

Technological transformation in agro-industrial inventory management: a systematic review

Paiva Gutierrez Kevin Iarley¹ , Bereche Montalbán Alfredo Rafael Riu¹ , Casaverde Pacherez Luis Alberto² ,
José Félix Pingo Lozada³ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U21207066@utp.edu.pe, U21222123@utp.edu.pe

^{2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, lcasaverde@utp.edu.pe, c28097@utp.edu.pe

Abstract - The agroindustry faces significant challenges in inventory management, such as high product perishability, limited traceability, and low technological adoption. Therefore, the aim was to identify the most effective technologies to optimize the efficiency and sustainability of agroindustrial inventories. A non-experimental, descriptive, qualitative-quantitative design was used, corresponding to a systematic review without meta-analysis. Applying inclusion and exclusion criteria, 37 freely indexed articles were selected from the Scopus, Web of Science (WOS), and EBSCOhost databases. The results showed significant improvements with the use of emerging technologies such as blockchain with a 85.1% reduction in tracking times, the Internet of Things (IoT) with a 30% reduction in shrinkage, Radio Frequency Identification (RFID) with a 38.5% reduction in waste, Artificial Intelligence (AI) with a 30% reduction in food waste, Enterprise Resource Planning (ERP) with an 18% reduction in downtime, and cloud computing with a 67% improvement in efficiency. It is concluded that these tools allow for more efficient, traceable, and sustainable inventory management, although their implementation is limited by economic and technical barriers in rural SMEs, highlighting the need for low-cost, highly scalable solutions.

Keywords-- Agro-industrial inventories, Emerging technologies, Operational efficiency, Traceability, Sustainability.

Transformación tecnológica en la gestión de inventarios agroindustriales: una revisión sistemática

Paiva Gutierrez Kevin Iarley¹ , Bereche Montalbán Alfredo Rafael Riu¹ , Casaverde Pacherez Luis Alberto² ,
José Félix Pingo Lozada³ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U21207066@utp.edu.pe, U21222123@utp.edu.pe

^{2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, lcasaverde@utp.edu.pe, c28097@utp.edu.pe

Resumen- La agroindustria enfrenta desafíos significativos en la gestión de inventarios, como la alta perecibilidad de productos, la trazabilidad limitada y la baja adopción tecnológica. Por ello, se propuso identificar las tecnologías más efectivas para optimizar la eficiencia y sostenibilidad de los inventarios agroindustriales. Se empleó un diseño no experimental, descriptivo, cualitativo-cuantitativo, correspondiente a una revisión sistemática sin metaanálisis. Aplicando criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 37 artículos indexados de libre acceso en las bases de datos Scopus, Web of Science (WOS) y EBSCOhost. Los resultados mostraron mejoras relevantes con el uso de tecnologías emergentes como blockchain con una reducción del 85.1 % en tiempos de rastreo, Internet de las cosas (IoT) con 30 % menos en mermas, Identificación por Radiofrecuencia (RFID) con 38.5 % menos desperdicios, Inteligencia Artificial (IA) con 30 % menos desperdicio alimentario, Planificación de Recursos Empresariales (ERP) con 18 % menos tiempos muertos y computación en la nube con 67 % de mejora en eficiencia. Se concluye que estas herramientas permiten una gestión más eficiente, trazable y sostenible del inventario, aunque su implementación está limitada por barreras económicas y técnicas en pymes rurales, lo que resalta la necesidad de soluciones de bajo costo y alta escalabilidad.

Palabras clave-- Inventarios agroindustriales, Tecnologías emergentes, Eficiencia operativa, Trazabilidad, Sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La agroindustria desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y la seguridad alimentaria a nivel global, especialmente en países en desarrollo. Transformar los sistemas agroalimentarios para que sean más eficientes, inclusivos y resilientes es esencial para enfrentar los múltiples desafíos actuales, como los conflictos, el cambio climático y las crisis económicas [1]. Además, la innovación tecnológica en la agroindustria, incluyendo la adopción de tecnologías emergentes y la digitalización, es clave para mejorar la productividad y garantizar la sostenibilidad del sector [2].

En el caso de Perú, entre enero y noviembre de 2024, el número de empresas agroindustriales exportadoras alcanzó un récord histórico de 2,297, con un incremento del 6.1 % respecto al mismo periodo del año anterior [3]. No obstante, a pesar de su dinamismo, la agroindustria enfrenta múltiples desafíos estructurales que limitan su competitividad. Entre ellos, destacan la estacionalidad de la producción, la perecibilidad de los productos y la dispersión geográfica de

las unidades productivas, factores que exigen una gestión logística precisa y adaptable [4].

Uno de los problemas más persistentes y críticos es la ineficiencia en los sistemas de gestión de inventarios, especialmente en pequeñas y medianas empresas agroalimentarias [5]. Muchas de estas organizaciones siguen empleando métodos tradicionales que no consideran variables clave como la vida útil del producto, la demanda fluctuante o las condiciones específicas de almacenamiento [6]. Esta situación genera interrupciones en el suministro, pérdidas económicas y dificultades para mantener la trazabilidad del producto [7].

Estudios recientes han documentado que las malas prácticas en la gestión de inventarios pueden generar pérdidas del 30 % al 40 % del total producido, sobre todo en productos que requieren cadena de frío o conservación especializada [8]. Estas pérdidas impactan negativamente en la rentabilidad empresarial y también tienen implicancias ambientales, al incrementar las emisiones derivadas del transporte ineficiente y el desperdicio de recursos naturales [9]. Asimismo, la falta de integración entre sistemas digitales, la escasa adopción de tecnologías predictivas y la limitada interoperabilidad entre plataformas tecnológicas dificultan la capacidad de respuesta ante factores externos como el clima, el mercado o interrupciones logísticas [10].

En respuesta a esta problemática, se han desarrollado diversas soluciones tecnológicas para mejorar la gestión de inventarios agroindustriales. Herramientas como los sistemas ERP, IoT, blockchain y modelos con IA han demostrado ser eficaces para automatizar procesos, mejorar la trazabilidad y reducir tiempos muertos en la cadena de suministro [11]. Por ejemplo, la integración de sensores IoT permite monitorear variables como temperatura y humedad en almacenes, reduciendo el desperdicio por mal manejo [12]. Estudios evidencian mejoras de hasta un 23 % en la precisión del inventario y una reducción del 30 % en los costos de almacenamiento tras la implementación de tecnologías digitales [13].

La realización de esta Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) se justifica por la necesidad de consolidar el conocimiento actual sobre las prácticas, tecnologías y modelos que optimizan la gestión de inventarios en la agroindustria. Esta revisión servirá como un recurso valioso para orientar decisiones empresariales, especialmente en

empresas que enfrentan limitaciones estructurales y tecnológicas.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es identificar, clasificar y analizar las herramientas tecnológicas más relevantes como blockchain, IoT, IA, RFID, ERP y computación en la nube, que han sido implementadas para optimizar la eficiencia, trazabilidad y sostenibilidad de los inventarios agroindustriales.

En cuanto a la organización del estudio, la sección 2 presenta la metodología utilizada, incluyendo la formulación de la pregunta de investigación mediante el método PICO, los criterios de inclusión y exclusión, la estrategia de búsqueda bibliográfica y el proceso de selección de estudios mediante el método PRISMA. La sección 3, Resultados, presenta los hallazgos obtenidos a partir del análisis bibliométrico y de contenido, incluyendo los principales desafíos identificados, las tecnologías emergentes aplicadas y sus impactos en la eficiencia y sostenibilidad. En la sección 4, Discusión, se analizan de forma crítica los resultados obtenidos, comparándolos entre sí y señalando las implicancias teóricas y prácticas de la adopción tecnológica en el contexto agroindustrial. Finalmente, la sección 5, Conclusiones, resume los principales aportes del estudio, identifica las limitaciones encontradas y plantea recomendaciones para futuras investigaciones en el área.

II. METODOLOGÍA

A. Estrategia de búsqueda:

Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura sin metaanálisis, enfocada en analizar, sintetizar y evaluar críticamente el impacto de las tecnologías emergentes en la gestión de inventarios agroindustriales. Para la formulación precisa de la pregunta de investigación y la delimitación del alcance de la búsqueda bibliográfica, se utilizó el método PICO [14]. Esta herramienta resultó esencial para la identificación precisa de los elementos clave de interés, lo que permitió plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo ha impactado la adopción de tecnologías de gestión en la eficiencia de los inventarios dentro del sector agroindustrial, en comparación con los métodos tradicionales? Se definieron los elementos clave y, con base en ellos, se estructuraron interrogantes específicas, las cuales se presentan en la tabla I:

TABLA I. TABLA PICO

P(Problema)	I (Intervención)	C(Comparación)	O (Resultados)
Gestión de inventarios en el sector agroindustrial.	Tecnologías innovadoras de gestión de inventario.	Métodos tradicionales de gestión de inventarios.	Eficiencia de los inventarios.
PI1: ¿Qué desafíos específicos enfrentan las empresas agroindustriales en la gestión de inventarios?			

PI2: ¿Qué tecnologías innovadoras se han incorporado para optimizar la gestión de inventarios en la agroindustria?
PI3: ¿Cómo se comparan las prácticas tradicionales y modernas en la gestión de inventarios agroindustriales?
PI4: ¿Qué mejoras en eficiencia y sostenibilidad se han observado con la adopción tecnológica en inventarios?

B. Ecuación de búsqueda

La ejecución de la búsqueda se organizó en torno a los elementos clave derivados de la pregunta de investigación formulada. Para ello, se procedió a la identificación de palabras clave, sinónimos y términos relacionados para cada componente, principalmente en idioma inglés. La consulta bibliográfica se efectuó en las siguientes bases de datos: Scopus, WOS y EBSCOHOST. A continuación, se describirá la lógica de búsqueda utilizada:

TABLA II. ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

ELEMENTO PICO	PALABRAS CLAVE	FORMULA DE BUSQUEDA
P (Problema)	Agroindustria, agronegocios, sector agroalimentario, industria alimentaria, cadena de suministro de alimentos.	"agroindustry" OR "agribusiness" OR "agri-food sector" OR "food industry" OR "food supply chain"
I (Intervención)	Gestión de inventarios, control de existencias, sistemas de inventario, gestión de la cadena de suministro.	"Inventory management" OR "stock control" OR "inventory systems" OR "supply chain management"
C (Comparación)	Tecnologías digitales, Tecnologías de la Información y la Comunicación, sistema de planificación de recursos empresariales, Internet de las cosas, Blockchain, Inteligencia Artificial, software de inventario, automatización, sistema de información.	"Digital technologies" OR "ICT" OR "ERP" OR "IoT" OR "blockchain" OR "artificial intelligence" OR "inventory software" OR "automation" OR "information system*"
O (Resultados)	Eficiencia, optimización, rendimiento, productividad, trazabilidad.	"efficiency" OR "optimization" OR "performance" OR "productivity" OR "traceability"
FÓRMULA GENERAL DE BÚSQUEDA		
("agroindustry" OR "agribusiness" OR "agri-food sector" OR "food industry" OR "food supply chain") AND ("inventory management" OR "stock control" OR "inventory systems" OR "supply chain management") AND ("digital technologies" OR "ICT" OR "ERP" OR "IoT" OR "blockchain" OR "artificial intelligence" OR "inventory software" OR "automation" OR "information system*") AND ("efficiency" OR "optimization" OR "performance" OR "productivity" OR "traceability")		

C. Criterios de inclusión y exclusión

La delimitación de los parámetros de selección y descarte de estudios tuvo un propósito fundamental en esta revisión sistemática: asegurar un proceso riguroso y objetivo para la selección de literatura. El establecimiento de estos criterios

permitió filtrar eficazmente la gran cantidad de información disponible, identificando los estudios más relevantes y directamente relacionados con las preguntas de investigación. Además, su aplicación permitió delimitar el alcance de la revisión y garantizar la pertinencia y calidad de la evidencia considerada, tal como se detalla en la tabla presentada.

TABLA III. CRITERIOS (INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)

CI	CE
CI1: Estudios que aborden específicamente la gestión de inventarios en la agroindustria.	CE1: Se excluirán documentos publicados en 2018 o en años anteriores.
CI2: Estudios que presenten la implementación de tecnologías innovadoras orientadas a mejorar la gestión de inventarios, tales como ERP, inteligencia artificial, IoT, blockchain, etc.	CE2: Se excluirán publicaciones que no sean artículos originales o de revisión (como libros, tesis, ponencias, informes o materiales no indexados).
CI3: Los estudios deben abordar contextos aplicables al sector agroindustrial, ya sea mediante experiencias en entornos reales o mediante simulaciones propuestas.	CE3: Se excluirán artículos o revisiones que no estén disponibles en texto completo o que requieran suscripción o pago para su acceso.
CI4: Estudios que reporten mejoras en eficiencia, sostenibilidad, costos y tiempos derivados de la adopción tecnológica.	

D. Proceso de selección de estudios

Para asegurar un proceso riguroso y transparente en la selección de estudios que mejor respondían a la investigación, se adoptó el enfoque metodológico PRISMA, el cual permite estructurar claramente cada fase del análisis documental, detallando los criterios aplicados y las razones de exclusión [15].

Bajo esta metodología, se identificó un total de 553 registros (Scopus = 343, WOS = 134, EBSCOHST = 76), de los cuales 123 fueron eliminados por duplicados mediante el gestor de referencias Mendeley, dejando 430 registros únicos para su análisis.

A partir de estos registros, se excluyeron 322 artículos tras la revisión de títulos y resúmenes, ya que no cumplían con los criterios establecidos, los cuales requerían que los estudios se centraran en la gestión de inventarios dentro del sector agroindustrial, incluyeran el uso de tecnologías innovadoras y se basaran en contextos aplicables al sector, ya sea en entornos reales o mediante simulaciones. De los 108 artículos restantes, se evaluó la disponibilidad del texto completo y se excluyeron 10 por restricciones de acceso o por estar incompletos.

Posteriormente, se revisaron en su totalidad los 98 artículos seleccionados, considerando los criterios previamente definidos para su inclusión o exclusión. Como resultado de este proceso, se eliminaron 54 documentos por no cumplir con dichos criterios, distribuidos de la siguiente manera: 13 publicaciones anteriores al año 2019, 15 documentos no científicos y 33 sin beneficios tecnológicos reportados.

Finalmente, se incluyeron 37 artículos en esta revisión sistemática. Todo el proceso se resume en el diagrama PRISMA que se presenta en la Figura 1.

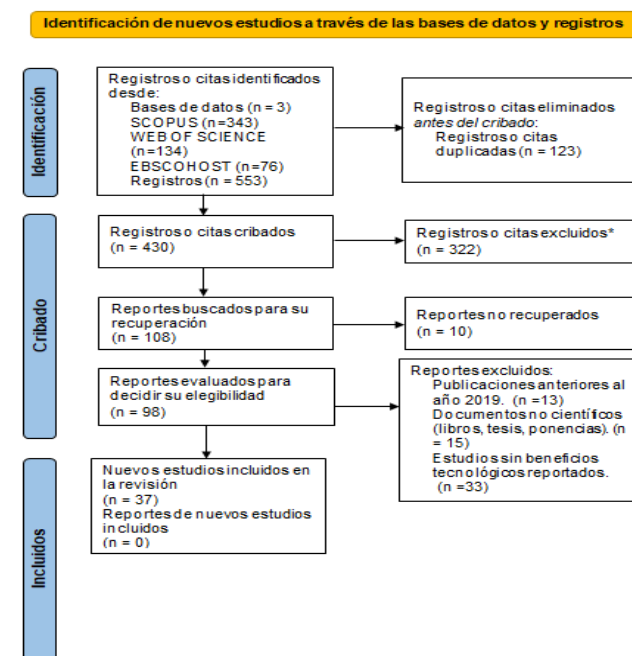


Figura 1. Diagrama PRISMA

III. RESULTADOS

La información se evaluó desde dos enfoques: análisis bibliométrico y de contenido. El primero se centró en una revisión global de los estudios revisados, mientras que el segundo examinó con mayor profundidad elementos particulares del objeto de estudio.

3.1. Resultados bibliométricos

Desde la perspectiva bibliométrica, el análisis comenzó con la presentación de todas las investigaciones incluidas en la revisión. En la Tabla IV se organizaron los datos obtenidos: autores, títulos de las investigaciones y años de publicación.

TABLA IV. ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE LA GESTION DE INVENTARIOS EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL 2019-2025

Autor (s)	Título del artículo	Año
Cocco et al. [16]	A Blockchain-Based Traceability System in Agri-Food SME: Case Study of a Traditional Bakery	2021
Ehsan et al. [17]	A Conceptual Model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System	2022
Xu et al. [18]	A Reliable Traceability Model for Grain and Oil Quality Safety Based on Blockchain and Industrial Internet	2022
Ramanathan et al. [19]	Adapting Digital Technologies to Reduce Food Waste and Improve Operational Efficiency of a Frozen Food Company—The Case of Yumchop Foods in the UK	2022
Kampan et al. [20]	Adoption of Blockchain Technology for Enhanced Traceability of Livestock-Based Products	2022
Bhat et al. [21]	Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability	2022

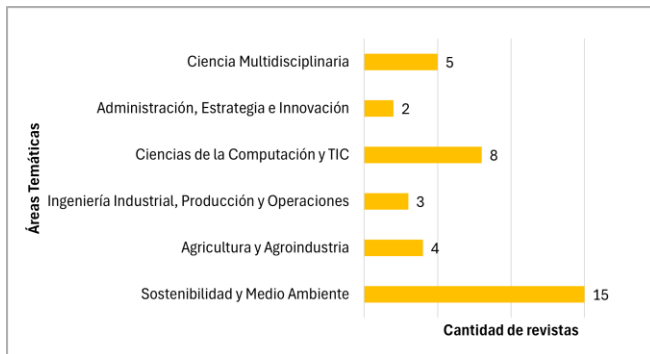


Figura 4. Distribución cuantitativa de las revistas científicas en las que fueron publicados los artículos seleccionados

Entre las bases de datos consultadas para la revisión sistemática, Scopus destacó como la más utilizada, considerando un total de 32 estudios. Por el contrario, WOS fue la menos recurrida, con apenas 2 estudios, como se muestra a continuación en la Figura 5.

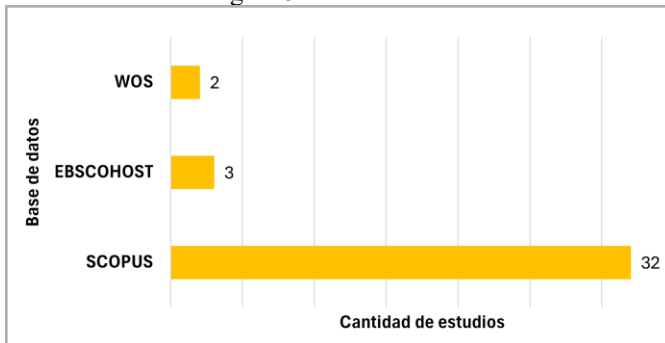


Figura 5. Distribución cuantitativa de las bases de datos empleadas para la recopilación de los artículos seleccionados

En función del tipo de estudio, el 19% de los artículos incluidos en la RSL son de carácter experimental, mientras que el 81% constituyen estudios de casos presentados en artículos de revisión descriptiva, como se evidencia a continuación en la Figura 6.



Figura 6. Distribución cuantitativa según el tipo de estudio de los artículos incluidos en la revisión

En cuanto al país de origen de los estudios, India lidera el número de publicaciones con un total 8 estudios, seguida por

Italia, China, Reino Unido y Arabia Saudita, con 3 publicaciones cada uno. En cuanto Pakistán y Tailandia reportan 2 estudios cada uno, tal como se puede apreciar en la Figura 7.

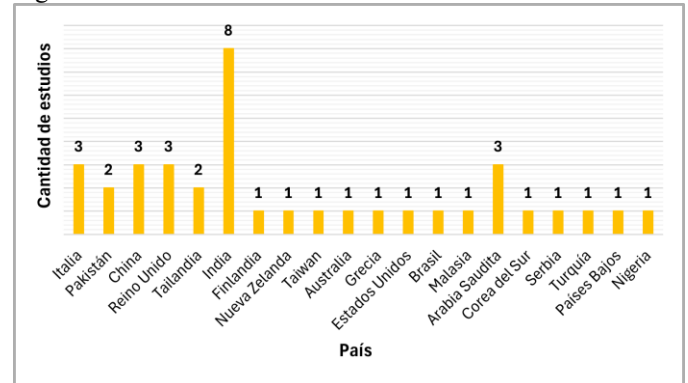


Figura 7. Distribución cuantitativa de los artículos incluidos en la revisión según su país de origen

3.2. Resultados por contenido

En este apartado se exponen los resultados obtenidos del análisis crítico de los artículos sobre gestión de inventarios en el sector agroindustrial. Se sintetiza el contenido en función de los aportes más significativos, empleando formularios de extracción que permiten organizar y abordar de manera precisa las preguntas definidas para esta RSL.

¿Qué desafíos específicos enfrentan las empresas agroindustriales en la gestión de inventarios?

Según el análisis de los artículos revisados, uno de los principales desafíos en la gestión de inventarios agroindustriales es la limitada trazabilidad de los productos. Esto se debe, por un lado, a la persistencia de sistemas manuales y, por otro, al uso de bases de datos no interoperables [23], [27], [46]. Como consecuencia, se dificulta el seguimiento del origen, el almacenamiento y el estado sanitario de los productos, lo cual reduce la transparencia operativa y, además, compromete la capacidad de respuesta ante fallas o emergencias [16], [17], [41], [52].

Otro problema crítico es la alta perecibilidad de los productos agroalimentarios. Dado que estos requieren condiciones específicas de conservación, la ausencia de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como sensores de temperatura o humedad, impide garantizar su integridad [34], [35], [36], [37]. Esto, a su vez, eleva significativamente el riesgo de deterioro, lo que se traduce en pérdidas económicas considerables y una reducción en la eficiencia de la cadena logística [39], [47], [48], [52].

Un tercer desafío identificado está relacionado con la deficiente infraestructura logística, especialmente en zonas rurales. Debido a la escasa disponibilidad de centros de acopio y rutas de transporte eficientes, se elevan los costos logísticos, lo cual dificulta el mantenimiento de condiciones óptimas de conservación [34], [36]. A su vez, esta situación incrementa los

niveles de desperdicio y reduce la competitividad del sector [35], [37], [39], [47], [51].

Un cuarto desafío está vinculado con la baja adopción tecnológica por parte de las pequeñas y medianas empresas agroindustriales. Muchas de estas organizaciones, debido a restricciones económicas o limitaciones técnicas, continúan gestionando inventarios de forma manual [33], [34], [37]. Esta situación provoca errores frecuentes, retrasos operativos y una visibilidad limitada sobre las existencias en tiempo real, lo cual afecta directamente la capacidad de planificación y respuesta [39], [40], [48], [49].

Finalmente, otro reto relevante es la vulnerabilidad de la gestión de inventarios frente a disrupciones externas e incertidumbre. En escenarios como crisis sanitarias, fenómenos climáticos extremos o variaciones inesperadas en la demanda, las debilidades estructurales previamente descritas se intensifican. Esto genera consecuencias como sobreproducción, acumulación de productos perecederos y niveles elevados de desperdicio, con impactos negativos en la rentabilidad y la sostenibilidad del sector [35], [43], [45], [46], [47], [50], [51]. En la Figura 8 se presenta la clasificación de los desafíos en función de la cantidad de artículos científicos revisados. La alta perecibilidad de los productos agroalimentarios encabeza la clasificación con 8 artículos, seguida por la trazabilidad limitada, la deficiente infraestructura logística, la baja adopción tecnológica, y finalmente la incertidumbre operativa con 7 artículos para cada uno de los desafíos nombrados.

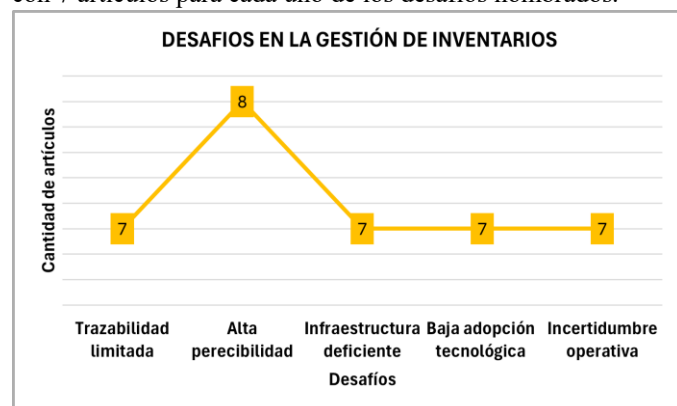


Figura 8. Clasificación de los principales desafíos en la gestión de inventarios según la cantidad de artículos identificados

¿Qué tecnologías innovadoras se han incorporado para optimizar la gestión de inventarios en la agroindustria?

Tras revisar la literatura científica disponible, se identificó que una de las intervenciones más relevantes para optimizar la gestión de inventarios en el sector agroindustrial es la adopción de tecnologías emergentes como blockchain. Esta herramienta tecnológica ha sido empleada en investigaciones para garantizar la trazabilidad y transparencia de los productos en la cadena de suministro agroalimentaria [16], [17], [21], [25], [26], [29], [39], [52]. En los artículos revisados, blockchain se utilizó para registrar transacciones de forma segura, automatizar validaciones mediante contratos inteligentes y

facilitar el seguimiento de productos mediante códigos QR, con el propósito de fortalecer los sistemas de control logístico y reducir dependencias de intermediarios [16], [17], [22], [29] [42].

De manera complementaria, IoT se ha utilizado principalmente para monitorear en tiempo real las condiciones ambientales en almacenes y vehículos de transporte agroalimentario [38], [41], [44]. Según la literatura consultada, estos sensores fueron implementados para medir variables como temperatura, humedad y movimiento, integrándose con plataformas en la nube con el fin de alertar sobre desviaciones críticas y mantener estándares de conservación adecuados en productos perecederos [35], [38], [41], [45], [51].

Asimismo, la IA ha sido implementada con fines de predicción de la demanda, clasificación de inventarios y optimización de procesos logísticos [31], [41], [44], [47], [51]. En algunas investigaciones, se aplicaron algoritmos de aprendizaje automático como redes neuronales, *Random Forest* y *Long Short-Term Memory* (LSTM), para modelar el comportamiento del inventario, identificar patrones de consumo y apoyar decisiones estratégicas relacionadas con el almacenamiento y distribución de productos agrícolas [31], [44], [45], [51].

En paralelo, la tecnología de RFID ha sido utilizada como una solución para mejorar la eficiencia, trazabilidad y automatización en la gestión de inventarios agroindustriales [16], [17], [20], [43]. Esta herramienta opera mediante la interacción entre etiquetas electrónicas (pasivas o activas), lectores RFID y antenas de transmisión, lo cual permite capturar y transferir datos sin contacto visual ni intervención humana [20], [49]. Se identificó en la literatura científica que dicha tecnología fue aplicada en distintas etapas del flujo logístico, desde la recepción en almacenes hasta el despacho de productos, automatizando la identificación en puntos críticos como líneas de empaque y zonas de consolidación [43], [51]. También se documentó su integración con plataformas digitales de gestión, facilitando la generación continua de registros y mejorando la visibilidad del inventario [28], [43]. En contextos donde se requiere una identificación precisa de lotes o unidades individuales, su uso se enfocó en mantener la integridad de los productos y facilitar el seguimiento mediante sistemas de control automatizados [43].

Por otro lado, los sistemas ERP también han sido objeto de análisis en contextos agroindustriales, especialmente en pequeñas y medianas empresas, donde fueron utilizados para integrar datos operativos y mejorar la coordinación entre áreas funcionales como compras, logística y finanzas [33], [50]. De igual forma, estas plataformas han sido implementadas como soluciones para centralizar la gestión de inventarios, aumentar la visibilidad del flujo de productos y facilitar la toma de decisiones tácticas [33].

Finalmente, la computación en la nube ha sido aplicada como tecnología de soporte para almacenar, procesar y acceder a grandes volúmenes de datos relacionados con la trazabilidad y el control del inventario agroindustrial [30], [34], [38], [40].

Según investigaciones analizadas, esta tecnología fue empleada para construir tableros de control en tiempo real, habilitar sistemas de alerta automatizada y ofrecer soluciones digitales accesibles para empresas con infraestructura tecnológica limitada [19], [38], [40].

En la Figura 9 se presenta la clasificación de las tecnologías emergentes en función de la cantidad de artículos científicos revisados. La tecnología Blockchain encabeza la lista con 10 artículos, seguida por RFID con 7 artículos, IoT y la IA con 6 artículos cada uno, la computación en la nube con 5 artículos, y finalmente los sistemas ERP con tan solo 2 artículos.

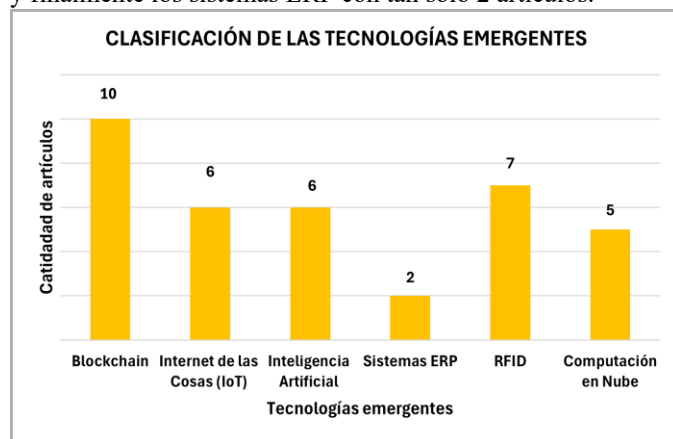


Figura 9. Clasificación de tecnologías emergentes según la cantidad de artículos identificados

¿Cómo se comparan las prácticas tradicionales y modernas en la gestión de inventarios agroindustriales?

Los sistemas tradicionales de gestión de inventarios agroindustriales se basan en registros manuales, hojas de cálculo o bases de datos desconectadas, lo que limita la transparencia, la eficiencia operativa y la trazabilidad. Este enfoque centralizado y susceptible a errores humanos dificulta el control de stock, la identificación de productos defectuosos o contaminados, y la comunicación oportuna entre los actores de la cadena [16], [17].

En contraste, los sistemas modernos impulsados por tecnologías como blockchain, IoT y la IA introducen una gestión descentralizada, automatizada y en tiempo real. Estas herramientas permiten la trazabilidad desde el origen hasta el punto de venta, fortalecen la transparencia y reducen la dependencia de procesos manuales, al registrar datos de forma inmutable y accesible por todos los participantes [18], [22].

Una de las diferencias clave entre ambos modelos es el método de validación de transacciones. Mientras que los sistemas tradicionales requieren la intervención de intermediarios para verificar pagos, entregas o controles de calidad, los sistemas modernos utilizan contratos inteligentes para automatizar estas validaciones, reduciendo tiempos de espera y errores por intervención humana [24], [29].

Asimismo, la capacidad de monitoreo también varía significativamente. En los modelos tradicionales, el control de condiciones críticas como la temperatura, humedad o vencimiento de productos suele realizarse manualmente, con

registros esporádicos y sin mecanismos de alerta. En cambio, las soluciones modernas basadas en sensores IoT permiten un seguimiento continuo, generando notificaciones automáticas ante desviaciones en las condiciones de almacenamiento o transporte [19], [38].

Por último, en lo que respecta a interoperabilidad y colaboración, los sistemas antiguos suelen operar en silos, con escasa integración entre productores, intermediarios y minoristas. En cambio, las tecnologías emergentes promueven plataformas compartidas, donde los datos se integran y analizan de forma colaborativa, facilitando una toma de decisiones más eficiente y alineada con la demanda [21], [32], [44].

¿Qué mejoras en eficiencia y sostenibilidad se han observado con la adopción tecnológica en inventarios?

La implementación de blockchain en la gestión de inventarios agroindustriales ha demostrado mejoras significativas en términos de eficiencia y sostenibilidad. Se reporta una reducción del tiempo de rastreo de productos en un 85.1 %, se midió el tiempo de trazabilidad del caso con un algoritmo propuesto frente al algoritmo de referencia (BFS, definido como $\alpha=0$, $\beta=1$). Cada configuración se repitió 50 veces y se promediaron los tiempos. Se definió la razón de paralelización como (tiempo BFS / tiempo propuesto); el ahorro de tiempo se calcula como $(1 - 1 / \text{razón de paralelización}) \times 100\%$. El valor máximo observado fue razón = 6.74, por lo que el ahorro de tiempo reportado fue $1 - 1/6.74 \approx 85.1\%$. lo cual optimiza los tiempos de respuesta y mejora la trazabilidad operativa [25]. Asimismo, se informa una disminución de hasta un 30 % en los costos operativos, atribuida a la automatización de validaciones y a la reducción de intermediarios [26]. En cuanto a sostenibilidad, se destaca una reducción del 25 % en el desperdicio de alimentos, gracias a una trazabilidad más confiable que minimiza errores y pérdidas en la cadena logística [29].

El uso de IoT ha permitido mejorar significativamente la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de inventarios agroindustriales, particularmente en productos perecederos. Se ha documentado que la implementación de sensores conectados permite reducir las mermas hasta en un 30 %, al monitorear variables como temperatura, humedad y vibración en tiempo real, lo que ayuda a mantener las condiciones óptimas de almacenamiento y transporte [35]. Además, se reporta una mejora del 25 % en la precisión del inventario, gracias al seguimiento automatizado del flujo de productos en la cadena logística [41]. Desde una perspectiva de sostenibilidad, el monitoreo continuo mediante IoT también ha contribuido a una reducción del 20 % en las pérdidas por deterioro, al anticipar desviaciones críticas y activar alertas tempranas [45].

La aplicación de IA en la gestión de inventarios agroindustriales ha generado importantes mejoras en eficiencia operativa. Se ha reportado que el uso de modelos de IA

permitió una reducción del desperdicio alimentario en un 30 %, mediante una planificación más precisa de la demanda y la optimización del almacenamiento [35]. Además, se documenta que la implementación de algoritmos de aprendizaje automático, como redes neuronales y Random Forest, mejoró la eficiencia logística en un 20 %, al identificar patrones de consumo y ajustar dinámicamente los niveles de inventario [44]. En términos de sostenibilidad, el uso de IA contribuyó a disminuir la sobreproducción y los excedentes innecesarios, favoreciendo un uso más racional de los recursos y una distribución más ajustada a la demanda real [31].

La adopción de la tecnología RFID ha generado mejoras notables en la eficiencia de los inventarios agroindustriales. Se ha logrado una reducción del 38.52 % en el desperdicio por parte de los productores, así como un 29.41 % en supermercados, y una disminución del 12 % en el costo asociado al inventario. Además, los niveles de inventario en los minoristas se redujeron en un 20.54 %, optimizando así la rotación de productos y reduciendo sobrecostos logísticos [43]. En términos de sostenibilidad, el mismo estudio reporta un ahorro del 14.33 % en los costos totales, directamente relacionado con la disminución de desperdicios alimentarios en la cadena de suministro [32].

En cuanto a los sistemas ERP y la computación en la nube, ambos han contribuido a mejorar la eficiencia operativa mediante la integración de datos y la automatización de procesos. La automatización de procesos mediante ERP contribuyó a una disminución del 18 % en los tiempos muertos relacionados con la gestión de inventarios. En cuanto a la computación en la nube, se reporta una reducción del 35 % en los tiempos de transacción y una mejora del 99 % en la confiabilidad de los datos almacenados y procesados en tiempo real, lo que facilita decisiones más rápidas y precisas en entornos logísticos [45], [51].

En la Figura 10 se presenta un resumen de los porcentajes de mejora promedio asociados a la implementación de distintas tecnologías emergentes.

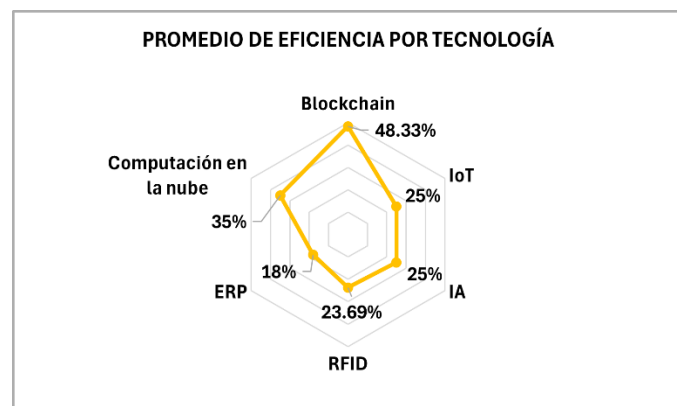


Figura 10. Porcentaje de mejora en eficiencia según la tecnología emergente aplicada

IV. DISCUSIÓN

La implementación de tecnología blockchain en la trazabilidad agroindustrial ha permitido una mejora notable en la visibilidad de la cadena logística. Según [25], mediante el registro inmutable de eventos clave, se logró reducir hasta en un 85.1 % los tiempos de rastreo de productos. De manera similar, en [16] se resalta que su eficacia se potencia en contextos que exigen certificaciones de origen o auditorías externas. En contraste, en [33] se advierte que la integración de blockchain en pequeñas agroindustrias presenta barreras importantes, entre ellas, los altos costos iniciales y la falta de infraestructura digital, lo cual restringe su adopción masiva en regiones rurales. Esto indica que su aplicabilidad depende fuertemente del tamaño empresarial y del nivel de madurez tecnológica del entorno.

En cuanto a IoT, en [35] y [41] se demostró que el uso de sensores para monitorear temperatura y humedad permitió reducir en un 30 % las pérdidas por deterioro, gracias a su capacidad para emitir alertas tempranas frente a desviaciones críticas. Sin embargo, en [36] se precisa que esta tecnología tiene un rendimiento variable, condicionado por el entorno físico donde se instala y por su grado de interoperabilidad con los sistemas de gestión ya existentes. Por tanto, si bien el IoT ofrece grandes beneficios para productos perecederos, su efectividad práctica se ve limitada en escenarios donde no existen condiciones estables o tecnologías compatibles.

La IA también ha cobrado relevancia en la optimización de inventarios agroindustriales. En [35] se aplicaron algoritmos como Random Forest y redes neuronales para predecir la demanda y evitar el sobrestock, logrando reducir el desperdicio en un 30 %. Además, estas herramientas permitieron clasificar productos según fecha de vencimiento o rotación, lo que optimizó el uso del espacio y los tiempos de procesamiento. No obstante, en [31] se sostiene que su implementación exige una base de datos histórica amplia y una infraestructura tecnológica sólida, recursos que suelen estar ausentes en microempresas del ámbito rural. En ese sentido, el éxito de la IA se encuentra estrechamente ligado a la disponibilidad de datos y la capacidad computacional.

Por otro lado, la tecnología RFID ha sido eficaz para automatizar procesos logísticos y reducir pérdidas en almacenamiento. En [43] se reporta una disminución del 38.52 % en el desperdicio al emplear RFID para realizar un seguimiento preciso del inventario. A esto se suma la ventaja de su integración con sistemas ERP, que, según [45], permite centralizar operaciones y agilizar la toma de decisiones. Sin embargo, en [51] se argumenta que muchos ERP tradicionales no fueron diseñados para las dinámicas específicas del sector agroindustrial, lo cual ha generado la necesidad de desarrollar soluciones híbridas o personalizadas. Esto demuestra que, si bien RFID aporta eficiencia, su potencial depende de la compatibilidad tecnológica del entorno empresarial.

En [28] y [20] se identifican obstáculos como la baja conectividad, la falta de capacitación y la resistencia al cambio

por parte de los productores. Además, la dispersión geográfica de las unidades productivas y la fragmentación de la cadena agroalimentaria dificultan la estandarización de plataformas digitales. En consecuencia, resulta fundamental diseñar estrategias de transferencia tecnológica que cierren esta brecha y garanticen un acceso equitativo a la digitalización del sector.

V. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática ha permitido evidenciar que la adopción de tecnologías emergentes en la gestión de inventarios agroindustriales constituye un factor clave para mejorar la eficiencia operativa, la trazabilidad y la sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos. Las herramientas más destacadas han sido la tecnología blockchain, IoT, la IA, RFID y los sistemas ERP, cada una con beneficios diferenciados y desafíos específicos en su implementación.

En particular, blockchain demostró ser altamente efectiva para garantizar la transparencia y la inmutabilidad de la trazabilidad, mientras que el IoT sobresalió por su capacidad de monitoreo ambiental en tiempo real. La IA se consolidó como un recurso predictivo de gran valor en la planificación y automatización, especialmente en contextos con alta volatilidad de la demanda. Por su parte, las tecnologías RFID y los sistemas ERP contribuyeron a mejorar la precisión del inventario y a reducir las pérdidas por caducidad, facilitando una gestión logística más integrada y ágil.

No obstante, esta revisión también identificó limitaciones importantes, principalmente relacionadas con las barreras estructurales para la adopción tecnológica en pequeñas y medianas empresas agroindustriales. La falta de conectividad, capacitación técnica y recursos económicos impide, en muchos casos, la implementación efectiva de estas herramientas, acentuando la brecha digital en entornos rurales. Como recomendación, futuras investigaciones deberían enfocarse en el desarrollo de soluciones tecnológicas de bajo costo y alta escalabilidad, especialmente diseñadas para contextos rurales y pymes. Asimismo, se propone explorar modelos híbridos de gestión digital que integren varias tecnologías en plataformas interoperables, con especial atención en la adaptabilidad a condiciones locales. Finalmente, se sugiere promover estudios de validación en campo que analicen el retorno de inversión de estas tecnologías, así como su impacto ambiental y social en cadenas agroindustriales diversas.

REFERENCIAS

- [1] FAO, "Time to transform agrifood systems in response to multiple shocks and worsening food security," 2023.
- [2] World Economic Forum, "How innovation in agriculture is key to fighting world hunger," 2022.
- [3] CIEN-ADEX, "Empresas agroindustriales exportadoras alcanzan récord histórico en 2024," *Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales – Asociación de Exportadores*, 2024.
- [4] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2021). *Política Nacional Agraria 2021-2030*. Lima: MIDAGRI.
- [5] J. R. Owen, R. Zhang, and A. Arratia-Solar, "On the economics of project-induced displacement: A critique of the externality principle in resource development projects," *J Clean Prod*, vol. 276, p. 123247, Dec. 2020.
- [6] A. M. Paredes-Rodríguez, J. P. Orejuela-Cabrera, and J. C. Osorio-Gómez, "Integrating sustainability and resilience in agri-food supply chains," *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 1122–1138, Dec. 2024.
- [7] M. Krstić, G. P. Agnusdei, S. Tadić, and P. P. Miglietta, "Prioritization of e-traceability drivers in the agri-food supply chains," *Agricultural and Food Economics*, vol. 11, no. 1, p. 42, Oct. 2023.
- [8] D. Walji, "The 'cold chain' opportunity: Reducing postharvest losses and increasing market access for rural farmers," *Shell Foundation*, 2025.
- [9] Wired, "Global Supply Chains Must Get Smart—and Sustainable", 2022.
- [10] B. D. Sarkar, I. Sharma, and S. Gupta, "Waste minimization in agri-food supply chain: perspective for sustainable development," *Environ Dev Sustain*, vol. 27, no. 3, pp. 6255–6279, Nov. 2023.
- [11] M. K. Lim, Y. Li, C. Wang, and M.-L. Tseng, "A literature review of blockchain technology applications in supply chains: A comprehensive analysis of themes, methodologies and industries," *Comput Ind Eng*, vol. 154, p. 107133, Apr. 2021.
- [12] M. U. A. Gondal, M. A. Khan, A. Haseeb, H. M. Albarakati, and M. Shabaz, "A secure food supply chain solution: blockchain and IoT-enabled container to enhance the efficiency of shipment for strawberry supply chain," *Front Sustain Food Syst*, vol. 7, Nov. 2023.
- [13] F. Ugbebor, M. Adeteye, and J. Ugbebor, "Automated Inventory Management Systems with IoT Integration to Optimize Stock Levels and Reduce Carrying Costs for SMEs: A Comprehensive Review," *Journal of Artificial Intelligence General science (JAIGS) ISSN:3006-4023*, vol. 6, no. 1, pp. 306–340, Nov. 2024.
- [14] M. B. Eriksen and T. F. Frandsen, "The impact of patient, intervention, comparison, outcome (PICO) as a search strategy tool on literature search quality: a systematic review," *Journal of the Medical Library Association*, vol. 106, no. 4, Oct. 2018.
- [15] M. J. Page et al., "Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas," *Revista Española De Cardiología*, vol. 74, no. 9, pp. 790–799, 2021.
- [16] L. Cocco et al., "A Blockchain-Based Traceability System in Agri-Food SME: Case study of a traditional bakery," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62899–62915, 2021.
- [17] I. Ehsan et al., "A Conceptual model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System," *Scientific Programming*, vol. 2022, pp. 1–15, 2022, doi: 10.1155/2022/7358354.
- [18] J. Xu et al., "A reliable traceability model for grain and oil quality safety based on blockchain and industrial internet," *Sustainability*, vol. 14, no. 22, p. 15144, 2022, doi: 10.3390/su142215144.
- [19] U. Ramanathan, R. Ramanathan, A. Adefisan, T. Da Costa, X. Cama-Moncunill, and G. Samriya, "Adapting digital technologies to reduce food waste and improve operational efficiency of a frozen food Company—The case of Yumchop Foods in the UK," *Sustainability*, vol. 14, no. 24, p. 16614, 2022, doi: 10.3390/su142416614.
- [20] K. Kampan, T. W. Tsusaka, and A. K. Anal, "Adoption of blockchain technology for enhanced traceability of Livestock-Based products," *Sustainability*, vol. 14, no. 20, p. 13148, 2022, doi: 10.3390/su142013148.
- [21] S. A. Bhat, N.-F. Huang, I. B. Sofi, and M. Sultan, "Agriculture-Food Supply chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability," *Agriculture*, vol. 12, no. 1, p. 40, 2021, doi: 10.3390/agriculture12010040.
- [22] M. Westerlund, S. Nene, S. Leminen, and M. Rajahonka, "An Exploration of Blockchain-based Traceability in Food Supply Chains: On the Benefits of Distributed Digital Records from Farm to Fork," *Technology Innovation Management Review*, pp. 6–18, 2021, doi: 10.22215/timreview/1446.
- [23] A. Goyal, H. S. Kanyal, and B. Sharma, "Analysis of IoT and blockchain technology for agricultural food supply chain transactions," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 11, no. 3, pp. 234–241, 2023, doi: 10.17762/ijritcc.v11i3.6342.
- [24] S. Tanwar, A. Parmar, A. Kumari, N. K. Jadav, W.-C. Hong, and R. Sharma, "Blockchain adoption to secure the food industry: Opportunities and challenges," *Sustainability*, vol. 14, no. 12, p. 7036, 2022, doi: 10.3390/su14127036.
- [25] H. Wu, S. Jiang, and J. Cao, "High-Efficiency Blockchain-Based Supply Chain Traceability," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 4, pp. 3748–3758, 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3205445.
- [26] H. Hameed, N. A. Zafar, E. H. Alkhamash, and M. Hadjouni, "Blockchain-Based Formal Model for Food Supply Chain Management System using VDM-SL," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, p. 14202, 2022, doi: 10.3390/su142114202.
- [27] V. Chunduri et al., "Blockchain-based secure optimized traceable scheme for smart and sustainable food supply chain," *Discover Sustainability*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s43621-024-00287-2.

- [28] N. Adamashvili, R. State, C. Tricase, and M. Fiore, "Blockchain-Based wine supply chain for the industry advancement," *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 13070, 2021, doi: 10.3390/su132313070.
- [29] R. M. Ellahi, L. C. Wood, and A. E.-D. A. Bekhit, "Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 19, p. 8944, 2024, doi: 10.3390/app14198944.
- [30] A. Khanna, S. Jain, A. Burgio, V. Bolshev, and V. Panchenko, "Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry: Safety and Traceability," *Foods*, vol. 11, no. 17, p. 2716, 2022, doi: 10.3390/foods11172716.
- [31] M. Dora, A. Kumar, S. K. Mangla, A. Pant, and M. M. Kamal, "Critical success factors influencing artificial intelligence adoption in food supply chains," *International Journal of Production Research*, vol. 60, no. 14, pp. 4621–4640, 2021, doi: 10.1080/00207543.2021.1959665.
- [32] S. Patidar, V. K. Sukhwani y A. C. Shukla, "Critical barriers of food supply chain management and application of blockchain technology to mitigate their impacts," *International Journal of Industrial Engineering*, vol. 30, no. 1, p. 188, 2023, doi: 10.23055/ijietap.2023.30.1.8507.
- [33] M. Kamariotou, F. Kitsios, C. Charatsari, E. D. Lioutas, and M. A. Talias, "Digital Strategy Decision Support Systems: Agrifood Supply Chain Management in SMEs," *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 274, 2021, doi: 10.3390/s22010274.
- [34] R. R. Panigrahi, N. Singh, and K. Muduli, "Digital technologies and food supply chain: a scoping view from 2010 to 2024," *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 2024, doi: 10.1108/IJIEOM-05-2024-0030.
- [35] H. Fatorachian, H. Kazemi, and K. Pawar, "Digital Technologies in food Supply Chain Waste Management: A case study on sustainable practices in smart cities," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, p. 1996, 2025, doi: 10.3390/su17051996.
- [36] D. Schmidt, L. F. Casagrande, M. A. Butturi, and M. A. Sellitto, "Digital Technologies, Sustainability, and Efficiency in grain Post-Harvest Activities: A Bibliometric analysis," *Sustainability*, vol. 16, no. 3, p. 1244, 2024, doi: 10.3390/su16031244.
- [37] M. C. Annosi, F. Brunetta, F. Bimbo, and M. Kostoula, "Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices," *Industrial Marketing Management*, vol. 93, pp. 208–220, 2021, doi: 10.1016/j.indmarman.2021.01.005.
- [38] I. Hasan, Z. Mohamed, Md. M. Habib, and H. Bt. M. Hanafi, "Impact of internet of things (IoT) on enhancing transparency and efficiency in Bangladesh's agri-food supply chain," *Revista De Gestão Social E Ambiental*, vol. 18, no. 9, p. e06160, 2024, doi: 10.24857/rgsa.v18n9-059.
- [39] X. Zhang, Y. Li, X. Peng, Z. Zhao, J. Han, and J. Xu, "Information Traceability Model for the grain and oil food supply chain based on trusted identification and Trusted blockchain," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 11, p. 6594, 2022, doi: 10.3390/ijerph19116594.
- [40] M. Alkahtani, B. Aljabri, A. Alsaleh, H. Alghamdi, and O. AlJuraiyed, "IoT implementation in slaughterhouses supply chain: A case study of the Adahi experiment in the Kingdom of Saudi Arabia," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 26696–26709, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3365628.
- [41] P. W. Khan, Y.-C. Byun, and N. Park, "IoT-Blockchain enabled Optimized Provenance system for food Industry 4.0 using advanced deep learning," *Sensors*, vol. 20, no. 10, p. 2990, 2020, doi:10.3390/s20102990.
- [42] Y. Hong, "New model of food supply chain finance based on the internet of things and blockchain," *Mobile Information Systems*, vol. 2021, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1155/2021/7589964.
- [43] S. Nikolicic, M. Kilibarda, M. Maslaric, D. Mircetic, and S. Bojic, "Reducing food waste in the retail supply chains by improving efficiency of logistics operations," *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6511, 2021, doi: 10.3390/su13126511.
- [44] M. N. M. Bhutta and M. Ahmad, "Secure identification, traceability and Real-Time tracking of agricultural food supply during transportation using Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 65660–65675, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3076373.
- [45] M. D. Sezer, Y. Kazancoglu, S. K. Mangla, and Ç. Lafçı, "Smart, sustainable, and resilient food supply chains in disruptive events context," *Business Strategy and the Environment*, vol. 33, no. 7, pp. 6156–6171, 2024, doi: 10.1002/bse.3801.
- [46] S. Cao, W. Powell, M. Foth, V. Natanelov, T. Miller, and U. Dulleck, "Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 180, p. 105886, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105886.
- [47] R. A. Olawale, M. A. Olawumi, and B. I. Oladapo, "Sustainable farming with machine learning solutions for minimizing food waste," *Journal of Stored Products Research*, vol. 112, p. 102611, 2025, doi: 10.1016/j.jspr.2025.102611.
- [48] G. Varavallo, G. Caragnano, F. Bertone, L. Vernetti-Prot, and O. Terzo, "Traceability Platform based on Green Blockchain: An application case study in dairy supply chain," *Sustainability*, vol. 14, no. 6, p. 3321, 2022, doi: 10.3390/su14063321.
- [49] A. Tharatipyakul and S. Pongnumkul, "User Interface of Blockchain-Based Agri-Food Traceability Applications: A review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 82909–82929, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3085982.
- [50] H. Fatorachian and A. Shokri, "Waste generation patterns and mitigation strategies in cold chains," *Journal of Environmental Management*, vol. 380, p. 125108, 2025, doi: 10.1016/j.jenvman.2025.125108.
- [51] A. Alsayat and H. Ahmadi, "Workers' opinions on using the internet of things to enhance the performance of the olive oil industry: A Machine learning approach," *Processes*, vol. 11, no. 1, p. 271, 2023, doi: 10.3390/pr11010271.
- [52] A. S. Patel, M. N. Brahmabhatt, A. R. Bariya, J. B. Nayak, and V. K. Singh, "Blockchain technology in food safety and traceability concern to livestock products," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16526, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16526.