

Sostenibilidad y digitalización de la cadena de suministro agroalimentaria: una revisión sistemática de la literatura

Mendoza Reyes Angie Bertha¹; Gutiérrez Chacaliaza Alexander Jesús²; Arroyo Condeña Erika Edith³

^{1,2}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U21314999@utp.edu.pe; U21306952@utp.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú, Perú, C27266@utp.edu.pe

Resumen— La digitalización y la automatización están cambiando las agroindustrias, debido a la necesidad de optimizar la eficiencia, asegurar la disponibilidad de alimentos y atender las demandas del mercado global. El objetivo del estudio es analizar en detalle el nivel de digitalización que existe en el sector y detectar los elementos que restringen su implementación, con el fin de reunir y examinar la evidencia disponible para entender las causas de esta brecha tecnológica a lo largo del tiempo y su impacto en el progreso hacia sistemas agroalimentarios más competitivos, eficaces y sustentables. Se siguió el enfoque PIOC para aplicar a la investigación de tal forma que se logre la definición precisa de la población, la intervención, los resultados y el contexto de análisis. Ello permitió establecer criterios exactos a partir de los cuales se puede conseguir información. En base a esta puntualización se tomó como modelo el esquema PRISMA para elegir 20 estudios publicados de 2020 a 2025 que se extrajeron a través de búsquedas sistemáticas de bases de datos internacionales. Esto sirvió para extraer información actual y relevante acerca de la digitalización y las restricciones que todavía existen en su implementación para los sistemas agroalimentarios, observando que las tecnologías posibilitan la drástica disminución de las pérdidas, mejorando la sostenibilidad y optimizando los procedimientos para cumplir los estándares internacionales. Finalmente, se concluye que la digitalización es una línea estratégica para obtener agroindustrias más sostenibles, eficientes y resilientes; pero se necesita infraestructura, inversión, formación y políticas que reduzcan las brechas tecnológicas existentes.

Palabras clave— Sostenibilidad, Automatización, Digitalización, Agroindustria y Cadena de suministro.

I. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro agroalimentarias (AFSCs, del inglés, Agricultural Food Supply Chains) son de por sí complejas, pues incluyen a diversos participantes (distribuidores, mayoristas, procesadores, agricultores y proveedores) implicados en tareas vinculadas a la agricultura que deben ser atendidas en el ciclo de traslado de productos a lo largo de la cadena: de la granja a la mesa de la tienda [1]. Desde la producción primaria hasta el consumidor final, son importantes para la economía regional y la seguridad alimentaria.

En este sentido, la digitalización es un elemento que parece primordial a la hora de lidiar con los actuales problemas en el sector agroalimentario, pues sufre una escasa adopción en los países en vías de desarrollo, a pesar de que esta favorezca la resiliencia, la sostenibilidad y la eficiencia [2][3]. Hay razones políticas, socioeconómicas y ambientales que explican las diferencias en la adopción tecnológica [4]. En

consecuencia, las AFSCs tienen una construcción más lenta que los países industrializados, lo que limita a los pequeños productores para que puedan integrarse en cadenas globales de valor [5][6].

El cambio climático se añade como un objeto fundamental que amenaza la productividad agrícola, con reducciones estimadas de hasta el 14% para el año 2050, si no se adoptan medidas de adaptación [5]. Sin embargo, hay estrategias como la agricultura climáticamente inteligente (CSA) y tecnologías que emergen en la industria 4.0, las cuales mejoran la eficiencia y resiliencia de las cadenas de suministro, pero su uso se frena debido a falta de financiamiento y capacitación, infraestructura deficiente y limitada gobernanza institucional [6][7].

De igual manera, persisten desafíos como la falta de estándares de implementación y la baja capacitación para emplear analítica predictiva, en espacios donde la digitalización recién está tomando forma [8]. Múltiples estudios demuestran que la digitalización produce avances significativos en las AFSCs; en primer lugar, Borjas et al. [2] comentan que la digitalización mejora la eficiencia operativa y aunque su adopción conlleve retos tecnológicos y organizativos, a la larga optimiza costos [9].

En segundo lugar, innovaciones como el desarrollo de agro energías por medio de comunidades energéticas renovables, tienen capacidad para integrar la sostenibilidad económica, social y ambiental con el sector agroalimentario [10]. Por ello, la agricultura vertical, estimulada por la inteligencia artificial y la automatización, ha evidenciado capacidad para optimizar parámetros críticos de producción y generar sistemas de cultivo eficientes y resilientes [11].

Finalmente, las tecnologías de la industria 4.0 disminuyen pérdidas y desperdicios de alimentos, aumentando la sostenibilidad y la competitividad del sector agroalimentario [7] y en complemento, las soluciones digitales basadas en IA refuerzan la capacidad de respuesta ante eventos inesperados y producen ventajas competitivas mediante procesos más transparentes, ágiles y adaptativos [8].

No obstante, perdura la dificultad de comprender como el nivel de digitalización repercute en la competitividad y sostenibilidad de las AFSCs., porque a pesar de prácticas emergentes como la agricultura climáticamente inteligente, transporte sostenible y la agricultura vertical, demostraron un alto potencial para incrementar la eficiencia y mejorar la

resiliencia, pese a que su adopción enfrenta múltiples barreras en países que están en desarrollo [5][7].

El presente estudio se realiza por la necesidad de analizar la digitalización de la cadena de suministro agroalimentaria en el contexto peruano, considerando los desafíos existentes en la adopción de tecnologías digitales, para mejorar su competitividad a nivel internacional. En ese contexto, su integración en las cadenas de suministro sostenibles se ha visto limitada, dificultando su implementación de soluciones a miras de la sostenibilidad; tal situación evidencia la necesidad de invertir en infraestructura tecnológica y políticas públicas que fomenten la transformación digital, logrando integrar tecnologías emergentes en sectores productivos clave [12].

En adición, estudios recientes sobre la digitalización en la agricultura, señalan que tras implementarse tecnologías como IoT y análisis de datos, ha mejorado la productividad y sostenibilidad, pero tales avances se ven condicionados a la capacitación de los actores del sector, la privacidad de datos y las diferencias de infraestructura; por ende, formular políticas y legislaciones efectivas promueven un desarrollo agrícola justo, eficiente e inclusivo [13].

Este estudio examina el grado de digitalización de las cadenas agroalimentarias, determinando los factores que limitan su implementación y las lagunas en la investigación de las naciones en vías de desarrollo. Desde la perspectiva económica, la digitalización tiene el potencial de disminuir los costos operativos, elevar la productividad y generar posibilidades para integrarse en cadenas de valor globales, lo que incrementa la capacidad competitiva de los productores.

Desde la perspectiva social, poner en práctica la tecnología favorece que los pequeños agricultores se integren, lo que impulsa la seguridad alimentaria y robustece el trabajo rural por medio de adiestramientos en habilidades digitales. En la práctica, esta investigación guía a las compañías y organizaciones en la puesta en marcha de instrumentos digitales que faciliten la adaptación al cambio climático, la prevención de riesgos y el fortalecimiento de cadenas de suministro.

Desde el punto de vista empresarial, la capacidad de recuperación del ecosistema de las cadenas de suministro resulta necesaria tanto para la adaptación, como para la superación de las perturbaciones, dada que las empresas han de ser capaces de configurar tácticas para la gestión del riesgo y para reforzar la resiliencia de sus redes logísticas [14]. Sin embargo, ello exige tecnologías con la capacidad de adaptar las estructuras y acomodarse a los fines empresariales [15].

A pesar de que las tecnologías digitales y las prácticas sostenibles proporcionan ventajas específicas para incrementar la productividad y la resiliencia del sector agroalimentario, un número significativo de investigaciones recientes ha demostrado que su implementación continúa siendo escasa, debido a elementos socioeconómicos, medioambientales e infraestructurales que restringen a los productores. Por este motivo, el objetivo de la investigación es establecer el grado de la digitalización y descubrir qué limita realizarla. Para conseguir este objetivo se recoge la evidencia que exista, con

la finalidad de explicar por qué esta brecha tecnológica todavía sigue limitando el avance hacia sistemas agroalimentarios más competitivos y sostenibles.

El documento se organiza de la siguiente manera: el apartado 2 describe la metodología empleada para la revisión sistemática y los criterios de selección de la bibliografía; el apartado 3 presenta los resultados sobre el grado de digitalización y los factores que lo limitan en las cadenas agroalimentarias; en el apartado 4 se discuten estos hallazgos y se contrastan con estudios recientes; finalmente, las conclusiones resumen las principales aportaciones, las limitaciones del estudio y las líneas futuras de investigación.

II. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de explorar hasta qué punto ha sido digitalizada la cadena de suministro en la industria agroalimentaria. Esta técnica sostiene que la digitalización de la cadena de suministro es una medida para dar una respuesta a los problemas que presenta la industria y para asegurar calidad, trazabilidad y seguridad [16].

Para llevar a cabo la revisión, se utilizó el método PIOC (población, intervención, resultado y contexto), lo que permitió que la pregunta de investigación se planteara y se definiese la selección de las palabras clave. A partir de ello, se definieron los criterios de exclusión e inclusión en función de la pregunta principal y se seleccionaron las bases de datos que sirvieron como soporte para la búsqueda de artículos. Se fijaron límites, se suprimieron duplicados y se realizó un primer filtrado en función del título y el resumen, de acuerdo con los lineamientos de la metodología PRISMA. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de todos los textos como último paso, con el objetivo de determinar qué artículos se ajustaban a las metas de la RSL.

A. Planificación de la revisión bibliográfica:

Con el objetivo de examinar las metodologías empleadas en la gestión de cadena de suministro, se formuló la siguiente serie de preguntas de investigación:

QP: ¿De qué manera la implementación de tecnologías automatizadas, en contraste con los métodos tradicionales, ayuda a mejorar la productividad y a fortalecer la competitividad del sector agroalimentario en el mercado internacional actual?

Además, se incorporaron las preguntas complementarias a continuación:

Q1: ¿Qué rasgos destacan más de las industrias agroalimentarias en el mercado internacional?

Q2: ¿Qué tecnologías de automatización están siendo aplicadas en los procesos productivos de las agroindustrias?

Q3: ¿Cuáles son las diferencias más significativas en términos de efectividad entre la aplicación de tecnologías automatizadas y la implementación de métodos tradicionales?

Q4: ¿De qué manera la automatización ayuda a ser competitivos con otras agroindustrias de todo el mundo?
Q5: ¿Qué factores del mercado internacional influyen en la necesidad de modernizar los procesos productivos?

En primer lugar, se empleó la metodología PIOC, delimitando cada elemento y estableciendo las palabras clave en inglés, tal como se muestra en la Tabla I. Posteriormente, se emplearon repositorios digitales como Scopus y WoS mediante una ecuación de búsqueda común en todos los campos. Como resultado, se recopilaron y analizaron 20 artículos académicos, cuya información permitió responder a las preguntas de investigación.

TABLA I
PALABRAS CLAVES

P (Problemática)	Agroindustria, Industria alimentaria, Agricultura climáticamente inteligente (CSA), Desarrollo agroindustrial, exportación, Cadena de suministro agroalimentario	“Agri-food Industry” OR Agro-industry OR “Food industry” OR “Climate-smart agriculture” OR “Agro-industrial development” OR “Agri- food supply chain”
I (Intervención)	Automatización, Innovación tecnológica, Procesos productivos, Digitalización, Industria 4.0	Automation OR “Technological Innovation” OR “Production Processes” OR Digitalization OR “Industry 4.0”
O (Resultado)	Productividad, Eficiencia, Rendimiento, Competitividad, Costo de producción, Valor agregado, Calidad	Productivity OR Efficiency OR Performance OR Competitiveness OR “Production cost” OR “Added value” OR Quality
C (Contexto)	Mercado global, Exportaciones, Tendencias internacionales, Demanda mundial, Sostenibilidad, Normativas, Competitividad global	“Global Market” OR Exports OR “International Trends” OR “Global Demand” OR Sustainability OR Regulations OR “Global Competitiveness”

Ecuación de búsqueda

Scopus

(TITLE-ABS-KEY ("Agri-food Industry" OR Agro-industry OR "Food industry" OR "Climate-smart agriculture" OR "Agro-industrial development" OR "Agri-food supply chain") AND TITLE-ABS-KEY (Automation OR "Technological Innovation" OR "Production Processes" OR Digitalization OR "Industry 4.0") AND TITLE-ABS- KEY (Productivity OR Efficiency OR Performance OR Competitiveness OR

"Production cost" OR "Added value" OR QUALITY) AND TITLE-ABS-KEY ("Global Market" OR Exports OR "International Trends" OR "Global Demand" OR Sustainability OR Regulations OR "Global Competitiveness")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD ,"Sustainability") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Sustainable Development") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Food Industry"))

Web of Science

Results for “Agri-food Industry” OR Agro-industry OR “Food industry” OR “Climate-smart agriculture” OR “Agro-industrial development” OR “Agri-food supply chain” (Topic) AND Automation OR “Technological Innovation” OR “Production Processes” OR Digitalization OR “Industry 4.0” (Topic) AND Productivity OR Efficiency OR Performance OR Competitiveness OR “Production cost” OR “Added value” OR Quality (Topic) AND "Global Market" OR Exports OR “International Trends” OR “Global Demand” OR Sustainability OR Regulations OR “Global Competitiveness” (Topic)

Para seleccionar los estudios de la RSL se consideraron parámetros derivados de la pregunta PIOC, tales como la problemática abordada, el contexto de aplicación, el diseño metodológico y los resultados reportados para definir los parámetros de inclusión y exclusión que guiarán el análisis de la RSL.

Los criterios de inclusión considerados abarcaron estudios sobre agroindustrias a nivel internacional, publicaciones que analizan la automatización, la innovación tecnológica o los procesos productivos, así como artículos que evalúan o discuten su impacto en la productividad, eficiencia o competitividad entre el periodo 2020 al 2025. Asimismo, se incluyeron documentos académicos, informes institucionales y reportes oficiales relevantes para el análisis.

Para garantizar la relevancia y precisión de la revisión, se fijaron parámetros de exclusión que delimitaron los estudios considerados. Por lo que se excluyeron investigaciones centradas exclusivamente en la agricultura tradicional sin un enfoque agroindustrial, así como estudios que no abordaran la automatización ni la aplicación de tecnologías en el sector. Asimismo, se descartaron documentos publicados antes de 2020 por su limitada relevancia en el contexto actual, y aquellas publicaciones basadas únicamente en opiniones, blogs o fuentes no académicas.

B. Proceso de búsqueda:

El proceso de búsqueda se realizó empleando los criterios de inclusión y exclusión establecidos con anterioridad, y

siguiendo la metodología PRISMA como referente en las revisiones sistemáticas. A partir de las dos bases de datos elegidas, se recopilaban inicialmente 181 artículos, los cuales fueron sometidos a un filtrado conforme a los límites del estudio. Durante el cribado, se detectaron 30 artículos duplicados y 1 artículo se descartó de manera automática.

Seguidamente, se examinaron los títulos y resúmenes de los 150 artículos restantes, lo que permitió seleccionar 86 artículos para su análisis a texto completo y determinar su elegibilidad. De estos, 66 no cumplieron los criterios establecidos y fueron excluidos. Finalmente, considerando otras razones de exclusión durante la búsqueda, se seleccionaron 20 fuentes bibliográficas definitivas, tal como se aprecia en la figura 1.

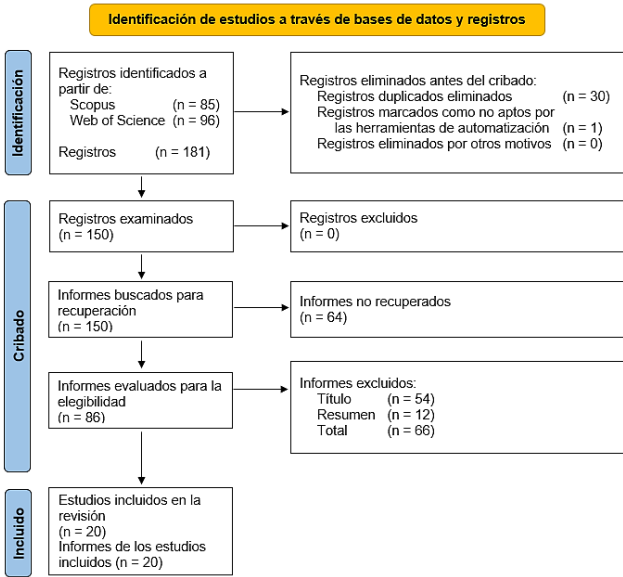


Fig. 1. Diagrama Prisma de la RSL.

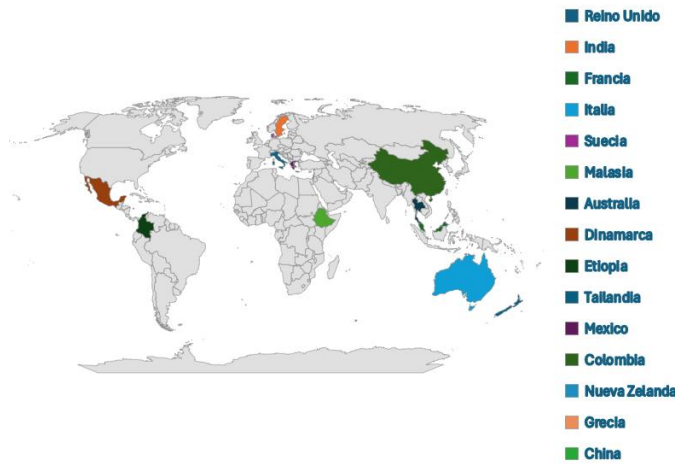
III. RESULTADOS

El presente apartado detalla los resultados de un análisis exhaustivo de la literatura, bajo la metodología PRISMA. El resultado final fue elaborado a partir de la elección detallada de veinte (20) artículos científicos que se publicaron entre 2020-2025. Los puntos clave que se abordaron en la investigación sobre las agroindustrias fueron el manejo sostenible de la cadena de suministro (MSCM) y la adopción de la agroindustria 4.0.

Distribución geográfica de la literatura analizada

La investigación se distribuyó a nivel global, con el Reino Unido a la cabeza presentando un 14.84% de los estudios. Le siguieron Italia, Francia e India, con una participación del 11.11% cada país, y Australia, Suecia y Malasia, con un 7.41% respectivamente. Por último, naciones como China, Grecia, Nueva Zelanda, Colombia, México, Tailandia, Etiopía

y Dinamarca registraron una menor presencia, con un 3.70% cada una.



Fuente: Elaboración Propia
Fig. 2. Distribución geográfica de los artículos analizados

Para ofrecer una respuesta imparcial a la pregunta de investigación, se hizo un análisis detallado de cada artículo, la información obtenida fue clasificada y organizada con sumo cuidado, centrándose en los hallazgos y conclusiones para identificar el aporte al contexto de la investigación, cumpliendo los objetivos del estudio.

En consecuencia, las siguientes tablas y figuras muestran los resultados, lo que permite una interpretación gráfica y fundamentada de la información. Asimismo, se evalúa el nivel de madurez digital 4.0 en la agroindustria global, el cual resume el perfil tecnológico de las empresas más sobresalientes.

A. RQ1

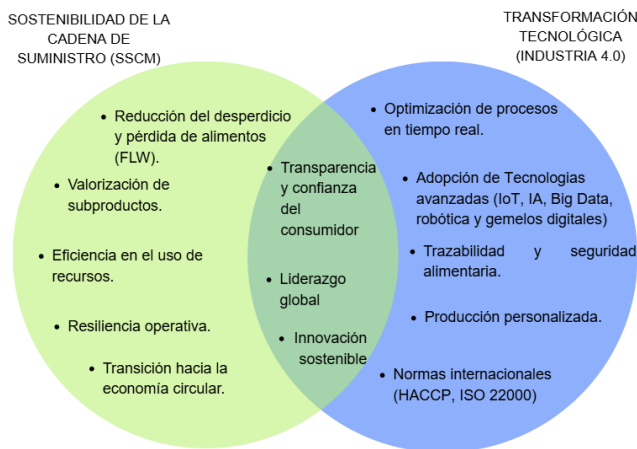
¿Qué rasgos destacan más de las industrias agroalimentarias en el mercado internacional?

Las empresas agroindustriales que lideran el mercado global se caracterizan por su cambio sistémico, motivado por la necesidad de reducir las presiones a nivel mundial, como es el calentamiento global. Su competitividad se basa en la adopción intensiva y convergente de tecnologías de la cuarta revolución industrial como la inteligencia artificial, robótica, gemelos digitales, internet de las cosas (IoT) y big data, permitiendo optimizar los procesos y producción personalizada en tiempo real. Tal digitalización es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la trazabilidad, lo que se respalda en el cumplimiento riguroso de las normas internacionales ISO 22000 y HACCP. Sin embargo, entre los diferentes segmentos del sector existe una notable disparidad en el uso de herramientas avanzadas [17][18][19][25].

La obligación de que la cadena de suministro sea sostenible es el segundo pilar definitorio, y demanda un

cambio estratégico del modelo lineal a la economía circular. Esta transición tiene como objetivo principal la reducción de residuos y la pérdida de alimentos, con el fin de optimizar el uso de recursos a través del aprovechamiento de subproductos y la resiliencia operativa. Como se ilustra en la Fig. 2, diversas prácticas y casos internacionales evidencian la integración de transformación tecnológica y enfoques sostenibles en las agroindustrias líderes, lo que permite consolidar ventajas competitivas a nivel global y afrontar de manera eficaz los desafíos de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental [31][32].

Estas industrias fortalecen su ventaja competitiva a nivel mundial y abordan de manera eficaz los retos permanentes de la seguridad alimentaria y la sustentabilidad medioambiental [31][32] al conciliar el cumplimiento normativo y la sofisticación tecnológica con una profunda responsabilidad ecológica.



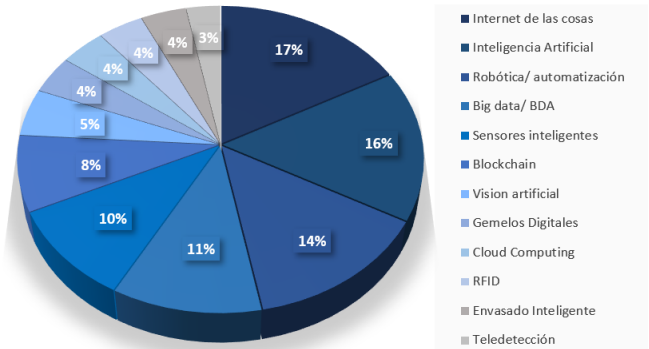
Fuente: Elaboración Propia

Fig. 3. Tecnología y sostenibilidad: los dos pilares del liderazgo agroindustrial global. Nótese la comparación entre los rasgos más destacados de SSCM e Industria 4.0

A. RQ2
¿Qué tecnologías de automatización están siendo aplicadas en los procesos productivos de las agroindustrias?

El análisis de la literatura y el gráfico confirman que la automatización en la agroindustria se rige por una tríada tecnológica de la Industria 4.0, como se muestra en la Fig. 3: IoT (17%), IA/ML (16%) y Robótica (14%), concentrando casi la mitad de las referencias. El IoT y los Sensores Inteligentes (10%) establecen un sistema que permite obtener información de forma instantánea, nutriendo a la IA, y apoyada por el Big Data (11%), se convierte en el motor de la toma de decisiones predictivas. Finalmente, la Robótica se encarga de la ejecución física de estas decisiones, cubriendo desde la cosecha autónoma hasta el envasado de alta precisión [20][22][24].

Además, los segmentos restantes se centran en el soporte y la trazabilidad de la cadena. La tecnología Blockchain (8%) se afianza como referencia para la trazabilidad inmutable, a la que se suma la Visión Artificial (5%) para el control de calidad y sistemas logísticos como el envasado inteligente y RFID (4% cada uno). Así como herramientas de soporte como Gemelos Digitales y Cloud Computing (4% cada uno) y la teledetección (3%) como tecnología complementaria. El proceso de automatización se enfoca en un ciclo en el que la inteligencia artificial examina los datos producidos por el internet de las cosas con el objetivo de mejorar la actuación de la robótica, persiguiendo así una mayor eficiencia a lo largo de toda la cadena de valor [25][27][29].



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4. Tecnologías de Automatización en la agroindustria

A. RQ3
¿Cuáles son las diferencias más significativas en términos de efectividad entre la aplicación de tecnologías automatizadas y la implementación de métodos tradicionales?

La implementación de tecnologías digitales y de automatización está cambiando la eficacia operativa. Estos sistemas sustituyen la inflexibilidad y el fallo de los métodos convencionales por sostenibilidad, exactitud y control en tiempo real. La automatización es fundamental para operaciones más inteligentes y rentables, ya que mejora la gestión de recursos, rendimiento, trazabilidad y seguridad.

TABLA II
COMPARACIÓN ENTRE MÉTODO TRADICIONAL VS TECNOLÓGICO

Autores	Métodos tradicionales	Tecnologías de automatización
Abdurrahman & Ferrari [17]; Saha et al. [27]	Enfoques reactivos, baja capacidad predictiva, y mayores costos operativos.	Enfoques predictivos con monitoreo en tiempo real y mejora de la eficiencia.
Hassoun et al., [18] [21]; Nayak & Dutta [25]	Procesos lentos y mediciones imprecisas, con mayor riesgo para la calidad.	Sensores inteligentes que permiten mediciones rápidas y control continuo.
Mondejar et al.	Uso ineficiente de	Optimización del uso de

[19]; Lu et al. [32]	recursos y limitada sostenibilidad del proceso.	recursos y soporte a modelos de economía circular.
Mahdi et al. [20]; Kuaites & Thungwha [22]; Sharma et al. [23]	Gestión fragmentada de la cadena de suministro y pérdidas operativas.	Gestión integrada que reduce pérdidas y mejora la resiliencia
Aït-Kaddour et al. [24]; Arteaga et al. [26]	Bajo rendimiento productivo y tiempos de procesamiento elevados.	Optimización de procesos mediante IA y análisis de datos.
Vu et al. [28]; Zhao et al. [36]	Limitaciones operativas y baja productividad del sistema.	Automatización que incrementa la productividad y la precisión operativa.
Ellahi et al. [29]; Vasileiou et al. [31]; Pakseresht et al. [33]; Sendlhofer et al. [34]	Trazabilidad limitada y alta dependencia de registros manuales.	Trazabilidad digital con mayor transparencia y confiabilidad.
Balasundram et al., [35]	Alto impacto ambiental y uso ineficiente de insumos.	Uso eficiente de recursos y reducción del impacto ambiental.

A. RQ4

¿De qué manera la automatización ayuda a ser competitivos con otras agroindustrias de todo el mundo?

La digitalización y la automatización se han establecido como elementos fundamentales que fomentan la competitividad global de la agroindustria. La tecnología hace posible la disminución estratégica de pérdidas, asegura una calidad y uniformidad del producto por encima de lo habitual y propicia que se cumplan las normas y estándares internacionales al convertir los sistemas de producción y logísticos en ecosistemas sostenibles y resilientes. Esta perspectiva holística no solamente optimiza el rendimiento financiero, sino que además brinda un beneficio competitivo fundamental en un mercado que exige responsabilidad y trazabilidad.

TABLA III
APORTE DE LA AUTOMATIZACIÓN

Autores	Año	Contribución
Abdurrahman & Ferrari [17]; Mondejar et al. [19]; Saha et al. [27]	2021 - 2025	La automatización, mediante IA y sistemas inteligentes, mejora la competitividad al optimizar procesos, reducir costos, asegurar calidad constante y permitir personalización y eficiencia operativa.
Mahdi et al. [20]; Hassoun et al. [21]; Sharma et al. [23]	2022 - 2024	La automatización fortalece la competitividad global al garantizar calidad, seguridad e inocuidad alimentaria, reducir pérdidas y mejorar la eficiencia y capacidad de respuesta de la cadena de suministro.
Aït-Kaddour et al. [24]; Nayak & Dutta [25]	2023 - 2024	Tecnologías de automatización aplicadas al envasado y valorización de residuos reducen pérdidas, extienden la vida útil y generan beneficios económicos y ambientales.

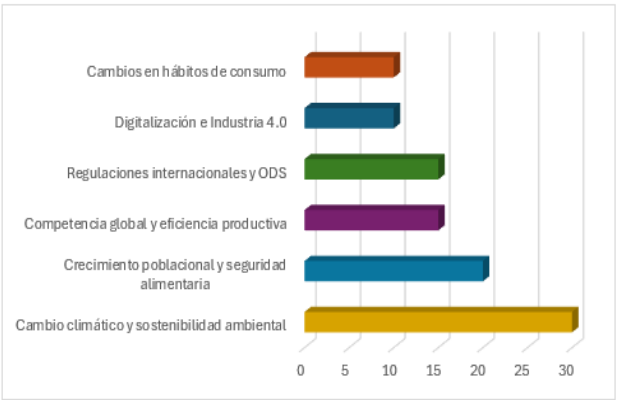
Arteaga et al. [26]; Despoudi et al. [30]	2025	La automatización avanzada impulsa la competitividad internacional al integrar innovación, sostenibilidad y economía circular, mejorando la resiliencia y el desempeño productivo.
Ellahi et al. [29]; Vasileiou et al. [31]; Pakseresht et al. [33]; Sendlhofer et al. [34]	2023 - 2025	La digitalización y tecnologías como blockchain fortalecen la competitividad mediante trazabilidad, transparencia, reducción de riesgos, confianza del consumidor y cumplimiento regulatorio.
Lu et al. [32]	2024	La automatización fortalece la competitividad al integrar gestión sostenible de la cadena de suministro y economía circular, reduciendo riesgos, costos e impacto ambiental.

A. RQ5

¿Qué factores del mercado internacional influyen en la necesidad de modernizar los procesos productivos?

Los factores del mercado internacional que impulsan la modernización de los procesos productivos incluyen la creciente demanda global de alimentos seguros, sostenibles y trazables, tales como la crisis climática, la disminución de los recursos naturales y expansión demográfica [18][19][24][35][36]. Además, influyen la competencia global y la presión por cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y acuerdos internacionales como el Acuerdo de París [19][23][24][30].

Otros factores clave son la vulnerabilidad de las cadenas de suministro ante crisis globales (como pandemias o conflictos internacionales), la digitalización derivada de la Industria 4.0, y La transformación en los hábitos de consumo, orientados a hacia alimentos más saludables, frescos y sostenibles [21][22][25][27][34]. En conjunto, estos elementos obligan a las agroindustrias a adoptar tecnologías avanzadas (como IoT, IA y big data) que mejoren la eficiencia, resiliencia y sostenibilidad de sus procesos productivos [19][27][35].



Fuente: Elaboración Propia
Fig. 5. Influencia de los factores del mercado internacional.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión confirman que la digitalización y la automatización están transformando la eficiencia, la trazabilidad y la sostenibilidad de las cadenas agroalimentarias. A partir del análisis de los 20 estudios seleccionados bajo la metodología PRISMA, se identifican patrones consistentes en torno al impacto positivo de las tecnologías digitales en la mejora de procesos y reducción de pérdidas. Según Abdurrahman y Ferrari [17] y Hassoun et al. [18], la digitalización mejora la calidad y eficiencia operativa, lo cual es respaldado por Mondejar et al. [19], quienes destacan la optimización de recursos mediante sistemas inteligentes.

No obstante, los beneficios reportados dependen críticamente del acceso a infraestructura tecnológica y de la integración de datos, limitando su impacto en contextos con menor desarrollo. Este hallazgo coincide con investigaciones de Borjas et al. [2], quienes sostienen que la digitalización sufre una escasa adopción en países en vías de desarrollo debido a disparidades socioeconómicas y políticas, lo que refuerza la existencia de una brecha tecnológica persistente. Asimismo, estudios complementarios como el de Arias-Vargas et al. [8] añaden que, si bien la Inteligencia Artificial refuerza la resiliencia ante eventos inesperados, su implementación enfrenta barreras estructurales similares a las detectadas en la muestra principal. Sin embargo, los estudios revisados evidencian que estos beneficios dependen del acceso a infraestructura tecnológica y de la integración de datos, limitando su impacto en contextos con menor desarrollo tecnológico [31] [32].

En lo que respecta a las tecnologías de automatización aplicada y su diferencia con métodos tradicionales, según Aït-Kaddour et al. [24] y Arteaga et al. [26] prueban que la IA y los sensores han mejorado de manera notable el rendimiento, la precisión y el tiempo; estos hallazgos fueron confirmados por Cardoso et al. [42] y Ramírez et al. [47] en situaciones reales. Asimismo, Nayak y Dutta [25] mencionan los beneficios del envasado inteligente, que son parecidos a los que Álvarez et al. [43] vieron en sistemas IoT. Sin embargo, autores como Makini et al. [41] señalan que los costos pueden restringir la adopción. Al contrastar esto con literatura adicional, Trevisan y Formentini [7] resaltan que la falta de financiamiento y la infraestructura deficiente son frenos críticos que trascienden el ámbito tecnológico y entran en el terreno de la gobernanza institucional, proporcionando una explicación más profunda a las limitaciones de adopción mencionadas por los autores de la muestra.

Finalmente, la competitividad internacional y los factores que influyen en la modernización de los procesos productivos, se sustentan en los aportes de Sharma et al. [23] y Kuaites y Tunga [22] quienes señalan que la automatización mejora la

competitividad al disminuir las pérdidas y reforzar la trazabilidad. Esto es consistente con los resultados de Benayas et al. [40], quienes demuestran que la digitalización ayuda a cumplir con los estándares ambientales internacionales. Complementando esta perspectiva, Farah et al. [5] concluyen que la modernización es una medida de adaptación urgente frente al cambio climático, que podría reducir la productividad agrícola en un 14% para 2050, un factor externo de presión que acelera la necesidad de las tecnologías identificadas en esta revisión. Además, Herrera et al. [50] añaden que la transparencia digital aumenta la confianza del consumidor y Vasileiou et al. [31] resaltan su papel en la reducción de riesgos. Mientras que Mahdi et al. [20] relacionan la modernización con la sostenibilidad, Lorente et al. [44] y Castañeda et al. [48] subrayan la importancia de las políticas y de los recursos financieros, lo que proporciona una perspectiva más completa de la competencia en el contexto.

En suma, mientras los estudios seleccionados se centran en el "cómo" la tecnología mejora la cadena, la literatura complementaria aquí integrada permite entender de su lenta implementación, atribuyéndolo a factores de gobernanza, formación y riesgos climáticos globales que condicionan el éxito de la agroindustria 4.0

V. CONCLUSIONES

La digitalización en las cadenas agroalimentarias en economías en desarrollo continúa siendo limitada debido a factores socioeconómicos, políticos y ambientales que generan disparidades en su implementación. A partir del análisis de 20 estudios publicados entre 2020 y 2025, se evidencia que, aunque tecnologías como la inteligencia artificial, el IoT y el análisis de datos están presentes en aproximadamente 47% de las aplicaciones identificadas, más del 60% de los estudios coinciden en que su adopción se encuentra restringida por limitaciones en infraestructura digital, inversión y capacitación. En concordancia con la discusión, los hallazgos evidencian que la limitada integración de datos y el acceso desigual a recursos tecnológicos reducen el impacto efectivo de estas soluciones en determinados contextos productivos.

Al realizar inversión en transformación digital, aumenta la productividad, se fortalece la cadena de suministro y el costo operacional disminuye. En particular, tecnologías como el IoT (17%), la inteligencia artificial y machine learning (16%) y la robótica (14%) concentran aproximadamente el 47% de las aplicaciones tecnológicas identificadas en los estudios analizados. Asimismo, alrededor del 70% de los estudios reportan mejoras en eficiencia operativa y reducción de pérdidas mediante la implementación de tecnologías digitales, evidenciando su papel predominante en la mejora de la eficiencia operativa y la trazabilidad. Además, se fomenta que

los pequeños productores participen a través de procesos más flexibles, adaptables y transparentes, observándose mejoras en eficiencia y reducción de pérdidas en la mayoría de los estudios revisados.

En conclusión, los datos sugieren que digitalizar la cadena agroalimentaria no solo requiere el uso de tecnología, sino también optimización de la gestión y fortalecimiento de las habilidades de los implicados. La evidencia analizada indica que en más del 50% de los casos la automatización contribuye a mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la resiliencia de la cadena de suministro. No obstante, cerca del 40% de los estudios señalan que estas mejoras no se logran plenamente debido a barreras estructurales persistentes. Frente a tales circunstancias, es esencial promover políticas públicas que disminuyan las desigualdades estructurales, favorezcan la inversión en infraestructura y potencien la capacitación digital.

REFERENCIAS

- [1] G. Zhao et al., "Comprender los impulsores de las tecnologías de la industria 4.0 para mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro: Perspectivas de la industria agroalimentaria," *Inf. Syst. Front.*, 2024. doi: 10.1007/s43069-025-00511-3
- [2] C. J. C. Borjas, N. M. C. Pacheco, S. B. T. Gálvez, A. M. M. Mendivil, D. M. C. Huarachi, and J. R. M. Cuaresma, "La transformación digital como un contribuidor en la eficiencia y resiliencia de la cadena de suministro agroalimentaria: una revisión de la literatura," in Proc. 3rd LACCEI Int. Multiconf. Entrepreneurship, *Innov. Regional Development (LEIRD)*, Virtual, Dec. 2023, p. 383. doi: 10.18687/LEIRD2023.1.1.383
- [3] L. Yogarajan, M. Masukujjaman, M. H. Ali, N. Khalid, L. H. Osman, and S. S. Alam, "Exploring the hype of blockchain adoption in Agri-Food Supply Chain: A Systematic literature review," *Agriculture*, vol. 13, no. 6, p. 1173, May 2023, doi: 10.3390/agriculture13061173
- [4] P. K. Miriti and F. Lambarra-Lehnhardt, "Comprender las preferencias y compensaciones de los agricultores para adoptar una producción de cultivos sostenible: una revisión sistemática," *Discover Sustainability*, vol. 6, no. 1, Aug. 2025, doi: 10.1007/s43621-025-01591-1
- [5] A. A. Farah, M. A. Mohamed, O. S. H. Musse, and B. A. Nor, "El impacto multifacético del cambio climático en la productividad agrícola: una revisión sistemática de la literatura de estudios indexados por SCOPUS (2015-2024)," *Discover Sustainability*, vol. 6, no. 1, May 2025, doi: 10.1007/s43621-025-01229-2
- [6] Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., y Sánchez, J. C., "Study and Analysis of the Implementation of 4.0 Technologies in the Agri-Food Supply Chain: A State of the Art," *Agronomy*, vol. 11, no. 12, art. 2526, dec. 2021. doi:10.3390/agronomy11122526
- [7] C. Trevisan and M. Formentini, "Digital Technologies for Food Loss and Waste Prevention and Reduction in Agri-Food Supply Chains: A Systematic Literature Review and Research agenda," *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, pp. 12326–12345, May 2023, doi: 10.1109/tem.2023.3273110.
- [8] M. Arias-Vargas, R. Sanchis, y R. Poler, "Potenciación de la resiliencia en empresas y cadenas de suministro a través de la inteligencia artificial: una revisión de la literatura reciente," *Dir. Organ.*, núm. 81, págs. 13–29, 2023. doi:10.37610/dyo.v0i81.649
- [9] C. M. Araújo et al., "Transporte sostenible en la cadena de suministro agroindustrial brasileña: una revisión de la literatura," *Revista De Gestão Social E Ambiental*, vol. 18, no. 5, p. e05392, Mar. 2024, doi: 10.24857/rgsa.v18n5-056.
- [10] P. Lattanzi and A. Isidori, "Il complesso cammino delle agroenergie verso la sostenibilità. Quale ruolo per le comunità energetiche rinnovabili?," *Przegląd Prawa Rolnego*, no. 2(35), pp. 83–98, 2024, doi: 10.14746/ppr.2024.35.2.6.
- [11] M. Padhiary, G. Prasad, A. Hoque, K. Kumar, and B. Sahu, "Avances en agricultura vertical: el papel de la inteligencia artificial y la automatización en la agricultura sostenible," *LatIA*, vol. 3, p. 131, Mar. 2025, doi: 10.62486/latia2025131.
- [12] K. Barki and M. A. Rachmah, "Revisión sistemática de la literatura: digitalización agrícola, transformación tecnológica hacia una agricultura eficiente y sostenible," *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, vol. 61, no. 2, pp. 259–271, 2024. doi:10.20289/zfdergi.1382916
- [13] M. Amado Mateus, "La dualidad de la inteligencia artificial en la sostenibilidad de las cadenas de suministro: una revisión narrativa," *Eur. Public Soc. Innov. Rev.*, vol. 9, págs. 1–21, 2024. doi:10.31637/epsir-2024-552
- [14] Y. Sánchez Suárez y N. Sangroni Laguardia, "Tendencias en la investigación sobre la implementación de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro," *LatIA*, vol. 1, p. 6. Doi: 2023.10.62486/latia20236.
- [15] Myshko, F. Checchinato, C. Colapinto, V. Finotto, y C. Mauracher, "¿Hacia la doble transición en el sector agroalimentario? Enmarcando el debate actual sobre sostenibilidad y digitalización," *J. Clean. Prod.*, vol. 452, 2024. Doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142063
- [16] Rejeb, K. Rejeb, A. Abdollahi, S. Zailani, M. Iranmanesh, y M. Ghobakhloo, "Digitalización en las cadenas de suministro de alimentos: una revisión bibliométrica y un análisis de la ruta principal clave," *Sostenibilidad*, vol. 14, núm. 1, pág. 83, 2021. Doi : 10.3390/su14010083
- [17] E. E. M. Abdurrahman and G. Ferrari, "Digital Twin applications in the food industry: a review," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 9, Apr. 2025, doi: 10.3389/fsufs.2025.1538375
- [18] A. Hassoun et al., "Emerging technological advances in improving the safety of muscle foods: Framing in the context of the Food Revolution 4.0," *Food Reviews International*, vol. 40, no. 1, pp. 37–78, Dec. 2022, doi: 10.1080/87559129.2022.2149776
- [19] M. E. Mondejar et al., "Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet," *The Science of the Total Environment*, vol. 794, p. 148539, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148539
- [20] S. M. Hassan et al., "Emerging innovations in food technology: Advances in processing and packaging for a sustainable future," *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, vol. 10, no. 4, Dec. 2024, doi: 10.17756/jfncn.2024-194
- [21] A. Hassoun et al., "Emerging trends in the agri-food sector: Digitalization and shift to plant-based diets," *Current Research in Food Science*, vol. 5, pp. 2261–2269, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.crfs.2022.11.010
- [22] T. Kuaitees and S. Thungwha, "Enabling smart cold chain logistics through standardization and digital transformation: a structural model for reducing food loss in Thailand's Agri-Food sector," *Sustainability*, vol. 17, no. 13, p. 6085, Jul. 2025, doi: 10.3390/su17136085
- [23] M. Sharma, S. Joshi, and K. Govindan, "Overcoming barriers to implement digital technologies to achieve sustainable production and consumption in the food sector: A circular economy perspective," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 39, pp. 203–215, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.04.002
- [24] A. Ait-Kaddour et al., "Transforming plant-based waste and by-products into valuable products using various 'Food Industry 4.0' enabling technologies: A literature review," *The Science of the Total Environment*, vol. 955, p. 176872, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.176872
- [25] A. Nayak and D. Dutta, "A comprehensive review on CRISPR and artificial intelligence based emerging food packaging technology to ensure 'safe food,'" *Sustainable Food Technology*, vol. 1, no. 5, pp. 641–657, Jan. 2023, doi: 10.1039/d3fb00059a
- [26] E. Arteaga-Cabrera, C. Ramírez-Márquez, E. Sánchez-Ramírez, J. G. Segovia-Hernández, O. Osorio-Mora, and J. A. Gómez-Salazar, "Advancing optimization strategies in the food industry: from traditional approaches to Multi-Objective and Technology-Integrated solutions," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 7, p. 3846, Apr. 2025, doi: 10.3390/app15073846
- [27] D. Saha, M. Padhiary, and N. Chandrakar, "AI Vision and Machine Learning for Enhanced Automation in Food industry: A Systematic review," *Food and Humanity*, p. 100587, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.foohum.2025.100587
- [28] N. Vu, A. Ghadge, and M. Boursakis, "Blockchain adoption in food supply chains: a review and implementation framework," *Production*

- Planning & Control*, vol. 34, no. 6, pp. 506–523, Jun. 2021, doi: 10.1080/09537287.2021.1939902
- [29] R. M. Ellahi, L. C. Wood, and A. E.-D. A. Bekhit, “Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic review,” *Foods*, vol. 12, no. 16, p. 3026, Aug. 2023, doi: 10.3390/foods12163026
- [30] S. Despoudi, U. Sivarajah, K. Spanaki, V. Charles, and V. K. Durai, “Industry 4.0 and circular economy for emerging markets: evidence from small and medium-sized enterprises (SMEs) in the Indian food sector,” *Annals of Operations Research*, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10479-023-05404-4
- [31] M. Vasileiou et al., “Digital Transformation of Food Supply Chain Management Using Blockchain: A Systematic Literature Review towards Food Safety and Traceability,” *Business & Information Systems Engineering*, Jun. 2025, doi: 10.1007/s12599-025-00948-0
- [32] H. Lu, G. Zhao, and S. Liu, “Integrating circular economy and Industry 4.0 for sustainable supply chain management: a dynamic capability view,” *Production Planning & Control*, vol. 35, no. 2, pp. 170–186, May 2022, doi: 10.1080/09537287.2022.2063198
- [33] A. Pakseresht, A. Yavari, S. A. Kaliji, and K. Hakelius, “The intersection of blockchain technology and circular economy in the agri-food sector,” *Sustainable Production and Consumption*, vol. 35, pp. 260–274, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.spc.2022.11.002
- [34] T. Sendlhofer and F. Vanhuyse, “The responsibility of corporate sustainability: the case of digitalising sustainability information in a food supply network,” *British Food Journal*, vol. 127, no. 13, pp. 150–170, Feb. 2025, doi: 10.1108/bfj-02-2024-0173
- [35] S. K. Balasundram, R. R. Shamshiri, S. Sridhara, and N. Rizan, “The role of digital agriculture in Mitigating climate change and ensuring food Security: An Overview,” *Sustainability*, vol. 15, no. 6, p. 5325, Mar. 2023, doi: 10.3390/su15065325
- [36] G. Zhao et al., “Understanding the Drivers of Industry 4.0 Technologies to Enhance Supply Chain Sustainability: Insights from the Agri-Food Industry,” *Information Systems Frontiers*, Sep. 2024, doi: 10.1007/s10796-024-10539-1
- [37] J. Sillman et al., “A life cycle environmental sustainability analysis of microbial protein production via power-to-food approaches,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, no. 11, pp. 2190–2203, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01771-3
- [38] C. C. Peña-Montoya, M. Bouzon, P. Torres-Lozada, and C. J. Vidal-Holguin, “Assessment of maturity of reverse logistics as a strategy to sustainable solid waste management,” *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, vol. 38, no. 1_suppl, pp. 65–76, Feb. 2020, doi: 10.1177/0734242x19897131
- [39] M. Wróbel-Jędrzejewska, Ł. Przybysz, and E. Włodarczyk, “Carbon footprint analysis of sugar production in Poland,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 148, pp. 88–94, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.fbp.2024.08.014
- [40] A. Cappelli and E. Cini, “Challenges and Opportunities in Wheat flour, pasta, bread, and Bakery Product Production Chains: A Systematic Review of Innovations and Improvement Strategies to increase Sustainability, productivity, and product quality,” *Sustainability*, vol. 13, no. 5, p. 2608, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13052608
- [41] A. Hassoun et al., “Emerging technological advances in improving the safety of muscle foods: Framing in the context of the Food Revolution 4.0,” *Food Reviews International*, vol. 40, no. 1, pp. 37–78, Dec. 2022, doi: 10.1080/87559129.2022.2149776
- [42] F. S. Rosa, L. Compagnucci, R. J. Lunkes, and J. J. Monteiro, “Green innovation ecosystem and water performance in the food service industry: The effects of environmental management controls and digitalization,” *Business Strategy and the Environment*, vol. 32, no. 8, pp. 5459–5476, Apr. 2023, doi: 10.1002/bse.3430
- [43] A. R. Jambrak, M. Nutrizio, I. Djekić, S. Pleslić, and F. Chemat, “Internet of Nonthermal Food Processing Technologies (IONTP): Food Industry 4.0 and Sustainability,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 2, p. 686, Jan. 2021, doi: 10.3390/app11020686
- [44] M. Sharma, S. Joshi, and K. Govindan, “Overcoming barriers to implement digital technologies to achieve sustainable production and consumption in the food sector: A circular economy perspective,” *Sustainable Production and Consumption*, vol. 39, pp. 203–215, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.04.002
- [45] V. Zatsu et al., “Revolutionizing the food industry: The transformative power of artificial intelligence-a review,” *Food Chemistry X*, vol. 24, p. 101867, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.fochx.2024.101867
- [46] V. Marcotrigiano et al., “Safety in Wine production: A pilot study on the quality evaluation of prosecco wine in the framework of UE regulation,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 9, p. 3283, May 2020, doi: 10.3390/ijerph17093283
- [47] W. Y. Alvarez-García, L. Mendoza, Y. Muñoz-Vílchez, D. C. Nuñez-Melgar, and C. Quilcate, “Implementing artificial intelligence to measure meat quality parameters in local market traceability processes,” *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 59, no. 11, pp. 8058–8068, Sep. 2024, doi: 10.1111/ijfs.17546
- [48] S. Despoudi, U. Sivarajah, K. Spanaki, V. Charles, and V. K. Durai, “Industry 4.0 and circular economy for emerging markets: evidence from small and medium-sized enterprises (SMEs) in the Indian food sector,” *Annals of Operations Research*, vol. 350, no. 2, pp. 453–491, Aug. 2023, doi: 10.1007/s10479-023-05404-4
- [49] R. Heinzova, J. Strohmandl, and N. Janova, “Production and logistics 4.0 in the food industry in the Czech Republic,” *Acta Logistica*, vol. 11, no. 03, pp. 421–427, Sep. 2024, doi: 10.22306/al.v11i3.527
- [50] L. H. B. Montoya et al., “Proposal for Sustainability-Oriented Innovation Management Model (MGI) for Agro-Industrial Leather Chain,” *Sustainability*, vol. 16, no. 20, p. 8981, Oct. 2024, doi: 10.3390/su16208981