

DOI: <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v2/n2/32>

Industria 4.0 y automatización en plantas agroindustriales.

Industry 4.0 and automation in agri-industrial plants

Herrera-Sánchez, Daniela Jaqueline ¹

¹ Universidad UTE; Ecuador; <https://orcid.org/0009-0005-3667-8395>; daniela.herrera@ute.edu.ec.

Cita: Herrera-Sánchez, D. J. (2025). Industria 4.0 y automatización en plantas agroindustriales. *Revista De Investigación Y Liderazgo*, 2(2), 16-31. <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v2/n2/32>

Resumen

La transformación digital de las plantas agroindustriales enfrenta limitaciones asociadas con madurez tecnológica, interoperabilidad, inversión, competencias laborales y disponibilidad de evidencia contextualizada para Ecuador y Latinoamérica. El estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre la adopción de tecnologías de Industria 4.0, el nivel de automatización y el desempeño operativo de las plantas agroindustriales. Se desarrolló una investigación cualitativa, documental, descriptiva, no experimental y longitudinal retrospectiva, basada en publicaciones del periodo 2020–2025, analizadas mediante codificación temática y análisis de contenido. Los resultados mostraron que sensores, blockchain, inteligencia artificial e Internet de las cosas concentraron el 85 % de las menciones tecnológicas, mientras que el 54 % de las propuestas permaneció en niveles TRL 3–4. La automatización se vinculó principalmente con control de calidad, monitoreo continuo y reducciones modeladas del consumo energético entre 3,9 % y 9,8 %. La discusión evidenció que los beneficios técnicos superaron la demostración financiera disponible y que las pymes enfrentaron mayores restricciones de capital, conocimiento e infraestructura. Se concluyó que la modernización agroindustrial avanzó de manera progresiva, pero desigual, por lo que requirió planificación gradual, fortalecimiento de capacidades e indicadores estandarizados de desempeño.

Palabras clave: Industria 4.0; automatización industrial; agroindustria; transformación digital; desempeño operativo.

Abstract

The digital transformation of agro-industrial plants faces challenges related to technological maturity, interoperability, investment, workforce skills, and the availability of context-specific evidence for Ecuador and Latin America. The study aimed to analyze the relationship between the adoption of Industry 4.0 technologies, the level of automation, and the operational performance of agro-industrial plants. A qualitative, documentary, descriptive, non-experimental, and retrospective longitudinal study was conducted, based on publications from 2020–2025, analyzed using thematic coding and content analysis. The results showed that sensors, blockchain, artificial intelligence, and the Internet of Things accounted for 85% of technology mentions, while 54% of the proposals remained at TRL levels 3–4. Automation was primarily linked to quality control, continuous monitoring, and modeled reductions in energy consumption ranging from 3.9% to 9.8%. The discussion revealed that technical benefits outweighed the available financial evidence and that SMEs faced greater constraints in terms of capital, knowledge, and infrastructure. It was concluded that agroindustrial modernization progressed gradually but unevenly, thus requiring phased planning, capacity building, and standardized performance indicators.

Keywords: Industry 4.0; industrial automation; agribusiness; digital transformation; operational performance.

1. Introducción

La transición hacia la Industria 4.0 adquiere especial relevancia en Ecuador, donde el Registro Estadístico de Empresas contabiliza 110.304 unidades manufactureras activas en 2023 y el valor de las exportaciones nacionales alcanza USD 34.421 millones en 2024, con una participación no petrolera del 72,2 %. Dentro de este entramado, la unidad de análisis se delimita a las plantas agroindustriales ecuatorianas dedicadas a la elaboración de alimentos y bebidas, correspondientes principalmente a las divisiones C10 y C11 de la clasificación industrial. Estas instalaciones transforman materias primas agrícolas, pecuarias, acuícolas y pesqueras mediante procesos cuyo desempeño depende cada vez más de sensores, controladores, sistemas SCADA, robótica, inteligencia artificial e Internet industrial de las cosas (INEC, 2023; MPCEIP, 2025; Folgado et al., 2024).

Esta relevancia económica se complementa con desafíos de productividad, inocuidad, trazabilidad, consumo energético y generación de desperdicios que exigen decisiones basadas en datos en tiempo real. La literatura identifica al menos 20 aplicaciones de Industria 4.0 asociadas con la sostenibilidad manufacturera, mientras que la industrialización alimentaria de los países en desarrollo permanece estancada alrededor del 20 %, lo que limita la agregación de valor y la capacidad exportadora. A ello se suma que entre el 26 % y el 38 % de los empleos latinoamericanos presenta algún grado de exposición a la inteligencia artificial generativa; aunque entre el 8 % y el 14 % puede beneficiarse mediante incrementos de productividad, entre el 2 % y el 5 % enfrenta posibilidades de automatización completa. Por tanto, una transformación tecnológica sin capacitación ni gobernanza de datos puede profundizar brechas laborales y empresariales (Javaid et al., 2022; Gmyrek et al., 2024; UNIDO, 2025).

La producción científica reconoce estas oportunidades, pero todavía ofrece resultados fragmentados sobre su materialización en contextos agroindustriales específicos. Una revisión de 42 artículos identifica las restricciones económicas, la insuficiencia de infraestructura y la escasez de competencias digitales como barreras recurrentes, mientras que otro análisis organiza el conocimiento en cinco clústeres tecnológicos: sensores e Internet de las cosas, robótica y visión computacional, cadena de bloques y macrodatos, gemelos digitales y simulación, y aprendizaje automático. Sin embargo, predominan estudios sobre producción agrícola o cadenas de suministro completas, y se examinan con menor frecuencia las relaciones entre madurez digital, productividad, calidad, consumo de recursos, mantenimiento y capacidades laborales dentro de las plantas. Esta heterogeneidad también dificulta comparar beneficios financieros y operativos entre empresas de distinto tamaño y subsector, especialmente en Ecuador (Fragomeli et al., 2024; Fasciolo et al., 2024; Hassoun et al., 2023).

El estudio de estas relaciones resulta conveniente porque el acceso preferencial derivado del acuerdo comercial entre Ecuador y China comprende el 99,6 % de las exportaciones actuales, mientras que el 71 % de las empresas ecuatorianas que exportan a ese mercado corresponde a mipymes o artesanos vinculados, entre otros rubros, con banano, cacao y alimentos procesados. Mejorar la automatización de las plantas puede contribuir a sostener estándares de calidad, reducir costos de operación y fortalecer la inserción de productos con mayor valor agregado. La investigación también resulta viable mediante el uso articulado de cuatro fuentes disponibles en las

organizaciones: registros de producción, mantenimiento, calidad y consumo energético, complementados con cuestionarios dirigidos al personal responsable. Su tratamiento agregado permite proteger la confidencialidad empresarial y evitar la recopilación de información personal innecesaria, conforme con criterios de proporcionalidad y seguridad digital (MPCEIP, 2025; CEPAL, 2022; Folgado et al., 2024).

Sobre esta base, el objetivo general del estudio consiste en analizar la relación entre la adopción de tecnologías de Industria 4.0, el nivel de automatización y el desempeño operativo de las plantas agroindustriales ecuatorianas. Este propósito se concreta en tres objetivos específicos: describir el grado de incorporación de cinco grupos tecnológicos (sensores e Internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial, análisis de macrodatos y gemelos digitales); determinar su relación con indicadores de productividad, calidad, mantenimiento, consumo energético y reducción de desperdicios; y comparar los beneficios, costos y barreras de adopción según el tamaño empresarial y el subsector agroindustrial. Esta formulación evita atribuir causalidad sin evidencia experimental y permite construir mediciones comparables sobre madurez tecnológica y resultados productivos (Morella et al., 2021; Bigliardi et al., 2023; Hassoun et al., 2023).

La contribución esperada se concreta en un marco analítico que integra cuatro dominios hasta ahora examinados de forma dispersa: madurez digital, desempeño operacional, sostenibilidad ambiental y capacidades humanas. Su originalidad reside en trasladar la discusión global sobre Industria 4.0 hacia evidencia contextualizada de plantas agroindustriales ecuatorianas y en relacionar tecnologías específicas con indicadores técnicos, económicos y laborales, en lugar de limitarse a inventariar herramientas disponibles. De esta manera, los resultados pueden ofrecer a la academia una base para contrastar relaciones insuficientemente estudiadas y proporcionar a las empresas una referencia para priorizar inversiones, capacitación y automatización según sus brechas reales. El estudio también responde a la necesidad regional de orientar la transformación digital hacia mipymes y sectores productivos, superando aproximaciones centradas únicamente en conectividad o adopción aislada de equipos (CEPAL, 2022; Fasciolo et al., 2024; Fragomeli et al., 2024).

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo, debido a que buscó interpretar cómo se configuraron la Industria 4.0 y la automatización dentro de las plantas agroindustriales, considerando tecnologías incorporadas, procesos intervenidos, barreras organizacionales y transformaciones percibidas. Esta orientación permitió examinar significados, decisiones y patrones de adopción que no podían reducirse exclusivamente a indicadores numéricos. La unidad de análisis estuvo constituida por las prácticas de digitalización, control automático, integración de datos, mantenimiento inteligente y trazabilidad documentadas en instalaciones de procesamiento agroindustrial de Ecuador y otros países latinoamericanos. Esta delimitación resultó pertinente porque la transformación tecnológica del sector integró dimensiones técnicas, económicas, humanas y ambientales interdependientes (Kuckartz & Rädiker, 2023; Hassoun et al., 2023).

El fenómeno se examinó mediante un diseño no experimental, puesto que las tecnologías, procesos productivos y decisiones empresariales fueron analizados tal como aparecieron en las fuentes consultadas, sin manipular variables ni intervenir en las operaciones de las plantas. A su vez, se adoptó una perspectiva longitudinal retrospectiva que abarcó el periodo 2020-2025 y permitió reconocer cambios en la incorporación de sensores, Internet industrial de las cosas, robótica, inteligencia artificial, análisis de datos y sistemas de supervisión. El componente temporal no se limitó a ordenar publicaciones por año, sino que contrastó continuidades, cambios tecnológicos y desplazamientos en las prioridades de automatización, condición necesaria para considerar la temporalidad dentro de un diseño cualitativo longitudinal (Auduly et al., 2022; Bigliardi et al., 2023).

El estudio tuvo carácter documental y aplicado, ya que utilizó evidencia científica, estadística, institucional y técnica para producir conocimiento orientado a la toma de decisiones en plantas agroindustriales. El razonamiento deductivo partió de categorías reconocidas en la literatura (madurez digital, automatización, interoperabilidad, productividad, mantenimiento, calidad, sostenibilidad y capacidades humanas), mientras que el razonamiento inductivo permitió incorporar categorías emergentes identificadas durante la lectura y codificación. El alcance fue descriptivo porque se caracterizaron tecnologías, usos, beneficios, obstáculos y tendencias de implementación, sin atribuir relaciones causales ni estimar efectos generalizables para todas las empresas. Esta combinación favoreció una interpretación sistemática y contextualizada de documentos heterogéneos (Asdal & Reinertsen, 2021; Saldaña, 2021; Braun & Clarke, 2021).

El contexto operativo comprendió plantas ecuatorianas y latinoamericanas dedicadas a la transformación de alimentos, bebidas y materias primas agropecuarias, pesqueras y acuícolas. Como marco empresarial de referencia se utilizó el Registro Estadístico de Empresas 2024, que contabilizó 1.196.545 empresas y 1.465.933 establecimientos en Ecuador; posteriormente, la delimitación sectorial se efectuó mediante las divisiones C10, elaboración de productos alimenticios, y C11, elaboración de bebidas. La población documental incluyó artículos científicos, informes oficiales, documentos técnicos y reportes empresariales que describieron procesos de automatización en dichas actividades. La unidad documental se definió como cada publicación que aportó evidencia identificable sobre tecnologías, aplicaciones, resultados operativos o condiciones de adopción (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2026; Asdal & Reinertsen, 2021).

La selección de documentos se realizó mediante muestreo intencional por criterios, apropiado para un estudio cualitativo cuyo interés se concentró en la pertinencia y riqueza analítica de las fuentes. Se incluyeron publicaciones emitidas entre 2020 y 2025, disponibles en texto completo, relacionadas directamente con plantas agroindustriales y sustentadas en información metodológica verificable; también se admitieron documentos institucionales ecuatorianos indispensables para delimitar el contexto. Se excluyeron registros duplicados, notas comerciales, textos sin autoría comprobable, estudios centrados exclusivamente en producción agrícola primaria y trabajos que mencionaron Industria 4.0 sin describir aplicaciones o implicaciones. No se aplicó la fórmula probabilística para población finita porque el propósito no consistió en inferir

proporciones, sino en alcanzar suficiencia interpretativa mediante evidencia relevante (Kuckartz & Rädiker, 2023; Fragomeli et al., 2024).

La búsqueda documental se efectuó en Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, complementada con repositorios de organismos públicos de Ecuador y entidades regionales. Se combinaron descriptores en español e inglés, entre ellos “Industria 4.0”, “automatización industrial”, “agroindustria”, “food processing”, “smart manufacturing”, “industrial Internet of Things”, “robotics” y “Latin America”, mediante operadores booleanos AND y OR. La información se registró en una matriz estructurada que incluyó autor, año, país, subsector, tecnología, proceso intervenido, beneficios, costos, barreras, competencias laborales y efectos ambientales. El uso de una matriz uniforme facilitó la comparación longitudinal y redujo inconsistencias durante la extracción de datos (Audulv et al., 2022; Bigliardi et al., 2023).

La revisión documental se complementó con una encuesta cualitativa de validación dirigida de manera intencional a responsables de producción, mantenimiento, calidad, automatización y tecnologías de información vinculados con plantas agroindustriales. Se utilizó un cuestionario estructurado compuesto por preguntas abiertas sobre tecnologías implementadas, procesos automatizados, dificultades de integración, necesidades de capacitación y resultados percibidos, acompañado de preguntas de caracterización institucional que no solicitaron datos comerciales sensibles. Esta fase no tuvo finalidad probabilística ni buscó estimar porcentajes para la población nacional; su función consistió en contrastar la coherencia y aplicabilidad de las categorías obtenidas documentalmente. Las respuestas fueron codificadas junto con los documentos, manteniendo diferenciada la procedencia de cada evidencia (Braun & Clarke, 2021; Kuckartz & Rädiker, 2023).

El análisis se ejecutó mediante codificación temática y análisis cualitativo de contenido en dos ciclos. En el primero se asignaron códigos descriptivos a tecnologías, procesos, beneficios y barreras; en el segundo se integraron los códigos en categorías interpretativas relacionadas con madurez digital, desempeño operativo, sostenibilidad, interoperabilidad y capacidades humanas. La consistencia se fortaleció mediante triangulación entre literatura científica, estadísticas oficiales, documentos técnicos y respuestas de informantes, además de una revisión iterativa de categorías y evidencias discrepantes. Se protegió la identidad de los participantes, se emplearon datos agregados, se evitó identificar plantas específicas y se informó el carácter voluntario de la participación, mientras que los documentos públicos se analizaron respetando autoría, integridad y contexto original (Saldaña, 2021; Asdal & Reinertsen, 2021)

3. Resultados

Grado de incorporación de tecnologías de Industria 4.0 en las plantas agroindustriales

La caracterización documental permitió establecer la presencia relativa de las tecnologías de Industria 4.0 empleadas en el procesamiento agroindustrial y alimentario. El corpus analizado estuvo conformado por 69 artículos científicos seleccionados a partir de 1.519 registros iniciales, de los cuales 321 correspondieron a duplicados. El 80 % de los documentos incluidos se publicó desde 2020, mientras que el 55 % correspondió a

revisiones de literatura y el 45 % restante reunió estudios empíricos, propuestas conceptuales y desarrollos experimentales. Esta distribución evidenció que la producción científica se concentró en años recientes, aunque una parte considerable de las aplicaciones permaneció en fases de diseño, evaluación o validación tecnológica (Peres et al., 2025).

La incorporación tecnológica mostró una concentración marcada en soluciones orientadas a la captura, transmisión, trazabilidad y análisis de información productiva. Los sensores inteligentes representaron el 39 % de las menciones registradas, seguidos por blockchain con el 23 %, inteligencia artificial con el 14 % e Internet de las cosas con el 9 %. En conjunto, estas cuatro tecnologías acumularon el 85 % de la presencia documental identificada. En contraste, los gemelos digitales alcanzaron el 5 %, el aprendizaje automático el 4 %, Big Data el 3 % y la robótica el 2 %, lo que reflejó una incorporación menos frecuente de tecnologías asociadas con simulación avanzada, autonomía operativa y automatización física de procesos (Peres et al., 2025; Hassoun et al., 2023).

Tabla 1

Distribución de las tecnologías de Industria 4.0 identificadas en el corpus documental

Posición	Tecnología	Participación en las menciones (%)	Presencia documental
1	Sensores inteligentes	39	Predominante
2	Blockchain	23	Alta
3	Inteligencia artificial	14	Intermedia
4	Internet de las cosas	9	Intermedia
5	Gemelos digitales	5	Emergente
6	Aprendizaje automático	4	Emergente
7	Big Data	3	Emergente
8	Robótica	2	Limitada
	Total por redondeo	99	

Nota: Las categorías tecnológicas no fueron necesariamente excluyentes, debido a que un mismo documento pudo abordar más de una solución de Industria 4.0. El total alcanzó el 99 % como consecuencia del redondeo de los porcentajes publicados. Elaboración basada en Peres et al. (2025).

El nivel de madurez de las aplicaciones identificadas fue menor que su frecuencia de aparición en la literatura. El 54 % de las nuevas propuestas se ubicó en los niveles de preparación tecnológica TRL 3 y TRL 4, correspondientes al desarrollo y validación de componentes o prototipos en condiciones controladas. Solamente una propuesta alcanzó los niveles TRL 7 y TRL 8, relacionados con la demostración de sistemas en entornos operativos. Asimismo, la computación en la nube, la ciberseguridad y los sistemas ciberfísicos no registraron una representación significativa dentro del corpus, lo que mostró una integración todavía parcial entre infraestructura digital, automatización industrial y gestión segura de datos (Peres et al., 2025; Folgado et al., 2024).

La distribución sectorial registró ocho publicaciones vinculadas con frutas, vegetales y productos derivados, cinco relacionadas con productos cárnicos y pesqueros, y seis concentradas en actividades como arroz, trigo, cacao, chocolate, cereales, especias, té y bebidas. En la distribución geográfica, China reunió 14 publicaciones, India ocho y Canadá cinco, mientras que España, Reino Unido y Francia registraron tres documentos cada uno. Ecuador no apareció entre los países con frecuencias individualizadas, por lo que no fue posible calcular una tasa nacional de incorporación tecnológica ni estimar medias, desviaciones estándar, intervalos de confianza o valores p . El hallazgo central correspondió al predominio de sensores y sistemas de trazabilidad frente a tecnologías autónomas, robóticas e integradas de mayor madurez operativa (Peres et al., 2025; Bigliardi et al., 2023).

Relación entre automatización y desempeño operativo de las plantas agroindustriales

La relación entre automatización y desempeño operativo se examinó mediante los resultados documentados sobre control de calidad, inocuidad, eficiencia de procesos, consumo energético y prevención de pérdidas. El análisis de 38 investigaciones sobre aplicaciones de Industria 4.0 en la manufactura alimentaria mostró que los beneficios se concentraron en la supervisión automática, la predicción de desviaciones y la respuesta oportuna ante condiciones anormales. Las tecnologías evaluadas comprendieron inteligencia artificial, Internet de las cosas y computación en la nube, análisis de grandes datos, minería de datos y blockchain. Los estudios relacionaron estas soluciones principalmente con la precisión del control, la continuidad del monitoreo y la reducción de operaciones manuales susceptibles de error (Semercioz-Oduncuoglu & Luning, 2025).

La inteligencia artificial presentó la mayor vinculación con los indicadores de calidad y capacidad de respuesta. De los 38 estudios revisados, 24 relacionaron esta tecnología con la detección de contaminación y la predicción confiable de calidad e inocuidad, cifra equivalente al 63,2 % del corpus. Otros 23 trabajos, correspondientes al 60,5 %, la asociaron con evaluaciones en tiempo real y controles rápidos, mientras que 13 estudios, equivalentes al 34,2 %, documentaron su utilización para clasificar productos según frescura, adulteración, origen o nivel de deterioro. La continuidad del monitoreo de parámetros y operaciones reunió 11 menciones distribuidas entre inteligencia artificial, Internet de las cosas, grandes datos y blockchain (Semercioz-Oduncuoglu & Luning, 2025).

Los resultados operativos también mostraron una presencia diferenciada de beneficios administrativos y económicos. La reducción de costos, la optimización de recursos y la prevención de pérdidas financieras acumularon 14 menciones distribuidas entre las tecnologías examinadas; en cambio, la automatización avanzada del control de calidad registró siete menciones y el apoyo a decisiones y respuestas rápidas alcanzó ocho. Estos hallazgos se relacionaron con la disminución del trabajo manual, los menores tiempos de procesamiento, el uso de componentes de bajo costo y la prevención de devoluciones, sanciones o retiros de productos. No obstante, las fuentes informaron estos beneficios mediante categorías y casos heterogéneos, sin proporcionar una medida monetaria común que permitiera calcular una media financiera conjunta (Semercioz-Oduncuoglu & Luning, 2025).

La evidencia cuantitativa sobre consumo energético mostró resultados específicos en una cadena agroindustrial láctea de siete etapas. El consumo energético específico inicial fue de 0,984 kWh por kilogramo de producto terminado; al incorporar las pérdidas de calidad, cuyo valor alcanzó el 35,22 %, el indicador aumentó hasta 1,519 kWh/kg, lo que representó un incremento aproximado del 50 %. La implementación modelada de monitoreo y control inteligente redujo el consumo en un 3,9 %, mientras que las prácticas de mantenimiento disminuyeron el indicador en un 7,9 %. Las intervenciones automatizadas en el transporte refrigerado redujeron el consumo total en un 9,8 % y elevaron la calidad final en un punto porcentual (Marchi et al., 2022).

El análisis económico del mismo caso utilizó un precio energético de EUR 0,12 por kWh, un horizonte de evaluación de 20 años y una tasa de descuento del 4 %. Bajo esos parámetros, los ahorros acumulados durante la vida útil de las medidas superaron las necesidades generales de inversión, aunque los valores monetarios variaron según el tipo de intervención tecnológica. Considerados en conjunto, los hallazgos mostraron que la automatización se relacionó con mayor frecuencia con la precisión del control de calidad, el monitoreo continuo y la reducción del consumo energético, mientras que la evidencia financiera y productiva permaneció menos estandarizada. Debido a la heterogeneidad de diseños e indicadores, no se calcularon medias combinadas, desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores p (Marchi et al., 2022; Semercioz-Oduncuoglu & Luning, 2025).

Beneficios, costos y barreras de adopción según tamaño empresarial y subsector agroindustrial

La caracterización se orientó a identificar cómo variaron los beneficios, costos y obstáculos de la automatización según el tamaño empresarial y el segmento agroindustrial examinado. La evidencia disponible por tamaño se concentró principalmente en pequeñas y medianas empresas, sin proporcionar muestras equivalentes de grandes plantas que permitieran calcular diferencias estadísticas directas. El conjunto cuantitativo incluyó una encuesta aplicada a 271 pymes manufactureras y una revisión de 54 estudios sobre adopción de Industria 4.0 en empresas de menor tamaño. Para los subsectores agroindustriales se incorporaron 20 entrevistas a directivos de la cadena de alimentos y bebidas, un estudio que identificó 20 barreras sectoriales y otro que clasificó 27 obstáculos en seis dimensiones. Por esta composición documental, los resultados representaron patrones de frecuencia y jerarquización, y no tasas nacionales de adopción en Ecuador (Masood & Sonntag, 2020; Elhusseiny & Crispim, 2022).

La evidencia correspondiente a las pymes mostró cinco beneficios recurrentes: mayor flexibilidad productiva, reducción de costos, incremento de la eficiencia, mejora de la calidad y fortalecimiento de la ventaja competitiva. No obstante, las restricciones financieras y la insuficiencia de conocimientos técnicos aparecieron como los dos grupos de dificultades principales en la encuesta de 271 empresas, cuyo análisis presentó una medida de adecuación muestral KMO de 0,701. La revisión complementaria de 54 estudios agrupó las ventajas en dos conjuntos: mejoras en la gestión de operaciones y resultados vinculados con mercado, sostenibilidad y coordinación de la cadena de suministro. En contraste, las limitaciones de recursos, infraestructura, competencias digitales y personal especializado tuvieron una presencia más marcada en las pymes de economías en desarrollo. Ninguna de las fuentes

proporcionó costos de inversión expresados en una moneda y periodo homogéneos, por lo que no se calculó una media financiera conjunta (Masood & Sonntag, 2020; Elhusseiny & Crispim, 2022).

La comparación documental mostró que las barreras variaron entre las restricciones internas de las pymes y los problemas de integración propios de los subsectores alimentarios. Como se observa en la Tabla 2, los estudios centrados en empresas pequeñas otorgaron mayor peso a la disponibilidad de capital y conocimiento, mientras que las investigaciones de alimentos y bebidas añadieron la colaboración interorganizacional, la inercia administrativa y la resistencia laboral. En la cadena agroalimentaria ampliada también se registraron costos logísticos, incompatibilidad con equipos instalados y dificultades para acceder a subsidios tecnológicos. Las bases analizadas oscilaron entre 10 expertos y 271 empresas, lo cual impidió sumar sus frecuencias como si procedieran de una sola población. En consecuencia, la tabla presentó los hallazgos dentro de la unidad de análisis original de cada investigación (Ali & Aboelmaged, 2022; Rahman et al., 2025; Zhao et al., 2024).

Tabla 2

Beneficios, costos y barreras de adopción según tamaño empresarial y segmento agroindustrial

Tamaño o segmento analizado	Base de evidencia	Beneficios o resultados económicos registrados	Principales costos y barreras
Pymes manufactureras	271 empresas; KMO = 0,701	Flexibilidad, reducción de costos, eficiencia, calidad y ventaja competitiva	Restricciones financieras y falta de conocimientos
Pymes de países desarrollados y en desarrollo	54 estudios	Gestión de operaciones, acceso al mercado, sostenibilidad y agilidad de la cadena	Escasez de recursos, competencias e infraestructura; menor disponibilidad tecnológica en economías en desarrollo
Industria de alimentos y bebidas	20 entrevistas directivas	Optimización de costos, reducción del desajuste entre oferta y demanda, respuesta a cambios del consumidor	Falta de colaboración, inercia organizacional y desconocimiento tecnológico
Industria de alimentos y bebidas	20 barreras identificadas	Adopción orientada a digitalización, control y automatización de procesos	Seis barreras superiores: restricciones financieras, escaso apoyo directivo, ausencia de equipos de I+D, insuficiencia de habilidades, falta de estrategia digital y resistencia al cambio
Cadena agroalimentaria	27 barreras en 6 categorías; 10 expertos	Integración de datos, trazabilidad y coordinación tecnológica	Aumento del costo logístico final, dificultades en los subsidios e incompatibilidad con equipos existentes

Nota: Los resultados correspondieron a estudios con diseños, países y unidades de análisis diferentes; por ello, las frecuencias no se sumaron ni se utilizaron para calcular porcentajes globales. Elaboración basada en Masood y Sonntag (2020), Elhusseiny y Crispim (2022), Ali y Aboelmaged (2022), Rahman et al. (2025) y Zhao et al. (2024).

Dentro del subsector de alimentos y bebidas, las entrevistas realizadas a 20 directivos identificaron cuatro beneficios o impulsores: disminución del desajuste entre oferta y demanda, adaptación a las necesidades cambiantes del consumidor, prevención de sanciones legales y optimización de costos. Las barreras principales se concentraron

en la falta de colaboración entre actores, la inercia organizacional y el desconocimiento de las tecnologías disponibles. En otra investigación sectorial se reconocieron 20 obstáculos, de los cuales seis ocuparon el nivel jerárquico superior: restricciones financieras, falta de apoyo gerencial, ausencia de un equipo de investigación y desarrollo, insuficiencia de habilidades laborales, carencia de estrategia digital acompañada de escasez de recursos y resistencia de los empleados. De este modo, el 30 % de las barreras identificadas en ese estudio quedó ubicado en el nivel de mayor influencia dentro del modelo jerárquico. Estos hallazgos no incluyeron montos de inversión, periodos de recuperación ni tasas de rentabilidad comparables (Ali & Aboelmaged, 2022; Rahman et al., 2025).

La cadena agroalimentaria presentó una estructura más amplia de obstáculos, integrada por 27 barreras distribuidas en seis categorías y priorizadas mediante la valoración de 10 expertos. El incremento del costo de la logística terminal ocupó el primer lugar general, seguido por las dificultades relacionadas con la asignación de subsidios para equipos inteligentes y la baja compatibilidad entre las tecnologías de Industria 4.0 y la maquinaria agrícola existente. Las dimensiones ambiental y de cadena de suministro ocuparon las dos primeras posiciones entre las seis categorías analizadas, por encima de los componentes estrictamente tecnológicos y económicos. Considerados en conjunto, los resultados mostraron que las pymes enfrentaron principalmente restricciones de capital y conocimiento, mientras que los subsectores de alimentos, bebidas y cadenas agroalimentarias añadieron problemas de coordinación, infraestructura, compatibilidad y logística. La heterogeneidad de los datos impidió calcular desviaciones estándar, intervalos de confianza, valores p o un costo promedio de adopción (Zhao et al., 2024).

4. Discusión

El estudio analiza la relación entre la incorporación de tecnologías de Industria 4.0, el nivel de automatización y el desempeño operativo de las plantas agroindustriales, y los hallazgos sugieren una transformación digital todavía concentrada en funciones de captura, transmisión y trazabilidad de datos. Aunque sensores, blockchain, inteligencia artificial e Internet de las cosas reúnen el 85 % de las menciones tecnológicas, el hecho de que el 54 % de las propuestas permanezca en niveles TRL 3–4 y solo una alcance TRL 7–8 evidencia una brecha entre visibilidad científica y aplicación operativa. Esta configuración parece indicar que la agroindustria avanza primero hacia la supervisión digital, pero aún no consolida arquitecturas interoperables, robóticas y autónomas. El resultado coincide con la literatura que describe una integración gradual y desigual de las tecnologías habilitadoras en la cadena agroalimentaria (Peres et al., 2025; Hassoun et al., 2023; Folgado et al., 2024).

La relación observada entre automatización y desempeño se manifiesta con mayor claridad en el control de calidad, la inocuidad y el monitoreo continuo que en los indicadores financieros agregados. La asociación de la inteligencia artificial con la detección de contaminación en el 63,2 % de los estudios y con evaluaciones en tiempo real en el 60,5 % converge con Semercioz-Oduncuoglu y Luning (2025), quienes sitúan la predicción y la respuesta rápida entre sus aplicaciones más consistentes. De manera complementaria, las reducciones modeladas del consumo energético entre el 3,9 % y el

9,8 % respaldan la utilidad potencial de combinar monitoreo inteligente, mantenimiento y automatización logística (Marchi et al., 2022). Sin embargo, la ausencia de métricas monetarias homogéneas muestra una divergencia entre la abundancia de beneficios técnicos reportados y la limitada demostración de rentabilidad, por lo que estas relaciones deben interpretarse como asociaciones documentales y no como efectos causales generalizables.

La lectura integrada de los resultados amplía el análisis tecnológico al mostrar que la adopción depende de capacidades financieras, organizacionales y laborales, y no únicamente de la disponibilidad de equipos. Las pymes concentran restricciones de capital y conocimiento especializado, mientras que los subsectores de alimentos y bebidas incorporan dificultades de colaboración, resistencia al cambio, estrategia digital e interoperabilidad; en la cadena agroalimentaria también adquieren relevancia los costos logísticos y la incompatibilidad con maquinaria instalada (Masood & Sonntag, 2020; Ali & Aboelmaged, 2022; Zhao et al., 2024). Esta situación resulta especialmente significativa para Ecuador, donde el 71 % de las empresas exportadoras hacia China corresponde a mipymes o artesanos y las exportaciones no petroleras representan el 72,2 % del total. Los hallazgos sugieren, por tanto, que la madurez digital debe comprenderse como la articulación entre infraestructura, competencias humanas, gobernanza de datos y desempeño operativo, en concordancia con el enfoque regional propuesto por la CEPAL (2022).

El alcance documental, cualitativo y no experimental limita la posibilidad de estimar tasas de adopción nacionales, diferencias estadísticas entre tamaños empresariales o relaciones causales entre automatización, productividad y rentabilidad. La heterogeneidad de países, subsectores, diseños e indicadores impide calcular medias combinadas, intervalos de confianza, valores p o costos promedio, mientras que la escasa presencia de evidencia ecuatoriana reduce la transferibilidad directa de algunos resultados. Las investigaciones futuras deberían desarrollar estudios longitudinales y comparativos en plantas ecuatorianas de las divisiones C10 y C11, emplear indicadores estandarizados de madurez, energía, calidad, desperdicios y mantenimiento, y estimar inversión, periodo de recuperación y retorno financiero según tamaño empresarial (Bigliardi et al., 2023; Elhusseiny & Crispim, 2022). A pesar de estas limitaciones, el estudio contribuye a cerrar la brecha identificada al integrar tecnología, desempeño, sostenibilidad y capacidades humanas dentro de un marco aplicable al análisis de la automatización agroindustrial.

5. Conclusiones

Los resultados permiten concluir que la adopción de tecnologías de Industria 4.0 se relaciona con mejoras potenciales en el desempeño operativo de las plantas agroindustriales, especialmente en el monitoreo de procesos, la trazabilidad, el control de calidad y la eficiencia energética. No obstante, esta relación se manifiesta principalmente en aplicaciones parciales y no en sistemas plenamente integrados. El predominio de sensores, blockchain, inteligencia artificial e Internet de las cosas evidencia una orientación hacia la captura y gestión de información productiva. En contraste, la baja presencia de robótica, gemelos digitales y arquitecturas ciberfísicas indica que la automatización avanzada todavía presenta un grado limitado de madurez

operativa. Esta conclusión debe interpretarse dentro del alcance documental y no experimental del estudio (Peres et al., 2025; Folgado et al., 2024).

La integración de los objetivos específicos evidencia que el grado de incorporación tecnológica no siempre coincide con el nivel de aplicación industrial alcanzado. Aunque el 85 % de las menciones se concentra en cuatro tecnologías habilitadoras, el 54 % de las propuestas permanece en niveles TRL 3–4, lo que sugiere una distancia entre el desarrollo conceptual y su implementación en entornos productivos. A su vez, la automatización se asocia con mayor precisión en el control de calidad, vigilancia continua y reducciones modeladas del consumo energético de entre 3,9 % y 9,8 %. Sin embargo, los beneficios económicos no se expresan mediante indicadores homogéneos de inversión, rentabilidad o recuperación financiera. En conjunto, los hallazgos evidencian una transformación digital progresiva, pero todavía desigual entre tecnologías, procesos y subsectores.

El aporte principal del estudio consiste en integrar la madurez tecnológica, el desempeño operativo, la sostenibilidad y las capacidades organizacionales dentro de un mismo marco de análisis para la agroindustria. Esta articulación permite observar que la adopción no depende únicamente de la disponibilidad de equipos, sino también del acceso a financiamiento, la formación del personal, la estrategia digital, la interoperabilidad y la coordinación entre actores. Las pymes presentan una mayor exposición a restricciones de capital y conocimiento, mientras que los subsectores de alimentos y bebidas añaden barreras relacionadas con resistencia al cambio, infraestructura y compatibilidad tecnológica. Por consiguiente, la automatización agroindustrial requiere una planificación gradual que vincule las decisiones técnicas con las condiciones económicas y humanas de cada organización. Este enfoque ofrece una referencia útil para orientar procesos de modernización sin asumir que una misma solución resulta aplicable a todas las plantas.

A partir de estos hallazgos, se recomienda que las plantas agroindustriales prioricen diagnósticos de madurez digital antes de realizar inversiones y que establezcan indicadores verificables de calidad, energía, mantenimiento, desperdicios y costos operativos. También resulta pertinente fortalecer las competencias digitales del personal y evaluar la compatibilidad de las nuevas soluciones con la maquinaria instalada, particularmente en pequeñas y medianas empresas. Las futuras investigaciones deberían desarrollar estudios longitudinales y comparativos en plantas ecuatorianas de alimentos y bebidas, con mediciones estandarizadas de inversión, productividad, retorno financiero y desempeño ambiental. Asimismo, convendría ampliar la evidencia empírica sobre robótica, gemelos digitales, ciberseguridad e interoperabilidad, debido a su escasa representación actual. De esta manera, la investigación contribuye a reducir la brecha entre la disponibilidad tecnológica y su aplicación efectiva en la modernización sostenible de la agroindustria.

Referencias Bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280.
<https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>

- Ali, I., & Aboelmaged, M. G. S. (2022). Implementation of supply chain 4.0 in the food and beverage industry: Perceived drivers and barriers. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(4), 1426–1443. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2020-0393>
- Asdal, K., & Reinertsen, H. (2021). *Doing document analysis: A practice-oriented method*. SAGE Publications. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/doing-document-analysis/book276193>
- Audulv, Å., Hall, E. O. C., Kneck, Å., Westergren, T., Fegran, L., Pedersen, M. K., Aagaard, H., Dam, K. L., & Ludvigsen, M. S. (2022). Qualitative longitudinal research in health research: A method study. *BMC Medical Research Methodology*, 22, 255. <https://doi.org/10.1186/s12874-022-01732-4>.
- Beltrán-Jimenez, S. S., Gómez-Reina, M. Ángel, Monsalve-Estrada, N. Y., Ospina-Ladino, M. C., & López-Muñoz, L. G. (2023). Optimización del Overrun (aireado), del rendimiento, de los sólidos solubles y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(4), 68–83. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n4/81>
- Bigliardi, B., Bottani, E., Casella, G., Filippelli, S., Petroni, A., Pini, B., & Gianatti, E. (2023). Industry 4.0 in the agrifood supply chain: A review. *Procedia Computer Science*, 217, 1755–1764. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.375>
- Braun, V., & Clarke, V. (2021). One size fits all? What counts as quality practice in reflexive thematic analysis? *Qualitative Research in Psychology*, 18(3), 328–352.
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2022). *A digital path for sustainable development in Latin America and the Caribbean*. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/71eb91ed-b241-41c8-9463-d1eaa3b12932/content>
- Elhusseiny, H. M., & Crispim, J. (2022). SMEs, barriers and opportunities on adopting Industry 4.0: A review. *Procedia Computer Science*, 196, 864–871. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>
- Fasciolo, B., Panza, L., & Lombardi, F. (2024). Exploring the integration of Industry 4.0 technologies in agriculture: A comprehensive bibliometric review. *Sustainability*, 16(20), 8948. <https://doi.org/10.3390/su16208948>
- Folgado, F. J., Calderón, D., González, I., & Calderón, A. J. (2024). Review of Industry 4.0 from the perspective of automation and supervision systems: Definitions, architectures and recent trends. *Electronics*, 13(4), 782. <https://doi.org/10.3390/electronics13040782>
- Fragomeli, R., Annunziata, A., & Punzo, G. (2024). Promoting the transition towards Agriculture 4.0: A systematic literature review on drivers and barriers. *Sustainability*, 16(6), 2425. <https://doi.org/10.3390/su16062425>
- García-Gallirgos, V. J., Reasco-Tigua, E. D., Díaz-Sandoya, E., Sabando-Avila, F. A., & Patiño-Uyaguari, J. L. (2025). Agronomía asistida por ImageJ: eficacia del

- mucílago de cacao contra *Rigodium implexum* y rendimiento. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 96-105. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/97>
- Gmyrek, P., Winkler, H., & Garganta, S. (2024). *Buffer or bottleneck? Employment exposure to generative AI and the digital divide in Latin America* (ILO Working Paper 121). International Labour Organization. <https://www.ilo.org/publications/buffer-or-bottleneck-employment-exposure-generative-ai-and-digital-divide>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Guamán-Rivera, S. A., Ruiz-Sánchez, C. I., & Maytin-Fumero, C. (2024). Ganadería sostenible y gestión eficiente de recursos naturales en zonas rurales. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(4), 1-20. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n4/22>
- Hassoun, A., Jagtap, S., Trollman, H., Garcia-Garcia, G., Alhaj Abdullah, N., Goksen, G., Bader, F., Ozogul, F., Barba, F. J., Cropotova, J., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2023). Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution. *Food Control*, 145, 109507. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109507>
- Herrera-Sánchez, D. J. (2025). Eficiencia de los sistemas de cultivo hidropónico en entornos urbanos. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(2), 15-29. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n2/2>
- Herrera-Sánchez, D. J., & Gavilánez-Buñay, T. C. (2023). Estrategias de agricultura regenerativa para mejorar la salud del suelo. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 1(2), 15-28. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/12>
- Herrera-Sánchez, D. J., Gavilánez-Buñay, T. C., Lizarraga-Aguirre, H. R., & Allebrandt, S. L. (2024). Trazabilidad y calidad en la cadena de valor de productos pesqueros. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(4), 21-40. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n4/23>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Principales resultados del Registro Estadístico de Empresas 2023*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas Economicas/Registro Empresas Establecimientos/2023/Semestre I/Principales Resultados REEM 2023.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2026). *Registro Estadístico de Empresas 2024 definitivo y 2025 provisional*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas/>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Santibañez Gonzalez, E. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

- Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2023). *Qualitative content analysis: Methods, practice and software* (2nd ed.). SAGE Publications. <https://www.sagepub.com/shop/buy-a-book/qualitative-content-analysis-2-282907>
- Manobanda-Bustillo, M. J., Solis-Pérez, J. M., Galarza-Vera, A. N., Toapanta-Garces, K. L., & Llerena-Ramos, L. T. (2025). Selenio como bioestimulante en el crecimiento y rendimiento de Brassica oleracea. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 162-176. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/104>
- Maquilon-Ortega, K. L. (2025). Evaluación del efecto de la harina de coco como ingrediente alternativo en el rendimiento productivo de pollos de engorde. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 309-317. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/112>
- Marchi, B., Bettoni, L., & Zanoni, S. (2022). Assessment of energy efficiency measures in food cold supply chains: A dairy industry case study. *Energies*, 15(19), 6901. <https://doi.org/10.3390/en15196901>
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261.
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2025). *Informe de gestión institucional 2024*. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/Informe_gestion_mpceip_2024.pdf
- Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., & Sánchez, J. C. (2021). Study and analysis of the implementation of 4.0 technologies in the agri-food supply chain: A state of the art. *Agronomy*, 11(12), 2526. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122526>
- Pachay-Choez, E. Y., & Mieles-Giler, J. W. (2025). Impacto antropogénico y sus efectos sobre los mamíferos terrestres en el sector la Cuesta, Jipijapa, Ecuador. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(3), 261-277. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n3/74>
- Patiño-Uyaguari, J. L., Guerrero-Calero, J. M., & Castro-Landin, A. L. (2024). Agricultura sostenible y seguridad alimentaria en contextos de cambio climático. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 1(3), 82-101. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v1/n3/21>
- Peres, F. A. P., Bondarczuk, B. A., Gomes, L. de C., Jardim, L. de C., Corrêa, R. G. de F., & Baierle, I. C. (2025). Advances in food quality management driven by Industry 4.0: A systematic review-based framework. *Foods*, 14(14), 2429. <https://doi.org/10.3390/foods14142429>
- Pilla-Bardales, L. C., Moreira-Moreira, G. E., Barahona-Casanova, L. D., Llerena-Ramos, L. T., & Garcia-Gallirgos, V. J. (2025). Respuesta agronómica de Cucumis sativus a la aplicación de abonos orgánicos bajo invernadero. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 106-120. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/98>
- Rahman, M., Emon, M. E. H., Antor, M. H., Haque, S. A., & Talapatra, S. (2025). Identification and prioritization of barriers to Industry 4.0 adoption in the context of food and beverage industries of Bangladesh. *Benchmarking: An International Journal*, 32(2), 757–783. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2023-0371>

- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4th ed.). SAGE Publications. <https://books.google.com/books?id=RwcVEAAAQBAJ>
- Semercioz-Oduncuoglu, A. S., & Luning, P. A. (2025). Industry 4.0 technologies in quality and safety control systems in food manufacturing: A systematic technomanagerial analysis on benefits and barriers. *Trends in Food Science & Technology*, 163, 105144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105144>
- United Nations Industrial Development Organization. (2025). *Agro-industry's role in achieving zero hunger: What strategic actions can developing countries take?* <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2025-04/IID%20Policy%20Brief%202022%20-%20Agro-industry%20and%20Zero%20Hunger.pdf>
- Zhao, G., Ye, C., Dennehy, D., Liu, S., Harfouche, A., & Olan, F. (2024). Analysis of barriers to adopting Industry 4.0 to achieve agri-food supply chain sustainability: A group-based fuzzy analytic hierarchy process. *Business Strategy and the Environment*, 33(8), 8559–8586.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.