducidos en la producción (Kumar et al., 2021; Santos Valle & Kienzle, 2020; Silveira et al., 2023; Alam et al., 2023; Costa et al., 2023).

Figura N°03:*Agricultura 4.0*

Estos avances involucran diversas tecnologías que abarcan la agricultura 4.0, Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), Cadena de bloques (blockchain), Big Data (BD), y uso de drones y satélites (Silveira et al., 2021).

La categorización del uso de tecnologías avanzadas en la cadena de suministros consta de tres etapas (Figura 4): Pre-campo, utiliza tecnologías en actividades antes de comenzar la producción agrícola como la calidad de semillas, desarrollo genético, toma de decisiones sobre los tipos de cultivos en una determinada área. En el campo, la tecnología se utiliza durante la producción agrícola como es la siembra, riego y cosecha. Post-campo, se utilizan tecnologías para el transporte, almacenamiento, empaque, procesamiento y distribución ya sea en fábricas y tiendas (Abbasi et al., 2022)

Figura N°04:

Etapas en la cadena de suministro



Tecnologías emergentes – Agricultura de precisión

La integración de estas tecnologías en la agricultura moderna ofrece un enfoque holístico, lo que sugiere que una combinación estratégica puede ser la clave para maximizar los beneficios en el campo agrícola.

Inteligencia Artificial (IA)

El empleo de la IA en la trazabilidad está relacionada a la visión artificial y la eficiencia de la cadena, siendo más rentable reduciendo el desperdicio de los cultivos y una mejora en la eficiencia. La cadena de suministros de cultivos agrícolas ayuda a dar soluciones de trazabilidad para la reducción de desperdicios, mejorar el rendimiento, certificaciones, cumplir con legislaciones, reducir costos y reducir gastos. En la agricultura, los agricultores se benefician de aplicaciones de IA para gestionar las diversas etapas de los cultivos, tener un control de los nutrientes necesarios y el rendimiento del producto (Lamberty & Kreyenschmidt, 2022; Hassoun & Abdullah, et al., 2022; Sharma et al., 2023). En la Tabla

1, muestra algunas investigaciones donde se aplicaron la IA.

Tabla N°01:
Investigaciones con aplicaciones IA

Investigaciones con aplicaciones de IA				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de IA	Autor
Prediction of Blueberry (Vaccinium corymbosum L.) Yield Based on Artificial Intelligence Methods.	MDPI – Agriculture (2024).	Predicción de rendimiento mediante IA (XGBoost, redes, BD y drones.	Se utilizaron métodos como XGBoost y redes neuronales para predecir rendimiento, mejorando la toma de decisiones en la etapa del cultivo.	(Wu et. al., 2024).
Improvement of blueberry freshness prediction based on machine learning and multi-source sensing in the cold chain logistics.	Food Control (Elsevier, 2022).	Modelado del frescor post-cosecha en cadena de frío, IoT.	Modelos como SVM, ANN y ELM predicen el estado de frescura durante la logística, usando sensores ambientales y de gas.	(Liu et. al., 2022).
Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss	ResearchGate	Pronóstico de pérdida de peso (calidad) en cadena de suministro	Modelo de regresión potenciada aplicado a pérdida de peso del arándano, uso de SHAP para interpretación	(Granados & Zúñiga, 2023)
From farm to market: Research progress and application prospects of artificial intelligence in the frozen fruits and vegetables supply chain	Trends in Food Science & Tech (2024)	Revisión IA en cadena de valor de productos congelados	Revisión del uso de IA en logística, trazabilidad, control de calidad y visión artificial para frutas congeladas (incluyendo arándano)	(Zhang et. al., 2024)
Accurate Crop Yield Estimation of Blueberries using Deep Learning and Smart Drones	ArXiv (2025)	Estimación de rendimiento mediante drones	Utilizan drones con cámaras + modelo YOLO-DL para conteo de arbustos y frutos, generando mapas de rendimiento y optimizando muestreo en campo	(Nguyen et. al., 2025)

Internet de las cosas (IoT)

Las aplicaciones de IoT en los cultivos agrícolas, ayuda a mejorar la seguridad de frutas y verduras en las evaluaciones de la calidad (Kanmani et al., 2020). Todas las aplicaciones ayudan a optimizar las operaciones del proceso de cultivo, como cosecha, distribución de frutas y verduras, así como el cumplimiento de las normas alimentarias. Los actores y los

consumidores valoran cada vez está trazabilidad, pudiendo respaldar el registro de datos y compartirlos con los clientes o proveedores interesados.

La trazabilidad en la cadena de suministros a menudo no cubre todo el proceso (Tagarakis et al., 2021) es por ello que los diferentes autores desarrollan nuevos sistemas basados en IoT (AgroTRACE) para el monitoreo de la calidad de cultivos agrícolas en toda la cadena de suministros y mejorar la trazabilidad.

Las tecnologías se implementan en diversas etapas, desde el nivel de campo hasta el consumidor y de regreso al campo, lo que aporta valor agregado a las cadenas de suministro. El IoT también puede utilizarse con tecnologías de la industria 4.0 para seguir mejorando la trazabilidad (Li et al., 2021; Balamurugan et al., 2021). En la Tabla 2, muestra algunas investigaciones donde se aplicaron IoT (Internet de las cosas).

Tabla N°02:

Investigaciones con aplicaciones de Internet de las cosas (IoT)

Investigaciones con aplicaciones del IoT (Internet de las cosas)				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de IoT	Autor
Virtual Cold Chain Method with Comprehensive Evaluation to Reveal the Effects of Temperature Abuse on Blueberry Quality	MDPI – Foods (2024)	Simulación de cadena de frío con sensores IoT	Colocan sensores de T° y H° para capturar datos en tiempo real durante el transporte; los datos se analizan para predecir deterioro y optimizar rutas y refrigeración	(Li et. al., 2023)
Integration of Internet of Things and Machine Learning for Logistics 4.0 of Fresh Mango Agroindustry	Tesis (Indonesia) (2023)	IoT + ML en logística móvil	Dispositivo IoT registran condiciones ambientales (T°, H°) durante transporte	(Anónimo, 2023)
Design and deployment of a practical IoT based monitoring system for protected cultivations	Computers and Electronics in Agriculture (2022)	Monitoreo / control climático en invernaderos	Sensores (T°, H°, luz, CO2) conectados via NB-IoT con edge-computing	(Chen et. al., 2022)

Big Data (BD)

Se generan en la cadena de suministros, siendo el Big Data Analytics (BDA) sea más eficiente y óptimo en las operaciones, facilitando el seguimiento y el análisis de los clientes, reduciendo tiempo, costos. Siendo utilizada en combinación con otras tecnologías (blockchain, IoT) para dar alerta a riesgos en la cadena de suministros (Jin et al., 2020; Marvin et al., 2017; Talari et al., 2021).

La Big Data en combinación con la IA e IoT, podría desarrollar muchas aplicaciones en agricultura inteligente y agricultura de precisión (Misra et al., 2022). En la Tabla 3, muestra algunas investigaciones donde se aplicaron BD (Big Data)

Tabla N°03:

Investigaciones con aplicaciones de Big Data (BD)

Investigaciones con aplicaciones de BD (Big Data)				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de BD	Autor
Application of big data technology in agricultural Internet of Things	International Journal of Agricultural & Environmental Informatics (2019)	Plataforma IoT + BD para control de calidad	Desarrolla sistema IoT (sensores, imágenes, meteorología). Big Data tech (Hadoop, neural nets) ofrece predicción con <1 % de error en calidad y rendimiento	(Zhang & Liu, 2019)
Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review	Agronomy (MDPI) (2023)	Revisión sobre IoT + BD para toma de decisiones	Big Data Analytics procesa datos voluminosos (temperatura, humedad, imágenes satelitales) para optimizar cosecha, riego, protección de cultivos	(Nguyen et. al., 2023)
Blueberries as a Case Study: Improved Measurement of Food Loss & Waste using Trade Data	Agrilinks (blog agro) (2024)	Análisis de pérdida en cadena usando Big Data	Comparar datos de exportación/ importación para estimar pérdidas logísticas (~8 13 %)	(Ilyas, 2024)

Cadena de bloques (blockchain)

En los últimos años la investigación sobre blockchain y la trazabilidad en la cadena de suministros ha aumentado notoriamente (Demestichas et al., 2020).

La cadena de bloques podría garantizar la integridad de las transacciones, lo que podría eliminar la necesidad de terceros para la trazabilidad, mejorando la eficiencia y satisfacción de todas las partes interesadas (Zhang et al., 2022).

Las características del blockchain como la trazabilidad, certificación pueden ayudar a reducir los riesgos de la cadena de suministros siendo favorable (Dua et al., 2022). En la tabla 4, muestra algunas investigaciones donde se aplicaron Cadena de bloques (Blockchain)

Tabla N°04:

Investigaciones con aplicaciones de Cadena de bloques (blockchain)

Investigaciones con aplicaciones de Cadena de bloques (Blockchain)				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de Blockchain	Autor

Blockchain Technology Meets Traceability in Fruit Supply Chain Management: A Systematic Review	Jornal Manajemen dan Organisasi (Indonesia) (2021)	Revisión sistemática de trazabilidad frutícola	Blockchain asegura la integridad y transparencia de datos en toda la cadena del fruto, reduciendo fraudes y fortaleciendo la confianza del consumidor	(Vikaliana et. al., 2021)
The role of information heterogeneity in blockchain based traceability systems: evidence from fresh fruits buyers in China	Int'l Food & Agribusiness Mgmt Review (2023)	Preferencias de consumidores sobre información trazable	Los consumidores valoran datos de test, insumos,	(Zhai et.al., 2023)
Blockchain and IoT enabled container to enhance shipment efficiency for strawberry supply chain	Frontiers (2023)	Integración IoT + blockchain en fresa	Combinan sensores en contenedores con blockchain y Smart contracts para registrar en tiempo real	(Rejeb et.al., 2023)

Drones y satélites

Los drones se han vuelto indispensables en la agricultura moderna, proporcionando una visión más detallada de los campos agrícolas para un monitoreo preciso, ya que cuentan con cámara multispectral, pueden capturar imágenes detalladas de enfermedades, plagas y niveles de suelo, ayudando a crear mapas 3D que permiten una mejora planificación en la siembra y el riego, pueden utilizarse para aplicaciones agroquímicas, donde reduce y minimiza el impacto ambiental.

Las imágenes de satélite son esenciales en la agricultura de precisión, complementando la visión de los drones. Contribuyendo al seguimiento de grandes áreas de extensión agrícola, proporciona imágenes regulares, permitiendo la evolución continua de los cultivos a largo plazo (Farmonaut, 2024). En la Tabla 5, muestra algunas investigaciones donde se aplicaron Drones y satélites.

Tabla N°05:

Investigaciones con aplicaciones de Drones y Satélites

Investigaciones con aplicaciones de Drones y satélites				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de Drones y Satélites	Autor
Accurate Crop Yield Estimation of Blueberries using Deep Learning and Smart Drones	ArXiv (2025)	Estimación de rendimiento mediante drones + DL	Se usan drones equipados con cámaras controladas por modelos YOLO para detectar arbustos y bayas, obteniendo conteos precisos, mapeo de rendimiento	(Nguyen et.al., 2025)

Computer Vision System for Wild Blueberry Fruit Yield Mapping	Biosystems Engineering (Elsevier) (2010)	Mapeo de rendimiento en campo	Vehículo equipado con cámara + GPS genera mapas de rendimiento en campo mediante conteo de píxeles azules	(Swain et.al., 2010)
Remote estimation of leaf nitrogen content, leaf area, and berry yield in wild blueberries	Frontiers in Remote Sensing (2024)	Estimación remota de nitrógeno, área foliar y rendimiento	Se usan sensores RGB, multiespectrales y térmicos montados en drones para calcular índices vegetacionales	(Anku et. al., 2024)
Uso de sensor multiespectral en arándano Vaccinium corymbosum L. y sus aplicaciones	Tesis, La Molina (Perú) (2023)	Diagnóstico de estrés vegetal con NDVI	Utiliza dron con cámara multiespectral, detecta estrés hídrico/enfermedades y permite ajustar fertilización y aplicaciones fitosanitarias por zonas	(Acuña, 2023)

Automatización

La automatización está transformando la agricultura moderna, abordando desafíos como la escasez de mano de obra, alta demanda de alimentos y la necesidad de prácticas más sostenibles. Los beneficios de la automatización consisten en una eficiencia mejorada siendo la robótica quien permite realizar tareas repetitivas con mayor rapidez y precisión, reduce el uso de insumos, como la aplicación precisa de agroquímicos, recopila y analiza volúmenes de datos permitiendo que los agricultores tomen decisiones del manejo agrícola (Martín, 2024). En la Tabla 6, muestra algunas investigaciones donde se aplicó Automatización.

Tabla N°06:
Investigaciones con aplicaciones de Automatización

Investigaciones con aplicaciones de Automatización				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de Automatización	Autor
Study on Predicting Blueberry Hardness from Images for Adjusting Mechanical Gripper Force	Agriculture (MDPI) (2024)	Ajuste dinámico de fuerza de agarre según firmeza	Desde imágenes se predice dureza con modelos optimizados, el robot ajusta su fuerza para evitar daños en fruto blando	(Hu et.al., 2024)
Maf Roda: AI-sorting and multi-format filler for blueberry lines	Postharvest. biz (2025)	Clasificación y envasado automatizado con IA	BerryQS con IA permite ajuste de calidad en tiempo real y multi-formato de envasado, simplificando operación diaria	(MAF RODA, 2025)
Forager Mk.1: Robótico colaborativo para blueberry	Forager Automation (web) (2024)	Robot autónomo para cosecha y pulverización	Cosecha, pulverización y mapeo de madurez, integrando visión y automatización	(Forager, 2024)

Robótica

En las innovaciones en robótica agrícola están los tractores autónomos, los cuales están equipados con GPS, pueden arar, sembrar y cosechar; robots cosechadores, están diseñados para recolectar cultivos optimizando el tiempo y reduciendo desperdicios; los sistemas de riego automatizados, están basados en datos meteorológicos y sensores de suelo, garantizando que los cultivos reciban adecuada agua contribuyendo la conservación del recurso hídrico; los robots colaborativos, son utilizados en tareas como injertos, integran inteligencia artificial para optimizar las operaciones agrícolas mediante datos predictivos (Martín, 2024). En la Tabla 7, muestra algunas investigaciones donde se aplicó Robótica.

Tabla N°07:

Investigaciones con aplicaciones de Robótica

Investigaciones con aplicaciones de Robótica				
Investigación / Artículo	Revista / Fuente	Tema principal	Uso de Robótica	Autoras
Three-Dimensional Spatial Perception of Blueberry Fruits Based on Improved YOLOv11 Network	Agronomy (MDPI) (2025)	Percepción 3D para cosecha	Estimar posición/peso de bayas con ± 7.2 mm, guiando brazos robóticos para agarrar bayas sin dañarlas	(Qingdao, 2025)
The Identification, Separation, and Clamp Function of an Intelligent Flexible Blueberry Picking Robot	Processes (MDPI) (2024)	Robot flexible de cosecha	Detecta madurez, separa bayas con módulo de succión y agarre adaptativo (~92 % libres de daños) con velocidad 0.12 s	(Wang et.al., 2024)
Deep learning supported machine vision system... harvester header	PMC Postharvest Biol. Technol.) (2023)	Automación de altura del cabezal	Reduce estrés del operario y mejora precisión de recolección	(Kumar et.al., 2023)
Research on the Jet Distance Enhancement Device for Blueberry Harvesting Robots	MDPI (2021)	Separación de bayas para robot	Añaden chorro de aire calibrado para separar bayas maduras del racimo antes del agarre	(Li et.al., 2022)

Tabla N°08:

Comparativo entre tecnologías emergentes – Agricultura de precisión

Cuadro comparativo de Tecnologías emergentes – Agricultura de precisión					
Tecnología	Descripción	Aplicaciones en Agricultura	Ventajas	Desventajas	Autores
Inteligencia Artificial (IA)	Sistemas que simulan la inteligencia humana para procesar datos y tomar decisiones.	Análisis predictivo, optimización del uso de recursos.	Eficiencia y reducción de costo operativos.	Necesita grandes volúmenes de datos y entrenamiento.	(Sharma et al., 2023)

Internet de las Cosas (IoT)	Red de dispositivos interconectados que recopilan y comparten datos en tiempo real.	Sensores para monitorear condiciones del suelo y clima.	Datos en tiempo real, mejora en la toma de decisiones.	Vulnerabilidades de seguridad y privacidad.	(Li et al., 2021)
Big Data	Conjuntos masivos de datos que requieren procesamiento avanzado para extraer información útil.	Análisis de tendencias agrícolas, gestión de riesgos.	Basadas en datos precisos, tomando decisiones	Complejidad en el manejo y análisis de datos.	(Misra et al.,2022)
Blockchain	Tecnología de registro descentralizado que asegura la transparencia y trazabilidad de datos.	Seguimiento de la cadena de suministro, contratos inteligentes.	Aumenta la confianza y reduce fraudes.	Requiere infraestructura técnica y adopción general.	(Dua et al., 2022)
Drones	Vehículos aéreos no tripulados que realizan vuelos automatizados.	Monitoreo de cultivos, mapeo, aplicación de insumos.	Alta resolución de imágenes, flexibilidad operativa.	Limitados a áreas pequeñas, costo operativo elevado.	(Farmonaut, 2024)
Satélites	Dispositivos en órbita que capturan datos a gran escala.	Monitoreo de grandes extensiones, análisis climático.	Cobertura amplia, datos históricos accesibles.	Resolución de imagen moderada, dependientes del clima.	(Martín, 2024)
Automatización y Robótica	Uso de máquinas y sistemas automáticos para la realización de tareas agrícolas.	Cosecha automática, siembra, riego inteligente.	Aumenta la productividad y reduce costos laborales.	Costos iniciales altos, necesidad de capacitación técnica.	(Martín, 2024)

Experiencias de implementación

Diversas empresas peruanas y multinacionales han desarrollado importantes iniciativas enfocadas en sostenibilidad ambiental, bienestar social y tecnologías innovadoras en el sector agrícola, como se muestra en el Cuadro 9. En este contexto, la incorporación de tecnologías innovadoras ha emergido como una herramienta clave para enfrentar desafíos asociados a cambio climático, escasez de recursos hídricos, degradación de suelo y la competitividad en los mercados globales (FAO, 2021).

En el caso de Perú, empresas emergentes como Space AG y AGROS han demostrado cómo la tecnología puede ser aplicada en beneficio de la agricultura sostenible. Space AG ha desarrollado soluciones de monitoreo agrícola basadas en drones, imágenes satelitales e inteligencia artificial, lo que permite optimizar el uso del agua, prevenir plagas y adaptarse a fenómenos climáticos como El Niño (ProInnovate, 2023). Por su parte, AGROS promueve la inclusión financiera y digital de pequeños agricultores rurales mediante el uso de plataformas móviles que les otorgan identidad digital, acceso a créditos y vinculación directa con mercados (AGROS, 2023).

Asimismo, experiencias comunitarias como la de la Cooperativa Valles del Café en Cajamarca destacan por sus prácticas sostenibles de riego tecnificado con aguas mieles, alcanzando una reutilización del 90 % del agua empleada en el cultivo de café, lo que representa un modelo exitoso de economía circular y resiliencia hídrica en zonas altoandinas (Ministerio del Ambiente, 2022). A nivel empresarial, Olam Agri ha desarrollado un programa de producción orgánica certificada en la cadena de valor de la quinua, con el fin de mejorar la salud del suelo, reducir insumos sintéticos y generar valor agregado para pequeños productores (Olam, 2023).

A nivel global, empresas multinacionales como Bayer, ICL Group, John Deere, AGCO, Índigo Agriculture y Netafim lideran iniciativas orientadas al desarrollo de tecnologías limpias y soluciones agrícolas basadas en ciencia e innovación. Bayer, por ejemplo, ha invertido en la investigación de biotecnología para el desarrollo de semillas más resistentes y en pesticidas biológicos con menor impacto ambiental (Bayer, 2023).

ICL Group promueve el uso de fertilizantes y bioestimulantes ecológicos, mientras que John Deere y AGCO incorporando maquinaria agrícola inteligente equipada con sensores, GPS e inteligencia artificial para una agricultura de precisión que mejora la eficiencia y reduce el uso de recursos (ICL, 2023; John Deere, 2023; AGCO, 2023).

Otra experiencia destacada es la de Índigo Agriculture, que promueve la agricultura regenerativa mediante el uso de microbios en semillas y programas de créditos de carbono para agricultores, integrando así la producción agrícola con mecanismos de financiamiento climático (Índigo, 2023).

Finalmente, Netafim ha revolucionado el riego tecnificado con soluciones de goteo de alta eficiencia, promoviendo el reciclaje de plásticos agrícolas y ofreciendo financiamiento verde a pequeños productores, especialmente en países en desarrollo (Netafim, 2023). Estas experiencias evidencian que la sostenibilidad en la agricultura depende no solo de políticas públicas, sino también de la innovación tecnológica y del compromiso del sector privado en la transformación de los modelos productivos hacia prácticas más resilientes, inclusivas y ambientalmente responsables

Tabla N°09:*Investigaciones con aplicaciones de Robótica*

Empresas líderes a nivel mundial que destacan por su aporte en iniciativas de sostenibilidad y tecnologías innovadoras								
Empresa	Descripción	Ejemplos de Iniciativas	Recursos Esenciales	Bienestar Social	Bienestar Ambiental	Tecnologías Innovadoras	Países donde opera	Autor
Space AG	Agritech peruana que integra drones y satélites	Mapas 3D de cultivos, prevención de fenómenos de El Niño	Drones, satélites, software IA	Protege cultivos, evita pérdidas para agricultores	Optimiza agua y uso de suelo	Teledetección, análisis predictivo	Perú	(Estrada, 2024)
AGROS	Plataforma digital para agricultores rurales	Identidad digital, acceso a mercados y crédito	Plataformas móviles y web	Mejora acceso financiero y comercialización	Reduce brecha rural	Digitalización, agri-fintech	Perú	(Agnos, 2023)
Corporativa Valles del Café (Cajamarca)	Riego tecnificado con aguas mieles	Reutiliza 90% de agua en cultivo de café	Sistemas de fertirriego y aguas mieles	Aumenta ingresos cafetaleros	Ahorro hídrico, mejora el suelo	Ingeniería hidráulica	Perú	(Ministerio del Ambiente, 2022)
Olam Agri	Agronegocios con enfoque orgánico	Programa orgánico en quinua, certificación orgánica	Asistencia técnica, BPA	Apoya a más de 2700 agricultores	Mejora de suelos y certificación sostenible	Buenas prácticas agrícolas	Perú y varios países	(Olam, 2023)
ICL Group	Productos de nutrición de cultivos	Fertilizantes y bioestimulantes ecológicos	Mineral y bio-inputs	Formación a agricultores	Reduce insumos y preserva suelo	Nutrición de precisión	Multinacional	(ICL, 2023)
Bayer	Agrobiotecnología avanzada	Protección de cultivos eco-amigable	Biotechnología, pesticidas verdes	Capacitaciones técnicas	Reduce uso de químicos	Genética vegetal, MIP	Global	(Bayer, 2023)
John Deere	Maquinaria agrícola inteligente	Tractores híbridos/eléctricos, precisión	Equipos GPS, IoT, IA	Facilita trabajo rural	Menor consumo y emisiones	Robótica, sensores	Global	(John Deere, 2023)
AGCO	Soluciones en maquinaria sostenible	Tractores híbridos, precisión	Maquinaria, sensores, IoT	Empleo rural tech	Disminuye combustible y químicos	Electrificación, automatización	Global	(AGCO, 2023)
Índigo Agriculture	Microbios en semillas y agricultura regenerativa	Tratamiento que aumentan rendimiento y resistencia	Microbios, plataforma de carbono	Conecta agricultores con mercados	Programa de créditos de carbono	Bio-inputs, data agrícola	EE.UU., Brasil, Alemania	(Índigo, 2023)
Netafim	Riego por goteo de alta frecuencia	Reciclaje masivo de tubos, financia a pequeños agricultores	Sistemas de riego, reciclaje	Apoya comunidad y preschools	Ahorra agua, reduce plástico	Financiación verde IoT	Global	(Netafim, 2023)

Agricultura 4.0

En la agricultura, la trazabilidad se ha convertido en un componente esencial de la gestión de calidad y un factor estratégico para el fortalecimiento de la cadena de suministro. La trazabilidad permite rastrear y documentar el recorrido de un producto desde su origen (campo) hasta su destino final (consumidor), garantizando transparencia, seguridad alimentaria y cumplimiento normativo. En la Tabla 10, muestra un comparativo de las tecnologías para la trazabilidad.

Importancia

La implementación de sistemas de trazabilidad mejora la capacidad de respuestas ante crisis sanitarias, facilita el retiro de productos contaminados y fortalece la confianza del consumidor. También permite a los productores y distribuidores optimizar sus procesos y reducir pérdidas. Según la FAO (2021), la trazabilidad “no solo ayuda a mejorar la seguridad alimentaria, sino que también pueden aumentar el valor de los productos agrícolas en mercados exigente”.

Tecnologías clave para la trazabilidad

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten mapear parcelas de cultivo, registrar prácticas agrícolas y vincular estos datos al producto final, lo cual facilita el monitoreo y la certificación de origen (Pérez et. al., 2020). Las etiquetas RFID y los códigos QR, permiten el registro automático de movimientos en tiempo real. Estos dispositivos, adheridos a contenedores o empaques, pueden almacenar información como fecha de cosecha, tipo de insumo usado, temperatura de transporte, etc. (MINAGRI, 2023). El uso de blockchain en la trazabilidad ha ganado atención por su capacidad de ofrecer una cadena de datos inviolable. Esto mejora la transparencia, reduce el fraude y asegura la autenticidad del producto (Treiblmaier, 2018). Los sistemas ERP integran procesos de producción, logística, calidad y comercialización, facilitando una trazabilidad integral en tiempo real y desde múltiples puntos de la cadena (Zhang et al., 2020).

Beneficios para la gestión de calidad

La trazabilidad tecnológica impacta directamente en la gestión de calidad al permitir auditorías más eficaces, identificando rápidamente desviaciones en procesos, y cumpliendo con las normativas nacionales e internacionales (GLOGAL G.A.P., USDA Organic, etc.), mejorando el control de uso de agroquímicos y prácticas sostenibles (Pérez et. al., 2020).

Tabla N°10:

Comparativo de Tecnologías para la Trazabilidad en la Gestión de Calidad

Tecnologías para la Trazabilidad en la Gestión de Calidad				
Tecnología	Función principal	Ventajas	Ejemplos	Autores

Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Mapeo de parcelas, registro de prácticas agrícolas y vinculación con el producto final	• Visualización geoespacial • Control de insumos y certificación de origen • Evaluación ambiental	Cultivo de café orgánico en Colombia: trazabilidad desde finca a exportación con mapas SIG	(FAO, 2021; Pérez et. al., 2020)
Etiquetas RFID y código QR	Registro automático de productos y lectura digital de datos	• Seguimiento en tiempo real • Reducción de erros humanos • Acceso a datos desde smartphone	Exportación de arándanos en Perú: códigos QR en cajas que incluyen datos de cosecha y transporte	(MINAGRI, 2023)
Blockchain	Registro descentralizado de cada etapa de la cadena	• Transparencia total • Prevención de fraude • Verificación de autenticidad	Sistema IBM Food Trust usado por Walmart: trazabilidad de productos frescos en EE.UU.	(Treiblmaier, 2018)
Sistemas ERP y plataformas en la nube	Integración de datos de producción, logística y calidad de una sola plataforma digital	• Gestión integral de trazabilidad • Actualización en tiempo real • Escalas en empresas agroexportadoras	Uso de SAP Rural Sourcing Management en cooperativas de cacao en Ghana	(Zhang et. al., 2020)

Beneficios de las Innovaciones Tecnológicas

Eficiencia mejorada

La innovación tecnológica permite a las empresas mejorar sus procesos y la optimización del flujo de trabajo. Siendo el resultado de la reduciendo costos de operación e incrementando la productividad, ya que las herramientas tecnológicas pueden realizar tareas rutinarias más rápidas y con menor margen de error. A su vez facilita una mejor comunicación y colaboración entre equipos, contribuyendo de manera rápida en la toma de decisiones (Newman, 2024).

Sostenibilidad

Juegan un papel crucial, por ejemplo, como es el caso de tecnologías como la energía solar y la gestión eficiente del consumo energético reduciendo la huella de carbono de las empresas y operar de manera responsable con el medio ambiente. Además de la digitalización ayuda a minimizar el uso de recursos físicos, teniendo prácticas más sostenibles en diversas industrias (Newman, 2024).

Mejora de la trazabilidad

La tecnología ha mejorado significativamente la trazabilidad, con el uso de sistemas digitales y herramientas como el blockchain, es posible dar seguimiento a los productos desde el inicio hasta el consumidor final, garantizando transparencia y confianza en los procesos. No solo beneficia a las empresas al optimizar sus operaciones, sino que también proporciona a los consumidores información sobre los productos que adquiere (Newman,2024).

Conexión entre consumidores y productores

Las innovaciones tecnológicas han facilitado una conexión más directa, por el uso de plataformas digitales, permitiendo a los productores comercializar sus productos directamente, eliminando intermediarios y ofreciendo precios más competitivos. Además, estas plataformas ofrecen a los consumidores acceso a una mayor variedad de productos y la posibilidad de interactuar directamente con los productores, lo que fomenta un consumo más consciente (Newman, 2024). En la Tabla 11, muestra los beneficios de las innovaciones tecnológicas con sus respectivas ventajas y desventajas.

Tabla N°11:

Comparativo de los beneficios de las innovaciones tecnológicas

Beneficios de las innovaciones tecnológicas				
Beneficio	Ventajas	Desventajas	Resultados observados	Autores
Eficiencia mejorada	- Reducción de costos operativos - Mayor productividad - Automatización de tareas - Menor margen de error	- Requiere inversión alta - Necesidad de capacitación del personal	- Tareas ejecutadas en menor tiempo - Procesos optimizados - Mejora en la toma de decisiones	(Newman, 2024)
Sostenibilidad	- Reducción de huella de carbono - Ahorro energético - Operaciones responsables con el ambiente	- Costos de implementación de energía renovable - Dependencia tecnológica	- Mejores prácticas ambientales - Mayor eficiencia en el uso de agua y energía	(MINAGRI, 2023)
Mejora de la trazabilidad	- Mayor transparencia en cadena de valor - Garantía de calidad - Reducción de fraude	- Dependencia de sistemas digitales - Riesgos de ciberseguridad	- Información detallada del producto desde origen - Confianza del consumidor	(Treiblmaier, 2018)

Conexión entre productores y consumidores	• Eliminación de intermediarios • Mejores precios • Fomenta el comercio justo y local	• Barreras tecnológicas en zonas rurales • Saturación de plataformas digitales	• Relación directa productor-consumidor • Aumento en ventas directas	(Zhang et. al., 2020)
---	---	--	--	-----------------------

Impacto en la Cadena de Suministros

Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa en la agricultura es crucial para mejorar la rentabilidad y productividad. Una adecuada gestión, está ligada a la rentabilidad de las empresas agroindustriales, además la implementación de tecnologías innovadoras y la práctica sostenible pueden optimizar el uso de recursos que a su vez mejora la eficiencia operativa en toda la cadena (Naranjo, 2023).

Sostenibilidad

Se ha convertido en un objetivo primordial debido a las crecientes preocupaciones ambientales y sociales. La transformación hacia cadenas de suministro más sostenibles implica reducir el impacto ambiental y mejorar la transparencia en las operaciones. El cambio climático y los recursos naturales escasos son factores críticos que afectan la sostenibilidad del sector agrícola. Las prácticas agrícolas responsables y su uso eficiente son esencial para garantizar una economía viable, el bienestar social y ambiental (Naranjo, 2023).

Desafíos y oportunidades

Desafíos Tecnológicos

La agricultura enfrenta múltiples desafíos tecnológicos que impactan su productividad y sostenibilidad. Teniendo una demanda creciente de alimentos con una proyección de población mundial que alcanzaría los 9,7 millones para el 2050, teniendo una demanda de alimentos mayor al 60%, exigiendo una producción agrícola más eficiente y sostenible. La disponibilidad limitada de agua afecta directamente la capacidad de riego, la implementación de tecnologías que optimicen el uso de agua es crucial para mitigar el problema. Las variaciones climáticas generan incertidumbre, ya que afectaría la calidad y cantidad del producto agrícola, es por ello que las tecnologías digitales ayudarían a los agricultores a la adaptación de estas condiciones mediante el análisis de datos climáticos.

La escasez de trabajadores capacitados en el uso de nuevas tecnologías es un reto significativo, con la ayuda de la automatización y robótica pueden ayudar a aliviar la

presión, pero requeriría una inversión inicial y la capacitación adecuada. La adopción de tecnologías innovadoras sería fundamental para mejorar la eficiencia, sin embargo, los pequeños agricultores enfrentan barreras económicas y educativas para acceder a estas herramientas (CEPLAN, 2023; Javaid et. al., 2022; Botta et. al., 2022).

Oportunidades para pequeños agricultores

Apesar de los desafíos, también surgen oportunidades significativas para los pequeños agricultores; como es el caso del acceso a información y recursos, donde las plataformas digitales permitirían el acceso de información sobre precio del mercado a los agricultores, condiciones climáticas y técnicas agrícolas mejorando su toma de decisiones. La agricultura 4.0, integra tecnologías innovadoras de las cuales los pequeños agricultores pueden beneficiarse al aumentar su productividad y reducir costos operativos. La adopción de prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías no solo mejora el rendimiento, sino que abre oportunidades en mercados que valoran productos ecológicos. El financiamiento e inversión en tecnología, existen programas gubernamentales y privadas que ofrecen financiamiento para la adopción de tecnologías agrícolas, facilitando la modernización de prácticas agrícolas entre pequeños productores. La creación de cooperativas o redes entre pequeños agricultores puede potenciar el acceso a tecnologías y recursos compartidos, aumentando su competitividad en el mercado (CEPLAN, 2023; Mohd et. al., 2022; Botta et. al., 2022).

Contribuciones Tecnológicas a los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) en la Agricultura

ODS 2: Hambre cero

La agricultura de precisión utiliza datos de GPS y sensores que optimizan el uso de insumos como agua y fertilizantes, reduce el desperdicio y aumenta el rendimiento de los cultivos. La tecnología permite a los agricultores diversificar sus cultivos, mejorando la calidad alimentaria y reduciendo la dependencia de sistemas globales (Gonzalvo, 2021).

ODS 12: Producción y Consumo responsables

Los sistemas de distribución y técnicas de cosecha eficientes ayudan a minimizar las pérdidas de alimentos en la cadena de suministro. La implementación de blockchain en la cadena permite rastrear el origen y calidad de los productos, promoviendo prácticas responsables y sostenibles (Gonzalvo, 2021).

ODS 13: Acción por el clima

Las tecnologías que promueven la agroforestería y la agricultura regenerativa brindan soporte para la reducción de los gases de efecto invernadero y aumentan la resiliencia

ante eventos climáticos. Los sistemas avanzados que monitorizan condiciones climáticas permiten a los agricultores adaptarse mejor a cambios en el clima, minimizando el impacto negativo (Gonzalvo, 2021).

ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres

Tecnologías que promueven técnicas como la rotación de cultivos y prácticas agroecológicas ayudan a preservar la biodiversidad y mejorando el suelo. La modificación genética permite desarrollar variedades de cultivos resistentes a plagas y enfermedades, lo que reduce la necesidad de agroquímicos dañinos (Gonzalvo, 2021).

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

La adopción de tecnologías mejora la eficiencia y sostenibilidad en la producción agrícola, esto no solo impulsa el rendimiento, sino que también fomenta una economía agrícola. Las inversiones en I+D+i dentro del sector agrícola ayudan a desarrollar soluciones innovadoras que alinean con los ODS, promoviendo un crecimiento sostenible (Gonzalvo, 2021)

Figura N°05:
Contribuciones tecnológicas a los ODS en Agricultura



Tabla N°12:
Comparativo entre las contribuciones tecnológicas a las ODS en Agricultura

Contribuciones tecnológicas a las ODS en la Agricultura				
ODS	Descripción	Contribución Tecnológica	Ejemplos	Autor
ODS 2: Hambre Cero	Erradicar el hambre y asegurar la alimentación nutritiva.	Implementación de técnicas de cosecha eficiente y sistemas de distribución locales.	Uso de drones para monitorear cultivos y optimizar la recolección, reduciendo pérdidas.	(Gonzalvo, 2021)

ODS 12: Producción y Consumo Responsables	Adoptar patrones de producción y consumo sostenibles.	Digitalización y uso de tecnologías como blockchain para mejorar la trazabilidad.	Registro inmutable de datos sobre origen y calidad de productos agrícolas, facilitando la reducción del desperdicio.	(Gonzalvo, 2021)
ODS 13: Acción por el Clima	Enfrentar el cambio climático y sus efectos.	Agricultura de precisión y uso de IoT para optimizar recursos.	Sensores que miden condiciones ambientales, permitiendo un uso más eficiente del agua y fertilizantes.	(Gonzalvo, 2021)
ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres	Preservar, restaurar y fomentar el uso sostenible de ecosistemas.	Prácticas agrícolas sostenibles como la agroforestería.	Integración de árboles en cultivos para mejorar la biodiversidad y capturar carbono.	(Gonzalvo, 2021)
ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura	Construir infraestructuras resilientes y fomentar la innovación.	Investigación en nuevas tecnologías agrícolas como la robótica y biotecnología.	Proyectos que aplican inteligencia artificial para mejorar la eficiencia en la producción agrícola	(Gonzalvo, 2021)

Perspectivas y Aplicaciones futuras

La gestión de calidad en cultivos agrícolas es un proceso integral que implica desde la capacitación del personal hasta el control de los recursos, mejorando la calidad del producto final, y fortaleciendo la sostenibilidad y competitividad en el mercado agrícola.

La cadena de suministros agrícolas es un sistema complejo que requiere una gestión cuidadosa para asegurar su eficacia. A través de la evolución de prácticas sostenibles, el uso de tecnología avanzada y una colaboración entre todos los actores involucrados, es posible mejorar la calidad agrícola de los productos ofrecidos al consumidor final.

Las tecnologías avanzadas en la cadena de suministros no solo optimizan los procesos existentes, establece un nuevo estándar en términos de sostenibilidad y eficiencia. A medida que estas innovaciones continúan desarrollándose, se espera que transformen aún más el sector agrícola, asegurando un futuro más responsable y productivo.

La adopción de estas tecnologías mejora la eficiencia en la cadena de suministros agrícolas, también contribuye a un enfoque más sostenible en la producción alimentaria. Al integrar estas innovaciones, los agricultores pueden enfrentar mejor los desafíos actuales y futuros, garantizando una mayor seguridad alimentaria a nivel global.

Las tecnologías aplicadas en la cadena de suministro agrícola no solo mejoran la eficiencia y productividad, sino que también son esenciales para alcanzar varios ODS. Al integrar prácticas sostenibles y responsables, estas tecnologías contribuyen significativamente a un futuro más equitativo y sostenible en el sector agrícola. Estas estrategias no solo promueven

los recursos naturales, sino que fortalecen el sector agrícola ante desafíos ambientales y sociales.

CONCLUSIONES

La integración de tecnologías avanzadas en la cadena de suministros agrícolas ha transformado significativamente el sector, mejorando la eficiencia, sostenibilidad y transparencia de los productos. Es por eso que la tecnología está redefiniendo la cadena de suministros, fomentando una mayor transparencia y confianza entre productores y consumidores. Estos avances no solo benefician a los agricultores, sino que también contribuyen a un sistema alimentario más robusto y responsable.

REFERENCIAS

- Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry-a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agri*.
- Abioye, E. A., Hensel, O., Esau, T. J., Elijah, O., Abidin, M. S. Z., Ayobami, A. S., Yerima, O., & Nasirahmadi, A. (2022). Precision irrigation management using machine learning and digital farming solutions. *AgriEngineering*, 4(1), 70–103. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010006>
- Acuña H. S. D. (2023). Uso de sensor multiespectral en arándano Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina
- AGROS. (2023). Plataforma para pequeños agricultores. Recuperado de: <https://www.agros.com.pe>
- Akyazi, T., Goti, A., Oyarbide, A., Alberdi, E., & Bayon, F. (2020). A Guide for the Food Industry to Meet the Future Skills Requirements Emerging with Industry 4.0. *Foods*, 9(4), 492. <https://doi.org/10.3390/foods9040492>
- Alam, M.F.B., Tushar, S.R., Zaman, S.M., Gonzalez, E.D.S., Bari, A.M., Karmaker, C.L., (2023). Analysis of the drivers of Agriculture 4.0 implementation in the emerging economies: implications towards sustainability and food security. *Green Technologies and Sustainability*. 1 (2), 100021
- Albaaji, G. F., & SS, V. C. (2023). Artificial intelligence SoS framework for sustainable agricultural production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108182. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108182>
- Amaya, P., Félix, E., Rojas, S., & Díaz, L. (2020). Quality management: a study from its principles. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 632-647. <https://doi.org/10.37960/rvg.v25i90>
- Anku S., Marty M., Percival D. et al. (2024). Remote estimation of leaf nitrogen content, leaf area, and berry yield in wild blueberries. *Frontiers in Remote Sensing*, 1(141454)
- Araujo, R., Orellana, M., Cortéz, G., y Zambrano, J. (2020) Principles of Quality Management in Distance Education at Private Universities. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 25(Número especial 3), 460- 481.
- Ariza, A., Vásquez-García, Á., García-Jiménez, R., y Melamed-Varela, E. (2020). Estructura organizacional como determinante competitivo en pequeñas y medianas empresas del sector alimentos. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI (2), 133-147.
- Bayer – Global home (2025). <https://www.bayer.com/en/>
- Balamurugan, S., Ayyasamy, A., & Joseph, K. S. (2021). IoT-Blockchain driven traceability

- techniques for improved safety measures in food supply chain. *International Journal of Information Technology*, 14(2), 1087–1098. <https://doi.org/10.1007/s41870-020-00581-y>
- Ben-Dayaa, M., Hassini, E., Bahroun, Z., & Banimfrega, B. H. (2020). The role of internet of things in food supply chain quality management: A review. *Quality Management Journal*, 28(1), 17–40.
- Botta, A., Cavallone, P., Baglieri, L., Colucci, G., Tagliavini, L., & Quaglia, G. (2022). A review of robots, perception, and tasks in precision agriculture. *Applied Mechanics*, 3(3), 830–854. <https://doi.org/10.3390/applmech3030049>
- CEPLAN (Centro Nacional de Planteamiento Estratégico). (2023). Agricultura 4.0: La revolución tecnológica transformará el futuro del cultivo y la producción alimentaria. Gob. pe. <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/822019-agricultura-4-0-la-revolucion-tecnologica-transformara-el-futuro-del-cultivo-y-la-produccion-alimentaria>
- Costa, F., Frecassetti, S., Rossini, M., Portioli-Staudacher, A., (2023). Industry 4.0 digital technologies enhancing sustainability: applications and barriers from the agricultural industry in an emerging economy. *J. Clean. Prod.* 408, 137208
- Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T. y Adamopoulou, E. (2020). cadena de bloques en Sistemas de trazabilidad agrícola: una revisión. *Applied Sciences*, 10(12), 4113.
- Estrada, O. G. (2024). Empresas peruanas desarrollan tecnologías para una gestión sostenible del agro y el reaprovechamiento del agua - Gan@Más - Portal de noticias y revista para emprendedores. https://revistaganamas.com.pe/empresas-peruanas-desarrollan-tecnologias-para-una-gestion-sostenible-del-agro-y-el-reaprovechamiento-del-agua/?utm_source=chatgpt.com
- FAO (2021). Digital Agriculture Report: Rural E-commerce Development – Experience from China. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB4653EN>
- Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., & Zhang, X. (2020). Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121031. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121031>
- Farmonaut. (2024). Tecnología de Precisión en Agricultura: Cómo los Drones Revolucionan el Monitoreo de Cultivos y Optimizan el. Farmonaut®. <https://farmonaut.com/precision-farming/tecnologia-de-precision-en-agricultura-como-los-drones-revolucionan-el-monitoreo-de-cultivos-y-optimizan-el-uso-de-recursos/>
- Forager Automation (2024). Forager Mk.1 specs.
- Fontoura, P., & Coelho, A. (2022). How to boost green innovation and performance through collaboration in the supply chain: Insights into a more sustainable economy. *Journal of Cleaner Production*, 359, 132005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132005>
- García, B. (2024). Las 10 principales empresas agrícolas en Perú y extranjero. Ecommerce News. El pulso del Ecommerce Latam. <https://www.ecommercenews.pe/ecosistema-ecommerce/2024/las-10-principales-empresas-agricolas-en-peru.html/>
- González, G. B., & Aranda, M. F. (2022). Concepto de servicio de calidad en la gestión hotelera. *Revista Venezolana De Gerencia*, 27(97), 212–228. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.97.15Blanco>
- Gonzalvo, I. (2023). 7 soluciones tecnológicas y su contribución a los ODS en el sector agroalimentario. AINIA. <https://www.ainia.com/ainia-news/7-soluciones-tecnologicas-y-su-contribucion-a-los-ods-en-el-sector-agroalimentario/>
- Granados, P., & Zúñiga, J. (2023). Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit

- quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/373270758>
- Goyal, K., Kumar, P. y Verma, K. (2022). Detección de adulteración de alimentos mediante inteligencia artificial: una revisión sistemática. Archivos de métodos computacionales en ingeniería, 29(1), 397–426. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09600-y>
- Hassoun, A., Abdullah, N. A., Aït-Kaddour, A., Ghellam, M., Beşir, A., Zannou, O., Önal, B., Aadil, R. M., Lorenzo, J. M., Khaneghah, A. M., & Regenstien, J. M. (2022). Food traceability 4.0 as part of the fourth industrial revolution: key enabling technologies. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(3), 873–889. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2110033>
- Hernández, H., Barrios, I., & Martínez, D. (2018), enero-junio. Gestión de la calidad: elemento clave para el desarrollo de las organizaciones. Criterio Libre, 16(28), 179-195. <https://bit.ly/3qe7qjz>
- Hu et al. (2024). Study on Predicting Blueberry Hardness from Images for Adjusting Mechanical Gripper Force. Agriculture, 15(6):603.
- ICL (2025). ICL Group: Global manufacturer of Specialty Minerals and Fertilizers. <https://www.icl-group.com/>
- Índigo Ag (s.f.). Índigo AG | Sustainable Agriculture Solutions. <https://www.indigoag.com/>
- Ilyas, S. (2024). Blueberries as a Case Study: Improved Measurement of FLW in the Supply Chain using Trade Data. Agrilinks.
- Javid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. International Journal of Intelligent Networks, 3, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
- Jin, C., Bouzemrak, Y., Zhou, J., Liang, Q., Van Den Bulk, L. M., Gavai, A., Liu, N., Van Den Heuvel, L. J., Hoenderdaal, W., & Marvin, H. J. (2020). Big Data in food safety- A review. Current Opinion in Food Science, 36, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.006>
- John Deere. (n.d.). <https://www.deere.com/en/>
- Kanmani, R., Maheswar, R., Sureshkumar, A., Mugilan, A., & Praveena, V. (2020). Non-destructive Approach to Detect Pesticides in Fruits and Vegetables using IoT Technology. 2022 International Conference on Computer Communication and Informatics (IC-CCI), 1–8. <https://doi.org/10.1109/iccci48352.2020.9104166>
- Kirkaya, A. (2020). SMART FARMING- PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES AND PRACTICES. Health Sciences Quarterly, 4(2), 123–136. <https://doi.org/10.26900/jsp.4.010>
- Kumar, I., Rawat, J., Mohd, N. y Husain, S. (2021). Oportunidades de la tecnología artificial Inteligencia artificial y aprendizaje automático en la industria alimentaria. Journal of Food Quality, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4535567>
- Kumar et al. (2023). Deep learning supported machine vision system to precisely automate the wild blueberry harvester header. Postharvest Biol. Technol.
- Lamberty, A., & Kreyenschmidt, J. (2022). Ambient parameter monitoring in fresh fruit and vegetable supply chains using Internet of Things-Enabled sensor and communication technology. Foods, 11(12), 1777. <https://doi.org/10.3390/foods11121777>
- Li, A., Zhao, J., Xi, J., Yang, X., Jin, X., Chen, Q., & Pan, L. (2021). Geographical authentication of peach in China based on stable isotope combined with multielement analysis of peach juice. Food Control, 127, 108126. <https://doi.org/10.1016/j.food-cont.2021.108126>

- Li et al. (2022). Research on the Jet Distance Enhancement Device for Blueberry Harvesting Robots.... Agriculture, 14(9):1563.
- Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., Eisert, P., Quartulli, M., Döllner, J., Pagani, A., Olaizola, I. G., Barriguinha, A., Moysiadis, T., & Lucat, L. (2021). Data-Driven Artificial Intelligence applications for sustainable precision agriculture. Agronomy, 11(6), 1227. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061227>
- Li Y., Yao Y., et al. (2023). Virtual Cold Chain Method with Comprehensive Evaluation to Reveal the Effects of Temperature Abuse on Blueberry Quality. Foods, 13(23):3731.
- Liu, Y., Wang, Q., & Zhang, X. (2022). Improvement of blueberry freshness prediction based on machine learning and multi-source sensing in the cold chain logistics. Food Control, 133, 108589. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108589>
- Liu, Y., Yang, Z., Yu, Z., Liu, Z., Liu, D., Lin, H., Li, M., Ma, S., Avdeev, M., & Shi, S. (2023). Generative artificial intelligence and its applications in materials science: Current situation and future perspectives. Journal of Materiomics, 9(4), 798–816. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.05.001>
- Loranca-Valle, C., Cuesta-Valiño, P., & Núñez-Barriopedro, E. (2019). Gestión de calidad como estrategia clave de la felicidad en el deporte federado. Retos, 9(18), 203–218. <https://doi.org/10.17163/ret.n18.2019.02>
- MAF RODA (2025). MAF RODA revolutionizes blueberry sorting with AI and multi-format solutions. Postharvest.biz, May 02, 2025.
- Martin, A. (2024). Revolución en el campo: Robots y Automatización Transforman la Agricultura. ISAM Education. <https://isam.education/revolucion-en-el-campo-robots-y-automatizacion-transforman-la-agricultura/>
- Marvin, H. J. P., Janssen, E. M., Bouzembrak, Y., Hendriksen, P. J. M., & Staats, M. (2016). Big data in food safety: An overview. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(11), 2286–2295. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1257481>
- Mavani, N. R., Ali, J. M., Othman, S., Hussain, M. A., Hashim, H., & Rahman, N. A. (2021). Application of artificial intelligence in food industry—a guideline. Food Engineering Reviews, 14(1), 134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>
- MINAGRI. (2023). Informe técnico sobre innovación tecnológica y trazabilidad en exportaciones agrícolas. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2022). Historias de Acción Climática: Cooperativa Valles del Café.
- Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2020). IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. IEEE Internet of Things Journal, 9(9), 6305–6324. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2998584>
- Naranjo, J. B. (2023, June 8). ¿Qué es la eficiencia operativa? OBS Business School. <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-la-eficiencia-operativa>
- Netafim. (n.d.). Global leader in sustainable irrigation solutions | Netafim. <https://www.netafim.com/>
- Newman. (2024). ¿Qué es la innovación tecnológica? Tipos, ejemplos y proyectos. Escuela de Posgrado. Tacna. Perú. <https://www.epnewman.edu.pe/revista/ingenieria-y-tecnologia/innovacion-tecnologica/>
- Nguyen et al. (2023). Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. Agronomy, 13(10):2603.
- Nguyen H.D., McHenry B., et al. (2025). Accurate Crop Yield Estimation of Blueberries

- using Deep Learning and Smart Drones. ArXiv preprint.
- Nguyen H.D., McHenry B., et al. (2025). Accurate Crop Yield Estimation of Blueberries using Deep Learning and Smart Drones. arXiv preprint; 2025 01 04.
- Nguyen H.D., McHenry B., et al. (2025). Accurate Crop Yield Estimation of Blueberries using Deep Learning and Smart Drones. arXiv preprint (2025 01 04)
- Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslaric, M., Mircetic, D., & Bojic, S. (2021). Reducing food waste in the retail supply chains by improving efficiency of logistics operations. *Sustainability*, 13(12), 6511. <https://doi.org/10.3390/su13126511>
- OLam Agri (n.d.). | Food & Agriculture & AG Services. <https://www.olamagri.com/>
- Pérez, L., Ramos, C., & Delgado, M. (2020). Aplicación de los SIG en la agricultura de precisión. *Revista Agroinformación Técnica*, 14(2), 45–53.
- Petrescu, D. C., Vermeir, I., & Petrescu-Mag, R. M. (2019). Consumer Understanding of food quality, Healthiness, and Environmental Impact: A Cross-National Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 169. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010169>
- Qingdao Univ. Tech. Team. (2025). Three-Dimensional Spatial Perception of Blueberry Fruits Based on Improved YOLOv11 Network. *Agronomy*, 15(3):535.
- Ray, P. P. (2024). Generative AI and Its Impact on Sugarcane Industry: An Insight into Modern Agricultural Practices. *Sugar Tech*, 26(2), 325–332. <https://doi.org/10.1007/s12355-023-01358-w>
- Rejeb, A., Keogh, J. G., & Rejeb, K. (2022). Big data in the food supply chain: a literature review. *Journal of Data Information and Management*, 4(1), 33–47. <https://doi.org/10.1007/s42488-021-00064-0>
- Rejeb, A. et al. (2023). A secure food supply chain solution: blockchain and IoT enabled container to enhance the efficiency of shipment for strawberry supply chain. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Review. (2021). Fruit Quality Monitoring with Smart Packaging. *Sensors*, 21(4):1509.
- SS, V. C. (2022). Role of Artificial intelligence in Indian agriculture: a review. *Agricultural Reviews*, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2296>
- Santos Valle, S., Kienzle, J., (2020). Agriculture 4.0–Agricultural Robotics and Automated Equipment for Sustainable Crop Production. FAO, Rome, Italy, pp. 2020.
- Silveira, F., Barbedo, J.G.A., da Silva, S.L.C., Amaral, F.G., (2023). Proposal for a framework to manage the barriers that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain. *Comput. Electron. Agric.* 214, 108281.
- Sharma, S., Verma, K., & Hardaha, P. (2022). Implementation of artificial intelligence in agriculture. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 2(2), 155–162. <https://doi.org/10.47852/bonviewjccce2202174>
- Swain K.C., Zaman Q.U., et al. (2010). Computer vision system for wild blueberry fruit yield mapping. *Biosystems Eng.*, 106(4):389–394.
- Tagarakis, A. C., Benos, L., Kateris, D., Tsotsolas, N., & Bochtis, D. (2021). Bridging the gaps in traceability systems for fresh produce supply chains: overview and development of an integrated IOT-Based system. *Applied Sciences*, 11(16), 7596. <https://doi.org/10.3390/app11167596>
- Talari, G., Cummins, E., McNamara, C., & O'Brien, J. (2021). State of the art review of Big Data and web-based Decision Support Systems (DSS) for food safety risk assessment with respect to climate change. *Trends in Food Science & Technology*, 126, 192–204.

- <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.032>
- Tewari, V., Pareek, C., Lal, G., Dhruw, L., & Singh, N. (2020). Image processing based real-time variable-rate chemical spraying system for disease control in paddy crop. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.01.002>
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management*, 23(6), 545–559. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0029>
- Vikaliana R., Raja Mohd Ras R. Z., Pujawan I. N., & Irwansyah (2021). Blockchain Technology Meets Traceability in Fruit Supply Chain Management: A Systematic Review. *Jurnal Manajemen dan Organisasi*, 12(3), 232–238.
- Virnodkar, S. S., Pachghare, V. K., Patil, V. C., & Jha, S. K. (2020). Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: a critical review. *Precision Agriculture*, 21(5), 1121–1155. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09711-9>
- Wang, L., Xu, L., Zheng, Z., Liu, S., Li, X., Cao, L., Li, J., & Sun, C. (2021). Smart Contract-Based Agricultural food Supply chain traceability. *IEEE Access*, 9, 9296–9307. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3050112>
- Wang X., Liu Y., Zhang Z. et al. (2024). The Identification, Separation, and Clamp Function of an Intelligent Flexible Blueberry Picking Robot. *Processes*, 12(11):2591.
- Wrote J., et al. (2022). Prediction of Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Yield Based on Artificial Intelligence Methods. *Agriculture*, 12(12):2089.
- Wu, H., Li, Y., Xu, Y., Liu, Y., & Zhao, Z. (2024). Prediction of Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Yield Based on Artificial Intelligence Methods. *Agriculture*, 14(5), 821. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050821>
- Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.01.001>
- Zhai, Q., Li, Q., Sher, A., & Chen, C. (2023). The role of information heterogeneity in blockchain based traceability systems. *International Food & Agribusiness Management Review*, 26(3), 489–508.
- Zhang C., Liu Z. (2019). Application of big data technology in agricultural Internet of Things. *IJAEL*.
- Zhang, Y., Wang, F., Liu, C., & Liu, Y. (2020). Food safety traceability systems and consumer perception: A systematic review. *Food Control*, 123, 107730. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107730>
- Zhang, Y., Chen, L., Battino, M., Farag, M. A., Xiao, J., Simal-Gandara, J., Gao, H., & Jiang, W. (2022). Blockchain: An emerging novel technology to upgrade the current fresh fruit supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.030>
- Zhang, J., Li, C., & Wang, X. (2024). From farm to market: Research progress and application prospects of artificial intelligence in the frozen fruits and vegetables supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.02.003>
- Zhou, Q., Zhang, H. y Wang, S. (2022). Inteligencia artificial, big data y blockchain en seguridad alimentaria. *Revista internacional de ingeniería alimentaria*, 18(1), 1–14. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2021-0299>