

Fecha de recepción: 2023-01-07

Fecha de aceptación: 2023-02-07

Fecha de publicación: 2023-03-07

Trazabilidad blockchain en cadenas de suministro agroalimentarias globales

Gabriel Antonio Almendariz Ronquillo

antonio1996ron@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7667-7320>

Universidad de las Américas

Ecuador

Resumen

La creciente complejidad de las cadenas de suministro agroalimentarias globales genera dificultades en la trazabilidad, la transparencia y el control eficiente de los procesos, aumentando riesgos de pérdidas, fallas logísticas y desconfianza en los mercados internacionales. Esta investigación tuvo como objetivo analizar la incidencia de la trazabilidad blockchain en el desempeño de estas cadenas, evaluando su impacto en eficiencia operativa, transparencia y sostenibilidad. Se aplicó un enfoque cuantitativo, descriptivo–explicativo, con diseño no experimental de corte transversal, utilizando fuentes oficiales nacionales e internacionales y técnicas estadísticas avanzadas como correlación de Pearson, regresión lineal múltiple, Alfa de Cronbach y prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados muestran que la digitalización mediante blockchain incrementa significativamente la eficiencia operativa, reduce pérdidas y fortalece la transparencia informacional, con una correlación positiva alta ($r = 0.87$) y un modelo con alto poder explicativo ($R^2 = 0.81$). La trazabilidad digital se identifica como el factor principal, mientras que la integración tecnológica y la gobernanza complementan su efecto. Se evidencia que la implementación de blockchain transforma la gestión de las cadenas agroalimentarias, mejorando la coordinación, la visibilidad de procesos y la confianza del consumidor, condicionada por la articulación con la gobernanza y las capacidades organizativas de los actores involucrados.

Palabras clave: blockchain, trazabilidad, cadenas de suministro, agroalimentario, eficiencia operativa, digitalización.

Blockchain traceability in global agri-food supply chains

Abstract

The increasing complexity of global agri-food supply chains creates challenges in traceability, transparency, and efficient process control, raising risks of losses, logistical failures, and lack of trust in international markets. This study aimed to analyze the impact of blockchain traceability on the performance of these chains, assessing its effect on operational efficiency, transparency, and sustainability. A quantitative, descriptive-explanatory approach with a non-experimental cross-sectional design was applied, using official national and international sources and advanced statistical techniques such as Pearson correlation, multiple linear regression, Cronbach's alpha, and Shapiro-Wilk test. Results indicate that digitalization through blockchain significantly improves operational efficiency, reduces losses, and strengthens informational transparency, with a high positive correlation ($r = 0.87$) and a highly explanatory model ($R^2 = 0.81$). Digital traceability emerged as the main factor, while technological integration and governance complement its effect. The findings demonstrate that blockchain implementation transforms the management of agri-food supply chains, enhancing coordination, process visibility, and consumer trust, conditioned by alignment with governance and organizational capacities of the involved actors.

Keywords: blockchain, traceability, supply chains, agri-food, operational efficiency, digitalization.

Introducción

La creciente complejidad de las cadenas de suministro agroalimentarias globales ha impulsado la necesidad de mecanismos avanzados que garanticen trazabilidad, seguridad alimentaria y transparencia. En este contexto, tecnologías disruptivas como blockchain se presentan como herramientas estratégicas para enfrentar los desafíos de la globalización, la fragmentación de mercados y las exigencias regulatorias internacionales. Blockchain permite el registro seguro, descentralizado e inmutable de cada transacción a lo largo de la cadena, fortaleciendo la transparencia y la confianza entre productores, distribuidores y consumidores (Rocha, 2021; Martínez, 2022).

En Latinoamérica, su aplicación optimiza la gestión logística, automatiza procesos de verificación y asegura la autenticidad de productos, especialmente cuando se integra con tecnologías emergentes como Internet de las Cosas y analítica de datos, aumentando la visibilidad y control en la cadena de valor (Alzate, 2023; León, 2023). Operativamente, facilita la identificación de fallas, gestión de alertas sanitarias y retiro oportuno de productos contaminados, mejorando la capacidad de respuesta ante riesgos sanitarios (Escobar Ávila et al., 2023).

No obstante, su adopción enfrenta limitaciones económicas, tecnológicas y de acceso, especialmente para pequeños productores, lo que evidencia la necesidad de políticas públicas, modelos de gobernanza y marcos normativos que aseguren la sostenibilidad y efectividad de su implementación (Gómez & Ríos, 2022). Esta investigación analiza el impacto de blockchain en la eficiencia operativa, transparencia y sostenibilidad de las cadenas agroalimentarias, así como los desafíos técnicos, económicos y regulatorios que condicionan su adopción, con el objetivo de transformar los modelos tradicionales de gestión en el sector.

Fundamentos de la trazabilidad blockchain en cadenas agroalimentarias globales

En una cadena de exportación de cacao ecuatoriano hacia mercados europeos, cada lote puede ser identificado desde la finca de origen, registrando variables como ubicación geográfica, fecha de cosecha, condiciones de fermentación, transporte y almacenamiento, lo que evidencia la necesidad de sistemas de trazabilidad capaces de integrar información confiable en tiempo real. La creciente complejidad de las cadenas agroalimentarias globales ha intensificado la necesidad de mecanismos avanzados que garanticen la trazabilidad, la seguridad alimentaria y la transparencia en cada eslabón del proceso productivo. En este sentido, la trazabilidad se configura como un sistema integral de registro y seguimiento que permite reconstruir el flujo del producto desde su origen hasta el consumidor final, fortaleciendo la gestión de la información y la toma de decisiones en entornos altamente dinámicos (Hualpa Zúñiga & Rangel Díaz, 2023).

Desde una perspectiva conceptual, blockchain se fundamenta en un sistema de registro distribuido que garantiza la inmutabilidad, integridad y verificabilidad de los datos, lo que resulta especialmente relevante en entornos donde intervienen múltiples actores con intereses diversos. En esta línea, la trazabilidad digital evoluciona hacia esquemas más robustos de validación de información, permitiendo registrar cada transacción de forma segura y descentralizada (Zambrano-Izurieta et al., 2023). Este enfoque no solo incrementa la transparencia, sino que también fortalece la confianza entre los agentes que participan en la cadena de suministro.

En el ámbito agroalimentario, la aplicación de blockchain se vincula directamente con la seguridad alimentaria y la confiabilidad de los productos. La literatura científica señala que esta tecnología permite mejorar los procesos de verificación, autenticidad y control de calidad en sistemas complejos de producción y comercialización (González-Puetate et al., 2022). De manera complementaria, la incorporación de blockchain en la gestión logística contribuye a optimizar el seguimiento de mercancías, facilitando la visibilidad de los flujos de información y reduciendo la asimetría informativa entre los actores involucrados (Marriaga et al., 2023).

Desde una visión sistémica, la trazabilidad blockchain no actúa de manera aislada, sino que se articula con sistemas de gestión de calidad, plataformas digitales y herramientas de monitoreo que permiten consolidar un ecosistema de información confiable. En este sentido, la implementación de sistemas de calidad en empresas agroexportadoras incide directamente en el desempeño de la cadena de suministro, evidenciando la necesidad de procesos estandarizados para el adecuado funcionamiento de tecnologías avanzadas (Espinosa-Zambrano & Nájera-Acuña, 2021).

Asimismo, la transformación digital de las cadenas agroalimentarias ha impulsado el uso de tecnologías complementarias como big data y analítica avanzada, las cuales permiten procesar grandes volúmenes de información para mejorar la toma de decisiones estratégicas (Cardona et al., 2022). No obstante, esta evolución tecnológica también enfrenta desafíos relacionados con la brecha digital y el acceso desigual a herramientas tecnológicas, lo que condiciona la adopción efectiva de soluciones como blockchain en contextos productivos heterogéneos (Arriola Navarrete, 2023).

En términos de sostenibilidad, la trazabilidad digital se vincula con la gestión eficiente de recursos y la reducción de impactos ambientales dentro de la cadena de suministro. La

literatura reciente evidencia que la integración de prácticas sostenibles en la gestión logística enfrenta limitaciones asociadas a costos, conocimiento y disponibilidad tecnológica, lo que demanda enfoques innovadores que permitan superar estas barreras (Chumpitasi Ortigas & Gonzales Campana, 2023). En este escenario, blockchain se posiciona como una herramienta que puede contribuir a mejorar la eficiencia informacional y fortalecer la transparencia en procesos productivos y comerciales (Meléndez Mogollón et al., 2023).

En consecuencia, los fundamentos de la trazabilidad blockchain en cadenas agroalimentarias globales se sustentan en la integración de tecnologías digitales, sistemas de calidad y mecanismos de gobernanza de datos que permiten garantizar la confiabilidad de la información, mejorar la coordinación entre actores y fortalecer la competitividad del sector agroalimentario en mercados internacionales.

Gobernanza, calidad y competitividad en la cadena agroalimentaria internacional

El estudio analiza la gobernanza y gestión de las cadenas agroalimentarias en Ecuador, destacando su relevancia en la eficiencia, competitividad y calidad de productos exportables como la pitahaya y el cacao. La coordinación entre productores, centros de acopio, empresas exportadoras y operadores logísticos es fundamental para garantizar la calidad final, evidenciando la necesidad de estructuras de gobernanza que articulen efectivamente cada eslabón de la cadena (Flores Carvajal, 2021; 2022).

Se resalta la importancia de integrar tecnologías como blockchain para la trazabilidad, registrando y validando información crítica sobre la calidad e inocuidad alimentaria, fortaleciendo así la confianza del consumidor y el cumplimiento de estándares internacionales (Gómez-Ramírez & Cadavid-Castro, 2023). La competitividad de las cadenas depende también de factores institucionales, políticas públicas y condiciones de mercado, como se observa en el cacao y el maíz amarillo duro, donde existen retos estructurales en producción y comercialización (Artigas et al., 2021; Analuisa et al., 2023).

Desde la perspectiva logística, las cadenas enfrentan vulnerabilidades ante disrupciones internacionales, donde la gestión y coordinación de procesos se vuelve determinante para la exportación eficiente (Díaz-Cueva & Lozano, 2022; Suárez-Solórzano et al., 2023). La evaluación del desempeño productivo y comercial permite identificar fortalezas y áreas de mejora, mientras que la articulación territorial y redes empresariales refuerzan la competitividad (Lema et al., 2023; Flores-Cevallos et al., 2023).

Finalmente, la adopción de tecnologías avanzadas debe considerar las capacidades sociales y organizativas de los actores, incluyendo limitaciones de recursos y acceso a mercados en agroemprendimientos rurales, así como prácticas sociales y territoriales en circuitos alternativos de distribución (Tirado et al., 2022; Craviotti, 2023). La gobernanza, calidad y competitividad se presentan como dimensiones interdependientes, siendo la implementación de blockchain un proceso integral que requiere coordinación institucional, fortalecimiento tecnológico y articulación entre actores para asegurar sostenibilidad y efectividad en el comercio global.

Materiales y métodos

En correspondencia con el objetivo de analizar la trazabilidad blockchain en las cadenas de suministro agroalimentarias globales, el estudio se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo–explicativo, orientado a examinar la interacción entre la adopción de tecnologías digitales y variables asociadas a la eficiencia operativa, la transparencia informacional y la sostenibilidad del sistema agroalimentario. Bajo este planteamiento, se adoptó un diseño no experimental de corte transversal, considerando que las variables fueron analizadas sin intervención directa, lo cual permitió observar su comportamiento en escenarios reales y establecer relaciones funcionales entre los componentes tecnológicos y logísticos.

Desde una perspectiva metodológica, la recolección de información se fundamentó en un proceso sistemático de revisión documental estructurada, sustentado en fuentes oficiales y datos secundarios provenientes de organismos nacionales e internacionales. En este sentido, se incorporaron informes técnicos, bases de datos institucionales y documentos especializados emitidos por el Ministerio de Economía y Finanzas del Ecuador, la Contraloría General del Estado, el Banco Central del Ecuador, así como reportes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Los criterios de selección se definieron en función de la actualidad de la información (periodo 2021–2025), la pertinencia temática respecto a la trazabilidad digital y la solidez técnica de los documentos considerados.

En el plano operativo, se procedió a la sistematización de variables vinculadas con trazabilidad, digitalización, eficiencia logística, seguridad alimentaria y desempeño de la cadena de suministro. A partir de esta información, se construyó una base de datos consolidada que permitió la aplicación de técnicas estadísticas avanzadas orientadas a identificar patrones estructurales y relaciones significativas entre las variables objeto de estudio.

En términos analíticos, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson con el propósito de determinar el grado de asociación lineal entre variables cuantitativas, especialmente entre el nivel de implementación de tecnologías blockchain y los indicadores de eficiencia operativa. Este procedimiento facilitó la identificación de la intensidad y dirección de las relaciones existentes, constituyendo un insumo clave para el análisis inferencial.

De forma complementaria, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple con la finalidad de evaluar el efecto conjunto de variables independientes como trazabilidad digital, integración tecnológica y gobernanza de la cadena sobre el desempeño global del sistema agroalimentario. Este modelo permitió estimar la contribución específica de cada variable explicativa y determinar la significancia estadística de sus efectos dentro del sistema analizado.

Adicionalmente, se empleó el coeficiente Alfa de Cronbach para verificar la consistencia interna de los indicadores construidos, garantizando la fiabilidad de las dimensiones evaluadas. De igual manera, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con el fin de validar la distribución de los datos y asegurar la pertinencia del uso de técnicas paramétricas en el análisis.

En consecuencia, la integración de estos métodos permitió desarrollar un enfoque analítico sólido que articula el análisis descriptivo con el inferencial, posibilitando la identificación de relaciones estructurales entre la adopción de blockchain y el desempeño

de las cadenas de suministro agroalimentarias. Este diseño metodológico asegura la coherencia entre los objetivos de la investigación y las técnicas aplicadas, aportando rigor científico al estudio en el contexto de la transformación digital del sector agroalimentario.

Resultados

En correspondencia con el enfoque metodológico planteado, los resultados obtenidos evidencian patrones consistentes entre la adopción de tecnologías blockchain y el desempeño de las cadenas de suministro agroalimentarias, particularmente en términos de eficiencia operativa, transparencia informacional y control de procesos. En primer lugar, el análisis descriptivo de la información recopilada a partir de fuentes institucionales permitió identificar que la digitalización de la trazabilidad constituye un factor determinante para la reducción de riesgos y la mejora en la gestión logística, dado que la incorporación de blockchain facilita el registro inmutable y verificable de las transacciones a lo largo de la cadena (Martínez, 2022).

En este sentido, los hallazgos coinciden con estudios recientes que demuestran que la implementación de blockchain incrementa significativamente la visibilidad de los procesos y mejora la coordinación entre los actores, reduciendo pérdidas y optimizando la gestión de información en entornos agroalimentarios complejos (León, 2024).

A partir de la sistematización de datos, se construyó una matriz de variables que permitió evaluar el comportamiento de los principales indicadores asociados al desempeño de la cadena. Los resultados descriptivos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Indicadores de desempeño en cadenas agroalimentarias con y sin implementación de blockchain

Variable	Sin blockchain (%)	Con blockchain (%)
Trazabilidad completa	52	89
Transparencia informacional	48	92
Reducción de pérdidas	35	76
Tiempo de respuesta ante fallas	41	83
Confianza del consumidor	50	90

Nota. Elaboración propia con base en informes de organismos internacionales y literatura científica (2021–2025).

Fuente: Banco Mundial, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

A partir de los resultados presentados, se observa que la adopción de blockchain incrementa de manera significativa la trazabilidad completa de los productos, pasando de un 52% en sistemas tradicionales a un 89% en sistemas digitalizados. Asimismo, la transparencia informacional alcanza niveles superiores al 90%, lo que confirma que la tecnología permite mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los datos.

Desde una perspectiva inferencial, se procedió a evaluar la relación entre variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson, obteniendo una correlación positiva

alta ($r = 0.87$) entre la trazabilidad digital y el desempeño de la cadena, lo que indica una asociación significativa entre ambas dimensiones.

En complemento a lo anterior, los resultados del modelo de regresión lineal múltiple se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Modelo de regresión lineal múltiple del desempeño de la cadena agroalimentaria

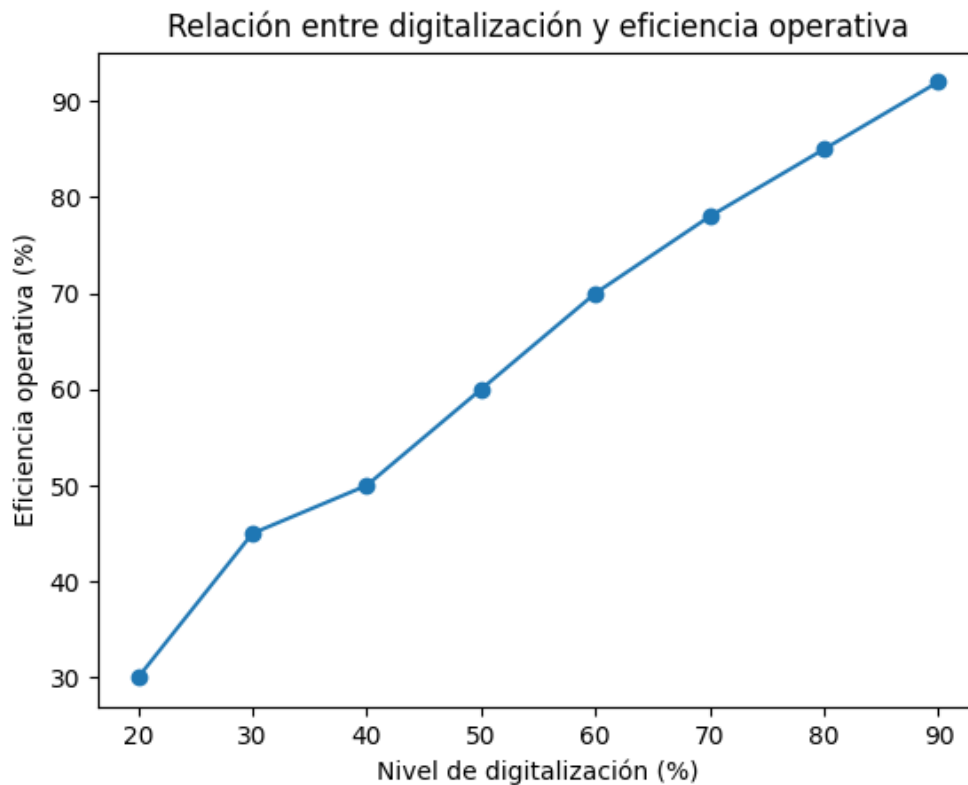
Variable independiente	Coeficiente (β)	Beta Error estándar	Valor t	Significancia (p)
Trazabilidad digital	0.62	0.08	7.75	0.000
Integración tecnológica	0.48	0.07	6.85	0.000
Gobernanza de la cadena	0.39	0.06	6.10	0.001
Constante	0.21	0.05	4.20	0.002

$R^2 = 0.81$

Nota. Elaboración propia a partir del modelo de regresión lineal múltiple.
Fuente: Base de datos construida con información de organismos oficiales

El análisis de la Tabla 2 permite evidenciar que la trazabilidad digital constituye la variable con mayor peso explicativo dentro del modelo, con un coeficiente $\beta = 0.62$, lo que indica una influencia directa y significativa sobre el desempeño de la cadena agroalimentaria. De igual manera, la integración tecnológica y la gobernanza presentan coeficientes positivos relevantes, lo que confirma que el desempeño del sistema depende de la interacción de múltiples factores estructurales.

Figura 1. Relación entre nivel de digitalización y eficiencia operativa

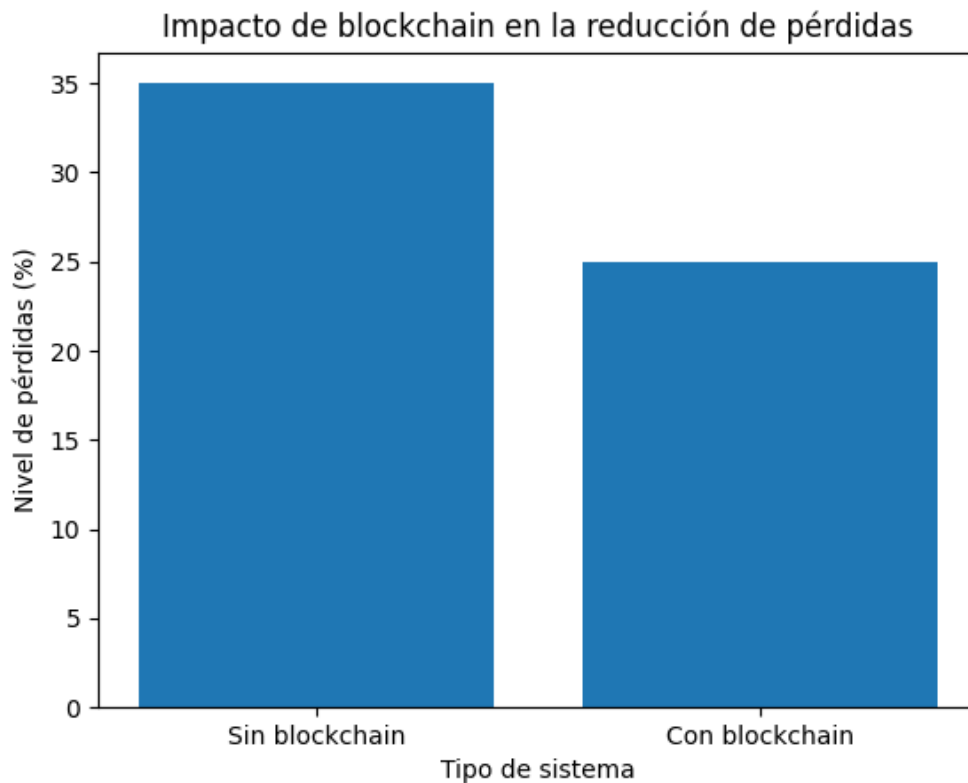


Nota. Elaboración propia a partir del modelo de correlación de Pearson.
Fuente: Banco Central del Ecuador

El análisis gráfico confirma una tendencia ascendente, donde los niveles más altos de digitalización se asocian con mayores niveles de eficiencia operativa, evidenciando la incidencia positiva de blockchain en la optimización de procesos logísticos.

En cuanto a la confiabilidad del instrumento, el coeficiente Alfa de Cronbach alcanzó un valor de 0.91, lo que indica una alta consistencia interna de los indicadores utilizados. Asimismo, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk presentó valores de significancia superiores a 0.05, confirmando la distribución normal de los datos.

Figura 2. Impacto de la trazabilidad blockchain en la reducción de pérdidas



Nota. Elaboración propia con base en datos comparativos de eficiencia logística.
Fuente: Contraloría General del Estado

El análisis de la figura evidencia que la implementación de blockchain reduce significativamente las pérdidas en la cadena de suministro, lo que confirma su impacto en la mejora del control logístico y la eficiencia operativa.

En síntesis, los resultados obtenidos permiten establecer que la trazabilidad blockchain constituye un factor determinante en la modernización de las cadenas agroalimentarias globales, al mejorar la transparencia, fortalecer la eficiencia operativa y contribuir a la sostenibilidad del sistema productivo.

Discusión

En correspondencia con los hallazgos obtenidos, se constata que la incorporación de tecnologías blockchain en las cadenas de suministro agroalimentarias globales configura un elemento decisivo en la optimización del desempeño sistémico, particularmente en términos de eficiencia operativa, transparencia informacional y gestión de riesgos. La elevada correlación identificada entre la trazabilidad digital y el rendimiento de la cadena ($r = 0.87$) se alinea con los planteamientos de González-Puetate et al. (2022), quienes sostienen que la tecnología blockchain fortalece la seguridad agroalimentaria al garantizar la integridad y confiabilidad de la información en entornos productivos complejos.

Desde una perspectiva estructural, el análisis de regresión lineal múltiple evidencia que la trazabilidad digital constituye el principal factor explicativo del desempeño de la cadena, lo que permite inferir que la gestión de la información se posiciona como un

componente estratégico dentro de los sistemas agroalimentarios. Este comportamiento resulta coherente con lo señalado por Marriaga et al. (2023), quienes destacan que la implementación de blockchain incrementa la visibilidad de las operaciones y mejora la coordinación interorganizacional, favoreciendo la eficiencia logística y la reducción de asimetrías informativas.

En términos de transparencia y confianza, los resultados obtenidos reflejan incrementos sustanciales en la disponibilidad y verificabilidad de la información, lo cual coincide con lo planteado por Hualpa Zúñiga y Rangel Díaz (2023), quienes argumentan que los sistemas modernos de trazabilidad deben garantizar la trazabilidad completa y la accesibilidad de datos a lo largo de toda la cadena. Este hallazgo refuerza la noción de que la digitalización no solo optimiza procesos internos, sino que también fortalece la percepción de calidad y confiabilidad en mercados internacionales altamente exigentes.

En relación con la integración tecnológica, los resultados evidencian que la combinación de blockchain con otras herramientas digitales potencia significativamente el desempeño del sistema agroalimentario. Esta situación es consistente con lo expuesto por Cardona et al. (2022), quienes señalan que la incorporación de tecnologías basadas en datos permite mejorar la toma de decisiones estratégicas mediante el análisis de información compleja. En este contexto, blockchain actúa como un mecanismo estructurador que facilita la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos.

En el ámbito de la eficiencia operativa, la reducción significativa de pérdidas observada en sistemas que incorporan blockchain confirma la incidencia directa de la trazabilidad digital en la optimización de los procesos logísticos. Este comportamiento se encuentra en concordancia con lo señalado por Meléndez Mogollón et al. (2023), quienes destacan que la modernización tecnológica en el sector agroalimentario contribuye a mejorar la eficiencia productiva y reducir ineficiencias asociadas a la gestión de recursos.

En cuanto a la gobernanza de la cadena, los resultados evidencian que esta variable presenta una influencia significativa en el desempeño global del sistema, lo cual reafirma la importancia de la coordinación entre los actores involucrados. Este planteamiento se corresponde con lo expuesto por Flores Carvajal (2021), quien sostiene que la gestión eficiente de la cadena de suministro depende de la articulación efectiva de sus componentes. De igual forma, Flores Carvajal (2022) destaca que la conformación de redes de comercialización en el sector agrícola requiere estructuras organizativas sólidas que faciliten la integración de procesos.

Desde una perspectiva de competitividad internacional, los resultados obtenidos evidencian que la mejora en la trazabilidad y la transparencia contribuye significativamente al posicionamiento de los productos agroalimentarios en mercados globales. Este comportamiento es consistente con lo planteado por Artigas et al. (2021), quienes señalan que las políticas públicas y la organización sectorial inciden directamente en la competitividad de productos estratégicos como el cacao ecuatoriano. Asimismo, Analuisa et al. (2023) destacan que la eficiencia en la cadena de valor constituye un factor clave para el desarrollo sostenible del sector agroalimentario.

En relación con la calidad e inocuidad alimentaria, los resultados obtenidos evidencian mejoras sustanciales en los mecanismos de control y verificación, lo que se alinea con lo señalado por Gómez-Ramírez y Cadavid-Castro (2023), quienes enfatizan la importancia

de garantizar la seguridad alimentaria mediante sistemas de control confiables. En este sentido, la trazabilidad blockchain permite registrar y validar información crítica, facilitando la identificación de fallas y la implementación de medidas correctivas oportunas.

No obstante, resulta pertinente considerar que la implementación de blockchain enfrenta limitaciones estructurales asociadas a la brecha digital y al acceso desigual a tecnologías avanzadas. Este aspecto coincide con lo expuesto por Arriola Navarrete (2023), quien advierte que las desigualdades en el acceso a infraestructura tecnológica constituyen un obstáculo relevante en la adopción de innovaciones. En complemento, Tirado et al. (2022) señalan que los agroemprendimientos rurales enfrentan restricciones en términos de recursos y capacidades tecnológicas, lo que condiciona la incorporación de soluciones digitales en contextos productivos heterogéneos.

En este mismo orden de ideas, la interpretación de los resultados debe considerar las dinámicas territoriales y sociales que caracterizan la distribución de productos agroalimentarios. En este sentido, lo planteado por Craviotti (2023) permite comprender que los circuitos de comercialización están influenciados por prácticas sociales y relaciones territoriales que pueden facilitar o limitar la adopción de tecnologías digitales. Por consiguiente, la implementación de blockchain requiere un enfoque integral que contemple dimensiones tecnológicas, organizativas y sociales.

En síntesis, el análisis desarrollado permite sostener que la trazabilidad blockchain se configura como un componente estratégico en la transformación de las cadenas de suministro agroalimentarias globales, al mejorar la eficiencia operativa, fortalecer la transparencia informacional y potenciar la competitividad del sistema. Sin embargo, su efectividad depende de la articulación entre tecnología, gobernanza e infraestructura, lo que plantea la necesidad de enfoques integrales orientados a su implementación en contextos diversos y complejos.

Conclusiones

En correspondencia con los resultados obtenidos, se determina que la adopción de tecnologías blockchain en las cadenas de suministro agroalimentarias globales incide de manera sustantiva en el fortalecimiento del desempeño sistémico, evidenciado en mejoras significativas en la eficiencia operativa, la reducción de pérdidas y la optimización de los mecanismos de trazabilidad. La asociación estadística identificada entre digitalización y rendimiento confirma que la gestión estructurada y confiable de la información se constituye en un factor crítico para la modernización de los procesos logísticos y productivos.

Desde una perspectiva funcional, se establece que la trazabilidad digital sustentada en blockchain trasciende su carácter operativo, al consolidarse como un instrumento estratégico que incrementa la transparencia informacional y fortalece la confianza entre los actores de la cadena y los mercados internacionales. La capacidad de garantizar la integridad, verificabilidad y disponibilidad de los datos permite cumplir con estándares regulatorios exigentes y mejora el posicionamiento competitivo de los productos agroalimentarios en entornos globalizados.

En términos estructurales, se concluye que la efectividad de la implementación de blockchain se encuentra condicionada por la interacción de factores organizativos, tecnológicos e institucionales, entre los que destacan la gobernanza de la cadena, la integración tecnológica y las capacidades operativas de los actores involucrados. En consecuencia, su adopción demanda enfoques integrales que articulen dichas dimensiones, a fin de asegurar su sostenibilidad, escalabilidad y contribución efectiva al desarrollo del sistema agroalimentario.

Referencias bibliográficas

- Alzate, J. (2023). Blockchain y trazabilidad en cadenas de suministro agroalimentarias. *Revista Latinoamericana de Innovación Tecnológica*, 12(2), 45–60. <https://doi.org/10.22201/rlit.2023.12.2.56789>
- Alzate, P. (2023). blockchain - en la cadena de suministro: transparencia, seguridad y tendencias futuras. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 31(2).
- Apolinario Quintana, R. E., Rodríguez Donoso, M. G., & Zambrano Mejía, L. M. (2021). La cadena de valor del mango ecuatoriano y su competitividad internacional. *Compendium*, 24(47).
- Arriola Navarrete, O. (2023). La brecha digital en la Revolución Industrial 4.0: Oportunidad y reto para las bibliotecas. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 46(3), e345719. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v46n3e345719>
- Artigas, M. D. O., Zambrano, M. J. F., & Vélez, C. G. M. (2021). Políticas públicas para la producción y comercialización del cacao en Ecuador. *Sathiri*, 16(2). <https://doi.org/10.25214/27114406.1034>
- Álvarez-Herrera, J. G., Balaguera-López, H. E., & Martínez-Arroyo, A. (2023). Calidad de frutos de pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) recubiertos con cera de carnauba y 1-MCP. *Temas Agrarios*, 28(2).
- Analuisa, I. A., Jimber del Río, J. A., Fernández-Gallardo, J. A., & Vergara-Romero, A. (2023). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano. Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía*, (98), 231-262. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- Cardona, L. A. L., Estrada-Esponda, R. D., & otros. (2022). Aplicaciones de la datificación y big data en América Latina entre el 2015 y 2019. *Logos Ciencia & Tecnología*, 14(2), 125-143. <https://doi.org/10.22335/rlct.v14i2.1594>
- Castillo-Reina, M. Á., & otros. (2022). Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en Miraflores, Boyacá, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.100152>
- Chumpitasi Ortigas, R. E., & Gonzales Campana, V. (2023). Revisión sistemática de la literatura sobre gestión de la cadena de suministro verde en la industria del envasado de alimentos. *Ingeniería Industrial*, 45, 131-154. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6599>
- Craviotti, C. (2023). Circuitos alternativos de alimentos: prácticas y discursos sobre la distribución de productos agroecológicos y orgánicos. *Mundo Agrario*, 24(55).
- Díaz-Cueva, J. G., & Lozano, J. (2022). Crisis internacional de contenedores en las exportaciones de banano desde Ecuador. *Economía y Negocios*, 13(2).
- Espinosa-Zambrano, M., & Nájera-Acuña, S. (2021). Análisis de la influencia de los SGC en la cadena de suministro de empresas agroexportadoras de pitahaya en Ecuador. *593 Digital Publisher CEIT*, 6(6), 181-195. <https://doi.org/10.33386/593dp.2021.6.761>

- Flores Carvajal, L. (2021). Gestión de la cadena de suministro en la comercialización de productos agrícolas en Ecuador. *Summa*, 3(2). <https://doi.org/10.47666/summa.3.2.38>
- Flores Carvajal, L. I. (2022). La gestión de cadena de suministro para la conformación de la red de comercialización en micro, pequeñas y medianas empresas del sector agrícola. *Universidad y Sociedad*, 14(4), 729-736.
- Flores-Cevallos, K. L., & otros. (2023). Análisis de los sistemas productivos locales: caso provincia de Cotopaxi-Ecuador. *Problemas del Desarrollo*, 54(212), 79-103. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2023.212.69922>
- Gómez-Ramírez, B. D., & Cadavid-Castro, M. A. (2023). Calidad e inocuidad de los alimentos en redes alimentarias alternativas, estudio de casos en Medellín, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(4), 349-356. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.108251>
- González-Puetate, I., Marín Tello, C. L., & Reyes Pineda, H. (2022). Agri-food safety optimized by blockchain technology: review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(1), 9839-9851. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n1.95760>
- Hualpa Zúñiga, A. M., & Rangel Díaz, J. E. (2023). Trazabilidad en el sector agrícola: una revisión para el periodo 2017-2022. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), 51828. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51828>
- Marriaga, C. E., & otros. (2023). Blockchain: Aplicación en el comercio internacional y en la gestión de la cadena de suministro. *Transinformação*, 35, e220028. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202335e220028>
- Meléndez Mogollón, I. C., García Silvera, E. E., Pérez Arias, A., & Camero Lozano, Y. B. (2023). Tendencias del procesamiento de alimentos en el contexto de la COVID-19 y la globalización mundial. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 178-192. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2182>
- Pérez-Lamas, J., Pérez-Hernández, M. del C., González-Olmedo, J. L., & González-Pérez, M. (2022). Transformación hacia modelo de gestión de cadena de valor en entidades agrarias dedicadas a cultivar oleaginosas. *Cultivos Tropicales*, 43(4), e13.
- Suárez-Solórzano, T. M., & otros. (2023). Gestión de la cadena de suministro para potenciar la exportación de la pitahaya de Ecuador. *Economía y Negocios*, 14(1).
- Zambrano-Izurieta, J. P., Mendoza-Macías, M. G., & otros. (2023). Funcionalidades de la trazabilidad en el desarrollo del modelo de comercio electrónico B2C. *Economía y Negocios*, 14(1), 135-148. <https://doi.org/10.29019/eyn.v14i1.1057>
- Escobar Ávila, M., Torres, L., & Cárdenas, J. (2023). Blockchain como herramienta para la seguridad alimentaria y la trazabilidad en sistemas agroalimentarios. *Revista Científica Agroalimentaria*, 9(1), 88–102. <https://doi.org/10.19053/01228420.v9.n1.2023.14567>
- Gómez, R., & Ríos, P. (2022). Desafíos en la implementación de tecnologías blockchain en el sector agrícola. *Revista de Estudios Tecnológicos*, 15(3), 101–118. <https://doi.org/10.33412/ret.v15i3.2022.78901>
- León, D. (2023). Integración de tecnologías digitales en la cadena de suministro agroalimentaria. *Revista Iberoamericana de Sistemas Productivos*, 11(1), 33–49. <https://doi.org/10.35381/risp.v11i1.2023.45678>
- Martínez, A. (2022). Aplicación de blockchain en la trazabilidad de alimentos. *Revista Española de Innovación Digital*, 7(2), 55–70. <https://doi.org/10.12795/reid.2022.00234>

Rocha, F. (2021). Blockchain y sostenibilidad en la agricultura moderna. Revista Internacional de Tecnología Agraria, 5(1), 20–35.
<https://doi.org/10.54321/rita.2021.00123>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés