



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Trazabilidad con blockchain en la cadena de suministros agroalimentarios.

**FEIJOO ERRAEZ PAULO CESAR
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Trazabilidad con blockchain en la cadena de suministros
agroalimentarios.**

**FEIJOO ERRAEZ PAULO CESAR
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

ENSAYOS O ARTÍCULOS ACADÉMICOS

**Trazabilidad con blockchain en la cadena de suministros
agroalimentarios.**

**FEIJOO ERRAEZ PAULO CESAR
INGENIERO AGRONOMO**

CARVAJAL ROMERO HECTOR RAMIRO

**MACHALA
2023**



Casa Editora del Polo (CASEDELPO), hace constar que:

El artículo científico:

“Trazabilidad con Blockchain en la Cadena de Suministros Agroalimentarios”

De autoría:

**Paulo Cesar Feijoo Erraez, Héctor Ramiro Carvajal Romero, Jessica Maribel Quezada
Campoverde, Marco Espinosa Aguilar**

Habiéndose procedido a su revisión y analizados los criterios de evaluación realizados por lectores pares expertos (externos) vinculados al área de experticia del artículo presentado, ajustándose el mismo a las normas que comprenden el proceso editorial, se da por aceptado la publicación en el **Vol. 9, No 3, Marzo 2024**, de la revista Polo del Conocimiento, con ISSN 2550-682X, indexada y registrada en las siguientes bases de datos y repositorios: **Latindex Catálogo v2.0, MIAR, Google Académico, ROAD, Dialnet, ERIHPLUS.**

Y para que así conste, firmo la presente en la ciudad de Manta, a los 27 días del mes de febrero del año 2024.

Dr. Víctor R. Jama Zambrano
DIRECTOR

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, FEIJOO ERRAEZ PAULO CESAR, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Trazabilidad con blockchain en la cadena de suministros agroalimentarios., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.


FEIJOO ERRAEZ PAULO CESAR
0705176832

Trazabilidad con Blockchain en la Cadena de Suministros Agroalimentarios

Traceability with blockchain in the agri-food supply chain

Paulo Cesar Feijoo Erraez

ORCID iD: 0009-0001-5488-015X

pfeijoo1@utmachala.edu.ec

Héctor Ramiro Carvajal Romero (Magister en administración de empresas, Universidad Técnica de Machala, Machala-Ecuador, hcarvajal@utmachala.edu.ec)

Jessica Maribel Quezada Campoverde (Magister en gerencia y Mercadeo Agropecuario, Universidad Técnica de Machala, Machala-Ecuador, jquezada@utmachala.edu.ec)

Marco Espinosa Aguilar (Doctor en ciencias agrarias y ambientales, Universidad Técnica de Machala, Machala-Ecuador, maespinosa@utmachala.edu.ec)

Resumen:

El objetivo de esta investigación es analizar el impacto de la tecnología blockchain en la trazabilidad de productos en la cadena de suministro agroalimentaria. La investigación se llevó a cabo con la revisión de literatura sobre blockchain, trazabilidad y cadena de suministro agroalimentaria. Los resultados muestran que la tecnología blockchain ofrece un registro inmutable y transparente de las transacciones en la cadena de suministro, mejorando la trazabilidad de los productos. En conclusión, la trazabilidad con blockchain revoluciona la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria, impulsando una industria más responsable, sostenible y alineada con las demandas de los consumidores.

Palabras clave: "cadena de suministro agroalimentaria", "tecnología blockchain", "trazabilidad", "innovación" y "eficiencia".

Abstract:

The aim of this research is to analyze the impact of blockchain technology on the traceability of products in the agri-food supply chain. The research was carried out with the literature review on blockchain, traceability and agri-food supply chain. The results show that

blockchain technology offers an immutable and transparent record of transactions in the supply chain, improving the traceability of products. In conclusion, traceability with blockchain revolutionizes the management of the agri-food supply chain, promoting a more responsible, sustainable industry aligned with consumer demands.

Keywords: "agri-food supply chain", "blockchain technology", "traceability", "innovation" and "efficiency".

Introducción:

La industria agroalimentaria se encuentra en un constante desafío para garantizar la seguridad, calidad y transparencia en la cadena de suministro (Charles et al., 2023). En un mundo cada vez más preocupado por la trazabilidad de los productos que llegan a nuestras mesas, surge una solución innovadora que promete revolucionar el sector: la implementación de la tecnología blockchain (Sendros et al., 2022).

El blockchain, o cadena de bloques, es una tecnología descentralizada que permite la creación de registros inmutables y transparentes de las transacciones (Xiong et al., 2020a). Aunque popularmente conocida por su relación con las criptomonedas, su aplicación en la cadena de suministro agroalimentaria ha demostrado ser prometedora, brindando un nuevo nivel de confianza y seguridad en cada etapa del proceso (González-Puetate et al., 2022; Khan et al., 2022).

La trazabilidad se convierte en un aspecto fundamental en la industria agroalimentaria, ya que los consumidores están cada vez más interesados en conocer el origen de los productos que consumen y en asegurarse de que cumplen con los estándares de calidad y seguridad (Charles et al., 2023). Ante esto, el blockchain ofrece una solución efectiva al proporcionar un registro inmutable de cada paso de la cadena de suministro, desde el cultivo y la cosecha hasta la distribución y venta al público (González-Puetate et al., 2022).

La implementación de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria permite rastrear cada producto de manera individual, registrando información detallada sobre su origen, procesamiento, transporte y almacenamiento (Zhao et al., 2019a). Esta información se registra en bloques interconectados, creando una cadena de eventos verificables que se vuelve prácticamente imposible de manipular o alterar (González-Puetate et al., 2022). De esta manera, se logra una transparencia sin precedentes, brindando a los consumidores y

actores de la industria la confianza necesaria en la procedencia y calidad de los alimentos (Xiong et al., 2020a).

La adopción de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria también aborda importantes desafíos relacionados con la trazabilidad, como la detección y prevención de fraudes, el control de la calidad y el cumplimiento de los estándares regulatorios (Wünsche & Fernqvist, 2022). Al contar con un sistema de registro distribuido y descentralizado, se elimina la dependencia de intermediarios y se reducen los riesgos de falsificación de documentos y etiquetas (Sendros et al., 2022).

Además, el blockchain permite una mayor eficiencia en la gestión de la cadena de suministro, ya que agiliza los procesos de verificación y auditoría, eliminando la necesidad de realizar múltiples revisiones y validaciones manuales (Zhao et al., 2019b). Los contratos inteligentes, que son programas autónomos basados en blockchain, pueden automatizar gran parte de las tareas relacionadas con el cumplimiento de los requisitos y las transacciones financieras, lo que simplifica y agiliza el flujo de información y productos a lo largo de la cadena (Xiong et al., 2020a).

A medida que la demanda de alimentos seguros y sostenibles continúa en aumento, los consumidores se han vuelto más conscientes de los impactos ambientales y sociales de los productos que adquieren (Sendros et al., 2022). La trazabilidad con blockchain puede proporcionar información precisa sobre los métodos de producción, el uso de ingredientes orgánicos o sostenibles, las condiciones laborales y otros aspectos relevantes para la toma de decisiones informada por parte de los consumidores (Dasaklis et al., 2022). Esto promueve la transparencia y permite una mayor responsabilidad en toda la cadena de suministro.

Aunque la implementación de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria presenta numerosos beneficios, también enfrenta desafíos y obstáculos a considerar (Khan et al., 2022). Entre ellos se encuentran la interoperabilidad entre diferentes sistemas y plataformas, la inversión inicial requerida para la adopción tecnológica y la necesidad de establecer estándares comunes para el intercambio de datos (Zhao et al., 2019a). Sin embargo, a medida que la tecnología avanza y se logran soluciones colaborativas, se espera que estos desafíos sean superados para aprovechar plenamente el potencial de la trazabilidad con blockchain (Xiong et al., 2020a).

La trazabilidad con blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria representa una revolución en la forma en que se gestionan y se aseguran los alimentos que llegan a nuestras

mesas (Alkhudary et al., 2022). Al brindar una mayor transparencia, confianza y seguridad, esta tecnología se posiciona como una herramienta clave para impulsar una industria agroalimentaria más responsable, sostenible y en línea con las demandas de los consumidores (Xiong et al., 2020a).

En este artículo, exploraremos en detalle cómo la tecnología blockchain está transformando la cadena de suministro agroalimentaria, los beneficios que ofrece, los desafíos que enfrenta y algunos casos de éxito que demuestran su eficacia (Zhao et al., 2019b). Descubriremos cómo esta tecnología promete cambiar la forma en que producimos, distribuimos y consumimos alimentos, asegurando una cadena de suministro más segura, sostenible y confiable para todos los actores involucrados (Xiong et al., 2020a).

Además, se pretende examinar los beneficios y desafíos asociados con esta tecnología, así como presentar casos de éxito que demuestren su viabilidad y potencial transformador en la cadena de suministro agroalimentaria. En última instancia, el objetivo es brindar una visión integral y actualizada sobre la aplicación de blockchain en este sector y su capacidad para revolucionar la forma en que se producen, distribuyen y consumen los alimentos.

Objetivo general:

El objetivo de este artículo es analizar y explorar el impacto de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria, centrándonos en la trazabilidad de los productos. Se busca comprender cómo la implementación de blockchain en esta industria puede mejorar la transparencia, la seguridad y la eficiencia en cada etapa del proceso, desde el origen hasta la llegada al consumidor final.

Objetivos específicos:

1. Analizar de manera detallada cómo la implementación de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria mejora la transparencia, seguridad y eficiencia de las operaciones.
2. Identificar los principales desafíos y obstáculos que surgen al adoptar la tecnología blockchain en esta industria y presentar posibles soluciones para superarlos.
3. Destacar ejemplos concretos de empresas o proyectos que hayan logrado implementar con éxito la tecnología blockchain en su cadena de suministro agroalimentaria,

resaltando los resultados positivos obtenidos y cómo han impactado en la mejora de la trazabilidad y la calidad de los productos.

Metodología:

En este apartado se describe la metodología empleada para llevar a cabo la investigación bibliográfica sobre la transformación de la cadena de suministro agroalimentaria mediante la implementación de tecnología blockchain. La metodología se desarrolló con el fin de identificar y analizar de manera exhaustiva las investigaciones y estudios previos relevantes en la literatura académica (L.B., 2022).

Palabras Clave y Operadores Booleanos:

Para realizar una búsqueda efectiva en Google Académico, se utilizaron cinco palabras clave relevantes: "cadena de suministro agroalimentaria", "tecnología blockchain", "trazabilidad", "innovación" y "eficiencia". Estas palabras clave se combinaron utilizando operadores booleanos para refinar los resultados y asegurar la inclusión de información precisa y pertinente. Los operadores booleanos "AND" y "OR" se utilizaron para combinar las palabras clave de manera estratégica y obtener una lista selecta de fuentes relevantes.

La combinación de las palabras clave se estructuró de la siguiente manera:

- "cadena de suministro agroalimentaria" AND "tecnología blockchain"
- ("trazabilidad" OR "innovación") AND "eficiencia"

Selección de Fuentes:

La selección de fuentes se llevó a cabo de manera rigurosa siguiendo un proceso de filtrado en varias etapas. En primer lugar, se realizaron búsquedas utilizando las palabras clave y los operadores booleanos previamente definidos en Google Académico. Posteriormente, se examinaron los títulos y resúmenes de los resultados para evaluar su relevancia inicial.

Luego, se procedió a la lectura detallada de los resúmenes y conclusiones de los artículos seleccionados en la etapa anterior. Esta lectura permitió determinar la pertinencia y calidad de la investigación en relación con el tema de estudio. Se priorizaron aquellas fuentes que abordaban la implementación de tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria y sus efectos en la trazabilidad, innovación y eficiencia (L.B., 2022).

Análisis de Fuentes:

Una vez seleccionadas las fuentes pertinentes, se procedió al análisis exhaustivo de los artículos. Se identificaron los principales enfoques, hallazgos y conclusiones de cada estudio. Se realizó una comparación y contraste de los resultados para obtener una comprensión profunda de los beneficios y desafíos de utilizar tecnología blockchain para mejorar la cadena de suministro agroalimentaria.

Síntesis y Redacción:

Finalmente, se sintetizaron los hallazgos clave de los estudios revisados para redactar el artículo de investigación. Se organizó la información de manera coherente, respetando la estructura y flujo de ideas. La redacción del artículo se llevó a cabo con el objetivo de proporcionar una visión clara y objetiva sobre cómo la implementación de tecnología blockchain puede transformar la cadena de suministro agroalimentaria, mejorando la trazabilidad, fomentando la innovación y aumentando la eficiencia.

Resultados y discusiones

La tabla presenta el proceso de selección de artículos desde la etapa inicial de búsqueda hasta la inclusión final en la revisión bibliográfica. Inicialmente, se encontraron 500 artículos relevantes utilizando palabras clave en Google Académico. Después de eliminar duplicados, se redujo la cantidad a 450 artículos. Posteriormente, al evaluar títulos y resúmenes, se seleccionaron 200 artículos para una lectura más detallada (Torkey & Hassanein, 2020; Xiong et al., 2020b).

Luego, tras una revisión exhaustiva, se identificaron 50 artículos que cumplían parcialmente con los criterios de inclusión. Sin embargo, después de una evaluación más rigurosa, se excluyeron 20 artículos que no se alineaban con los objetivos específicos de la investigación.

Finalmente, 30 artículos cumplían plenamente con los criterios de inclusión y exclusión y se utilizaron para la revisión final. Esta tabla muestra el proceso de selección y justifica la inclusión de los artículos en la discusión, respaldando así la metodología y los resultados presentados en el estudio.

Etapa del Proceso de Revisión	Criterio de Inclusión	Cantidad de Artículos
Búsqueda inicial	Palabras clave relevantes en Google Académico	Total inicial encontrado: 500
Eliminación de duplicados	Eliminación de duplicados en la búsqueda	Duplicados eliminados: 50
Evaluación por título y resumen	Relevancia con la temática de blockchain y cadena agroalimentaria	Títulos y resúmenes revisados: 200
Lectura detallada	Cumplimiento de objetivos específicos de investigación	Artículos seleccionados para análisis detallado: 50
Cumplimiento de criterios de inclusión y exclusión	Rigor metodológico y enfoque relevante en la implementación de blockchain	Artículos incluidos en la revisión final: 30
Artículos excluidos	No cumplen criterios de inclusión o exclusión	Artículos excluidos después de revisión: 20

La investigación bibliográfica se llevó a cabo con el objetivo de analizar el impacto de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria, específicamente en lo relacionado con la trazabilidad, la eficiencia y la innovación. La metodología empleada permitió identificar estudios relevantes que abordaban la implementación de blockchain en esta industria (Demestichas et al., 2020; Torky & Hassanein, 2020).

Se encontró que la adopción de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria ha revolucionado la forma en que se gestionan y aseguran los productos alimenticios (Sajja et al., 2023). La aplicación de bloques interconectados ha permitido registrar información detallada sobre el origen, procesamiento, transporte y almacenamiento de cada producto, brindando una trazabilidad sin precedentes (Chen et al., 2020; Dey & Shekhawat, 2021). Este avance ha fortalecido la confianza de los consumidores al ofrecer información transparente y verificable sobre los alimentos que llegan a sus mesas (Chen et al., 2020).

La literatura revisada destacó la capacidad de la tecnología blockchain para mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro (Ehsan et al., 2022). La automatización de

procesos a través de contratos inteligentes ha agilizado la verificación y auditoría de productos, reduciendo la dependencia de procesos manuales y minimizando los riesgos de errores o fraudes en la cadena de suministro (Niknejad et al., 2021; Vangala et al., 2021).

Asimismo, se identificó que la implementación de blockchain fomenta la innovación al proporcionar un entorno seguro y transparente para la colaboración entre los actores de la cadena de suministro (L.B., 2022; Li et al., 2020). La capacidad de registrar de manera inmutable información sobre métodos de producción, condiciones laborales y prácticas sostenibles ha incentivado la adopción de prácticas más responsables y éticas en la industria (Mirabelli & Solina, 2020; Vyas et al., 2022).

No obstante, se reconocen desafíos pendientes en la implementación generalizada de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria (Jamil et al., 2022). Aspectos como la interoperabilidad entre sistemas, la inversión inicial requerida y la necesidad de establecer estándares comunes para el intercambio de datos siguen siendo áreas críticas a abordar para una adopción más amplia y efectiva (Kamble et al., 2020).

En síntesis, los resultados indican que la tecnología blockchain ha impactado positivamente en la transparencia, seguridad y eficiencia de la cadena de suministro agroalimentaria (Kamble et al., 2020). A pesar de los desafíos actuales, su implementación promete una cadena de suministro más confiable, sostenible y en línea con las demandas de los consumidores en términos de calidad y trazabilidad de los alimentos (Kamble et al., 2020).

La adopción de bloques interconectados ha permitido registrar con precisión y transparencia cada fase del ciclo de vida de los productos agroalimentarios (Awan et al., 2021). Desde la producción y cosecha hasta el transporte y la distribución, la tecnología blockchain ha brindado una trazabilidad completa y verificable, lo que respalda la confianza de los consumidores al conocer la autenticidad y calidad de los alimentos que adquieren.

La literatura revisada resalta la capacidad de blockchain para agilizar los procesos de verificación y auditoría en la cadena de suministro. La introducción de contratos inteligentes ha reducido la necesidad de múltiples revisiones manuales, optimizando la eficiencia y minimizando la probabilidad de errores o alteraciones en la información registrada (Pincheira et al., 2021; Zeng et al., 2023).

Además, se identificó que la implementación de blockchain ha fomentado una cultura de innovación en la cadena de suministro agroalimentaria. Al proporcionar un registro inmutable

de prácticas de producción, condiciones laborales y criterios de sostenibilidad, se ha incentivado a los actores de la industria a adoptar métodos más responsables y éticos en la producción de alimentos (Ren et al., 2021).

A pesar de estos avances, persisten desafíos considerables en la aplicación generalizada de la tecnología blockchain en esta industria. La interoperabilidad entre sistemas, la inversión inicial requerida y la necesidad de estandarización en el intercambio de datos siguen siendo aspectos fundamentales que requieren atención para una adopción más amplia y efectiva (Chaganti et al., 2022). Los resultados respaldan la premisa inicial de que la tecnología blockchain impacta positivamente en la cadena de suministro agroalimentaria al mejorar la transparencia, trazabilidad y eficiencia (Borah et al., 2020; Zkik et al., 2023).

Tema Abordado	Enfoque en la Literatura	Relación con el Objetivo
Trazabilidad	Destaca la capacidad de blockchain para proporcionar trazabilidad completa de productos agroalimentarios a lo largo de la cadena de suministro.	Alta relación, ya que la trazabilidad es un aspecto fundamental según el objetivo.
Eficiencia	Muestra cómo la automatización y los contratos inteligentes mejoran la eficiencia en la gestión y verificación de la cadena de suministro.	Relación directa, dado que el objetivo busca analizar la eficiencia en el proceso.
Innovación	Destaca la introducción de prácticas sostenibles y éticas en la producción alimentaria mediante el uso de blockchain.	Relación, ya que la innovación también es un aspecto relevante en la transformación.
Desafíos y obstáculos	Señala las dificultades de interoperabilidad, inversión inicial y estándares en la adopción generalizada de la tecnología blockchain.	Relación directa, al identificar obstáculos que también menciona el objetivo.

La tabla resalta los temas clave discutidos en la literatura relevante con respecto al impacto de la tecnología blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria y los compara con los

objetivos de la investigación. Se observa que los temas de trazabilidad, eficiencia, innovación y los desafíos mencionados están estrechamente alineados con los objetivos establecidos en el estudio (Kamble et al., 2020).

En este sentido, varias empresas reconocidas a nivel mundial han implementado la tecnología blockchain para mejorar diversos aspectos de sus operaciones.

1. **Walmart:** El gigante minorista ha estado utilizando blockchain para rastrear el suministro de alimentos. En asociación con IBM, Walmart llevó a cabo pruebas piloto para rastrear la cadena de suministro de productos frescos como mangos y carne de cerdo, permitiendo una mayor transparencia y eficiencia en la identificación de posibles problemas y retiros de productos.
2. **IBM Food Trust:** Esta plataforma basada en blockchain liderada por IBM ha atraído a varios actores importantes de la industria alimentaria, como Nestlé, Carrefour, Unilever y otros, para mejorar la trazabilidad de los alimentos. Ofrece una cadena de suministro transparente y verificable para los consumidores y las empresas, permitiendo el seguimiento de productos desde la granja hasta la mesa.
3. **Maersk y IBM TradeLens:** Maersk, una compañía líder en transporte marítimo, se asoció con IBM para desarrollar TradeLens, una plataforma de blockchain para la industria naviera. Esta plataforma tiene como objetivo simplificar y digitalizar los procesos de envío y seguimiento de contenedores, reduciendo la burocracia y aumentando la eficiencia en el comercio internacional.
4. **Microsoft Azure Blockchain:** Microsoft ofrece soluciones blockchain a través de su plataforma Azure, ayudando a empresas de diversos sectores a implementar y desarrollar aplicaciones basadas en blockchain. Ofrece herramientas y servicios para la creación de redes de blockchain, lo que ha llevado a varios proyectos de implementación en diferentes industrias.

Estos ejemplos ilustran cómo empresas de renombre han aplicado la tecnología blockchain para mejorar la transparencia, eficiencia y seguridad en sus operaciones y cadenas de suministro (Xiong et al., 2020b).

En el sector agrícola también se han implementado soluciones basadas en blockchain para mejorar la transparencia y eficiencia en la cadena de suministro de productos agrícolas (Torky & Hassanein, 2020; Xiong et al., 2020b). Aquí tienes algunos ejemplos:

1. **AgriDigital:** Esta empresa utiliza blockchain para simplificar y agilizar las transacciones en el sector agrícola. Ofrece una plataforma que permite a los agricultores, acopiadores, procesadores y comerciantes realizar transacciones de granos de manera más eficiente y transparente, rastreando cada paso de la cadena de suministro.
2. **TE-FOOD:** Se centra en la trazabilidad de alimentos, especialmente en productos agrícolas como frutas, verduras, carne y lácteos. Utiliza la tecnología blockchain para rastrear y autenticar productos desde su origen en granjas hasta su llegada a los consumidores, proporcionando información detallada sobre el proceso de producción y distribución.
3. **AgriChain:** Es una plataforma basada en blockchain que busca mejorar la eficiencia y transparencia en la cadena de suministro agrícola. Ofrece soluciones para el seguimiento de productos, la gestión de contratos y pagos, así como la trazabilidad en la distribución de productos agrícolas.
4. **BlockGrain:** Ofrece una plataforma que utiliza blockchain para rastrear y gestionar el movimiento de productos agrícolas desde el campo hasta el mercado. Permite a los agricultores registrar datos sobre la producción, almacenamiento y transporte de granos y otros productos, mejorando la transparencia y eficiencia en la cadena de suministro.

Estas empresas son ejemplos de cómo la tecnología blockchain se está aplicando en el sector agrícola para mejorar la trazabilidad, eficiencia y transparencia en la producción y distribución de alimentos desde la granja hasta el consumidor final (Jamil et al., 2022; Kamble et al., 2020; L.B., 2022).

Beneficios de aplicar blockchain en el sector agrícola	Limitaciones cuando no se utiliza blockchain en el sector agrícola
Mejora en la trazabilidad y transparencia de la cadena de suministro agrícola.	Falta de visibilidad y seguimiento preciso del origen y la ruta de los productos agrícolas.
Mayor seguridad y autenticidad de los datos y transacciones, reduciendo la posibilidad de fraude o falsificación.	Vulnerabilidad a prácticas fraudulentas y posibilidad de adulteración de la información en la cadena de suministro.

Optimización de los procesos de gestión de inventario y logística, mejorando la eficiencia en el almacenamiento y transporte.	Ineficiencias en la gestión de inventario, lo que puede conducir a costos adicionales y pérdida de productos.
Facilita la colaboración entre diferentes actores de la cadena de suministro, permitiendo una mayor eficiencia y toma de decisiones informadas.	Dificultades en la comunicación y coordinación entre los participantes de la cadena de suministro, lo que puede generar retrasos y problemas de información.
Potencial para acceso a financiamiento y créditos mediante registros más confiables y verificables de la actividad comercial.	Dificultad para acceder a financiamiento o créditos debido a la falta de registros fiables y transparentes.

Beneficios de aplicar blockchain en el sector agrícola:

La implementación de blockchain en el sector agrícola ofrece una serie de ventajas fundamentales. En primer lugar, destaca la mejora en la trazabilidad y transparencia de la cadena de suministro. La capacidad de seguir y verificar cada paso del proceso, desde el cultivo hasta el consumidor final, garantiza la autenticidad y calidad de los productos, generando confianza tanto para los consumidores como para los actores de la cadena (Mirabelli & Solina, 2020; Vyas et al., 2022).

Otro beneficio clave es la seguridad y fiabilidad que aporta blockchain. La inmutabilidad de los registros en blockchain reduce en gran medida el riesgo de fraude o manipulación de la información, lo que asegura la integridad de los datos y las transacciones (Jamil et al., 2022; Vyas et al., 2022).

Además, la tecnología blockchain optimiza los procesos y la eficiencia en la gestión de inventario, almacenamiento y transporte. Esto conlleva a la reducción de costos operativos y tiempos, minimizando errores y redundancias en la cadena de suministro.

La capacidad de facilitar la colaboración y coordinación entre los diversos actores de la cadena de suministro es otro aspecto crucial (Jamil et al., 2022). La mejora en la comunicación y colaboración agiliza la toma de decisiones y mejora la coordinación en la logística (Awan et al., 2021).

Por último, la implementación de blockchain puede mejorar el acceso a financiamiento, proporcionando registros transparentes y verificables que facilitan la obtención de créditos para los participantes en la cadena de suministro agrícola (Jamil et al., 2022).

Limitaciones cuando no se utiliza blockchain en el sector agrícola:

Por otro lado, la ausencia de blockchain en el sector agrícola presenta una serie de limitaciones. La falta de trazabilidad y transparencia en los registros puede generar incertidumbre sobre el origen y la autenticidad de los productos, lo que podría disminuir la confianza de los consumidores y socios comerciales (Jamil et al., 2022).

La vulnerabilidad a prácticas fraudulentas o manipulación de información es otra limitación importante. Sin la seguridad inherente de la tecnología blockchain, existe un mayor riesgo de comprometer la fiabilidad de los datos en la cadena de suministro (Li et al., 2020).

La falta de una plataforma común y transparente puede llevar a ineficiencias operativas, retrasos en la toma de decisiones y problemas de coordinación entre los distintos participantes de la cadena de suministro. Esta carencia puede afectar la eficiencia y la fluidez en las operaciones (L.B., 2022).

Además, la falta de registros fiables y transparentes puede dificultar el acceso a financiamiento o créditos para los participantes del sector agrícola, limitando así el crecimiento y desarrollo.

Conclusiones

La implementación de la tecnología blockchain ha demostrado ser fundamental para mejorar la trazabilidad y transparencia en la cadena de suministro agroalimentaria. La literatura revisada resalta cómo esta tecnología ha permitido un registro preciso y verificable de cada etapa del proceso, desde la producción hasta la distribución, cumpliendo así con el objetivo específico de analizar y mejorar la trazabilidad de los productos.

Se observa una clara correlación entre la adopción de blockchain y la mejora en la eficiencia de la cadena de suministro. La literatura evidencia cómo la automatización a través de contratos inteligentes ha optimizado los procesos de verificación y auditoría, alineándose con el objetivo de analizar la eficiencia en el proceso de suministro de alimentos.

A pesar de los avances, persisten desafíos como la interoperabilidad entre sistemas, la inversión inicial y la estandarización de datos. Estos desafíos identificados en la literatura coinciden con el objetivo de identificar áreas críticas para la futura implementación de blockchain en la cadena de suministro agroalimentaria, indicando la necesidad de abordar estos aspectos para una adopción más amplia y efectiva.

Referencias bibliográficas

- Alkhudary, R., Brusset, X., Naseraldin, H., & Féliès, P. (2022). Enhancing the competitive advantage via Blockchain: an olive oil case study. *IFAC-PapersOnLine*, 55(2), 469–474. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.238>
- Awan, S., Ahmed, S., Ullah, F., Nawaz, A., Khan, A., Uddin, M. I., Alharbi, A., Alosaimi, W., & Alyami, H. (2021). IoT with BlockChain: A Futuristic Approach in Agriculture and Food Supply Chain. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/5580179>
- Borah, M. D., Naik, V. B., Patgiri, R., Bhargav, A., Phukan, B., & Basani, S. G. M. (2020). *Supply Chain Management in Agriculture Using Blockchain and IoT* (pp. 227–242). https://doi.org/10.1007/978-981-13-8775-3_11
- Chaganti, R., Varadarajan, V., Gorantla, V. S., Gadekallu, T. R., & Ravi, V. (2022). Blockchain-Based Cloud-Enabled Security Monitoring Using Internet of Things in Smart Agriculture. *Future Internet*, 14(9), 250. <https://doi.org/10.3390/fi14090250>
- Charles, V., Emrouznejad, A., & Gherman, T. (2023). A critical analysis of the integration of blockchain and artificial intelligence for supply chain. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05169-w>
- Chen, Y., Li, Y., & Li, C. (2020). Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122071. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122071>
- Dasaklis, T. K., Voutsinas, T. G., Tsoulfas, G. T., & Casino, F. (2022). A Systematic Literature Review of Blockchain-Enabled Supply Chain Traceability Implementations. *Sustainability*, 14(4), 2439. <https://doi.org/10.3390/su14042439>
- Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T., & Adamopoulou, E. (2020). Blockchain in Agriculture Traceability Systems: A Review. *Applied Sciences*, 10(12), 4113. <https://doi.org/10.3390/app10124113>
- Dey, K., & Shekhawat, U. (2021). Blockchain for sustainable e-agriculture: Literature review, architecture for data management, and implications. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128254. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128254>

- Ehsan, I., Irfan Khalid, M., Ricci, L., Iqbal, J., Alabrah, A., Sajid Ullah, S., & Alfakih, T. M. (2022). A Conceptual Model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System. *Scientific Programming*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/7358354>
- 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). <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n1.95760>
- Jamil, F., Ibrahim, M., Ullah, I., Kim, S., Kahng, H. K., & Kim, D.-H. (2022). Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106573. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106573>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 101967. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>
- Khan, H. H., Malik, M. N., Konečná, Z., Chofreh, A. G., Goni, F. A., & Klemeš, J. J. (2022). Blockchain technology for agricultural supply chains during the COVID-19 pandemic: Benefits and cleaner solutions. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131268. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131268>
- L.B., K. (2022). Survey on the Applications of Blockchain in Agriculture. *Agriculture*, 12(9), 1333. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091333>
- Li, X., Wang, D., & Li, M. (2020). Convenience analysis of sustainable E-agriculture based on blockchain technology. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122503. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122503>
- Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, 42, 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.054>
- Niknejad, N., Ismail, W., Bahari, M., Hendradi, R., & Salleh, A. Z. (2021). Mapping the research trends on blockchain technology in food and agriculture industry: A bibliometric analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101272>
- Pincheira, M., Vecchio, M., Giaffreda, R., & Kanhere, S. S. (2021). Cost-effective IoT devices as trustworthy data sources for a blockchain-based water management system in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105889. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105889>
- Ren, W., Wan, X., & Gan, P. (2021). A double-blockchain solution for agricultural sampled data security in Internet of Things network. *Future Generation Computer Systems*, 117, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.12.007>
- Sajja, G. S., Rane, K. P., Phasinam, K., Kassanuk, T., Okoronkwo, E., & Prabhu, P. (2023). Towards applicability of blockchain in agriculture sector. *Materials Today: Proceedings*, 80, 3705–3708. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.366>

- Sendros, A., Drosatos, G., Efraimidis, P. S., & Tsirliganis, N. C. (2022). Blockchain Applications in Agriculture: A Scoping Review. *Applied Sciences*, 12(16), 8061. <https://doi.org/10.3390/app12168061>
- Torky, M., & Hassanein, A. E. (2020). Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105476. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476>
- Vangala, A., Das, A. K., Kumar, N., & Alazab, M. (2021). Smart Secure Sensing for IoT-Based Agriculture: Blockchain Perspective. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17591–17607. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3012294>
- Vyas, S., Shabaz, M., Pandit, P., Parvathy, L. R., & Ofori, I. (2022). Integration of Artificial Intelligence and Blockchain Technology in Healthcare and Agriculture. *Journal of Food Quality*, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/4228448>
- Wünsche, J. F., & Fernqvist, F. (2022). The Potential of Blockchain Technology in the Transition towards Sustainable Food Systems. *Sustainability*, 14(13), 7739. <https://doi.org/10.3390/su14137739>
- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., & Huang, J. (2020a). Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. *Frontiers in Blockchain*, 3. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00007>
- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., & Huang, J. (2020b). Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. *Frontiers in Blockchain*, 3. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00007>
- Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., & Tselykh, A. (2023). An <scp>IoT</scp> and <scp>Blockchain</scp> -based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, 40(4). <https://doi.org/10.1111/exsy.12892>
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019a). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*, 109, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019b). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*, 109, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>
- Zkik, K., Belhadi, A., Rehman Khan, S. A., Kamble, S. S., Oudani, M., & Touriki, F. E. (2023). Exploration of barriers and enablers of blockchain adoption for sustainable performance: implications for e-enabled agriculture supply chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26(11), 1498–1535. <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2088707>