

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Trazabilidad en la cadena de suministro de empresas de alimentos en Latinoamérica

Traceability in the supply chain of food companies in Latin America

André Rodríguez¹  y Jhonsson Quevedo¹ 

RESUMEN

La implementación de sistemas de trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica es la base para asegurar la inocuidad alimentaria y fortalecer la confianza del consumidor. Esta investigación tiene como objetivo analizar el estado actual de los sistemas de trazabilidad en las empresas alimentarias de Latinoamérica identificando dificultades y proponiendo estrategias para mejorar su implementación. Se realizó una revisión de literatura evaluando 23 artículos de diversas bases de datos académicas (Scopus, Web of Science, ProQuest, Google Scholar y SciELO), con una muestra total de 88 trabajos publicados entre 2016 y 2024. Los estudios presentan un 28 % de investigaciones aplicadas y 72 % de investigaciones básicas, utilizando metodologías descriptivas (52%), exploratorias (36%) y explicativas (12%). Los resultados revelan que tecnologías como blockchain, IoT y gemelos digitales mejoran significativamente la trazabilidad y transparencia en la cadena de suministro, permitiendo una mejor gestión y reduciendo pérdidas. Sin embargo, desafíos como la falta de infraestructura y la necesidad de capacitación técnica limitan su adopción. Se concluye que, aunque las tecnologías emergentes pueden optimizar la cadena de suministro, es esencial abordar estos desafíos para maximizar sus beneficios y promover un sistema alimentario más eficiente y sostenible en la región.

Palabras clave: Trazabilidad, cadena de suministro, blockchain, IoT - Internet de las cosas, industria alimentaria en Latinoamérica.

ABSTRACT

The implementation of traceability systems in the food supply chain in Latin America is fundamental for ensuring food safety and strengthening consumer confidence. This research aims to analyze the current state of traceability systems in Latin American food companies by identifying difficulties and proposing strategies for improving their implementation. A literature review was conducted, evaluating 23 articles from various academic databases (Scopus, Web of Science, ProQuest, Google Scholar, and SciELO), with a total sample of 88 published works between 2016 and 2024. The studies include 28% applied research and 72% basic research, employing descriptive (52%), exploratory (36%), and explanatory (12%) methodologies. The results reveal that technologies such as blockchain, IoT, and digital twins significantly enhance traceability and transparency in the supply chain, allowing for better management and reducing losses. However, challenges such as lack of infrastructure and the need for technical training limit their adoption. It is concluded that while emerging technologies can optimize the supply chain, addressing these challenges is essential to maximize their benefits and promote a more efficient and sustainable food system in the region.

Keywords: Traceability, supply chain, blockchain, IoT - Internet of things, food industry in Latin America.

* Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

La trazabilidad en la cadena de suministro ha cobrado una relevancia significativa en el sector alimentario de Latinoamérica debido a la creciente demanda de transparencia y seguridad alimentaria por parte de los consumidores (Mello et al., 2021; Elias, 2024). Las empresas de alimentos en la región han enfrentado numerosos desafíos relacionados con la gestión de la trazabilidad, incluida la necesidad de garantizar la calidad y la seguridad de los productos desde su origen hasta el consumidor final (Gomez-Gomez et al., 2024; Gleadall et al., 2024). Diversos estudios han resaltado la implementación de tecnologías emergentes, como el blockchain, gemelos digitales y el Internet de las Cosas (IoT), que han mejorado considerablemente la visibilidad y la gestión de la cadena de suministro (Purnama y Sejati, 2023; Wong et al., 2024).

La implementación de estas tecnologías emergentes se basa en conceptos clave como blockchain, IoT y gemelos digitales. Blockchain es una tecnología de registro distribuido que asegura la inmutabilidad y transparencia de los datos a lo largo de la cadena de suministro, permitiendo que todas las partes involucradas puedan acceder a un historial confiable y auditable de los productos (Singh et al., 2023). El Internet de las Cosas (IoT), por su parte, conecta dispositivos y sensores para recopilar y transmitir datos en tiempo real, lo que facilita el monitoreo continuo de las condiciones de almacenamiento y transporte (Wong et al., 2024). Finalmente, los gemelos digitales son representaciones virtuales de los productos y procesos físicos que permiten simular y analizar escenarios para optimizar las operaciones y predecir posibles problemas antes de que ocurran (López et al., 2022). Estas tecnologías, en conjunto, han revolucionado la capacidad de las empresas para gestionar de manera más efectiva la trazabilidad y la calidad en la cadena de suministro.

Estas innovaciones han permitido un seguimiento más preciso y en tiempo real de los productos alimentarios, reduciendo riesgos y aumentando la confianza del consumidor (Calatayud y Montes, 2021; Emmanuel et al., 2023). Además, estas tecnologías han facilitado la integración de datos a lo largo de toda la cadena de suministro, permitiendo una mejor coordinación entre los diferentes actores involucrados (Messina et al., 2023).

En la actualidad, la trazabilidad en las empresas de alimentos de Latinoamérica se encuentra en un estado de transición, con muchas empresas adoptando nuevas tecnologías para cumplir con los estándares internacionales de calidad y seguridad (Singh y Vishwakarma, 2023; Priya et al., 2024). Sin embargo, persisten varios obstáculos, como la falta de infraestructura adecuada, la necesidad de capacitación técnica y la resistencia al cambio (Mirabelli y Solina, 2020; Borrás et al., 2022). Estos desafíos no solo afectan la implementación de sistemas de trazabilidad, sino que también limitan la capacidad de las empresas para responder a las demandas del mercado y las regulaciones gubernamentales. Estudios como

los de Barrientos et al. (2022) y Burgos et al. (2022) han demostrado que, a pesar de los avances, todavía existen brechas significativas en la implementación de sistemas de trazabilidad eficientes y sostenibles. Estos desafíos son la base del incentivo de continuar investigando y desarrollando soluciones adaptadas a las condiciones y necesidades específicas de la región.

El objetivo de esta investigación fue analizar el estado actual de los sistemas de trazabilidad en la cadena de suministro de las empresas de alimentos en Latinoamérica, identificando las principales dificultades y proponiendo estrategias para mejorar su implementación. La meta es contribuir al desarrollo de cadenas de suministro más transparentes, eficientes y sostenibles, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, (2023), específicamente el ODS 12, que promueve el consumo y la producción responsables. Al abordar las deficiencias actuales y explorar nuevas oportunidades, se busca fortalecer la capacidad de las empresas para garantizar la calidad y seguridad alimentaria en la región. Este enfoque no solo tiene implicaciones para la seguridad del consumidor, sino que también puede mejorar la competitividad de las empresas en mercados internacionales, donde la trazabilidad es cada vez más valorada.

La trazabilidad efectiva en la cadena de suministro no solo mejora la seguridad alimentaria, sino que también optimiza la eficiencia operativa y reduce el desperdicio de alimentos (Sinha et al., 2021; Yu et al., 2022). Estudios como los de López et al. (2022) y Marfuah y Yuliasih (2022) han evidenciado que la adopción de tecnologías como blockchain puede incrementar significativamente la transparencia y la confianza en las cadenas de suministro. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías requiere un enfoque integral que considere no solo los aspectos técnicos, sino también los contextos económicos y sociales en los que operan las empresas de alimentos en Latinoamérica (Qian et al., 2022; Singh et al., 2023). La adopción de estas tecnologías puede encontrarse con barreras económicas, donde las inversiones iniciales y los costos operativos pueden ser prohibitivos para pequeñas y medianas empresas. Cuando revisamos estudios recientes y novedosos salta a lucir principalmente puntos como adopción de nuevas tecnologías en la agricultura. Estos estudios revelan la importancia de la capacitación y el acceso a recursos para una implementación efectiva. Es así como el análisis al nivel cualitativo de entrevistas con agricultores identifica factores clave como la resistencia inicial a las nuevas tecnologías, la necesidad de apoyo financiero y la importancia del conocimiento práctico, subrayando que la capacitación específica y el acceso a recursos económicos son esenciales para fomentar la innovación y mejorar la productividad (Elias, 2024). Por otro lado, estudios cualitativos a base de encuestas a productores destacan una alta correlación entre la eficiencia en la producción y el uso de técnicas avanzadas, como la agricultura de precisión y sistemas de riego automatizados. Es decir, las innovaciones tecnológicas mejoran significativamente la productividad agrícola y reducen los costos operativos a largo plazo (Gleadal et al.,

2023). En la misma línea, la integración de blockchain e IoT proporciona visibilidad de extremo a extremo, intercambio seguro de datos y monitoreo en tiempo real en las cadenas de suministro. Cada vez más estudios verifican que la combinación de tecnologías como blockchain, IoT y aprendizaje automático tiene el potencial de transformar la trazabilidad y la seguridad en la gestión de cadenas de suministro (Wong et al., 2024). Estas tecnologías también mejoran la eficiencia en la producción agrícola, desde el monitoreo de cultivos hasta la evaluación de la calidad de los alimentos, lo que puede revolucionar la industria agroalimentaria, haciendo que los procesos sean más sostenibles y eficientes (Purnama y Sejati, 2023).

Finalmente, blockchain ofrece características como transparencia, descentralización y seguridad, superando las limitaciones de los métodos tradicionales, y su implementación en los sistemas de trazabilidad de la seguridad alimentaria es crucial para mejorar la seguridad, privacidad y trazabilidad en la cadena de suministro (Singh et al., 2023).

Es así como ya hoy en día sabemos que la trazabilidad en la cadena de suministro de las empresas de alimentos es un tema de creciente importancia que enfrenta numerosos desafíos y oportunidades (Lei et al., 2022; Chapman et al., 2022). Por tanto, la investigación busca aportar al entendimiento y mejora de los procesos de trazabilidad, promoviendo prácticas que fortalezcan la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. Al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, esta investigación aspira a contribuir al desarrollo de sistemas alimentarios más robustos y confiables, que respondan efectivamente a las demandas de los consumidores y las exigencias regulatorias, garantizando un futuro más seguro y sostenible para la región. Además, es crucial considerar la cooperación internacional y el intercambio de mejores prácticas como herramientas para superar las barreras y facilitar la adopción de tecnologías avanzadas en toda la cadena de suministro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó el enfoque de revisión de literatura, el cual se distingue por evaluar publicaciones sobre un tema específico, que en este caso fue la trazabilidad en la cadena de suministro de las empresas de alimentos en Latinoamérica. Este enfoque permite una comprensión profunda y detallada del estado actual del conocimiento en el área, identificando tendencias, vacíos y oportunidades para futuras investigaciones. De acuerdo con la naturaleza del estudio, se revisaron publicaciones con diversos diseños, tanto cualitativos como cuantitativos, lo que permitió obtener una perspectiva amplia y variada sobre el tema. Se incluyeron estudios que abordan aspectos tecnológicos, económicos y sociales de la trazabilidad, proporcionando una visión holística de su implementación y efectividad en la región. Si fue necesario, también se emplearon estudios multimétodo, que combinan

técnicas cualitativas y cuantitativas para ofrecer un análisis más completo y robusto de los datos disponibles (Grant y Booth, 2009)

Para la realización de esta revisión sistemática, se establecieron criterios de inclusión y exclusión rigurosos para asegurar la relevancia y calidad de los artículos seleccionados. Los criterios de inclusión incluyeron estudios publicados entre 2016 y 2024 que abordaran la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica. Se consideraron tanto investigaciones aplicadas como básicas, utilizando metodologías descriptivas, exploratorias y explicativas (Barry et al., 2022; Mikhridinova et al., 2024).

Además, se incluyeron estudios que evaluaran el impacto de tecnologías emergentes como blockchain, IoT y gemelos digitales en la cadena de suministro de alimentos. Por otro lado, los criterios de exclusión descartaron artículos que no se enfocaran específicamente en la región de Latinoamérica o que no trataran directamente sobre la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos. También se excluyeron estudios con metodologías insuficientemente detalladas o con datos no verificables. No se consideraron artículos que no estuvieran disponibles en inglés o español, ni aquellos publicados antes de 2016 para asegurar la actualidad de los datos.

El proceso de selección de artículos comenzó con una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, ProQuest, Google Scholar y SciELO. Se utilizaron términos de búsqueda específicos como "supply chain traceability", "food industry in Latin America" y "blockchain traceability", combinados con operadores booleanos para refinar los resultados. De un total de 436 artículos identificados inicialmente, se realizó una revisión preliminar de los títulos y resúmenes para descartar aquellos que no cumplían con los criterios establecidos (Wagner et al., 2022; De la Torre-López et al., 2023).

Posteriormente, se llevó a cabo una revisión completa de los textos completos de los artículos seleccionados, evaluando su calidad metodológica y la relevancia de sus hallazgos para el tema de estudio. Este proceso incluyó la extracción de datos relevantes y la categorización de los estudios utilizando herramientas como VOSviewer y NVivo. Finalmente, se seleccionaron 23 artículos que cumplieron con todos los criterios de inclusión y se consideraron los más relevantes y de alta calidad para la revisión. Estos artículos proporcionaron una base sólida para el análisis de las prácticas y tecnologías de trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica.

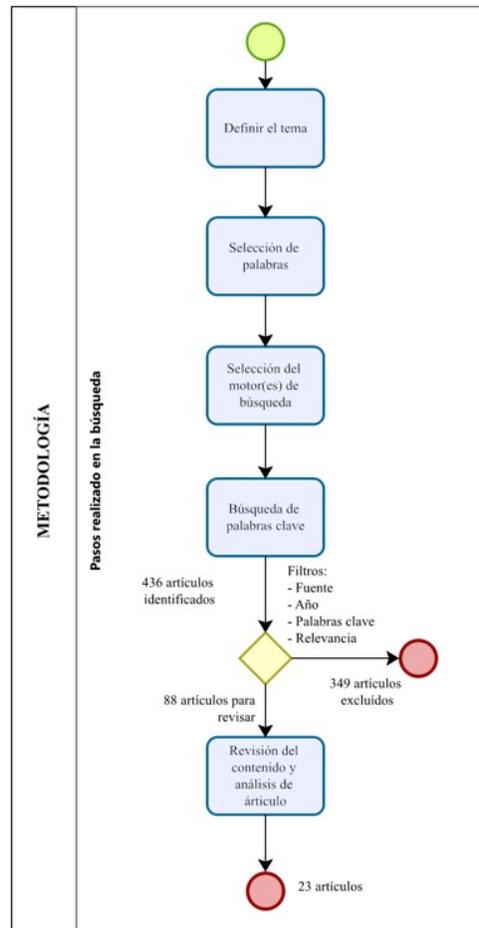
Los artículos consultados presentaron las siguientes características: el 28 % eran investigaciones aplicadas y el 72 % investigaciones básicas. En cuanto al diseño de investigación, el 52 % eran descriptivos, el 36 % exploratorios y el 12 % explicativos. El tipo de muestra en los artículos fue mayoritariamente inferior a 100 unidades de estudio. En cuanto a la representatividad de la muestra, el 80

% fue no probabilístico y el 20 % probabilístico. Para la recolección de datos se utilizaron entrevistas (6 %), revisiones documentales (80 %) y listas de cotejo (14 %).

Se respetaron los principios éticos establecidos en el Código de Ética de la Investigación Científica, en cuanto fueron aplicables; los autores citados fueron referenciados adecuadamente y los datos se trataron conforme a los criterios de integridad científica (Iphofen, 2023).

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda para una revisión literaria



Nota. El gráfico representa la metodología utilizada para la elaboración del artículo.

RESULTADOS

La implementación de tecnologías emergentes como blockchain, IoT y gemelos digitales ha transformado significativamente la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica, mejorando la transparencia y la eficiencia operativa.

Como ya es tendencia y se conoce mundialmente, la adopción de tecnologías emergentes ha demostrado ser base para mejorar la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica. Los gemelos digitales, combinados con RFID, blockchain y arquitectura IoT, han permitido una visibilidad

completa de la cadena de suministro de alimentos perecibles, mejorando el control de la perecibilidad, trazabilidad y variabilidad, y facilitando el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones informada (Barrientos et al., 2022). La tecnología blockchain, en particular, ha sido destacada por su capacidad para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro frente al cibercrimen, aumentando la visibilidad, la gestión de riesgos y la integración entre los participantes, lo que ha reducido significativamente los riesgos de interrupciones (Bayramova et al., 2021). La implementación de blockchain también ha generado confianza entre socios comerciales y mejorado la transparencia en la agroindustria, fortaleciendo las relaciones comerciales y la eficiencia operativa (Burgos et al., 2022). Además, las tecnologías IoT, como sensores inteligentes y dispositivos de seguimiento, han mejorado significativamente la eficiencia logística, proporcionando visibilidad y trazabilidad, y facilitando la toma de decisiones inmediatas (Caciano et al., 2023). En el ámbito agrícola, el blockchain ha mejorado la trazabilidad y transparencia, permitiendo una mejor gestión de la cadena y aumentando la confianza del consumidor, aunque aún enfrenta desafíos relacionados con la capacitación y la necesidad de tecnologías adicionales (López et al., 2022). En el sector del café en Colombia, la tecnología blockchain ha permitido a los productores obtener información más precisa sobre su producto, mejorando la trazabilidad y añadiendo valor mediante contratos inteligentes (Pomárico y Velasco, 2022).

En la industria maderera, las tecnologías RFID y blockchain han demostrado ser efectivas para mejorar la trazabilidad y reducir la tala ilegal, aunque los costos y la necesidad de capacitación siguen siendo barreras (Shirmohammadi, 2022). Finalmente, en la cadena de valor del cacao en Perú, la trazabilidad digital ha mejorado significativamente la transparencia y sostenibilidad, aunque se requiere inversión en capacidad digital y diseño de interfaces (Steinke, et al., 2023). Estas tecnologías también han mostrado su potencial en mejorar la trazabilidad y calidad en la cadena de suministro de frutas y verduras, reduciendo costos y desperdicios (Hassoun et al., 2023; Fiore y Mongiello, 2023)

Las investigaciones sobre el impacto de las tecnologías emergentes en la trazabilidad de la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica muestran mejoras significativas en transparencia, eficiencia y confianza entre los actores de la cadena. Sin embargo, la adopción masiva de estas tecnologías enfrenta desafíos relacionados con costos, infraestructura y capacitación técnica, que deben ser abordados para maximizar sus beneficios.

Estos desafíos y barreras mencionados, principalmente relacionadas con infraestructura, habilidades técnicas y resistencia al cambio son comunes en empresas primerizas en la adopción de estas nuevas tecnologías.

A pesar de los beneficios que las tecnologías emergentes pueden ofrecer, la adopción de estas tecnologías en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica enfrenta numerosos desafíos. La falta de

infraestructura adecuada y la necesidad de desarrollar habilidades técnicas son barreras significativas que limitan la implementación efectiva de blockchain en la cadena de suministro agroindustrial (Marfuah y Yuliasih, 2022). Además, se ha identificado la resistencia al cambio y la falta de capacitación como factores que dificultan la adopción de modelos holísticos necesarios para mejorar la logística y competitividad en la trazabilidad de alimentos (Orjuela et al., 2020).

En el sector del café en Colombia, la implementación de blockchain enfrenta desafíos de infraestructura y la necesidad de alfabetización digital para los caficultores, lo que limita su efectividad (Pomárico y Velasco, 2022). En el ámbito agrícola, aunque el blockchain mejora la trazabilidad y transparencia, también se enfrenta a la falta de capacitación en la industria y la necesidad de tecnologías adicionales como Big Data y Edge Computing para maximizar sus beneficios (López et al., 2022). En la industria maderera, las tecnologías RFID y blockchain han demostrado ser efectivas para mejorar la trazabilidad, pero los costos y la necesidad de capacitación adecuada siguen siendo barreras importantes (Shirmohammadi, 2022). Además, la adaptación de tecnologías modernas a contextos culturales indígenas presenta desafíos adicionales, como la necesidad de enfoques holísticos que integren conocimientos tradicionales y modernos para mejorar la trazabilidad y transparencia en las cadenas de suministro de alimentos alternativos (Sharma et al., 2021). En Perú, la presencia de contaminantes químicos en productos agrícolas subraya la necesidad de mejorar la seguridad alimentaria mediante sistemas de trazabilidad más robustos, enfrentando desafíos relacionados con la implementación y regulación (Díaz et al., 2020; Galagarza et al., 2021). Estos estudios destacan la necesidad de superar estas barreras para facilitar una adopción más amplia y efectiva de tecnologías de trazabilidad en la región.

Otros desafíos y barreras resaltantes para la adopción de tecnologías emergentes en la trazabilidad de la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica son la falta de infraestructura, habilidades técnicas y resistencia al cambio. La mejora en la trazabilidad a través de tecnologías emergentes no solo optimiza la eficiencia operativa de la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica, sino que también contribuye a la sostenibilidad y reducción del desperdicio de alimentos.

La integración de tecnologías emergentes en la cadena de suministro de alimentos ha demostrado ser efectiva no solo para mejorar la eficiencia operativa, sino también para promover la sostenibilidad. La implementación de prácticas postcosecha adecuadas y el uso de tecnologías como sensores inteligentes y etiquetas RFID han demostrado reducir las pérdidas durante el almacenamiento y transporte, mejorando la calidad de los productos perecederos (Díaz et al., 2020). La gestión eficiente de la cadena de suministro (SCM) ha sido identificada como un factor crucial para aumentar la productividad y competitividad de las

empresas en Latinoamérica, con la adopción de prácticas sostenibles que contribuyen a la reducción de costos y la mejora de la sostenibilidad (Gamarra, 2021).

Las prácticas sostenibles en la cadena de suministro también son esenciales para mejorar la competitividad y sostenibilidad de las empresas alimenticias, destacando la importancia de la integración de prácticas ambientales, sociales y económicas en la gestión de la cadena de suministro (Rodríguez, 2018). En Brasil, un modelo de trazabilidad para la producción de carne de cabra y oveja ha asegurado el origen del producto y la transparencia de las prácticas de gestión, mejorando la competitividad del productor (Bezerra et al., 2017).

En el ámbito ganadero, la combinación de la certificación de trazabilidad (SISBOV) y el sistema de engorde (feedlot) ha demostrado mejorar significativamente los ingresos y la eficiencia de las granjas en São Paulo, Brasil (de Mello et al., 2016). Las prácticas de gestión de la calidad en la cadena de suministro también han sido destacadas como esenciales para mejorar la sostenibilidad de las redes alimentarias, con tecnologías digitales como Blockchain jugando un papel crucial en la mejora de la trazabilidad y transparencia (Burgess et al., 2023). En otro estudio de cadena de valor del cacao en Perú, la implementación de sistemas de trazabilidad digital ha mejorado significativamente la transparencia y sostenibilidad, aunque se requiere inversión en capacidad digital y diseño de interfaces (Steinke et al., 2023). En Brasil, la evolución de la agroindustria, impulsada por políticas de apoyo estatal, ha mejorado la competitividad y sostenibilidad del sector, destacando la importancia de las políticas públicas en la promoción de prácticas sostenibles (Yen, 2019).

De esta forma recalamos que la adopción de tecnologías emergentes en la trazabilidad de la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica muestra ser beneficiosas para mejorar la eficiencia operativa y promover la sostenibilidad. Las prácticas sostenibles, junto con la implementación de tecnologías avanzadas, contribuyen a reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la competitividad de las empresas en la región y cumplir con parte de los objetivos de desarrollo sostenible.

DISCUSIÓN

La revisión de literatura sobre la trazabilidad en la cadena de suministro de las empresas de alimentos en Latinoamérica ha puesto de manifiesto la importancia de adoptar tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia y transparencia en estos sistemas. Estudios como los de Barrientos et al. (2022) y López et al. (2022) destacan cómo la implementación de gemelos digitales y blockchain puede transformar significativamente la gestión de la cadena de suministro de alimentos perecibles y agrícolas, respectivamente. Estos avances tecnológicos no solo permiten un control más preciso de la perecibilidad y la variabilidad, sino que también proporcionan una visibilidad completa de la cadena, facilitando el

monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones informada (Roy, 2021; Messina et al., 2023). Sin embargo, la adopción de estas tecnologías enfrenta desafíos considerables en términos de infraestructura y capacitación técnica, lo que limita su implementación a gran escala (Rogerson y Parry, 2020).

Un aspecto recurrente en los estudios revisados es la mejora de la resiliencia y seguridad de la cadena de suministro mediante la adopción de tecnologías como blockchain (Bayramova et al., 2021; Marfuah y Yuliasih, 2022) muestran que blockchain no solo aumenta la transparencia y la trazabilidad, sino que también fortalece la gestión de riesgos y la colaboración entre los participantes de la cadena. Estas mejoras son cruciales para enfrentar amenazas como el cibercrimen y asegurar la sostenibilidad de la cadena de suministro agroindustrial. Sin embargo, se identifican barreras significativas, como la falta de infraestructura adecuada y la necesidad de alfabetización digital, que deben ser abordadas para maximizar los beneficios de estas tecnologías (Barrientos et al., 2022).

La investigación de Cacicano et al. (2023), en conjunto con la de Fiore y Mongiello (2023), subrayan el impacto positivo de las tecnologías IoT en la eficiencia y optimización de los procesos logísticos. Por ejemplo, la aplicación de sensores inteligentes y dispositivos de seguimiento mejoran la gestión de inventarios y el control de temperatura, factores críticos para la calidad y seguridad de los alimentos. Además, estas tecnologías facilitan la toma de decisiones inmediatas, fortaleciendo la sostenibilidad de las cadenas de suministro. No obstante, la implementación de IoT y blockchain también requiere un enfoque integral que considere las particularidades económicas y sociales de las regiones donde se aplican, así como un desarrollo continuo de habilidades técnicas en la industria.

Las investigaciones de Orjuela et al. (2020) y Rincón et al. (2017) destacan la necesidad de desarrollar modelos holísticos para la gestión de la trazabilidad en las cadenas de suministro de alimentos. Estos estudios identifican limitaciones en las decisiones tácticas y operativas, además de brechas en la relación entre trazabilidad y sostenibilidad. Como consecuencia de su análisis se proponen modelos basados en la gestión de tecnologías que faciliten las relaciones y flujos de información entre los diferentes actores de la cadena. Esta perspectiva es esencial para abordar las asimetrías en el flujo de información y mejorar la logística y la competitividad de los productores, especialmente en contextos donde los recursos son bastante limitados.

La revisión también pone de relieve los desafíos específicos en sectores como la agroindustria del café en Colombia y la producción de cacao en Perú. Pomárico y Velasco (2022), junto con Steinke et al. (2023), muestran que la implementación de blockchain puede agregar valor significativo mediante la trazabilidad y contratos inteligentes, pero requiere inversiones en infraestructura y capacitación. Además, es crucial asegurar que los beneficios de la trazabilidad digital se distribuyan equitativamente entre todos los

actores de la cadena de valor, incluyendo a los pequeños productores. Estas investigaciones sugieren que el co-diseño de interfaces y el apoyo técnico son fundamentales para el éxito de estas iniciativas.

La implementación de tecnologías emergentes como blockchain, IoT y gemelos digitales en las cadenas de suministro de alimentos en Latinoamérica enfrenta desafíos significativos, especialmente en las regiones más precarias.

Las empresas de alimentos en estas áreas a menudo operan con recursos limitados y enfrentan barreras económicas y técnicas que dificultan la adopción de nuevas tecnologías (Mello et al., 2021). Sin embargo, hay varias estrategias que podrían facilitar esta transición y maximizar los beneficios de estas innovaciones (Calatayud y Montes, 2021). En primer lugar, es fundamental adaptar estas tecnologías a las capacidades y necesidades específicas de las empresas locales. Por ejemplo, la adopción de sistemas de blockchain puede comenzar con soluciones de bajo costo que no requieran una infraestructura tecnológica avanzada.

Plataformas blockchain simplificadas y accesibles pueden ser desarrolladas para pequeños productores, permitiéndoles registrar y rastrear sus productos de manera eficiente sin incurrir en grandes gastos. Además, la colaboración con organizaciones no gubernamentales y agencias de desarrollo puede proporcionar el apoyo financiero y técnico necesario para implementar estas tecnologías. En segundo lugar, la capacitación y la educación son esenciales para asegurar que las empresas puedan aprovechar al máximo las tecnologías emergentes (Jiang y chen, 2021). También, la adecuación de programas de formación y talleres para capacitar a los empleados en el uso de herramientas como IoT y blockchain. En conjunto estas medidas no solo mejorarían la eficiencia operativa, sino que también generarían una sensación de empoderamiento en los trabajadores al proporcionarles habilidades valiosas en el mercado laboral moderno (Xiong et al., 2020). Las alianzas con instituciones educativas y centros de investigación pueden facilitar la transferencia de conocimiento y tecnología a las empresas locales.

Además, las tecnologías emergentes deben ser adaptadas para operar en entornos con infraestructura limitada (Yu et al., 2022). Por ejemplo, los sensores IoT diseñados para monitorear la temperatura y la humedad en los almacenes de alimentos pueden ser desarrollados para funcionar con energía solar, reduciendo la dependencia de una infraestructura eléctrica estable. Del mismo modo, las aplicaciones móviles basadas en blockchain pueden ser optimizadas para funcionar en áreas con conectividad de internet limitada, asegurando que los datos críticos sean accesibles incluso en regiones remotas.

La creación de cooperativas y asociaciones de productores también puede ser una estrategia efectiva para superar las barreras económicas y tecnológicas (Afanaseva et al., 2021). De esta forma, al unir recursos y compartir conocimientos, los pequeños productores pueden beneficiarse de economías de escala y acceder a tecnologías que de otro modo estarían fuera de su alcance (Kustepeli et al., 2023). Estas

cooperativas pueden negociar mejores condiciones con proveedores de tecnología y servicios, y ofrecer apoyo mutuo en la implementación y mantenimiento de los sistemas de trazabilidad.

Finalmente, es importante involucrar a los gobiernos locales y a las organizaciones internacionales en la promoción y apoyo de la adopción de tecnologías emergentes. La gestión de políticas públicas favorables, incentivos fiscales y subsidios pueden reducir las barreras económicas y fomentar la innovación en el sector alimentario (Lillo et al., 2021). Programas de financiamiento y proyectos piloto apoyados por organizaciones internacionales pueden demostrar el valor de estas tecnologías y catalizar su adopción a mayor escala.

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura sobre la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica reveló varios hallazgos significativos, alineados con los objetivos planteados. Primero, se evidenció que la implementación de tecnologías emergentes como blockchain, IoT y gemelos digitales mejoró significativamente la transparencia, eficiencia y confiabilidad en la cadena de suministro de distintas empresas procesadoras de alimentos. La adaptación y puesta en marcha de estas tecnologías permitieron una mejor gestión de la perecibilidad y la variabilidad de los productos, facilitando el monitoreo en tiempo real y optimizando la toma de decisiones.

Segundo, los estudios revisados destacaron varios desafíos y barreras que limitan la adopción generalizada de estas tecnologías. La falta de infraestructura adecuada, la resistencia al cambio y la necesidad de capacitación técnica fueron identificadas como barreras importantes. De esta manera se puede destacar la urgencia de un enfoque integral que considere tanto los aspectos técnicos como los contextos económicos y sociales específicos de la región.

Tercero, se encontró que la mejora en la trazabilidad no solo optimiza la eficiencia operativa de la cadena de suministro en empresas procesadoras de alimentos, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad y reducción del desperdicio de alimentos, a través de la adopción de prácticas sostenibles y tecnologías avanzadas en la cadena de suministro. De esta forma las empresas procesadoras de alimentos cuentan con otro medio para aumentar la competitividad y asegurar la calidad de los productos.

Para seguir incrementando el conocimiento en tema, se recomienda desarrollar modelos de infraestructura tecnológica asequibles, evaluar programas de capacitación continua, explorar modelos holísticos de gestión sostenible, investigar el impacto de tecnologías emergentes en la eficiencia operativa y sostenibilidad, y analizar la influencia de políticas públicas en la adopción tecnológica en Latinoamérica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanaseva, O., Elmov, V., Ivanov, E., & Makushev, A. (2021, December). Factors that facilitate development of small agricultural cooperative farm alliances. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 935, No. 1, p. 012045). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012045
- Antons, D., Breidbach, C. F., Joshi, A. M., y Salge, T. O. (2023). Computational literature reviews: Method, algorithms, and roadmap. *Organizational Research Methods*, 26(1), 107-138. doi:https://doi.org/10.1177/1094428121991230
- Barrientos, R., Odar, P., y Garcia-Lopez, Y. (2022). Digital twins application in the post-harvest supply chain of fruits and vegetables: A systematic review of the literature. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (págs. 118-130). Istanbul: IEOM Society International.
- Barry, E., Merkebu, J., y Varpio, L. (2022). State-of-the-art literature review methodology: A six-step approach for knowledge synthesis. *Perspectives on Medical Education*, 11(5), 281-288. doi:https://doi.org/10.1007/s40037-022-00725-9
- Bayramova, A., Edwards, D., y Roberts, C. (2021). The role of blockchain technology in augmenting supply chain resilience to cybercrime. *Buildings*, 1-19.
- Bezerra, A., Pandorfi, H., Gama, R., De Carvalho, F., y Guiselini, C. (2017). Development of a traceability model applied to goat and sheep meat production. *Engenharia Agrícola*, 1062-1072.
- Borrás, L., Caballero-Rothar, N. N., Saenz, E., Segui, M., y Gerde, J. A. (2022). Challenges and opportunities of hard endosperm food grade maize sourced from South America to Europe. *European Journal of Agronomy*, 140, 126596. doi:https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126596
- Burgess, P., Sunmola, F., y Wertheim-Heck, S. (2023). A review of supply chain quality management practices in sustainable food networks. *Heliyon*, 1-25.
- Burgos, M., Haro, C., y Mendoza de los Santos, A. (2022). Impacto del blockchain en la cadena de suministros de la industria agropecuaria: una revisión bibliográfica. *Ingeniería Investiga*, 1-17.
- Caciano, M., Horna, M., Lopez, M., Solano, L., Vasquez, A., y Gonzalez, J. (2023). Internet of things technologies applied in the supply chain. A systematic review. *Gestión de operaciones industriales*, 8-26.
- Calatayud, A., y Montes, L. (2021). *Logistics in Latin America and the Caribbean: Opportunities, Challenges and Courses of Action*. Banco Interamericano de Desarrollo. doi:http://dx.doi.org/10.18235/0003278
- Chapman, J., Power, A., Netzel, M. E., Sultanbawa, Y., Smyth, H. E., Truong, V. K., y Cozzolino, D. (2022). Challenges and opportunities of the fourth revolution: a brief insight into the future of food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2845-2853. doi:https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1863328
- Chigbu, U. E., y Atiku, S. O. (2023). The science of literature reviews: Searching, identifying, selecting, and synthesising. *Publications*, 11(1), 2. doi:https://doi.org/10.3390/publications11010002
- De la Torre-López, J., Ramírez, A., y Romero, J. R. (2023). Artificial intelligence to automate the systematic review of scientific literature. *Computing*, 105(10), 2171-2194. doi:https://doi.org/10.1007/s00607-023-01181-x
- De Mello, M., de Souza, H., Carrer, M., Barioni, W., y Ribas, F. (2016). Complementarity in the adoption of traceability of beef cattle in Brazil. *Production*, 540-550.
- Díaz, J., Njoroge, A., Macedo, D., Orihuela, N., Smith, B., Casa, V., Baributsa, D. (2020). Postharvest practices, challenges and opportunities for grain producers in Arequipa, Peru. *Plos One*, 1-18.
- Elias, M. (2024). Timber Traceability and Sustainable Transportation Management: A Review of Technologies and Procedures. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 11-52. doi:https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.1.2
- Emmanuel, A. A., Awokola J. A., A. S., Bharany, S., Agboola, P., Shuaib, M., y Ahmed, R. (2023). A Hybrid Framework of Blockchain and IoT Technology in the Pharmaceutical Industry: A Comprehensive Study. *Mobile Information Systems*, 2023, 3265310. doi:https://doi.org/10.1155/2023/3265310
- Fiore, M., y Mongiello, M. (2023). Blockchain technology to support agri-food supply chains: A comprehensive review. *IEEE Access*, 1-14.
- Galagarza, O., Ramirez, A., Oliver, H., Álvarez, M., Valdez, M., Pachari, E., Deering, A. (2021). Occurrence of Chemical Contaminants in Peruvian Produce: A Food-Safety Perspective. *Foods*, 1-21.
- Gamarra, N. (2021). La buena gestión de la cadena de suministro en empresas de latinoamérica: una revisión sistemática en los últimos 10 años, 2010-2020. *Universidad Privada del Norte*, 1-72.
- Gleadall, I., Moustahfid, H., y Sauer, W. e. (2024). owards global traceability for sustainable cephalopod seafood. *Mar Biol*, 171, 44. doi:https://doi.org/10.1007/s00227-023-04300-6
- Gomez-Gomez, A., Malpica-Cruz, L., Montaña-Moctezuma, C. G., Cisneros-Montemayor, A. M., Salomon, A. K., y Seingier, G. (2024). Diversity, challenges, and opportunities of Fishery Improvement Projects in the Latin America and the Caribbean region. *Marine Policy*, 163, 106116. doi:https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106116
- Grant, M. J., y Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information y Libraries Journal*, 26(2), 91-108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

- Hassoun, A., Kamiloglu, S., Garcia-Garcia, G., Parra-Lopez, C., Trollman, H., Jagtap, S., . . . Esatbeyoglu, T. (2023). Implementation of relevant fourth industrial revolution innovations across the supply chain of fruits and vegetables: A short update on Traceability 4.0. *Food Chemistry*, 1-13.
- Iphofen, R. (Ed.). (2023). Handbook of research ethics and scientific integrity. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16759-2>
- Jiang, J., & Chen, J. (2021). Framework of blockchain-supported e-commerce platform for small and medium enterprises. *Sustainability*, 13(15), 8158. doi:<https://doi.org/10.3390/su13158158>
- Kustepeli, Y., Gulcan, Y., Yercan, M., & Yildirim, B. (2023). The role of agricultural development cooperatives in establishing social capital. *The Annals of Regional Science*, 70(3), 681-704. doi: <https://doi.org/10.1007/s00168-019-00965-4>
- Lei, M., Xu, L., Liu, T., Liu, S., y Sun, C. (2022). Integration of privacy protection and blockchain-based food safety traceability: Potential and challenges. *Foods*, 11(15), 2262. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11152262>
- Lillo, P., Ferrer-Martí, L., & Juanpera, M. (2021). Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia. *Energy Research & Social Science*, 80, 102222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102222>
- López, J., Alcaraz, M., Granillo, R., y Olivares, E. (2022). Traceability of Mexican avocado supply chain: A microservice and blockchain technological solution. *Sustainability*, 1-18.
- Marfuah, U., y Yuliasih, I. (2022). Blockchain traceability for agroindustry a literature review and future agenda. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-14.
- Mello, M. M., Freitas, W. R., Teixeira, A. A., Caldeira-Oliveira, J. H., y Freitas-Silva, L. G. (2021). Corporate social responsibility in agribusiness: evidence in Latin America. *Journal of agribusiness in developing and emerging economies*, 11(5), 538-551. doi:<https://doi.org/10.1108/JADEE-04-2020-0071>
- Messina, D., Soares, A. L., Barros, A. C., & Zimmermann, R. (2023). How visible is your supply chain? A model for supply chain visibility assessment. *Supply Chain Forum*, 24(4), 462-474. doi:<https://doi.org/10.1080/16258312.2022.2079955>
- Mikhridinova, N., Wolff, C., y Van Petegem, W. (2024). Taxonomy of competence models based on an integrative literature review. *Education and Information Technologies*, 1-37. doi:<https://doi.org/10.1007/s10639-024-12463-y>
- Mirabelli, G., y Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: Research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, 42, 414-421. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.054>
- Orjuela, J., Herrera, M., y Maya, T. (2020). Retos en el modelado de la trazabilidad en las cadenas de suministro de alimentos. *Revista Ingeniería*, 143-172.
- Pomárico Ortiz, L. M., & Velasco Torres, K. J. (2022). Análisis de la tecnología blockchain aplicada a la logística de agrocadenas: Caso de estudio del café en Colombia. Una revisión sistemática de literatura [Tesis de maestría, Universidad Piloto de Colombia]. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/11950/Tecnologia%20blockchain%20agrocadenas%20del%20cafe%20colombia.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Priya, V. K., Raja, V., Nimbkar, S., Moses, J. A., y Anandharamakrishnan, C. (2024). Blockchain Technology and Advancements in the Agri-food Industry. *Journal of Biosystems Engineering*, 49, 20–134. doi: <https://doi.org/10.1007/s42853-024-00221-4>
- Purnama, S., y Sejati, W. (2023). Internet of things, big data, and artificial intelligence in the food and agriculture sector. *International Transactions on Artificial Intelligence*, 1(2), 156-174. doi:<https://doi.org/10.33050/italic.v1i2.274>
- Qian, J., Dai, B., Wang, B., Zha, Y., y Song, Q. (2022). Traceability in food processing: Problems, methods, and performance evaluations—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(2), 679-692. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825925>
- Rincon, D., Fonseca, J., y Orjuela, J. (2017). Towards a Common Reference Framework for Traceability in the Food Supply Chain. *Ingeniería*, 161-189.
- Rodríguez, E. (2018). Identificación de prácticas en la gestión de la cadena de suministro sostenible para la industria alimenticia. *Pensamiento y Gestión*, 129-160.
- Rogerson, M., & Parry, G. C. (2020). Blockchain: case studies in food supply chain visibility. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(5), 601-614. doi:<https://doi.org/10.1108/SCM-08-2019-0300>
- Roy, V. (2021). Contrasting supply chain traceability and supply chain visibility: are they interchangeable? *The International Journal of Logistics Management*, 32(3), 942-972. doi:<https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2020-0214>
- Sharma, C., Torrico, D., Carpenter, L., y Harrison, R. (2021). Indigenous Meanings of Provenance in the Context of Alternative Food Movements and Supply-Chain Traceability: A Review. *Social Sciences*, 1-24.
- Schryen, G., y Sperling, M. (2023). Literature reviews in operations research: A new taxonomy and a meta review. *Computers y Operations Research*, 157, 106269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106269>
- Shirmohammadi, M. (2022). A Review of Traceability Systems in the Timber Industry. *IntechOpen*, 1-42.

- Singh, A., Gutub, A., Nayyar, A., y Khan, M. K. (2023). Redefining food safety traceability system through blockchain: findings, challenges and open issues. *Multimedia Tools and Applications*, 82(14), 21243-21277. doi:<https://doi.org/10.1007/s11042-022-14006-4>
- Singh, R. K., y Vishwakarma, L. P. (2023). Application of blockchain technology in agri-food supply chains: opportunities and challenges. *Blockchain in a volatile-uncertain-complex-ambiguous world*, 101-117. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89963-5.00014-9>
- Sinha, A., Priyadarshi, P., Bhushan, M., y Debbarma, D. (2021). Worldwide trends in the scientific production of literature on traceability in food safety: A bibliometric analysis. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 252-261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.11.002>
- Steinke, J., Jones, S., Minh, T., Sánchez, A., Sánchez-Choy, J., y Mockshell, J. (2023). Can digital value chain tracing drive the sustainability transition? A closer look at Peruvian cocoa. *Program Policy Brief no. 1 Agroecological TRANSITIONS*, 1-4.
- Wagner, G., Lukyanenko, R., y Paré, G. (2022). Artificial intelligence and the conduct of literature reviews. *Journal of Information Technology*, 37(2), 209-226. doi:<https://doi.org/10.1177/026839622111048201>
- Wong, E. K., Ting, H. Y., y Atanda, A. F. (2024). Enhancing Supply Chain Traceability through Blockchain and IoT Integration: A Comprehensive Review. *Green Intelligent Systems and Application*, 4(1), 11-28. doi:<https://doi.org/10.53623/gisa.v4i1.355>
- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., & Huang, J. (2020). Blockchain technology for agriculture: applications and rationale. *frontiers in Blockchain*, 3, 7. doi: <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00007>
- Yen, F. (2019). Evolución de la agroindustria brasilera durante los años 2008-2018: Una revisión de la literatura científica. Universidad Privada del Norte, 1-57.
- Yu, Z., Jung, D., Park, S., Hu, Y., Huang, K., Rasco, B. A., y Chen, J. (2022). Smart traceability for food safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(4), 905-916. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1830262>