

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

Propuesta de un modelo de competitividad de la tecnología Blockchain como ventaja competitiva en una cadena de suministros orientada a los procesos informáticos seguros (trazabilidad, transparencia e inmutabilidad)

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autores:

Juan Manuel Peña León

Kevin Marcelo Santander Santander

Director:

Juan Carlos Llivisaca Villazhañay

ORCID:  0000-0003-2154-3277

Cuenca, Ecuador

2024-09-24

Resumen

Este trabajo de investigación se enfoca en proponer un modelo de competitividad basado en la tecnología BlockChain en una cadena de suministros orientada a los procesos informáticos seguros (trazabilidad, transparencia e inmutabilidad), centrándose en la producción de plantas medicinales en la parroquia de Susudel. Los agricultores de la fundación "Luz y Sal" que mayormente son agricultores de la tercera edad cultivan plantas en invernaderos con técnicas convencionales es por ello que esta investigación propone implementarla tecnología BlockChain. En el estudio se evalúan indicadores específicos obtenidos de una revisión bibliográfica, así como indicadores propuestos por los autores evidenciados en la Tabla 3 y Tabla 4, con el objetivo de medir el comportamiento de la cadena antes y después de la implementación de Blockchain. Para ello, se utilizó el software Vensim PLE y la Dinámica de Sistemas como herramientas para la creación del modelo de competitividad. El modelo fue validado utilizando el caso de estudio de la fundación "Luz y Sal," en donde se pudo demostrar que la implementación de BlockChain mejoró significativamente la transparencia y la trazabilidad en la cadena de suministro. Esta tecnología optimizó la transferencia de información a lo largo de la cadena, lo que facilitó la flexibilidad para responder a demandas fluctuantes. Además, la inmutabilidad de los registros y la capacidad de rastrear los productos que genera una mayor confianza entre los actores involucrados.

Palabras clave del autor: dinámica, flexibilidad, industria 5.0, simulación, tecnología



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This research work focuses on proposing a competitiveness model based on BlockChain technology in a supply chain oriented to secure IT processes (traceability, transparency and immutability), focusing on the production of medicinal plants in the parish of Susudel. The farmers of the “Luz y Sal” foundation, who are mostly elderly farmers, grow plants in greenhouses using conventional techniques, which is why this research proposes to implement BlockChain technology. The study evaluates specific indicators obtained from a literature review, as well as indicators proposed by the authors as shown in Table 3 and Table 4, in order to measure the behavior of the chain before and after the implementation of blockchain. For this purpose, Vensim PLE software and System Dynamics were used as tools for the creation of the competitiveness model. The model was validated using the case study of the “Luz y Sal” foundation, where it was demonstrated that the implementation of BlockChain significantly improved transparency and traceability in the supply chain. This technology optimized the transfer of information along the chain, which facilitated flexibility to respond to fluctuating demands. In addition, the immutability of records and the ability to trace products generated greater trust among stakeholders.

Author Keywords: dynamics, flexibility, industry 5.0, simulation, technology



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Introducción.....	10
2. Problemática.....	11
3. Objetivos.....	15
3.1.1. Objetivo General.....	15
3.1.2. Objetivos Específicos.....	15
4. Marco teórico	15
4.1. Cadena de suministros agroalimentaria.....	15
4.2. Tecnología BlockChain & IoT	17
4.2.1. ¿Qué es BlockChain?.....	17
4.2.2. Funcionamiento de la tecnología BlockChain	17
4.2.3. Atributos de la tecnología BlockChain como ventaja competitiva	18
4.2.4. Casos de Implementación de Tecnología BlockChain.....	21
4.2.5. Nivel de interés que existe por parte de las empresas en adquirir la tecnología BlockChain.....	22
4.2.6. Interacción BlockChain & IoT	23
4.2.7. Integración de la tecnología BlockChain & IoT en la industria agroalimentaria.....	24
4.2.8. Casos de implementación de Tecnología BlockChain & IoT	25
4.3. Diagrama Causal y Forrester.....	26
4.4. Conocer los modelos de competitividad	27
5. Metodología	27
5.1. Fase 1. Recopilación de Información	28
5.1.1. Descripción del caso de estudio.....	28
5.1.2. Selección de los actores de la cadena de suministros agroalimentaria	29
5.1.3. Recopilación de información mediante encuestas	30
5.2. Fase 2. Definición de indicadores y diseño de la simulación	31
5.2.1. Indicadores para cadenas de suministros	31
5.2.2. Selección de indicadores para el modelo	31
5.2.3. Valores de indicadores utilizados en el modelo	37
5.2.4. Propuesta de los escenarios para la simulación.....	39
5.2.5. Simulación del modelo.....	43

6.	Resultados y discusión.....	46
6.1.	Resultados de los indicadores más relevantes del primer escenario	46
6.2.	Resultados de los indicadores más relevantes del segundo escenario	48
6.3.	Comparación de los escenarios	49
6.4.	Ventaja competitiva en el modelo propuesto.....	55
7.	Conclusiones	56
8.	Recomendaciones	57

Índice de Figuras

Figura 1. Cadena de Suministros Agroalimentaria.....	16
Figura 2. Funcionamiento de BlockChain.....	17
Figura 3. Atributos de la tecnología BlockChain como ventaja competitiva.	18
Figura 4. Dispositivos y aplicaciones de IoT en Agricultura.....	24
Figura 5. Funcionamiento general de tecnología IoT en Agricultura.	25
Figura 6. Metodología de la investigación. Autoría Propia.....	28
Figura 7. Diagrama de flujo del caso de estudio. Autoría propia.....	29
Figura 8. Diagrama Causal del caso de estudio. Autoría Propia.....	44
Figura 9. Diagrama Forrester para la simulación del caso de estudio. Autoría propia.....	45
Figura 10. Influencia entre los indicadores más relevantes del modelo. Autoría Propia.	46
Figura 11. Proceso productivo del agricultor. Autoría propia.....	50
Figura 12. Compra de materia prima a otros agricultores. Autoría Propia.....	51
Figura 13. Ganancias del Agricultor. Autoría propia	52
Figura 14. Indicadores del Productor. Autoría Propia.....	53
Figura 15. Distribución del agricultor. Autoría propia.....	53
Figura 16. Ventaja competitiva del modelo propuesto. Autoría Propia.....	56

Índice de tablas

Tabla 1. Casos de éxito de BlockChain en la cadena de suministros agroalimentaria.	21
Tabla 2 Casos de Implementación de Tecnología BlockChain & IoT	25
Tabla 3. Tabla de indicadores del agricultor para la simulación.....	31
Tabla 4. Tabla de Indicadores del Productor para simulación.	34
Tabla 5. Tabla de valores de indicadores constantes para la simulación	37
Tabla 6. Valores iniciales de los indicadores	39
Tabla 7. Comportamiento de los indicadores al aplicar Tecnología BlockChain en el Agricultor.	41
Tabla 8.Comportamiento de los indicadores al aplicar Tecnología BlockChain en el Productor.	42

Dedicatorias

Para mis abuelos Guillermo, Lía, Sonita y Manuel, por ser mi inspiración y ejemplo de perseverancia.

A mis padres María del Carmen y Juan, por su amor incondicional y apoyo constante.

A mis amigos Josh, Pepe, Laura, Juli, por su amistad y ánimo en cada paso de este camino.

Juan Peña

Este trabajo se lo dedico de manera especial a mi hermanita Ana Paula quien ha sido el pilar fundamental para nunca rendirme.

A mis padres Edgar y Ana quienes con su apoyo y amor incondicional han sido base fundamental para cumplir mis objetivos personales y académicos.

A mis abuelos Arturo y Elena quienes a través de sus consejos me ayudan a ser mejor persona cada día.

A mi hermana Juana por su compañía incondicional y siempre confiar en mí.

Kevin Santander

Agradecimientos

Me agradezco a mí por haber confiado en mí mismo.

Me agradezco a mí por haber hecho todo el trabajo duro necesario.

Me agradezco a mí por no haber agachado la cabeza ni aflojado el paso en los momentos difíciles.

Me agradezco a mí por las interminables noches de estudio.

Me agradezco a mí por nunca haberme rendido.

Y le agradezco al pequeño Juan por haber decidido estudiar esta carrera.

Juan Peña

Agradezco a Dios por haber permitido vivir, disfrutar y hacer posible esta meta.

Me agradezco a mí por la determinación de nunca rendirme, de salir adelante y de confiar en mí mismo.

Me agradezco a mí por la perseverancia a lo largo de este camino y al niño en mi interior que un día soñó en ser un Ingeniero.

Agradezco a mis amigas Lisbeth y Paola por ser parte de este camino.

Kevin Santander

Agradecemos al Ing. Juan Llivisaca por haber aceptado ser la persona quien guió nuestro trabajo con su conocimiento y experiencia.

Agradecemos al grupo de investigación IMAGINE por permitirnos ser parte de uno de sus proyectos de investigación.

Agradecemos a la fundación “Luz y Sal” por la disposición que nos ofrecieron en cuanto a información relevante para este estudio.

Kevin Santander y Juan Peña

1. Introducción

El presente trabajo de investigación se centra en la elaboración de un modelo de competitividad mediante tecnologías innovadoras en la cadena de suministro de productos agrícolas, específicamente en el caso de la producción de plantas medicinales en la parroquia Susudel. La Fundación "Luz y Sal" ha desarrollado un proyecto de producción de plantas medicinales, donde los agricultores de la zona en su mayoría son personas de la tercera edad, cultivan estas plantas en invernaderos con sistemas de riego y técnicas de cultivo convencionales. Sin embargo, mediante la implementación de tecnologías innovadoras se busca mejorar los sistemas de gestión de la cadena de suministro y promover una cultura de asociación entre los agricultores y las empresas que procesan plantas medicinales para productos derivados.

Para esta investigación se propuso la implementación de tecnologías Blockchain en la cadena de suministro de plantas medicinales en la parroquia Susudel. Se utilizaron los indicadores específicos de las tablas 3 y 4 para evaluar la eficiencia y la transparencia en la cadena de suministro antes y después de la implementación de la tecnología Blockchain. El objetivo es determinar si la implementación de esta tecnología puede mejorar la eficiencia y la transparencia en la cadena de suministro, y si puede ayudar a aumentar la cuota de mercado de los productores de Susudel.

Los autores de este trabajo incluyen varios factores clave de la cadena de suministro agroalimentaria, como la logística, la flexibilidad de la organización, la seguridad del producto, su calidad, la sostenibilidad, la disponibilidad de información y el rendimiento. Con el objetivo de resaltar la importancia de una gestión eficiente de la cadena de suministro, se propone la implementación de la tecnología Blockchain. Esta tecnología busca lograr un mayor control sobre la producción de plantas medicinales y promover un intercambio efectivo de información entre las partes interesadas.

En su investigación Treiblmaier (2018) describe como la implementación de tecnologías como Blockchain puede ser una solución efectiva para mejorar la transparencia y la eficiencia en la cadena de suministro. Mientras que para Bumblauskas et al. (2020) la inmutabilidad de los registros y la trazabilidad de los productos permiten una mayor confianza entre los actores involucrados, lo que a su vez mejora la gestión de inventarios y minimiza el riesgo de exceso o faltante de productos. Además, la tecnología Blockchain puede ayudar a combatir prácticas fraudulentas y falsificaciones de productos, lo que es fundamental para mantener la confianza del consumidor.

La cadena de suministro de productos agrícolas es un proceso complejo que involucra varios actores, desde la producción hasta la venta final. Para Meidute-Kavaliauskiene, I., et al. (2021) los distribuidores, mayoristas y minoristas juegan un papel fundamental en este proceso, ya que son los encargados de movilizar el producto entre los actores y de realizar las ventas. Sin embargo, la falta de transparencia y la ausencia de sistemas de gestión de producción pueden llevar a problemas en la cadena de suministro, como la pérdida de productos durante el transporte o la venta de productos no aptos para el consumo.

En este contexto, para Kamble (2019) la implementación de tecnologías innovadoras como la Blockchain puede ser una solución efectiva para mejorar la eficiencia y la transparencia en la cadena de suministro. La tecnología Blockchain en combinación con el internet de las cosas (IoT) puede ayudar a los actores involucrados a tener acceso a información en tiempo real sobre las condiciones de crecimiento de las plantas medicinales, lo que permite una mayor confianza en la calidad de los productos. Además, en la investigación de Gomez y Prenafeta (2023) los autores analizan que la inmutabilidad de los registros y la trazabilidad de los productos permiten una mayor eficiencia en las auditorías y minimizan el riesgo de exceso o faltante de productos.

Dentro de una cadena de suministro es importante identificar los puntos donde sea necesario cuantificar alguna variable, de esta manera se permite a la organización medir, evaluar y mejorar continuamente los procesos dentro de cada eslabón de una cadena de suministro. En un estudio realizado por Morella, Lambán, Royo y Sanchez en 2021 sobre la aplicación de las tecnologías 4.0 en una cadena de suministros de productos agrícolas se categorizan los indicadores claves de rendimiento de la siguiente manera, transporte y logística, consumo energético, rendimiento, flexibilidad, responsabilidad, calidad, seguridad del producto, sostenibilidad, entre otros, estos indicadores pueden ser implementados con tecnología Blockchain para el conocimiento de las partes interesadas a lo largo de la cadena de suministros.

2. Problemática

Para García (2020), la dirección en la que se mueven las cadenas de suministro actuales, donde surgen diversas demandas de los clientes, como la necesidad de información de productos transparente y segura, cree que la adopción de la tecnología Blockchain será necesaria en las operaciones comerciales en los próximos años. Esta adopción traerá consigo cambios significativos que permitirán optimizar las actividades dentro de la cadena, lo que se traducirá en una mayor capacidad para satisfacer las necesidades. Cole (2019) propone en su investigación que esto es posible gracias al control total de la información en toda la cadena, lo que garantiza

su fiabilidad y rapidez. Como resultado, los procesos de flujo de materiales se pueden optimizar mediante la gestión y la utilización eficaces del flujo de información.

En este contexto, la cadena de bloques es una base de datos que puede ser utilizada por un gran número de personas de forma descentralizada con el fin de conseguir una transferencia de información transparente y segura, lo que permite el almacenamiento de información de forma inalterable y organizada. En la investigación de Retamal et al. (2017) se analiza el caso del bitcoin, la información adjunta a la cadena de bloques es accesible al público y cualquier usuario de la red puede verla en cualquier momento. Solo se puede incluir nueva información en la cadena de bloques si existe un consenso entre la mayoría de los participantes. Después de un período de tiempo específico, se puede suponer que la información agregada en un bloque se vuelve inalterable (inmutabilidad).

La tecnología Blockchain tiene diversas aplicaciones, destacándose la moneda digital Bitcoin, que es descentralizada y no puede ser controlada por nadie. En su investigación Retamal y Tapia (2017) comentan que los gobiernos y los bancos centrales no tienen influencia sobre ella, lo que garantiza su independencia. Esta es la principal característica que la diferencia de otras monedas convencionales es su independencia de un organismo central. Otra aplicación de esta tecnología son los Smart Contracts que permiten realizar el intercambio de dinero, propiedades, activos o cualquier activo valioso de manera sencilla, evitando los gastos asociados a los servicios de los intermediarios y sin revelar ninguna información confidencial sobre las partes involucradas y/o la naturaleza de la transacción (Navarro, 2017). Entre otras aplicaciones se encuentran las patentes y los registros de propiedad, la descentralización de los expedientes médicos (Chen, 2018), el internet de las cosas (IoT) (Lin, 2018), votos electrónicos (Taş, 2020), ecommerce (Liu, 2020), cadena de suministros (Kamble, 2019), entre otras.

En la era digital actual, la gestión eficiente de la cadena de suministro es crucial para el éxito de las empresas en un mercado globalizado y dinámico. En este contexto, la tecnología Blockchain ha surgido como un impulsor fundamental para la transformación de la cadena de suministro. Originalmente creada como la infraestructura subyacente para las criptomonedas, Blockchain ha demostrado su potencial revolucionario para optimizar los procesos logísticos y mejorar la transparencia en toda la cadena de suministro.

Para Kamilaris, Fonts y Prenafeta (2019) la incorporación de Blockchain a la cadena de suministro introduce una capa de confianza y seguridad, ofreciendo un registro inmutable y

transparente de las transacciones. Este fenómeno no solo simplifica la gestión de la cadena de suministro, sino que también crea nuevas oportunidades de trazabilidad, autenticidad del producto y eficiencia operativa.

La investigación realizada por Manobanda (2021) analizó la ejecución de un modelo piloto para la gestión de la cadena de suministro mediante la tecnología Blockchain. Los sistemas actuales de gestión de la cadena de suministro carecen de claridad y generan irregularidades en la documentación. La propuesta del estudio sugiere la aplicación de la tecnología Blockchain para establecer un sistema de gestión de la cadena de suministro inequívoco y rastreable. El modelo se crea mediante un diagrama de procesos y requiere la colaboración de varias partes interesadas, como mayoristas, minoristas, proveedores de servicios logísticos y operadores de infraestructura.

Al momento de utilizar esta tecnología existe limitaciones entre las partes interesadas que Chen (2017) en su investigación las define como la falta de confianza, la causa fundamental radica en tres desafíos que enfrenta el mecanismo tradicional de confianza centralizado: los intereses propios de los miembros de la cadena de suministro, la asimetría de la información en los procesos de producción y los costos y limitaciones de las inspecciones de calidad. Los intereses propios de los miembros de la cadena de suministro se refieren al hecho de que cada miembro de la cadena de suministro tiene sus propias metas y objetivos, lo que puede no alinearse con el objetivo general de garantizar la calidad en la cadena de suministro.

En su publicación sobre un modelo de negocio sostenible basado en la tecnología Blockchain, Mercuri (2021) afirma que la implementación de la tecnología Blockchain puede aumentar el nivel de transparencia y sostenibilidad en las cadenas de suministro globales, mitigando así problemas como las actividades fraudulentas, la contaminación, las violaciones de los derechos humanos y las ineficiencias. Además, en el estudio de caso de la empresa Devoleum del sector agroalimentario, se demostró que la tecnología Blockchain puede mejorar la trazabilidad y la seguridad, al tiempo que reduce los costos de transacción y el tiempo necesario para establecer conexiones con el medio ambiente. En su investigación Caro (2018) llega a una conclusión similar al referirse que la tecnología Blockchain puede utilizarse en cadenas de suministro agroalimentarias gracias a que esta permite crear registros transparentes, inmutables y auditables.

Yiannas y Liu (2017) en su investigación encontraron que Walmart está utilizando la tecnología BlockChain para mejorar la seguridad alimentaria en su cadena de suministro, con exitosos programas piloto para carne de cerdo en China y mangos en América, reduciendo el tiempo de seguimiento y aumentando la transparencia. La compañía planea invertir 25 millones de dólares en cinco años para investigar la inocuidad alimentaria global.

Pomárico (2022) en una investigación sobre la industria cafetera colombiana sugiere que la integración de la tecnología BlockChain puede mejorar la eficiencia de las operaciones de la cadena de suministro y ofrecer a los clientes capacidades de seguimiento de los productos a través de contratos inteligentes e IoT (Internet of Things). Además, esta revisión sistemática de la literatura enfatiza la necesidad de la automatización y la productividad en el sector agrícola para mantener la competitividad.

De manera similar, el objetivo del estudio de Vélez (2023), es analizar la cadena de suministro de aguacates en Colombia. El estudio tiene como objetivo examinar cómo la implementación de la tecnología BlockChain puede mejorar la gestión de esta cadena de suministro. El estudio está alineado con la necesidad de que Colombia adopte las tecnologías de la Industria 4.0. El estudio subraya la importancia de utilizar un modelo de cadena de bloques que pueda optimizar la adquisición de materias primas y productos.

Estos casos de estudio sirven como evidencia de que la tecnología BlockChain tiene el potencial de mejorar la gestión sostenible de la cadena de suministros agroalimentaria y la trazabilidad de los productos. Zhang (2019) indica la tecnología ofrece funciones de descentralización, seguridad, inmutabilidad y contratos inteligentes, según una revisión sistemática de la literatura sobre la adopción de la cadena de bloques en la cadena de suministro de alimentos.

Duan et al. (2020) concluyen en su investigación que la tecnología BlockChain tiene el potencial de mejorar la gestión sostenible de la cadena de suministro de alimentos y la trazabilidad de los productos agroalimentarios, pero aún existen desafíos que deben abordarse antes de que pueda ser ampliamente adoptada en la industria alimentaria, los autores destacan cinco desafíos potenciales en el uso de BlockChain en la cadena de suministro de alimentos, incluida la falta de una comprensión más profunda de la cadena de bloques (Treiblmaier, 2018), las dificultades tecnológicas (Min, 2019), la manipulación de datos brutos (Wang et al., 2019), las dificultades para incorporar a todos los interesados (Perboli et al., 2018) y la deficiencia de regulaciones (Chang et al., 2019).

Kamilaris et al. (2019) en su investigación explica que, si bien las cadenas de bloques tienen el potencial de conectar cadenas de suministro globales complejas, la infraestructura de información requerida para operar y mantener el sistema puede dificultar el acceso de nuevos usuarios. Adicionalmente, existe una falta general de conciencia y habilidades en la tecnología Blockchain y las plataformas de capacitación para Blockchain siguen siendo limitadas.

3. Objetivos

3.1.1. Objetivo General

- Proponer un modelo de competitividad basado en la tecnología Blockchain en una cadena de suministros orientada a los procesos informáticos seguros: trazabilidad, transparencia e inmutabilidad

3.1.2. Objetivos Específicos

- Establecer el nivel de interés que existe por parte de las empresas en adquirir la tecnología Blockchain.
- Estudiar los atributos de trazabilidad, transparencia e inmutabilidad de la tecnología Blockchain como ventaja competitiva.
- Determinar la relación entre los indicadores de trazabilidad, transparencia e inmutabilidad orientado como ventaja competitiva.
- Validar el modelo de competitividad de la tecnología Blockchain como ventaja competitiva en una cadena de suministros orientada a los procesos informáticos seguros a través del software Vensim PLE.

4. Marco teórico

4.1. Cadena de suministros agroalimentaria

Kamilaris et al. (2019) en su artículo menciona que una cadena de suministros agroalimentaria es un sistema con diferentes actores involucrados donde todo este sistema contiene las etapas involucradas con la producción, venta, distribución y consumo de productos de origen agrícola.

En la Figura 1, se puede apreciar cada uno de los actores de la cadena de forma secuencial para tener una idea de cómo es el flujo de un producto desde el proveedor de las semillas hasta el consumidor final:

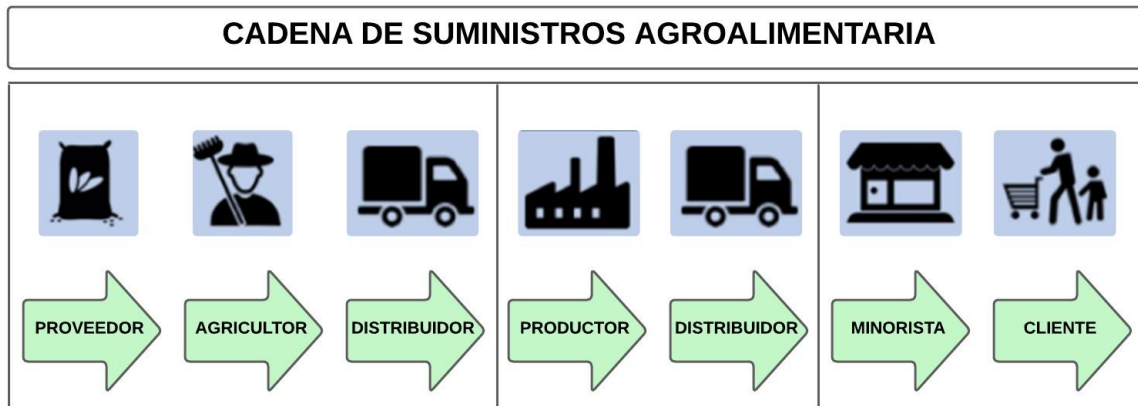


Figura 1. Cadena de Suministros Agroalimentaria. Imagen adaptada de: Kamilaris, A., Font, A., & Prenafeta Boldú, F. X. (2019). El auge de la tecnología Blockchain en la agricultura y las cadenas de suministro de alimentos. <https://www.researchgate.net/publicati>

Una descripción de los actores de una versión simple de una cadena de suministros agroalimentaria es:

Proveedor: persona o entidad que se encarga de proporcionar los insumos necesarios al agricultor para la producción de los productos agrícolas. Este proveedor puede ser de semillas, elementos químicos o fertilizantes, equipos o maquinaria, entre otros.

Productor/Agricultor: es la persona esencial dentro de la cadena puesto que va a ser el encargado de la producción de los cultivos.

Procesamiento/Industria: hace referencia a la industria que va a transformar el producto cosechado desde su estado original en un producto terminado a través de varios procesamiento, generalmente estos productos suelen estar empaquetados y distribuidos por lotes.

Distribuidor: es el actor encargado de movilizar el producto entre los actores a lo largo de toda la cadena, en algunos casos los distribuidores cuentan con características específicas para transportar el producto para que sus condiciones no se vean afectadas.

Mayorista/Minorista: estos actores juegan un papel fundamental puesto que serán los encargados de poner en disposición el producto para los consumidores es decir son los encargados de realizar las ventas del producto terminado.

Cliente: es el usuario final de la cadena de suministro. Los consumidores son los individuos que van a comprar el producto, sus preferencias o demandas afectan a toda la cadena desde la producción hasta las ventas.

4.2. Tecnología BlockChain & IoT

4.2.1. ¿Qué es BlockChain?

La tecnología BlockChain tuvo su aparición 1991, pero fue hasta 2008 cuando su popularidad y conocimiento se hizo notoria con la llegada del bitcoin es por lo que generalmente cuando se habla de BlockChain se la asocia directamente con las criptomonedas, se llegó a proyectar que la demanda de dicha tecnología para el 2022 sería requerida en varios mercados con el financiero y cadena suministros (Subirana, 2018).

BlockChain es una serie de bloques que se encuentran conectados entre sí, cada uno de estos bloques contienen cierta cantidad de información tanto como el usuario de la tecnología lo desee esta información a su vez puede ser compartida con todos los participantes usuarios. La importancia de BlockChain radica en que dichos bloques son diseñados para evitar la modificación o manipulación de los datos o información una vez que hayan sido publicados, es por ellos que la única forma de corregir una determinada información es cargar la información correcta en el bloque posterior al original que tiene la información incorrecta. En otras palabras, esta tecnología es un libro digital compartido de carácter inmutable que contiene históricos de información irrefutable (Gallardo, 2018).

4.2.2. Funcionamiento de la tecnología BlockChain

4.2.2.1. ¿Cómo trabaja BlockChain?

Manobanda (2021) en su investigación expresa que se debe entender que el conjunto de usuarios que participan dentro de la cadena serán los encargados de añadir a la cadena de bloques todo el conjunto de transacciones que se produzcan.

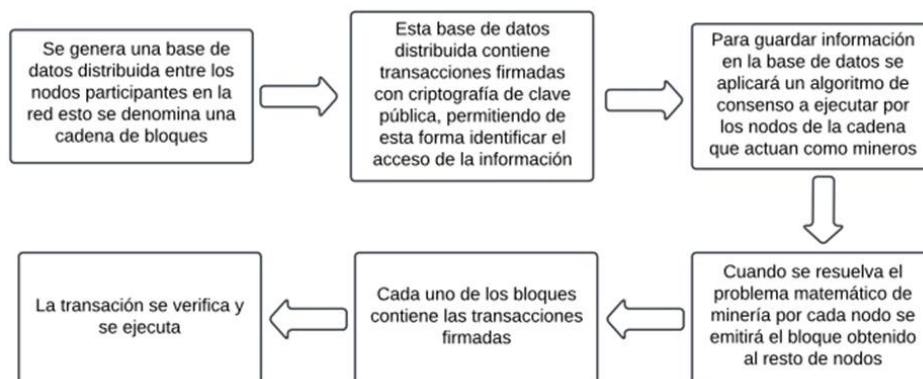


Figura 2. Funcionamiento de BlockChain. Imagen adaptada de: Manobanda, C. (2021). Implementación de un modelo piloto para la gestión de la cadena de suministros utilizando BLOCKCHAIN. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8273>

Preukschat (2017) indica que BlockChain es adecuada en entornos donde sea necesario la revisión y almacenamiento de datos de forma creciente y ordenada en tiempo real, es por lo que en esta tecnología destaca 3 funciones principales con respecto a los datos:

- **Almacenamiento de datos:** los datos van a estar almacenados en la serie de bloques con los que cuenta la cadena.
- **Transmisión de datos:** se logra a través de la red que une los bloques.
- **Confirmación de datos:** se logra mediante un consenso entre los participantes de la cadena de bloques mediante un proceso transparente de validación de las nuevas entradas.

4.2.3. Atributos de la tecnología BlockChain como ventaja competitiva

Para Borrero (2019), el manejo de la información y datos en una cadena de suministros representa dificultades y desafíos, ya que generalmente las partes involucradas suelen ser muy numerosas y en la mayoría de los casos están ampliamente dispersas, lo que genera que se tenga flujos de información que son poco transparentes y confiables en cuanto al producto. Fuertes (2018) BlockChain posibilita que una cadena de suministros sea más dinámica en cuanto a la circulación de información entre todos los actores de la cadena, generando un conjunto de ventajas a través de atributos que la tecnología puede ofrecer como:

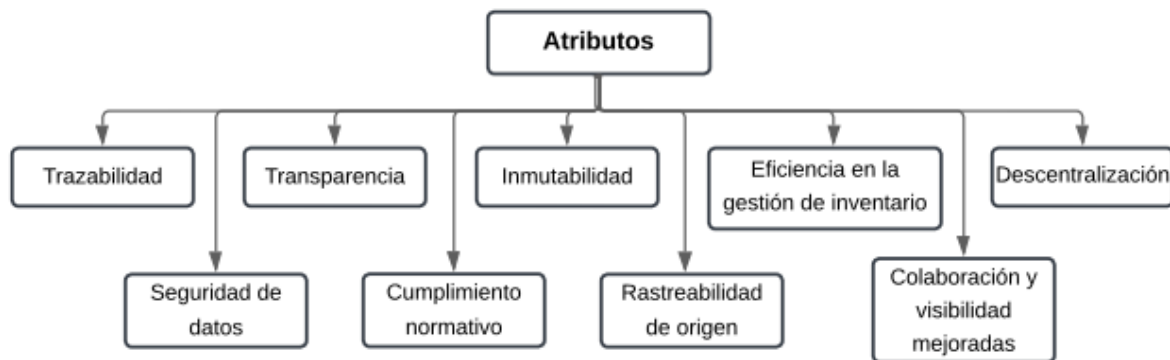


Figura 3. Atributos de la tecnología BlockChain como ventaja competitiva. Imagen adaptada de: Fuertes Paniagua, S. (2018). Implementación de la tecnología Blockchain a entidades del tercer sector [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/>

Castillo (2019) en su investigación menciona que de los diferentes atributos que ofrece la tecnología BlockChain a una cadena de suministros agroalimentaria y a los diferentes actores que la componen, se destacan la transparencia, trazabilidad e inmutabilidad. García (2020) indica que los últimos tiempos, la información relacionada con los alimentos ha adquirido una

importancia significativa entre los consumidores, quienes cada vez demandan más detalles específicos y exactos sobre el origen y el proceso productivo de los alimentos que consumen, proporcionar información precisa a los consumidores y también al resto de los actores de la cadena puede generar una ventaja competitiva.

A continuación, se describe los atributos de transparencia, trazabilidad e inmutabilidad como ventaja competitiva para una cadena de suministros:

4.2.3.1. Transparencia como ventaja competitiva para las cadenas de suministro agroalimentarias

La transparencia dentro de una cadena de suministros hace referencia a la completa visibilidad de la información relevante en todos los niveles de la cadena desde la producción hasta la fase final. Una cadena de suministros que tiene transparencia a causa de BlockChain tiene un sistema compartido de información de datos claves inalterables donde cada uno de los actores involucrados (proveedores, fabricantes, distribuidores, minoristas y consumidores) dentro de la cadena pueden llegar a acceder en cualquier momento a esta información (Aguayo, 2019).

Gómez Hernández et al. (2023) en su estudio menciona que la falta de transparencia afecta notablemente al desempeño de una cadena de suministros generando confianza entre los colaboradores, flujo de trabajo ineficientes y alta vulnerabilidad a las falsificaciones o fraude, es por ello que tener una cadena de suministros transparente puede tener diferentes ventajas como:

- **Confianza:** la divulgación de la información de manera transparente entre los diferentes actores de la cadena contribuye a generar credibilidad en los procesos y procedimientos que se llevan y sobre todo a construir relaciones más fuertes entre las partes involucradas.
- **Eficiencia Operativa:** al compartir la información sobre los tiempos de entrega, cantidad de inventario y producto defectuoso, entre otros. Los participantes de una cadena de suministros pueden planificar de mejor manera sus actividades y mejorar el flujo de trabajo.
- **Responsabilidad social:** la transparencia en una cadena de suministros asegura que los consumidores estén interesados en comprar o apoyar productos que involucren procedimientos éticos, responsables y que cuiden el medio ambiente

- Resolución de problemas: el tener información visible sobre el estado de un producto a lo largo de los diferentes niveles de una cadena de suministros ayuda a que en caso de ocurrir un problema el mismo pueda ser identificado y solucionado de forma inmediata.

4.2.3.2. Trazabilidad como ventaja competitiva para las cadenas de suministro agroalimentarias

La trazabilidad de un producto se define como la capacidad de rastrear de manera precisa el movimiento y ubicación de un bien a lo largo de la cadena de suministro. En otras palabras, la trazabilidad hace referencia a la creación de un historial que detalle cada paso que un producto debe realizar desde su punto de origen hasta su destino final. Este seguimiento meticuloso permite tener una visión de la trayectoria del producto en cualquier punto de la cadena (Sánchez, 2023).

La trazabilidad en el sector agroalimentario juega un papel esencial pues contar con sistema de trazabilidad puede garantizar las siguientes ventajas:

- Aumentar la calidad y seguridad de un producto: permite visualizar el cumplimiento del control y supervisión de los estándares.
- Prevención de fraude: el rastreo continuo del origen de las materias primas o del mismo producto a lo largo de las etapas de producción brinda información valiosa que posibilita combatir prácticas fraudulentas o falsificaciones de productos.
- Ubicar los productos defectuosos de forma fácil: al registrar los movimientos por los que debe pasar un producto es más fácil y rápido determinar la ubicación en caso de que un producto no cumpla con las especificaciones necesarias
- Aumentar la confianza del consumidor: se mejora la confianza del consumidor mediante la transparencia en cuanto al conjunto de procesos y autenticidad de los productos.
- Mejorar la gestión de inventarios: minimiza el riesgo de exceso o faltante de inventario (Pérez, 2023).

4.2.3.3. Inmutabilidad como ventaja competitiva para las cadenas de suministro agroalimentarias

La inmutabilidad dentro de una cadena de suministros agroalimentaria se refiere a las características que tienen ciertos elementos o registros que se encuentran dentro de la misma

para no ser modificados ni alterados de ninguna manera una vez que hayan sido validados esto se logra a través una tecnología como por ejemplo la BlockChain (Cardenas, Aquije & Salcedo, 2023).

La inmutabilidad genere las siguientes ventajas:

- Aumenta la confianza entre los actores de una cadena puesto que las transacciones al tener inmutabilidad reflejan la información de forma certera lo que hace que los actores confíen entre sí.
- Eficiencia en las auditorias: al tener registros inalterables al momento de realizar una auditoria los auditores pueden confiar en la veracidad de los datos lo que agiliza el proceso.
- Transparencia a lo largo de toda la cadena en tanto la información se suba a la cadena de bloques dicha información no podrá eliminarse ni modificarse y estará visible para todos los actores.

4.2.4. Casos de Implementación de Tecnología BlockChain

La tecnología BlockChain se ve inmersa en muchas áreas y en todas ellas ha tenido casos de éxito que ha brindado beneficios muy favorables y el área agrícola no es la excepción, por esto se puede mencionar algunos casos de éxito en esta área en la tabla 1.

Tabla 1. Casos de éxito de BlockChain en la cadena de suministros agroalimentaria.

Caso	Descripción
Walmart	Walmart en alianza con IBM están utilizando esta tecnología para rastrear a sus productos como el mango y la carne de cerdo, BlockChain al brindar la trazabilidad de estos productos en unos pocos segundos y en tiempo real permite identificar productos contaminados en cualquier parte a lo largo de toda la cadena para retirarlos de una forma rápida y eficiente y evitar que lleguen hacia el consumidor final (Rocha, G., De Oliveir, L., & Talamini, E., 2019).
Agricorm	Esta empresa chilena exportadora de fruta fresca usa la tecnología BlockChain para brindarles transparencia a los consumidores finales

	sobre todo rastreando el proceso de producción de las frutas, vegetales y otros alimentos que esta empresa exporta. La trazabilidad que se maneja a través de esta tecnología en Agricom es un paso a la excelencia de la calidad para esta organización (Navarro & Echandia, 2022).
Carrefour	Este minorista francés utiliza la tecnología Blockchain para rastrear de donde proviene los productos como huevos, leche, carnes y frutas. De esta manera busca garantizar que los productos cumplan con los estándares que sus clientes exigen que cada vez estén más relacionados con la ética y la seguridad de estos alimentos (Vidalón, 2018).

4.2.5. Nivel de interés existente por parte de las empresas en adquirir la tecnología Blockchain

Luego de conocer algunos de los aspectos, características, funcionamiento y casos de éxito de la tecnología Blockchain es relevante también analizar el interés de las empresas por adquirir esta tecnología por lo que se realizó una revisión exhaustiva sobre investigaciones que permitan brindar información sobre el tema en investigación.

Según Tokkozhina et al. (2022) en su investigación mencionan que las empresas que tiene largas cadenas de suministros están interesadas en probar la tecnología Blockchain con el propósito de monitorear la trazabilidad de sus productos sensibles a fin de aumentar la eficiencia y disminuir la fricción que puede existir entre los actores a lo largo de toda la cadena de suministros.

Cada vez más empresas se encuentran adquiriendo la tecnología Blockchain con la finalidad de ser más competitivas frente a sus competidores directos y no quedarse rezagadas, la gestión de los inventarios y de las materias primas es una de las principales razones de la adopción de esta tecnología ya que hace que estos procesos se vuelven más simples y eficientes, empresas de todas las áreas están adquiriendo esta tecnología desde industrias como Walmart, Nestlé hasta industrial de la moda (Recent Advances In Blockchain Technology, 2023).

Allende (2018) menciona en su investigación que desde el 2008 cuando Bitcoin adopto la tecnología Blockchain el interés por la misma ha crecido de forma exponencial, el interés por esta tecnología es de forma global para todas las áreas puesto que ofrece soluciones en diversos campos, en los últimos años las grandes empresas ha despertado el interés donde intentan obtener soluciones con el uso de la cadena de bloques que ofrece esta tecnología, pero además también el interés se ha visto reflejado en instituciones gubernamentales e organizaciones internacionales.

4.2.6. Interacción Blockchain & IoT

4.2.6.1. ¿Qué es IoT?

El funcionamiento del IoT se basa en la interconexión de dispositivos a través de internet, permitiéndoles recopilar, enviar y recibir datos. Los dispositivos IoT están equipados con sensores que les permiten capturar información del entorno, como temperatura, humedad, ubicación, entre otros. Esta información es luego transmitida a través de una red, donde puede ser procesada y analizada para obtener insights relevantes. Además, el IoT también implica la capacidad de los dispositivos para actuar en base a los datos recopilados, lo que permite la automatización de procesos y la toma de decisiones en tiempo real. Por ejemplo, en agricultura, los dispositivos IoT pueden activar sistemas de riego automáticamente cuando detectan condiciones de sequía. En logística de una cadena de suministro, pueden enviar alertas sobre desviaciones en la cadena de frío de productos perecederos (Ben Daya et al., 2020).

El IoT tiene un gran potencial para transformar el sector de la agricultura y logística. En la agricultura, el IoT se puede utilizar para monitorear y controlar de forma remota las condiciones ambientales, el riego y la fertilización de los cultivos, lo que puede aumentar la eficiencia de la producción y optimizar el uso de recursos (Ding et al., 2020).

Para Huerta et al. (2021) la implementación de soluciones de IoT en estos sectores puede conducir a una toma de decisiones más ágil y precisa, reducir los costos operativos y mejorar la calidad y seguridad de los productos. El uso de sensores, dispositivos conectados y análisis de datos en tiempo real puede proporcionar información valiosa para optimizar los procesos y aumentar la productividad en la agricultura y la logística de una cadena de suministro.

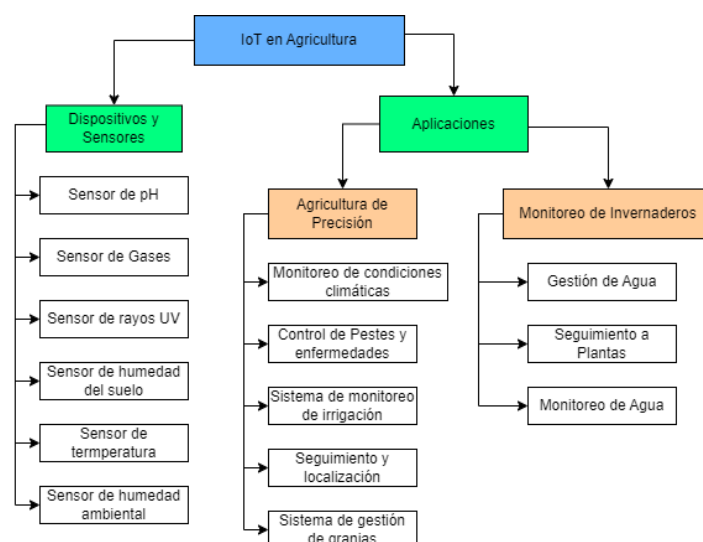


Figura 4. Dispositivos y aplicaciones de IoT en Agricultura. Imagen adaptada de: Lima, G.C. et al. (2020). Agro 4.0: Enabling Agriculture Digital Transformation through IOT. *Revista Ciência Agronômica*, 51(5). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200100>.

Para Gupta (2020) una de las principales ventajas de utilizar la red de IoT en la agricultura es el monitoreo remoto de las características de la ilustración 4, que permite a los agricultores observar las condiciones ambientales y el estado de los cultivos desde cualquier lugar. Para Bothe et al. (2019) los sensores de IoT ofrecen un control más preciso del riego y la fertilización, lo que permite una utilización más eficaz del agua y los nutrientes y, en consecuencia, mejora el rendimiento de los cultivos. Por último, la capacidad de anticipar los problemas es vital para una gestión correcta de los invernaderos. La recopilación continua de datos permite la detección temprana de posibles problemas, lo que facilita una respuesta rápida para minimizar las pérdidas.

A pesar de sus ventajas, la creación de una red de IoT en la agricultura presenta varios inconvenientes notables. En su investigación Perboli et al. (2018) expone que uno de los principales desafíos es el costo inicial, ya que la compra de sensores, dispositivos de comunicación y software especializado puede requerir un compromiso financiero sustancial por parte de los agricultores. Además, la eficiencia de la red de IoT depende en gran medida de tener una conexión a Internet confiable, lo que puede resultar problemático en áreas rurales o aisladas con conectividad limitada (Saberri et al., 2019).

4.2.7. Integración de la tecnología Blockchain & IoT en la industria agroalimentaria

La integración de la tecnología Blockchain con el Internet de las cosas en la industria agroalimentaria ha ganado interés debido a su potencial para mejorar la transparencia, seguridad

y eficiencia en la cadena de suministro de alimentos (Ilustración 5). Al integrar el IoT con BlockChain, los datos recopilados de los dispositivos y sensores en la agricultura, como la temperatura de almacenamiento, la humedad, y la ubicación de los productos, pueden ser registrados de manera segura en la cadena de bloques (Cole, 2019).

Esta integración puede mejorar la trazabilidad de los alimentos, permitiendo a los consumidores conocer el origen de los productos y garantizar su autenticidad. Además, al utilizar contratos inteligentes en la tecnología BlockChain, se pueden automatizar los procesos de pago y verificación de la calidad de los productos, lo que agiliza las transacciones y reduce los costos en la cadena de suministro (Mahyuni et al., 2020).

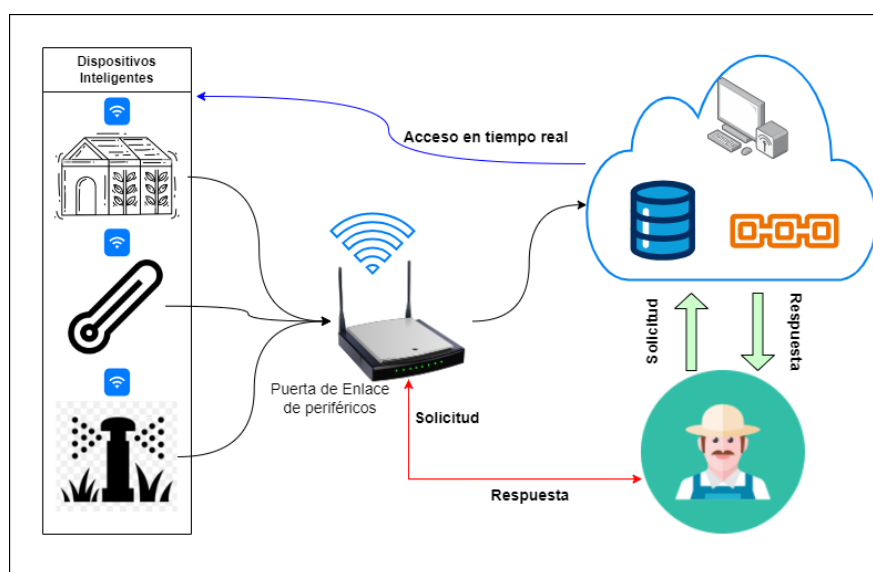


Figura 5. Funcionamiento general de tecnología IoT en Agricultura. Imagen adaptada de: Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S., & Mittal, S. (2020). Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 8, 34564–34584.

4.2.8. Casos de implementación de Tecnología BlockChain & IoT

A continuación, en la tabla 2 se presentan casos en los que la aplicación de la tecnología BlockChain y el Internet de las cosas han generado mejoras significativas en la trazabilidad, seguridad y eficiencia operativa, la versatilidad de estas tecnologías dentro de una cadena de suministros ha resultado en una diversidad de aplicaciones como las propuestas a continuación.

Tabla 2 Casos de Implementación de Tecnología BlockChain & IoT

Caso	Descripción
------	-------------

Genomix	La empresa GENOMIX, especializada en la producción de cáñamo y CBD, en colaboración con la Universidad de Alicante, ha llevado a cabo la implementación de estas tecnologías en sus procesos de adquisición de semillas de cannabis, cultivo y control de calidad. El objetivo principal es mejorar la trazabilidad de sus productos, rastreando su origen y verificando su autenticidad. Además, se realiza la supervisión y control de las condiciones ambientales en tiempo real y de forma remota (Ferrández et al., 2022).
Fondo Mundial de la Naturaleza (WWF) y TraSeable	Existe una aplicación poco conocida de esta tecnología en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y TraSeable, la empresa encargada de implementarla. Su objetivo es detener la pesca ilegal de atún en el océano Pacífico. El proyecto se centra en la utilización de códigos RFID para la trazabilidad de los atunes a lo largo de su cadena de suministro. Se espera que estas tecnologías ayuden a fortalecer la transparencia del producto y proporcionar una trazabilidad completa en la cadena de suministro (Visser & Hanich, 2018).

Se puede encontrar más casos de estudio en donde su aplicación resultó ser beneficiosa para el control y supervisión de aspectos dentro de la cadena de suministros, en esta investigación se describieron casos centrados a la producción y distribución de alimentos, sin embargo, estas tecnologías están siendo utilizadas alrededor del mundo en diversas aplicaciones, desde sistemas de gestión de información de expedientes clínicos (Hosseini, 2021) hasta sistemas de gestión educativos (Surendran, 2020).

4.3. Diagrama Causal y Forrester

Vensim PLE (Personal Learning Edition) proporciona una plataforma sólida y adaptable que permite modelar y simular sistemas dinámicos complejos, lo cual es crucial para examinar los diferentes factores que afectan a la competitividad en el entorno del caso de estudio. Esta decisión se basa en la capacidad de Vensim PLE de presentar con precisión las relaciones entre las variables y sus impactos a lo largo del tiempo, proporcionando así una comprensión integral de los mecanismos que mantienen la competitividad en el contexto estudiado.

Los diagramas de Forrester son una herramienta gráfica que permite modelar y visualizar sistemas dinámicos complejos, representando variables y flujos, identificando bucles de retroalimentación, y simulando la dinámica del sistema a través del tiempo. Un diagrama de Forrester tiene como requisito la elaboración de un diagrama causal para establecer relaciones causales entre las variables (Forrester, 1961).

4.4. Conocer los modelos de competitividad

Teece, Pisano y Shuen en 1997, discuten sobre las capacidades dinámicas de una empresa y su papel en la gestión estratégica, definen que las capacidades dinámicas como la habilidad para integrar, construir y reconfigurar sus recursos en respuesta a un entorno cambiante, son características clave que generan una ventaja competitiva.

La tecnología Blockchain facilita la gestión de estas características dinámicas a la cadena de suministros, esta tecnología al ser innovadora requiere que la empresa desarrolle capacidades dinámicas para adaptarse a los cambios, integrando la tecnología a los procesos es posible tener un intercambio de información eficaz entre Agricultor y Productor con el fin de hacer a la cadena de suministros más dinámica y flexible.

En su publicación de 1993, Peteraf destaca que los recursos y capacidades internas de una empresa son fundamentales para alcanzar una ventaja competitiva sostenible. Identifica los recursos clave que pueden generar y mantener esta ventaja a largo plazo, resaltando los conceptos de singularidad, inmutabilidad y capacidad de explotación de estos recursos.

La investigación de Peteraf sobre la tecnología Blockchain resulta relevante para su integración en la cadena de suministros como ventaja competitiva. La tecnología Blockchain propuesta en esta investigación, como un recurso innovador, puede potenciar dicha ventaja al mejorar la eficiencia y seguridad. Al alinearse con principios como rareza e inmutabilidad, esta tecnología puede fortalecer la posición de la empresa en el mercado.

5. Metodología

La metodología trazada para la realización del modelo de competitividad se aprecia en la siguiente ilustración 6.

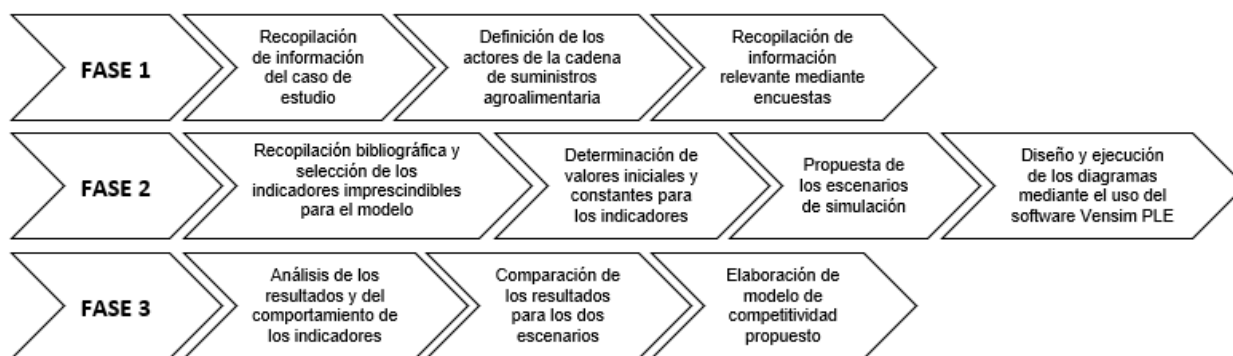


Figura 6. Metodología de la investigación. Autoría Propia

5.1. Fase 1. Recopilación de Información

5.1.1. Descripción del caso de estudio

En la parroquia Susudel la Fundación “Luz y Sal” se encuentra desarrollando un proyecto de producción de plantas medicinales, entre las que se encuentran el ataco, hierba luisa, hierba buena, menta, orégano, escancel, cedrón, manzanilla, entre otras plantas medicinales. Los agricultores de Susudel que en su mayoría son personas de la tercera edad son los encargados de producir las plantas medicinales en 3 invernaderos ubicados a distintas alturas, el primero y más bajo se encuentra en las coordenadas (-3.404280,-79.184986), el segundo intermedio en las coordenadas (3.411291, -79.19545) y el tercero y más alto en las coordenadas (-3.400510, -79.194504), estos invernaderos cuentan con sistemas de riego y técnicas de cultivo convencionales, en la actualidad no se utilizan sistemas de gestión de producción ni se lleva un registro del estado de los invernaderos ni de la venta de los productos.

De la investigación de Tapia y Tigre (2024) se puede obtener que la siembra de las plantas medicinales se adquiere las plantas de viveros ubicados en la parroquia de San Joaquín, y se las transporta hacia el caso de estudio, para la siembra no es necesario ningún otro aditivo, sin embargo, los agricultores nutren el suelo con abono de gallina o con cascara de arroz. La siembra se realiza cuando se encuentra necesario añadir otro tipo de planta medicinal, en las parcelas de los invernaderos se puede encontrar con mayor frecuencia hierba buena, hierba luisa, menta y ataco, mientras que el orégano al no ser tan demandado por los productores no representa una ocupación considerable.

Los agricultores realizan el cuidado de las plantas de manera periódica, cumpliendo funciones de activar el sistema de riego por cierto periodo de tiempo, la revisión de características como

presencia de insectos u hongos también es realizada de manera periódica, sin embargo, existe presencia constante de plagas que afectan parcialmente los invernaderos (Tapia & Tigre, 2024).

La cosecha de las plantas medicinales se realiza cuando los agricultores, basados en su experiencia, consideran que es tiempo, en ese momento los agricultores se contactan con el productor y le informan sobre la disponibilidad de productos y este confirma los productos que requiere, los agricultores deberán cumplir con las especificaciones de calidad que el productor señale, por ejemplo, se solicita que las plantas no tengan ningún olor fuerte proveniente de desechos o de combustibles.

La orden es enviada en transporte terrestre hacia el productor que en este caso es La Paceñita y se encarga de procesarla, comenzando por un proceso de secado en cámaras de calor, después de este proceso se tritura las plantas y se enfunda en las distintas presentaciones del producto (Ilustración 7).

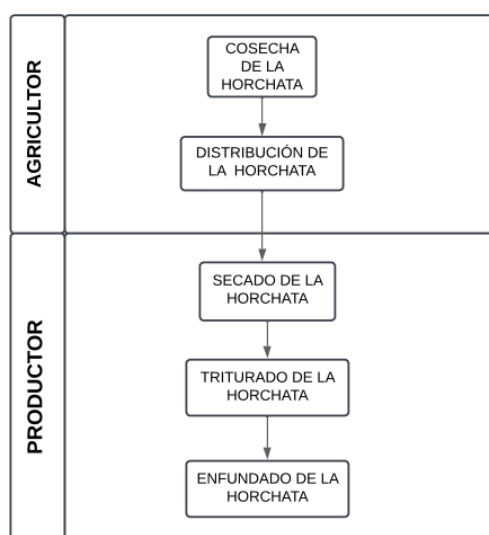


Figura 7. Diagrama de flujo del caso de estudio. Autoría propia

5.1.2. Selección de los actores de la cadena de suministros agroalimentaria

Para este estudio, se seleccionó tres actores de la cadena de suministro agroalimentaria genérica previamente presentada: el Agricultor, el Distribuidor y el Productor. Estos actores fueron elegidos debido a la disponibilidad de información recolectada previamente, la cual será fundamental para desarrollar el modelo de competitividad a través del software Vensim PLE. La información recolectada ayudó a determinar el conjunto de indicadores y las lógicas que se utilizaron en el modelo de simulación.

Es importante mencionar que, en este caso de estudio realizado en la Fundación “Luz y Sal”, el Agricultor también cumple las funciones de Distribuidor, siendo responsable de trasladar el producto hacia el Productor La Paceñita.

5.1.3. Recopilación de información mediante encuestas

Para el levantamiento de información se realizó la encuesta (Anexo A) en la ciudad de Ambato donde participaron 8 agricultores dedicados a la comercialización de plantas medicinales, se obtuvieron los siguientes resultados que son de utilidad para el contexto del trabajo.

- El tiempo de cosecha de las plantas medicinales es de 3 a 4 meses.
- Cuando se realiza la venta al productor esta empresa compra la totalidad de la cosecha, sin embargo, ha existido ocasiones en las que no compran la totalidad y el producto perece.
- El precio por kilogramo de producto varía desde los \$0,2 a los \$0,5, en nuestro caso de estudio se recopiló información del precio de venta resultando un \$0,30/kg.
- La cantidad de producto cosechado depende de las condiciones de cada agricultor.
- Ninguno de los agricultores indica que maneja inventarios de seguridad.
- Los agricultores en su gran mayoría no tienen ni utilizan ningún tipo de sistema de gestión documental, un agricultor comenta que, aunque tenga un documento para llevar un registro no lo utiliza.
- Los agricultores comentan que de manera general se mantiene un inventario ya sea en sacos o protegidos en invernaderos y que la venta es inmediata después de ser cosechado el producto.
- De manera general los agricultores no realizan un proceso de secado en los productos.
- La totalidad de los agricultores encuestados comenta que al momento de realizar la venta la empresa productora compra la totalidad de la cosecha.
- Los agricultores comentan que aproximadamente existe una pérdida de 15% en la etapa de cosecha de productos.

Las encuestas fueron realizadas en la ciudad de Ambato debido a la existencia de una mayor cantidad de agricultores, los participantes fueron seleccionados tomando en cuenta los productos

cultivados y buscando que sean similares a los cultivados en Susudel donde se ubica el caso de estudio.

5.2. Fase 2. Definición de indicadores y diseño de la simulación

5.2.1. Indicadores para cadenas de suministros

En el anexo B de este proyecto se presenta una tabla con el listado completo de los indicadores seleccionados, además se presenta las fuentes de otras investigaciones de donde fueron obtenidos. Esta recopilación se deriva de una revisión exhaustiva de estudios de casos similares, en los que se identificaron los indicadores clave que han resultado pertinentes para evaluar la problemática establecida. Los indicadores de las tablas 3 y 4 se eligieron meticulosamente, teniendo en cuenta tanto su importancia teórica como su aplicabilidad en nuestro contexto de investigación. Es importante destacar que, de entre la extensa lista, se seleccionaron indicadores específicos en función de su relevancia y adecuación a los objetivos y el alcance de la presente investigación, esta selección es presentada en las tablas 3 y 4. El proceso de selección se guio por criterios como la capacidad de los indicadores para captar las dimensiones de la competitividad en el contexto estudiado y la disponibilidad de los datos. Por lo tanto, la tabla adjunta en el anexo B sirve como una base teórica de los indicadores utilizados en nuestra investigación.

5.2.2. Selección de indicadores para el modelo

En las tablas 3 y 4, se enlista los indicadores que se utilizaron para el modelo en el software Vensim PLE, cada uno de estos indicadores van a representar información relevante por parte del Agricultor y Productor, en las tablas se puede encontrar información como: definición, las unidades en las que se trabajan dentro de la simulación, su característica como atributo de la tecnología y la fuente de obtención.

Tabla 3. Tabla de indicadores del agricultor para la simulación. Autoría propia

Indicador	Definición	Unidades	Característica	Fuente
Desechos	Cantidad de desechos generados	lb/mes	Transparencia	Ong (2021), Ballesteros & Tellez (2018),

				Acevedo & Ballesteros(2021)
Capacidad Estimada Máxima	Cantidad máxima de libras que el agricultor pueden producir al mes	lb/mes	Transparencia	Ramírez & Castro (2014)
Capacidad Estimada Mínima	Cantidad mínima de libras que el agricultor puede producir al mes	lb/mes	Transparencia	Ramírez & Castro (2014)
Producción	Cantidad de libras que el agricultor produce cada 3 meses.	lb/mes	Transparencia	Ong (2021), Martínez et al. (2013), Ballesteros & Tellez(2018)
Inventario del Agricultor	Cantidad de libras que el Agricultor posee para realizar una venta	lb/mes	Transparencia	Ong(2021), Ramírez & Castro (2014)
Factor de pérdida del Agricultor	Factor que representa las libras perdidas en un mes	Adimensional	Transparencia	Factor propuesto por entrevista
Distribución de Agricultor	Cantidad de libras que son transportadas por acción de una venta al productor	lb/mes	Transparencia Trazabilidad	Ong (2021), Ramírez (2014)
Auditorías de existencias del agricultor	Cantidad de libras que se auditan	Adimensional	Transparencia Trazabilidad Inmutabilidad	Propuesto para el modelado por los autores de la investigación
Registro inmutable del Agricultor	Registro de información de las auditorías realizadas	Adimensional	Inmutabilidad	Propuesto para el modelado por los

				autores de la investigación
Ingresos del agricultor	Cantidad de dinero que ingresa al agricultor a través de una venta	\$/mes	Transparencia	Ong(2021), Ballesteros(2018), Ramírez(2014)
Precio de venta para el Productor	Costo de una libra para el productor	\$/libra	Transparencia	Propuesto por entrevista en caso de estudio
Precio de venta para el mercado	Costo de una libra para el productor	\$/libra	Transparencia	Propuesto por entrevista en caso de estudio
Gastos del Agricultor	Salida de dinero a causa de una actividad o artículo que adquiera o solicite el agricultor	\$/mes	Transparencia	Ong (2021), Ballesteros (2018)
Gasto de distribución	Egresos a causa de movilizar una orden pedida	\$/km	Transparencia	Propuesto por entrevista en caso de estudio
Gasto de implementar la tecnología BC	Dinero que cuesta implementar la tecnología Blockchain desde aspectos de maquinaria como plataformas digitales y asesoramiento.	\$/mes	Transparencia	Perboli (2018)
Distancia de distribución	Cantidad de kilómetros recorridos a causa de realizar una distribución	km/mes	Transparencia	Propuesto por entrevista en caso de estudio

Ganancias del agricultor	Diferencia que existe entre los ingresos y egresos por parte del agricultor	\$	Transparencia	Ramírez (2014)
Tecnología del agricultor	Conjunto de herramientas digitales sistematizadas para el tratamiento de información por parte del agricultor	Adimensional	Transparencia Trazabilidad Inmutabilidad	Ong (2021), Ramírez (2014)
Distribución alterna	Cantidad de libras que son transportadas por acción de una venta a una persona o entidad diferente del productor	lb/mes	Transparencia	Propuesto por observación en el caso de estudio
Ingresos del agricultor	Cantidad de dinero que ingresa al productor a través de una venta	\$/mes	Transparencia	(Borrero, 2019) (Calleja, 2020)

Para la selección de los indicadores de la tabla 3 se pudo evidenciar que las diferentes fuentes (Ballesteros, Martínez y Ong) coinciden en la selección de los indicadores de Demanda, Producción e Inventario, para la investigación se han propuesto de manera equivalente el indicador de *Producción del Agricultor*, *Demanda Externa* y el *Inventario del Agricultor y del Productor*.

Los autores de los distintos indicadores de la tabla 3 utilizan en sus modelos un indicador específico para realizar las pruebas del modelo, en nuestra investigación el indicador de *Tecnología del Agricultor y Productor* realiza la función de interruptor para activar o desactivar la capacidad del agricultor o productor para la gestión de la cadena de suministros utilizando tecnología Blockchain.

Tabla 4. Tabla de Indicadores del Productor para simulación. Autoría Propia

Indicador	Definición	Unidades	Característica	Fuente
Orden del Productor	Cantidad de libras que Productor solicita al Agricultor	lb/mes	Transparencia	(Khan et al., 2023)

Tecnología del Productor	Conjunto de herramientas digitales sistematizadas para el tratamiento de información por parte del productor	Adimensional	Transparencia Trazabilidad Inmutabilidad	Propuesto para el modelado por los autores de la investigación
Compra a otros agricultores	Libras que el productor compra a otros agricultores cuando el agricultor no puede cubrir toda la demanda	lb/mes	Transparencia	(Borrero, 2019)
Gastos de producción	Conjunto de gastos que se requieren para fabricar un producto	\$/mes	Transparencia	(Acevedo & Ballesteros, 2021)
Gasto de distribución	Egresos a causa de movilizar una orden pedida	\$/km	Transparencia	(Acevedo & Ballesteros, 2021)
Gasto de implementar la tecnología BC	Dinero que cuesta implementar la tecnología BlockChain desde aspectos de maquinaria como plataformas digitales y asesoramiento.	\$/mes	Transparencia	Perboli, Musso & Rosano (2018)
Ganancias del productor	Diferencia que existe entre los ingresos y egresos por parte del productor	\$	Transparencia	(Borrero, 2019)
Precio de venta	Precio de venta por libra	\$/libra	Transparencia	Factor propuesto por entrevista
Factor de pérdida del productor	Factor que representa las libras de producto terminado pérdidas en un mes	Adimensional	Transparencia	Factor propuesto por entrevista
Auditorías de existencias del productor	Cantidad de libras de producto terminado que se auditan	Adimensional	Transparencia Trazabilidad Inmutabilidad	Propuesto para el modelado por los autores de la investigación
Registro inmutable del productor	Registro de información de las auditorías realizadas	Adimensional	Inmutabilidad	Propuesto para el modelado por los autores de la investigación
Producción	Cantidad de libras de producto terminado que el productor produce cada 3 meses.	lb/mes	Transparencia	(Calleja,2020)

Inventario del productor	Cantidad de libras de producto terminado que el productor posee para realizar una venta	lb/mes	Transparencia	(Treiblmaier, 2018) (Calleja,2020)
Distribución del productor	Cantidad de libras que son transportadas por acción de una venta	lb/mes	Transparencia Trazabilidad	(Calleja,2020) (Acevedo & Ballesteros, 2021)
Inventario de materia prima	Cantidad de libras de materia prima con las que cuenta el productor para la producción	lb	Transparencia	(Treiblmaier, 2018)
Adquisición de materia prima	Cantidad de libras de materia prima que recibe el productor para la producción	lb/mes	Transparencia	(Calleja,2020)
Demanda externa	Cantidad de libras de producto terminado que se pide al productor	lb/mes	Transparencia	(Calleja,2020) (Acevedo & Ballesteros, 2021)
Desperdicios	Cantidad de libras de producto terminado en estado defectuoso	lb/mes	Transparencia	(Acevedo & Ballesteros, 2021)
Constante de crecimiento	Magnitud en la que incrementa la cantidad de demanda	Adimensional	Transparencia	Propuesto para el modelado por los autores de la investigación
Máxima capacidad productiva	Cantidad máxima de libras de producto terminado que el productor pueden producir al mes	Lb/mes	Transparencia	Propuesto por entrevista
Tiempo		Adimensional		

Dentro de todo este conjunto de indicadores de la tabla 4, en el caso del indicador *Tecnología del Productor* se hace referencia a la aplicación de la tecnología BlockChain por parte del Productor lo que hace referencia a ser parte de la cadena de bloques donde se puede interactuar y participar de esta tecnología es importante mencionar que esta tecnología va a ser medida en términos porcentuales que indicaran la cantidad de recursos tecnológicos que posea el productos alineados con BlockChain, en cuanto a las *Auditorías de existencias del productor* estas se refieren al conjunto de revisiones que el productor hace sobre los productos que el distribuye, dichas auditorías van a tener efectos en los desperdicios puesto que si más auditorías se hace

menos desperdicios se va a tener ya que si existe alguna situación que afecte a los productos más rápido se va a poder actuar para la resolución de aquel problema.

5.2.3. Valores de indicadores utilizados en el modelo

5.2.3.1. Valores de indicadores de tipo constante

Tabla 5. Tabla de valores de indicadores constantes para la simulación

Indicador	Unidad	Valor	Justificación
Tiempo de simulación	Meses	48	La simulación del modelo se realizó en un espectro de 48 meses, con el fin de poder apreciar las distintas tendencias y situaciones que se generan, pasado este tiempo la simulación se estabiliza por lo que solo es considerado 4 años como tiempo de simulación.
Factor de perdida AG	Adimensional	RANDOM NORMAL (0.1, 0.3, 0.15, 0.03, 1)	Una vez realizada la encuesta se propone una distribución normal con media de 15% de perdida de productos, las encuestas arrojaron que en promedio existe un 17% de perdidas en las parcelas.
Precio de venta Agricultor a Productor	\$/lb	0.13	El valor fue obtenido mediante encuestas en las que se obtiene que en promedio un precio de venta de \$0.3 por kilogramo, al realizar la transformación se obtiene el valor propuesto.
Precio de venta al mercado	\$/lb	0.09	De las encuestas realizadas se obtiene el valor equivalente a \$0.25 por kilogramo considerando las perdidas por no venta del producto, al realizarla transformación se obtiene el valor propuesto.
Registro inmutable Agricultor	Registro	20%	Los autores proponen como límite inferior la entrega del 20% de la información solicitada para que se establezca el registro inmutable.
Registro inmutable Productor			
Ganancias Productor	\$	1000	El valor es propuesto en base a recopilación de información, este valor representa una aproximación debido a las políticas de privacidad de la empresa.
GananciasAG	\$	100	El valor es propuesto en base a recopilación de información del caso de estudio.
Gasto de distribución (Agricultor)	\$/km	0	El valor es propuesto en base a recopilación de información del caso de estudio, en este caso el valor es \$0 ya que la alcaldía del Cantón Oña ayuda a la fundación Luz y Sal

Gasto de distribución (Productor)	\$/km	0	El valor es propuesto en base a recopilación de información, este valor representa una aproximación debido a las políticas de privacidad de la empresa.
Gastos de Producción (Agricultor)	\$/lb	3.63	Se estima que el costo de realizar el producto es de 0.40 dólares, sin embargo esta presentación está siendo comercializada por un valor de 1.25 dólares (Bolsa de 50 gramos), entonces una libra involucraría un costo de producción de 3.63 dólares (Alvaro y Nuñez, 2012).
Gastos de Implementar Tecnología BC Agricultor	\$/Mes	0	Los costos propuestos para la implementación de tecnología Blockchain no son añadidos debido a la necesidad de personalización de cada sistema, sin embargo, Perboli en 2018 comenta que en su caso de estudio los costos de implementar la tecnología resultan sostenibles frente a los beneficios que esta trae a la empresa.
Gastos de Implementar Tecnología BC Productor			
Factor de Perdida PR	Adimensional	RANDOM NORMAL (0.08, 0.2, 0.14, 0.001, 1)	Se utiliza una distribución normal para establecer un porcentaje de perdidas en los procesos de cadena de valor del Productor. El valor es propuesto en base a recopilación de información del caso de estudio.
Constante de crecimiento de la demanda	Adimensional	0.01	Interpretación general del comportamiento de la demanda en varios contextos de mercado sin referencias específicas, se busca realizar una aproximación de la demanda al caso de estudio propuesto (OpenAI, 2024).
Constante de adimensionalidad	1/mes	1	Utilizada para obtener un contador adimensional para el cálculo de la demanda utilizando el tiempo en meses.
Tecnología Blockchain Agricultor	Adimensional	[0,1]	Estos indicadores propuestos por los autores establecen los escenarios que van a ser analizados, al establecer el valor de 0 en ambos indicadores estos representan la inexistencia de la tecnología Blockchain en los procesos productivos de ambas partes, al momento de activar la Tecnología Blockchain el indicador en ambas partes toma el valor de 1 y el escenario de simulación cambia.
Tecnología Blockchain Productor			

5.2.3.2. Valores de indicadores iniciales

Tabla 6. Valores iniciales de los indicadores

Indicador	Unidad	Valor	Justificación
Inventario Agricultor	Lb	50	La cantidad de libras de plantas medicinales que se encuentran en los invernaderos al momento de iniciada la simulación, este valor parte de la recolección de información en el caso de estudio
Inventario de Mat. Prima PR	Lb	120	La cantidad de materia prima almacenada al iniciar la simulación, el valor representa una aproximación debido a las políticas de privacidad de la empresa.
Inventario de Productor	Lb	15	La cantidad de producto terminado listo para distribución al iniciar la simulación, el valor representa una aproximación debido a las políticas de privacidad de la empresa.

5.2.4. Propuesta de los escenarios para la simulación

5.2.4.1. Propuesta del escenario sin tecnología BlockChain

En este escenario, la cadena de suministro de plantas medicinales de Susudel funciona sin la integración de las tecnologías Blockchain o IoT. En cambio, se mantiene de manera convencional con comunicación directa entre los agricultores y el productor (La Paceñita). Los agricultores, encargados del cultivo y la cosecha de plantas medicinales, informan manualmente sobre el progreso de su producción y comunican directamente esta información al productor. Si bien esta metodología tradicional puede resultar eficaz en ciertas condiciones, plantea numerosos desafíos en relación con la gestión de la información y la coordinación entre las diversas partes interesadas.

Para la simulación del modelo se utilizó los valores constantes de indicadores y los valores iniciales de los indicadores de las tablas 5 y 6, estos son utilizados en ambos escenarios para obtener las mismas condiciones de simulación.

El control del proceso de producción está basado en indicadores clave como la *Producción del agricultor*, el *Inventario del agricultor* y la *Distribución del agricultor*. Los agricultores se encargan de supervisar las condiciones de crecimiento de las plantas medicinales en los invernaderos, empleando técnicas convencionales para regular parámetros como los niveles de pH, la temperatura, la humedad ambiental y la humedad del suelo. Estos indicadores son relevantes a la hora de garantizar la calidad y el rendimiento de las plantas, pero su proceso de monitoreo manual puede ser largo y con mayor probabilidad de errores, así lo menciona Ahmed (2020) en

su investigación sobre los sistemas de riego inteligentes basados en IoT donde los agricultores deben estar atentos y realizar ajustes de forma continua en función de sus observaciones y experiencia, que pueden ser menos precisos en comparación con los sistemas automatizados.

Al no existir un intercambio eficiente de información entre los actores de la cadena de suministro se puede comprometer la trazabilidad y la transparencia durante la fase de distribución. Esta situación aumenta el riesgo de actividades fraudulentas y de manipulación de los productos, lo que puede afectar en la calidad de las plantas medicinales y del producto final de horchata. El no poseer un sistema centralizado de registro y verificación para cada paso del proceso puede generar incoherencias en los datos y dificultar la detección de problemas en la cadena de suministro. El poder dar seguimiento a las no conformidades y buscar la causa raíz de un problema puede ser una actividad que tome tiempo y recursos.

En cuanto a la *Distribución alterna*, los productos que el Agricultor no distribuye directamente pueden llegar al mercado local. Esta práctica podría reducir los ingresos de los agricultores y aumentar la competencia en el mercado local, lo que influiría en los precios de los productos. Si bien las ventas en el mercado local ofrecen un medio para mitigar las pérdidas de productos, los agricultores deben hacer frente a las variaciones de la demanda, lo que genera niveles de ingresos impredecibles. Además, competir con otros agricultores que también venden en el mercado local puede bajar los precios y perjudicar la rentabilidad general. Por lo tanto, si bien los canales de distribución alternativos ofrecen una vía adicional para la comercialización de los productos, presentan diversos riesgos y obstáculos que requieren una gestión eficaz para garantizar la sostenibilidad financiera de los agricultores.

5.2.4.2. Propuesta del escenario con tecnología BlockChain

En este escenario, se propone la utilización de tecnología BlockChain e IoT con sensores de control en los invernaderos, con el objetivo de tener un mayor control de la cadena de suministro y una transferencia eficiente de información entre los actores de la cadena. En la investigación de Li y Lee (2023) concluyen que la integración de la tecnología BlockChain permite una gestión más rápida y transparente de la cadena de suministro, desde la siembra hasta la distribución final del producto, además señalan otros beneficios como la seguridad y la reducción de tiempo y costos de las transacciones.

Los sensores de control en los invernaderos pueden medir el pH, la temperatura, la humedad del ambiente y la humedad del suelo. Estos sensores pueden ser aplicados para el monitoreo de las

condiciones ambientales, patrones en el suelo, control de plagas, sistemas de monitoreo de irrigación, entre otros. La información recopilada por los sensores se almacena en una red BlockChain, lo que permite a los actores de la cadena de suministro tener acceso a información en tiempo real sobre las condiciones de crecimiento de las plantas medicinales.

El proceso productivo es controlado con los indicadores de *Producción del agricultor*, el *Inventario del agricultor* y la *Distribución del agricultor* (Indicadores de la Tabla 3), además se consideran situaciones de *Desperdicios* que son controlados con el indicador con el mismo nombre, también se establece la situación de que al no haber una distribución directa al Productor existirá una *Distribución alterna* que involucra la posible venta de los productos en el mercado local.

Al momento de realizar la simulación con el componente tecnológico se activan los indicadores de Tecnología del Agricultor y Tecnología del Productor (Tabla 3 y 4), estos a su vez generan las condiciones que la cadena de suministro tendría al utilizar tecnologías BlockChain y el IoT, se puede evidenciar en el diagrama de Forrester (Ilustración 9) la interacción de los indicadores de *Tecnología del agricultor* con los otros indicadores así como las *Órdenes del productor*, *Compra a otros agricultores* y *Auditoría de Existencias*, estos a su vez generan una mayor interacción en otros indicadores como la *Distribución del agricultor* y *Distribución alterna*, *Adquisición de Materia Prima del Productor* y *Desperdicios en invernaderos* y *Registros inmutables del Agricultor* respectivamente. En la tablas 7 y 8 se pueden observar el comportamiento de los indicadores.

Tabla 7. Comportamiento de los indicadores al aplicar Tecnología BlockChain en el Agricultor. Autoría propia

Indicador	Afecta a	Indicador	Causa
<i>Tecnología de Agricultor</i>	Afecta a	<i>Órdenes del productor</i>	Aumento de las órdenes del productor a causa de la transparencia de información genera mayor beneficio económico para el Agricultor.
<i>Tecnología de Agricultor</i>	Afecta a	<i>Compra a otros agricultores</i>	Disminución de la compra a otros agricultores genera una mayor consolidación entre la relación Agricultor y Productor.
<i>Tecnología del Agricultor</i>	Afecta a	<i>Auditorías de existencias del Agricultor</i>	Aumento de las auditorías de las existencias del Agricultor disminuyen los riesgos de tener desperdicios y aumentan los registros inmutables de información relevante.
<i>Auditorías de existencias del Agricultor</i>	Afecta a	<i>Desperdicios del Agricultor</i>	Mayor eficiencia productiva.

<i>Auditorías de existencias del Agricultor</i>	Afecta a	<i>Registros inmutables del Agricultor</i>	Mayor transparencia y confianza.
---	----------	--	----------------------------------

Tabla 8. Comportamiento de los indicadores al aplicar Tecnología BlockChain en el Productor. Autoría propia

Indicador	Afecta a	Indicador	Causa
<i>Tecnología de Productor</i>	Afecta a	<i>Capacidad Estimada mínima del Agricultor</i>	Aumento de la capacidad productiva mínima del Agricultor que elevan los niveles de producción.
<i>Capacidad Estimada mínima del Agricultor</i>	Afecta a	<i>Producción del Agricultor</i>	Mayor competitividad dentro del mercado
<i>Tecnología de Productor</i>	Afecta	<i>Auditorías de existencias del Productor</i>	Aumento de las auditorías de las existencias del Productor disminuyen los riegos de tener desperdicios y aumentan los registros inmutables de información relevante.
<i>Auditorías de existencias del Productor</i>	Afecta a	<i>Desperdicios del Productor</i>	Mayor eficiencia productiva.
<i>Auditorías de existencias del Productor</i>	Afecta a	<i>Registros inmutables del Productor</i>	Mayor transparencia y confianza.

El indicador de *Compra a otros Agricultores* es un punto fundamental en el desarrollo de este trabajo ya que en este caso de estudio se busca aumentar la cuota de mercado de los productores de Susudel, este indicador está afectado de manera directa por la implementación de la Tecnología BlockChain, el intercambio de información entre Agricultor y Productor genera condiciones de confianza que se prevé aumenten la sincronización de tareas entre los socios.

Es necesario destacar la interacción entre otros indicadores como la *Distribución del agricultor* y la *Distribución alterna*, entre estos dos indicadores se generan los ingresos del agricultor que en las condiciones actuales no existen gastos por distribución debido a que la alcaldía del cantón Oña facilita el medio de transporte a los agricultores de Susudel, sin embargo, la implementación de estas tecnologías ofrece nuevas oportunidades para optimizar la distribución y los costos adicionales.

Al momento de activar el indicador de *Tecnología del Productor* este genera condiciones beneficiosas para otros indicadores como la *Capacidad Estimada mínima del Agricultor* y *Auditorías de existencias* del Productor, estos a su vez provocan diferentes condiciones en los indicadores de *Producción del Agricultor*, en los *Registros inmutables del Productor* y los *Desperdicios del Productor* respectivamente.

La tecnología Blockchain permite una transferencia eficiente de información entre los actores de la cadena de suministro, lo que mejora la trazabilidad y transparencia en el proceso de distribución. Además, reduce el riesgo de fraude y manipulación de productos, lo que garantiza la calidad de las plantas medicinales y la funda de horchata final. Adoptar estas tecnologías representa un avance hacia mantener una cadena de suministro más sostenible y confiable.

5.2.5. Simulación del modelo

5.2.5.1. Diagrama Causal

A partir de revisiones literarias, el estudio de cadenas de suministro agroalimentarias y la observación de la cadena de suministro del caso de estudio, se estableció el diagrama causal de la Ilustración 8 mediante la definición de las relaciones entre las métricas y la gestión de la cadena de suministros utilizando tecnología Blockchain, a partir de este diagrama se transformó en un diagrama de Forrester como se puede identificar en la Ilustración 9, el mismo que sirvió para realizar la simulación y la interpretación de los resultados de los casos de estudio.

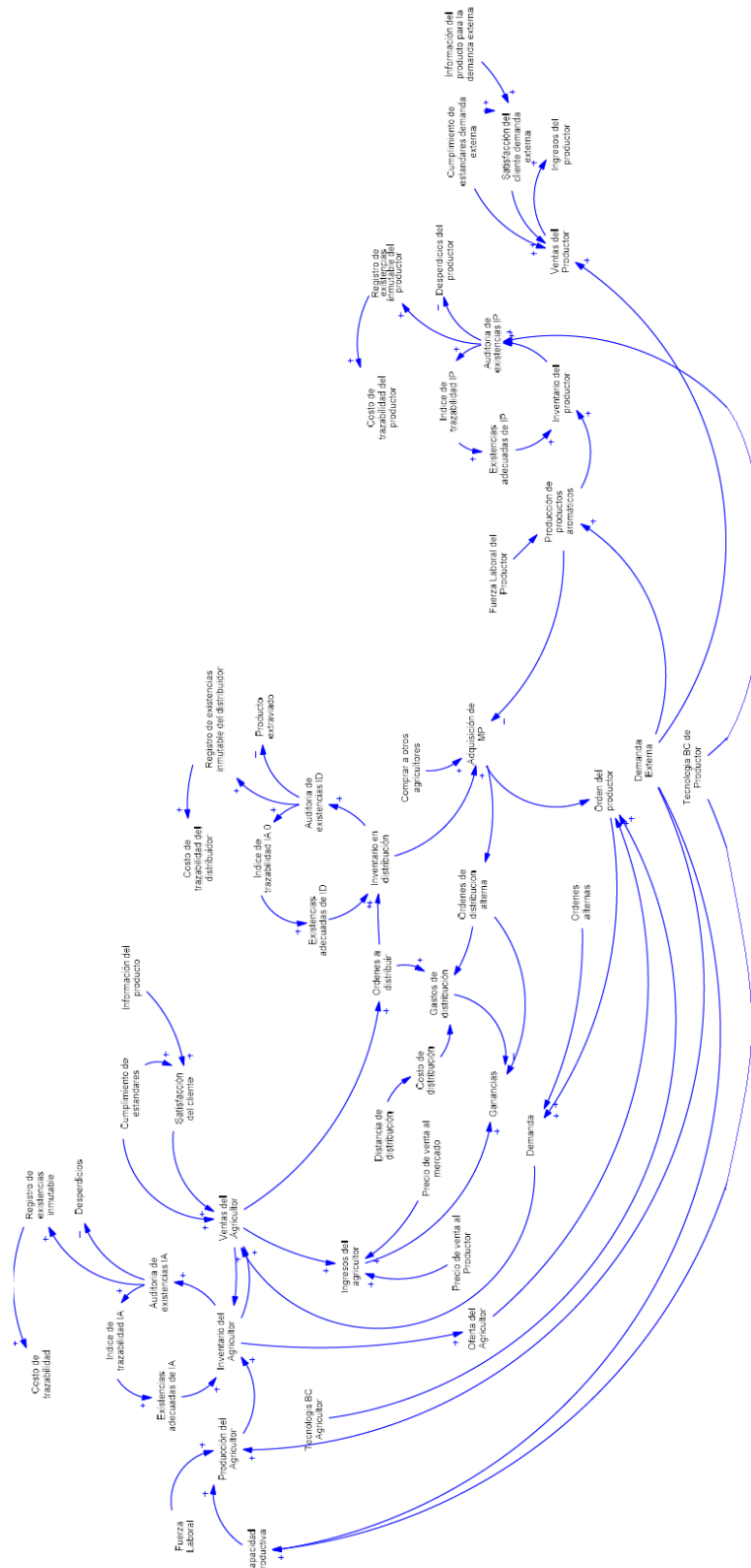


Figura 8. Diagrama Causal del caso de estudio. Autoría Propia

5.2.5.2. Diagrama Forrester

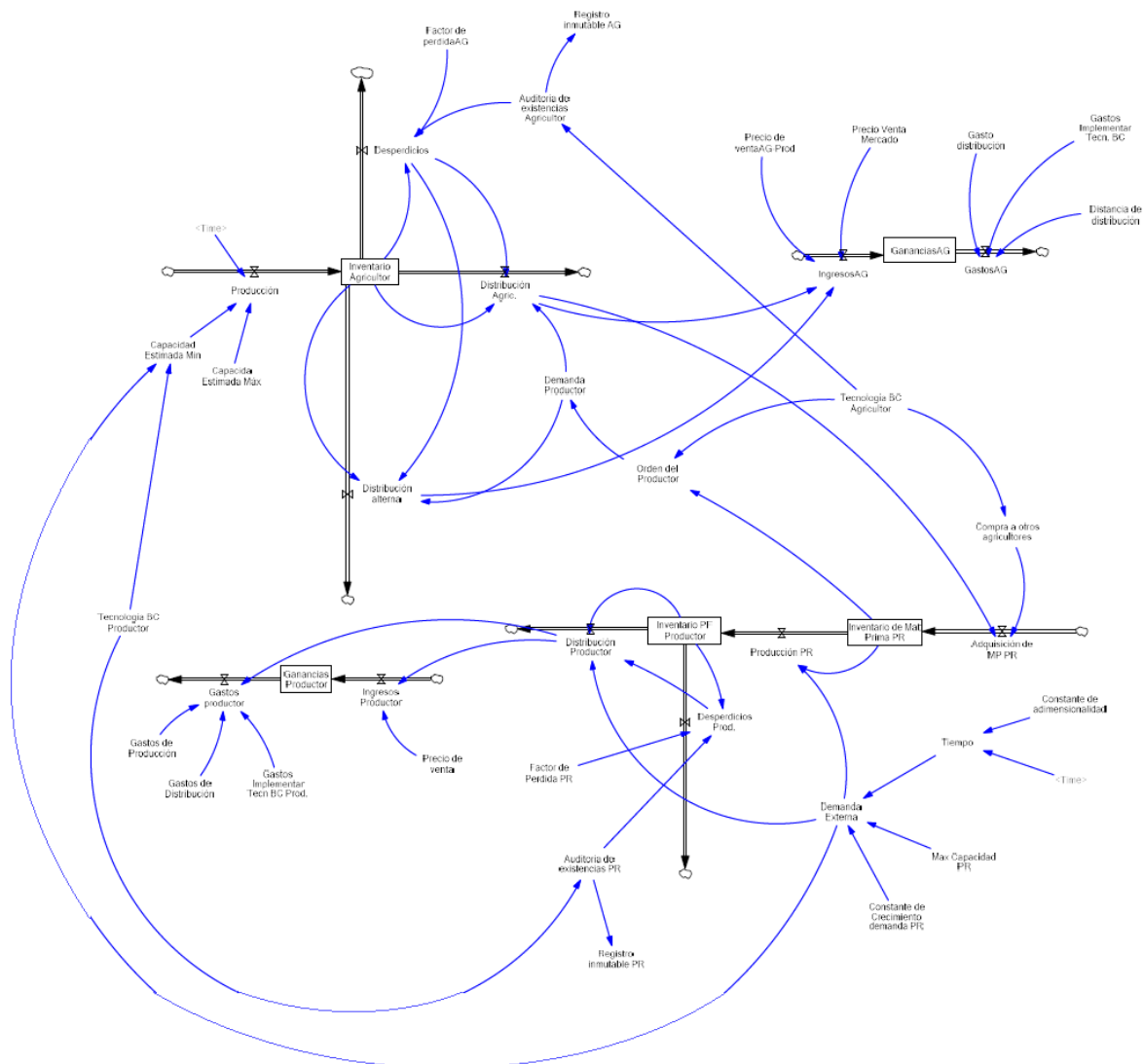


Figura 9. Diagrama Forrester para la simulación del caso de estudio. Autoría propia

El diagrama de Forrester presentado en la ilustración 9 presenta la dinámica del sistema de interacción entre el Agricultor y el Productor del caso de estudio. Este modelo permite visualizar las relaciones entre las diferentes variables clave que afectan al comportamiento del modelo. Principalmente, se destacan las interacciones entre la Tecnología *BlockChain*, *Ordenes del productor* y *Compra a otros Agricultores*, y cómo estas influyen a conseguir una ventaja competitiva frente a otros agricultores. A través de este diagrama, se observa cómo los cambios en *Tecnología BlockChain* del Agricultor y del Productor generan un efecto en cascada sobre variables como los *Desperdicios de Agricultor y Productor*, *Compra a otros agricultores* o la

Producción del Agricultor, lo que finalmente afecta a todo el modelo de simulación, en la ilustración 10 se puede identificar las relaciones positivas o negativas entre los indicadores más relevantes del modelo y en el anexo C se puede encontrar las fórmulas de cada indicador del modelo.

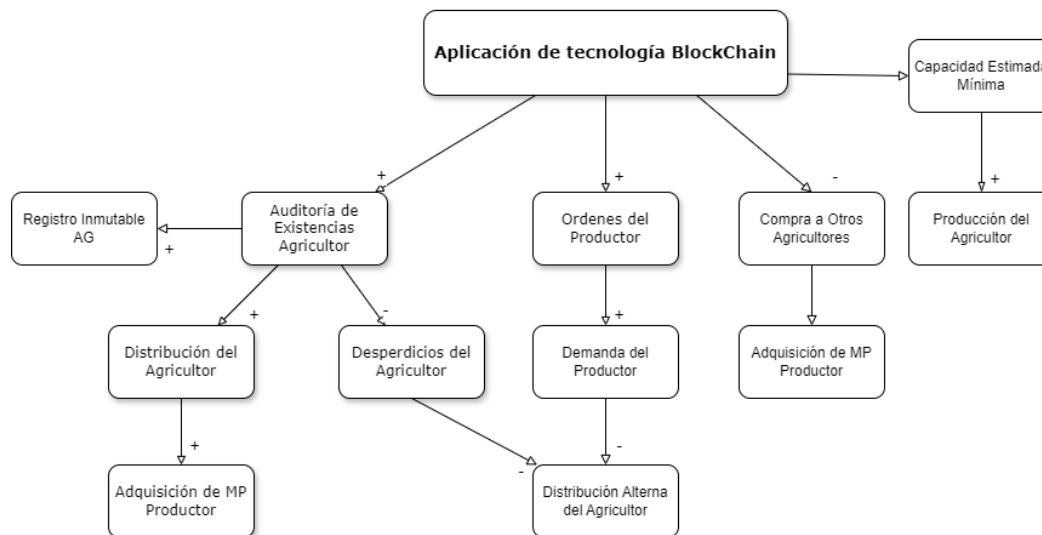


Figura 10. Influencia entre los indicadores más relevantes del modelo. Autoría Propia.

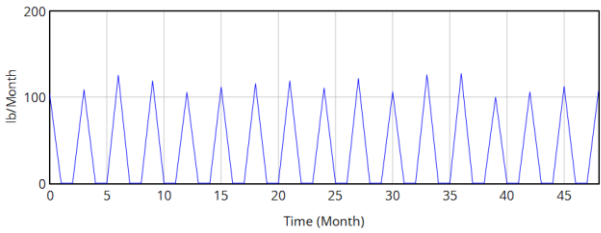
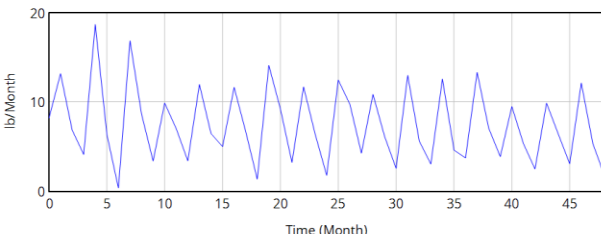
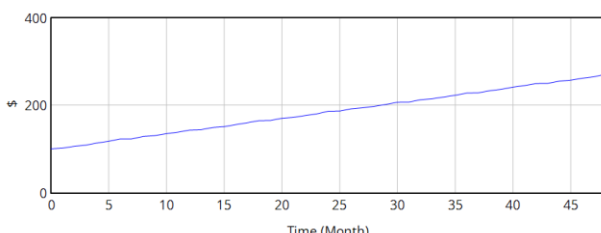
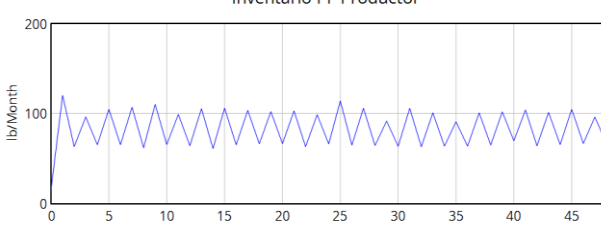
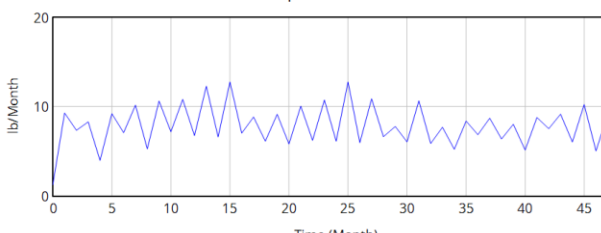
6. Resultados y discusión

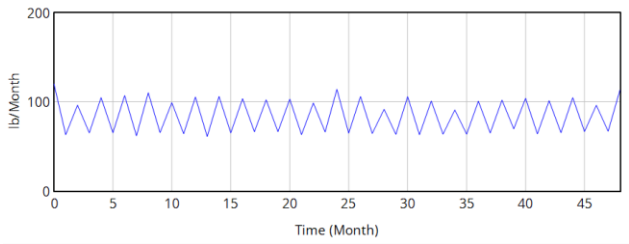
6.1. Resultados de los indicadores más relevantes del primer escenario

Se realizó la simulación sin contar con tecnología Blockchain en un espectro de 48 meses (Tabla 5, justificación del espectro).

Tabla 9. Indicadores relevantes Sin Tecnología Blockchain. Autoría propia

Relación	Variable	Descripción
	Inventario del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa el <i>Inventario del Agricultor</i> donde se empieza con un valor de inventario inicial descrito en la Tabla 6 valor perteneciente al mes cero, así como el nivel más bajo de inventario en mes 6 de 3,23 lb y en su nivel más alto con 141,54 lb en el mes 37.

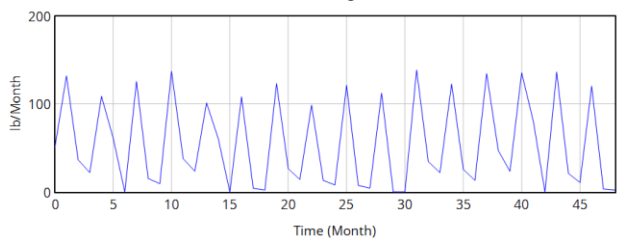
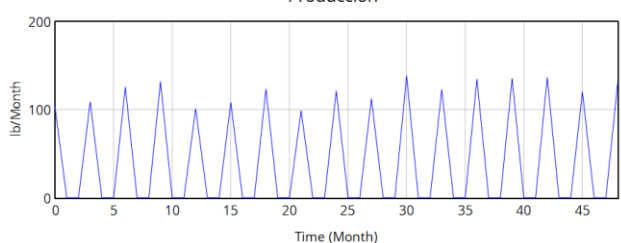
	Producción del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa la <i>Producción</i> por parte del agricultor, los picos en esta grafica representan la cosecha de los productos agrícolas que van a ser cada 3 meses dato obtenido a través de entrevistas. Tenido el máximo nivel de producción de 127,57 lb es el mes 36 y un mínimo de 100,038 lb es el mes 39.
	Desperdicios del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa los <i>Desperdicios</i> por parte del Agricultor donde se tiene un nivel máximo de desperdicios en el mes 4 de 18,68 libras y un nivel mínimo en el mes 6 de 0,34 libras.
	Ganancias del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa las <i>Ganancias del Agricultor</i>, se observa que tiene una atendencia creciente a través del tiempo llegando a tener un valor de ganancias de \$ 270,72 en el mes 48.
	Inventario del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa el <i>Inventario del Productor</i> donde se puede apreciar que se empieza con un inventario de 15 lb en el mes cero siendo la cantidad más baja a lo largo de los 48 meses y en su nivel más alto con 120 lb en el mes 1.
	Desperdicios del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa los <i>Desperdicios</i> por parte del Productor donde se tiene un nivel máximo de desperdicios en el mes 15 de 12,75 libras y un nivel mínimo en el mes 0 de 1,22 libras.

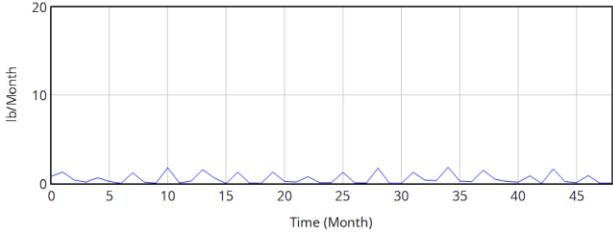
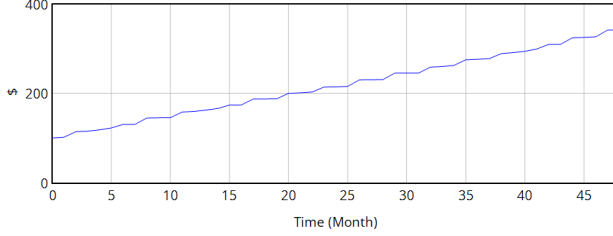
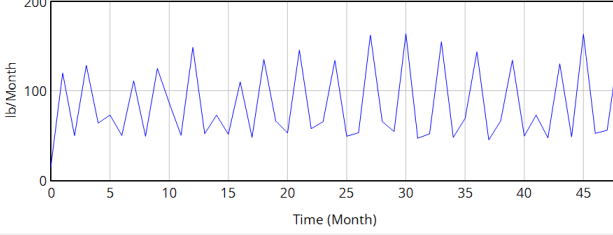
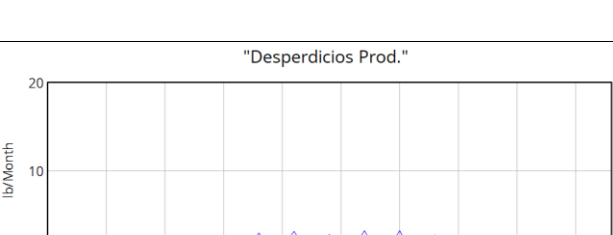
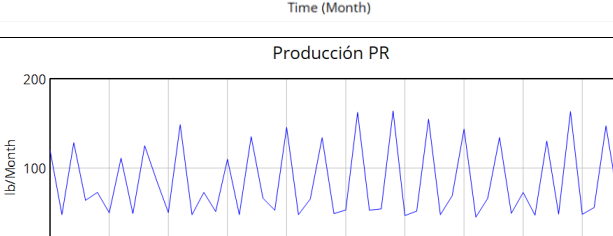
	Producción del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa la <i>Producción del Productor</i> se observa que todos los meses tiene un nivel de producción donde en el mes 0 con una producción de 120 lb y la producción más baja en el mes 13 con 60,87 lb.
---	--	--

6.2. Resultados de los indicadores más relevantes del segundo escenario

Se realizó la simulación con tecnología BlockChain en un espectro de 48 meses (Tabla 5, justificación del espectro).

Tabla 10. Indicadores relevantes Con Tecnología BlockChain. Autoría propia

Relación	Variable	Descripción
	Inventario del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa el <i>Inventario del Agricultor</i> donde se puede apreciar que se empieza con un valor de inventario inicial descrito en la Tabla 6 valor perteneciente al mes cero, así como el nivel más bajo de inventario en mes 15 de 0 lb y en su nivel más alto con 138,56 lb en el mes 31.
	Producción del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa la <i>Producción</i> por parte del Agricultor, los picos en esta grafica representan la cosecha de los productos agrícolas que van a ser cada 3 meses dato obtenido a través de entrevistas. Tenido el máximo nivel de producción de 138,56 lb es el mes 30 y un mínimo de 98,72 lb es el mes 21.

	Desperdicios del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa los <i>Desperdicios</i> por parte del Agricultor donde se tiene un nivel máximo de desperdicios en el mes 34 de 1,82 libras y un nivel mínimo en los meses 6,15,29 y 30 de 0 libras.
	Ganancias del Agricultor a lo largo del tiempo de simulación	Representa las <i>Ganancias del Agricultor</i> , se observa que tiene una atencencia creciente a través del tiempo llegando a tener un valor en ganancias de \$ 341,67 en el mes 48.
	Inventario del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa el <i>Inventario del Productor</i> donde se puede apreciar que se empieza con un inventario de 15 lb en el mes cero, además se tiene un valor de 45,15 lb en el mes 37 siendo la cantidad más baja a lo largo de los 48 meses y en su nivel más alto con 163,97 lb en el mes 30.
	Desperdicios del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa los <i>Desperdicios</i> por parte del Productor donde se tiene un nivel máximo de desperdicios en el mes 30 de 3,28 libras y un nivel mínimo en el mes 23 de 0,2064 libras.
	Producción del Productor a lo largo del tiempo de simulación	Representa la <i>Producción del Productor</i> se observa que todos los meses tiene un nivel de producción donde en el mes 0 con una producción de 163,97 lb y la producción más baja en el mes 36 con 45,15 lb.

6.3. Comparación de los escenarios

Después de realizada la simulación se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en las siguientes ilustraciones, estas hacen referencia a los distintos indicadores propuestos para la cadena de suministros, en los resultados se diferencia los distintos escenarios al momento de aplicar o no la tecnología BlockChain al caso de estudio.

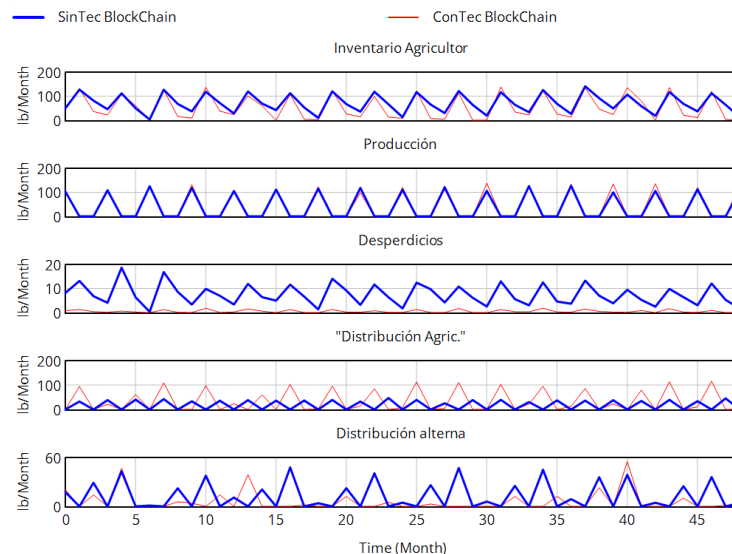


Figura 11. Proceso productivo del agricultor. Autoría propia

Se puede notar en la Ilustración 11 que al utilizar tecnología BlockChain involucrando aumentar la cantidad de auditorías realizadas al invernadero y a sus productos, se logra una disminución considerable del indicador *Desperdicios* producidos en los invernaderos. En una investigación realizada por Ahmed en 2020 propone soluciones basadas en el IoT para mejorar la producción como un sistema de supervisión del estado de los cultivos.

Además los indicadores de los que mejores resultados se obtienen es la *Distribución del agricultor y su Distribución alterna*, el modelo responde de manera adecuada a la utilización de tecnología BlockChain de manera conjunta con el Productor, el indicador de *Distribución del agricultor* resulta en una mayor distribución a nuestro productor, aumentando la frecuencia de pedidos y la cantidad solicitada, mientras que la *Distribución alterna* que hace referencia a la venta local del producto en los mercados de la localidad, este indicador se ve reducido al mantener tecnología BlockChain ya que el Agricultor se enfoca en realizar la entrega de productos al Productor.

Las implicaciones que pueden tener los indicadores de *Distribución del agricultor* y la *Distribución alterna* a largo plazo resultarían en un aseguramiento de ventas al trabajar de manera conjunta

con el Productor, en una investigación realizada por Stranieri et al. (2021) se compara cadenas de suministro agroalimentarias y como la tecnología BlockChain ha logrado mejorar distintas características, por ejemplo en 2 de las 3 cadenas de suministro analizadas tanto el agricultor como el productor tienen un aumento en las ganancias obtenidas gracias al intercambio eficiente de información.

Cuando se mantiene un intercambio de información eficiente el agricultor puede tener información sobre las tendencias de consumo de los productos ofertados por el productor, de esta manera es posible operar en sincronía con los eslabones de la cadena ajustando la producción de plantas medicinales a la demanda.

En una investigación realizada por Sahin y Topal (2018) se concluye que el intercambio eficaz de información, facilitado por las Tecnologías de la Información permite a las empresas lograr una interacción interna y aumentar la colaboración con sus socios de la cadena de suministro, el intercambio eficaz de información permite sincronizar las actividades con los socios involucrados en la cadena.

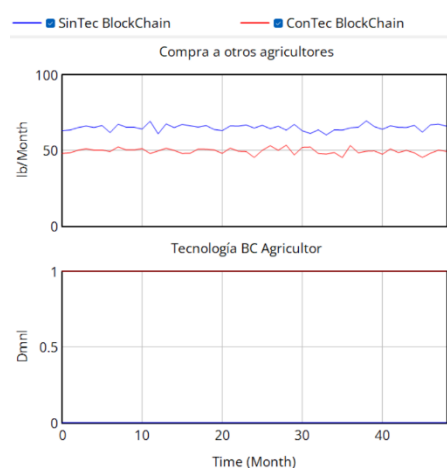


Figura 12. Compra de materia prima a otros agricultores. Autoría Propia

El indicador de *Compra a otros agricultores* en la Ilustración 12 hace referencia al Productor y a la cantidad de materia prima que adquiere de nuestro agricultor y de su entorno, al aplicar la tecnología BlockChain el Productor tendrá mayor comunicación e intercambio de información con el Agricultor con el que comparte la tecnología, esto se traduce a una disminución de compra a Agricultores externos, aumentando la venta competitiva.

Esta ventaja competitiva se presenta como:

- Reducción de costos implicados a la búsqueda, negociación y transporte de materia prima desde diferentes proveedores, estos efectos pueden evitarse al existir una relación de dependencia con un agricultor.
- Mejorando la relación y el intercambio de información entre el agricultor y el productor se puede promover la consistencia y la calidad en la materia prima entregada.
- La capacidad de respuesta se incrementa al mantener un intercambio constante de información, lo que permite adaptarse rápidamente a las fluctuaciones en la demanda y satisfacer así las necesidades del mercado de manera eficiente.

Según Elrefae (2022) argumenta que la base fundamental de una ventaja competitiva en una empresa es la flexibilidad de su cadena de suministros y la manera más conveniente de aumentar la flexibilidad de la cadena es aumentando la información disponible para los diferentes actores de la cadena, además propone a la tecnología BlockChain como un rol principal dentro de los procesos de intercambios de información dentro de las cadenas de suministros.

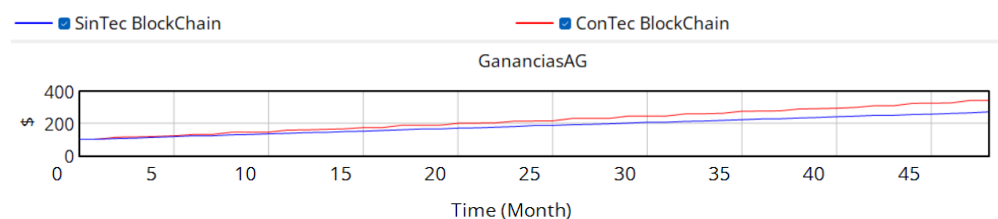


Figura 13. Ganancias del Agricultor. Autoría propia

En los resultados obtenidos en la Ilustración 13 sobre las *Ganancias hacia el Agricultor* se puede notar un aumento que a medida que la tecnología se va implantando en los procesos se consigue cierta diferencia frente a los procesos que se llevan de manera convencional, en una investigación por Nazarov (2019) se concluye que la Tecnología BlockChain permite optimizar y simplificar el proceso de traslado de productos desde el lugar de producción hasta el lugar de consumo, además de tener un mayor control en el cultivo, recolección y su procesamiento en tiempo real, esto presenta beneficios para las partes interesadas dentro de la cadena de suministros, además asevera que esta tecnología puede llegar a convertirse en habitual tanto en las agro exportaciones como en las pequeñas producciones.

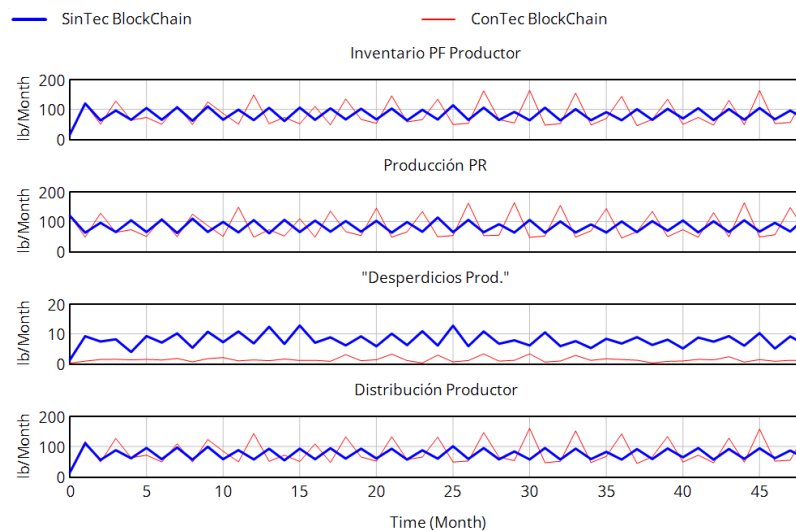


Figura 14. Indicadores del Productor. Autoría Propia

Se puede evidenciar en la Ilustración 14 que el Productor en la cadena de suministro también obtiene beneficios como la disminución en su indicador de *Desperdicios Prod.*, mayor rotación de inventario y una producción más estable.

Para Kamble (2019) la implementación de tecnología Blockchain en una cadena de suministros beneficia a las partes interesadas, incluyendo plazos menores de entrega por lo tanto mayor rotación de inventario y resultando en una mayor eficiencia en la cadena de suministro.

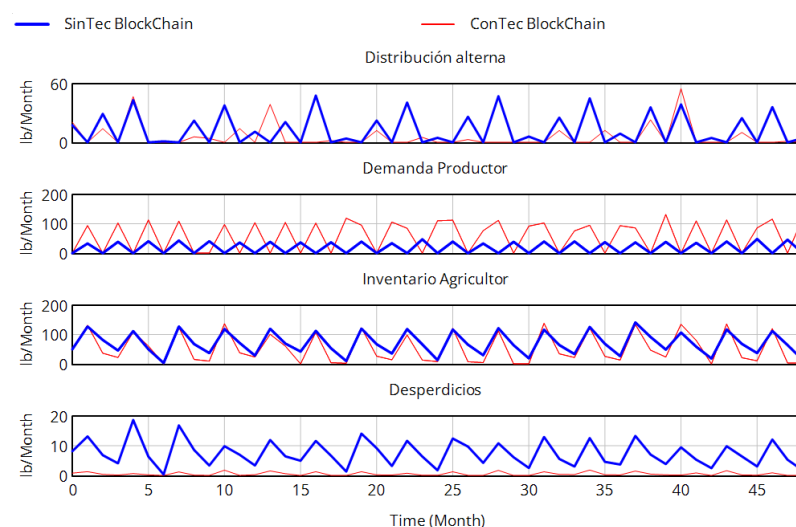


Figura 15. Distribución del agricultor. Autoría propia

Los resultados obtenidos en los indicadores de la ilustración 15 que involucran a la transferencia de información entre el agricultor y el productor se puede notar que cuando se aplica la tecnología BlockChain existe una mayor demanda del productor (Indicador de *Demanda del productor*) hacia el Agricultor con el que mantiene mayor confianza, esto desemboca en un aseguramiento de ventas del Agricultor y este destina su producción a cubrir la demanda evitando la venta local del producto (Indicador de *Distribución alterna*) que en ocasiones no se asegura la venta.

En una investigación realizada por Meidute-Kavaliauskiene, Yildiz, Cigdem y Cincikaite (2021) se concluye que la confianza entre las empresas es crucial para el éxito de las cadenas de suministro, una colaboración eficaz que mejore resultados globales de la cadena requiere un alto nivel de intercambio de información y confianza mutua, una solución propuesta es el uso de Tecnología BlockChain para que las empresas establezcan y mantengan confianza entre las partes interesadas.

En la tabla 11 se realizó la comparación de los indicadores más relevantes de la investigación, la implementación de BlockChain muestra significativas mejoras en la cadena de suministro, incluyendo la reducción de desperdicios, optimización del inventario, mejora en la distribución, y aumento de ganancias.

Tabla 11. Resumen de resultados obtenidos de la simulación. Autoría Propia

Indicador	Con Tecnología BlockChain	Sin Tecnología BlockChain	Beneficio	Decisión
Compra a otros agricultores	Disminuye la compra a agricultores externos promoviendo la codependencia entre ambas empresas	Mayor compra a agricultores externos al caso de estudio	Reducción de costos de búsqueda, negociación y transporte de materia prima. Mejora en la calidad y consistencia de la materia prima. Mayor capacidad de respuesta a fluctuaciones de demanda.	La implementación de la tecnología BlockChain generará un fortalecimiento de las relaciones entre los actores y una reducción de costos.
Demanda del Productor	Mayor demanda del productor hacia el agricultor debido al intercambio de información eficiente.	Menor demanda del productor hacia el agricultor no existe intercambio de información.	Aseguramiento de ventas del agricultor, mejora de la relación y confianza entre productor y agricultor.	La adopción de la tecnología BlockChain mejorará el intercambio de información entre los actores asegurando las ventas al productor

Desperdicios Agricultor y Productor	Reducción de los desperdicios generados entre un 70% y 90% tanto para el agricultor como para el productor	Desperdicios generados entre el 17% de la producción del agricultor.	Reducción considerable de desperdicios, optimización de la cadena de suministro.	Implementación de la tecnología Blockchain para reducir desperdicios y optimizar la cadena de suministro.
Distribución del agricultor	Mayor distribución al productor, menor distribución alterna, promoviendo la fidelidad entre las empresas	Menor distribución al productor, mayor distribución alterna	Aumento de la frecuencia de pedidos y cantidad solicitada por el productor, aseguramiento de ventas, disminución de ventas locales no aseguradas.	Utilizar tecnología blockchain para mejorar la distribución y asegurar ventas.
Distribución alterna del agricultor	Menor distribución alterna (venta local), se busca ser el proveedor directo del productor	Mayor distribución alterna (venta local)	Mayor enfoque en la entrega de productos al productor, asegurando ventas y mejorando la eficiencia de la cadena de suministro.	Fomentar la distribución directa al productor mediante tecnología Blockchain.

6.4. Ventaja competitiva en el modelo propuesto

Luego de analizar el comportamiento de los indicadores en el modelo propuesto se identifica las diferentes influencias por parte de cada indicador dentro del modelo, así como la ventaja competitiva para la cadena de suministros agroalimentaria, lo antes mencionado se ve reflejado en la Ilustración 16.



Cada uno de estos indicadores reflejaron uno o varios de estos los pilares, provocando que el indicador genere una influencia dentro de los procesos internos o externos de los actores de la cadena de suministros agroalimentaria lo que a su vez crea una ventaja competitiva a lo largo de toda la cadena. Tal es el caso del indicador *Auditoria de Existencia* que al ser validado y analizar su comportamiento demostró que refleja características tanto de trazabilidad, transparencia e inmutabilidad que tendrá una influencia destacable dentro de la cadena agroalimentaria puesto que permite tener un registro de información compartida en tiempo real con característica de inmodificable lo que permite a todos los actores de la cadena conocer información relevante que ayude a estos actores a organizar de mejor manera sus recursos y planificar de manera más eficiente sus actividades.

Terminado el presente trabajo se puede concluir que se logró cumplir el objetivo principal de proponer un modelo de competitividad basado en la tecnología Blockchain en una cadena de suministros orientada a los procesos informáticos seguros (trazabilidad, transparencia e

inmutabilidad), objetivo que fue alcanzado gracias al cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos que fueron de gran importancia para el desarrollo del modelo.

La implementación de tecnologías innovadoras en la cadena de suministro de productos agrícolas es un tema cada vez más relevante en la actualidad. En este sentido, la presente investigación se centró en la aplicación de tecnologías Blockchain e IoT en la producción, distribución y seguimiento de plantas medicinales en la parroquia Susudel, específicamente en la Fundación "Luz y Sal".

Los resultados obtenidos indican que la implementación de Blockchain mejoró significativamente la transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro. La tecnología mejoró la transferencia de información dentro de la cadena, lo que promovió flexibilidad para responder a demandas fluctuantes. Además, la inmutabilidad de los registros y la trazabilidad de los productos permitieron una mayor confianza entre los actores involucrados, lo que a su vez mejoró la gestión de inventarios y minimizó el riesgo de exceso, desperdicios o faltante de productos.

En conclusión, el modelo propuesto para la competitividad utilizando tecnología Blockchain en la cadena de suministro de plantas medicinales en la parroquia Susudel resultó en una mayor transparencia, trazabilidad e inmutabilidad en la cadena. Estos resultados sugieren que la tecnología Blockchain puede ser una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, lo que puede tener un impacto positivo en la calidad de los productos, la satisfacción del consumidor y el aumento de la ventaja competitiva de la cadena de suministros.

8. Recomendaciones

Es necesario realizar un análisis más exhaustivo referente a los costos de implementación de la tecnología en los distintos casos de estudio, la personalización que recibe cada caso hace que los costos de implementación varíen dependiendo de las necesidades de cada participante de la cadena ya que a pesar de las claras ventajas y mejoras en diversos indicadores de desempeño que la tecnología Blockchain podría aportar, es importante considerar el contexto y la escala del caso de estudio. La implementación de esta tecnología requiere una inversión significativa que, en el caso de un sistema agrícola pequeño, no se justifica plenamente

La investigación queda abierta a la implementación de la tecnología en el caso de estudio para el aseguramiento de la calidad en invernaderos utilizando IoT y para la gestión documental de la cadena de suministros con tecnología Blockchain.

Referencias

1. Acevedo & Ballesteros. (2021). Estudio de la percepción de la Tecnología Blockchain en la cadena de suministro en empresas del sector alimenticio del Valle de Aburrá. Uniminuto.edu.
https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/16529/1/T.TL_RodasAcevedoValentina_2021.pdf
2. Aguayo López, Á. (2019). Usos de la tecnología Blockchain en el sector logístico. <https://idus.us.es/handle/11441/101363>
3. Ahmed, I., & Sikder, M. (2020). IoT based Smart Irrigation System at University of Chittagong, Bangladesh. International Journal of Computer Applications, 176(15), 39–45. <https://doi.org/10.5120/ijca2020920097>
4. Alobid, M., Abujudeh, S., & Szűcs, I. (2022). The role of blockchain in revolutionizing the agricultural sector. Sustainability, 14(7), 4313. <https://doi.org/10.3390/su14074313>
5. Albuja, M. C. (Ed.). (2010). Adaptarse al desplazamiento urbano (Vol. 34). ACNUR. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/archivo/7707.pdf>
6. Alkahtani, M., Khalid, Q. S., Jalees, M., Omair, M., Hussain, G., & Pruncu, C. I. (2021). E-Agricultural Supply Chain Management Coupled with Blockchain Effect and Cooperative Strategies. Sustainability, 13(2), 816. <https://doi.org/10.3390/su13020816>
7. Allende, M. (2018). Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. Compostela21.com. <https://www.compostela21.com/videos/elementos/noticias/bitcoin/Blockchain.pdf>
8. Ardon, J. (2017). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONTRATACIÓN DE ADULTOS MAYORES EN PUESTOS DE ATENCIÓN AL CLIENTE SEGÚN EL CRITERIO DE UN GRUPO DE JEFES Y SUPERVISORES QUE LABORAN EN ÁREAS DE TRABAJO AFINES.
9. Atehortúa, A. V. (2023). MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS CON LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN EL SECTOR AGUACATERO COLOMBIANO. UNIVERSIDAD EIA.
10. Bao, J., He, D., Luo, M., & Choo, K.-K. R. (2021). A survey of blockchain applications in the energy sector. IEEE Systems Journal, 15(3), 3370–3381. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2020.2998791>
11. Baralla, G., Pinna, A., & Corrias, G. (2019). Ensure Traceability in European Food Supply Chain by Using a Blockchain System. ReserchGate. <https://doi.org/10.1109/wetseb.2019.00012>
12. Ben-Daya, M., Hassini, E., Bahroun, Z., & Banimfreg, B. H. (2020). The role of internet of things in food supply chain quality management: A review. Quality Management Journal, 28(1), 17–40. <https://doi.org/10.1080/10686967.2020.1838978>
13. Borrero, J. D. (2019). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain. C.I.R.I.E.C. España, 95, 71. <https://doi.org/10.7203/ciriec-e.95.13123>
14. Bothe, A., Bauer, J., & Aschenbruck, N. (2019). RFID-assisted Continuous User Authentication for IoT-based Smart Farming. IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA). <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2019.8892140>

15. Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., & Rittmer, J. (2020). A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *International Journal of Information Management*, 52, 102008. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.004>
16. Bustamante, A. (2012). Proyecto de factibilidad para la elaboración y comercialización del té de chaya para la ciudad de Guayaquil [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3254>
17. Caballero, R. J., & Rivera, B. (2019). Blockchain: An Alternative to Enable Traceability in the Agricultural Supply Chain in Panama. *International Engineering, Sciences and Technology Conference*. <https://doi.org/10.1109/iestec46403.2019.00017>
18. Calleja Garrido, M. (2020). Blockchain y smart contracts. La revolución en la gestión de la cadena de suministro. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/45335>
19. Cardenas, A. J. M., Aquije, A. J. Z., & Salcedo, K. J. P. (2023). Gestión de la cadena de suministros. Enfoques y perspectivas modernas. <https://doi.org/10.46652/religacionpress.102>
20. Castillo, R. (2019). Una breve aproximación al uso de tecnología blockchain como elemento transformador de la industria cultural y creativa. *Revistaderechocultura.es*. <https://revistaderechocultura.es/2019/una-breve-aproximacion-al-uso-de-tecnologia-blockchain-como-elemento-transformador-de-la-industria-cultural-y-creativa/>
21. Chang SE, Chen YC, Lu MF. 2019. Supply chain re-engineering using blockchain technology: A case of smart contract based tracking process. *Tech for Soc Ch*. 144:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.015>
22. Chen, S., Shi, R., Ren, Z., Yan, J., Shi, Y., & Zhang, J. (2017). A blockchain-based supply chain quality management framework. 2017 IEEE 14th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE).
23. Chen, Y., Ding, S., Xu, Z., Zheng, H., & Yang, S. (2018). Blockchain-Based Medical Records Secure Storage and Medical Service Framework. *Journal of Medical Systems*, 43(1). <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1121-4>
24. Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 469–483. <https://doi.org/10.1108/scm-09-2018-0309>
25. Danilo, M. P. C. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PILOTO PARA LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS UTILIZANDO BLOCKCHAIN. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
26. Ding, J., Nemati, M., Ranaweera, C., & Choi, J. (2020). IoT connectivity technologies and applications: A survey. *IEEE Access*, 8, 67646–67673. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2985932>
27. Duan, J., Zhang, C., Gong, Y., Brown, S., & Li, Z. (2020). A content-analysis based literature review in blockchain adoption within food supply chain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1784. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051784>
28. Elrefae, G., & Nuseir, M. T. (2022). Blockchain in global finance make-over: Exploring the mediating role of supply chain flexibility. *Uncertain Supply Chain Management*, 10(3), 983–992. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.2.015>
29. Ferrández-Pastor, F.-J., Mora-Pascual, J., & Díaz-Lajara, D. (2022). Agricultural traceability model based on IoT and Blockchain: Application in industrial hemp production.

- Journal of Industrial Information Integration, 100381.
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100381>
30. Forrester, J. W. (1961). Industrial dynamics. Pegasus Communications.
 31. Fuertes Paniagua, S. (2018). *Implementación de la tecnología Blockchain a entidades del tercer sector* [Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/127761>
 32. Gavina Baralla, A. P. (2019, marzo). Ensure Traceability in European Food Supply Chain by using a blockchain System. Researchgate.net.
https://www.researchgate.net/publication/331564321_Ensure_Traceability_in_European_Food_Supply_Chain_by_using_a_blockchain_System
 33. Gálvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. Trends in Analytical Chemistry, 107, 222–232.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>
 34. Gallardo Urbini, I. M. (2018). Certificados digitales: de una arquitectura jerárquica y centralizada a una distribuida y descentralizada. Universidad Nacional de La Plata.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/128039>
 35. Gómez Hernández, J. A., García Teodoro, P., Magán Carrión, R., & Rodríguez Gómez, R. (2023). Crypto-ransomware: A revision of the state of the art, advances and challenges. Electronics, 12(21), 4494. <https://doi.org/10.3390/electronics12214494>
 36. García, J. M. (2003). Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Barcelona: Juan Martín García.
 37. Gómez Hernández, J. M., & Prenafeta Boldú, F. X. (2023). "Blockchain Technology in Supply Chain Management: A Review of the State of the Art." DOI: 10.1108/JIT-02-2022-0071
 38. Guo, M., Liu, X. J., & Zhang, W. (2018). USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN HUMAN FOOD CHAIN PROVENANCE. WIT Transactions on the Built Environment.
<https://doi.org/10.2495/ug180361>
 39. Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. Trends in Food Science & Technology, 91, 640–652. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
 40. Kamath, R. (2018). Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM. The Journal of the British Blockchain Association, 1(1), 1–12.
[https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-\(10\)2018](https://doi.org/10.31585/jbba-1-1-(10)2018)
 41. Khan, M. R., Khan, M. R., & Nallaluthan, K. (2023). Blockchain Supply Chain Management and Supply Chain Sustainability. En Management for professionals (pp. 155-180).
https://doi.org/10.1007/978-981-99-0699-4_10
 42. Kraft, S. K., & Kellner, F. (2022). Can blockchain be a basis to ensure transparency in an agricultural supply chain? Sustainability, 14(13), 8044.
<https://doi.org/10.3390/su14138044>
 43. Li, K., Lee, J.-Y., & Gharehgozli, A. (2021). Blockchain in food supply chains: a literature review and synthesis analysis of platforms, benefits and challenges. International Journal of Production Research, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1970849>
 44. Lima, G. C., Figueiredo, F. L., Barbieri, A. E., & Seki, J. (2020). Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT. Revista Ciência Agronômica, 51(5).
<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200100>

45. Liu, Z., & Li, Z. (2020). A blockchain-based framework of cross-border e-commerce supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 102059. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102059>
46. Loaharanu, P. (2001). Creciente Demanda de Alimentos INOCUOS. International Atomic Energy Agency. [iaea.org. https://www.iaea.org/sites/default/files/43205783742_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/43205783742_es.pdf)
47. Manobanda, C. (2021). Implementación de un modelo piloto para la gestión de la cadena de suministros utilizando BLOCKCHAIN. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8273>
48. Martínez Soto, M., Rodríguez Monroy, C., Gil Araujo, M., & Morris Díaz, A. (2013). La dinámica de sistemas en la simulación del efecto de la gestión del conocimiento sobre la cadena de suministro de la agroindustria del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(1), 80-90. Recuperado el 21 de mayo de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702013000100011&lng=es&tlng=es.
49. Meidute-Kavaliauskiene, I., Yıldız, B., Çiğdem, Ş., & Činčikaitė, R. (2021). An integrated impact of blockchain on supply chain applications. *Logistics*, 5(2), 33. <https://doi.org/10.3390/logistics5020033>
50. Min H. 2019. Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Bus Hor.* 62(1):35–45. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.012>
51. Mohammad Hossein, K., Esmaeili, M. E., Dargahi, T., Khonsari, A., & Conti, M. (2021). BCHealth: A novel blockchain-based privacy-preserving architecture for IoT healthcare applications. *Computer Communications*, 180, 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.08.011>
52. Montoliu Rico, P. (2022). Implementación de un sistema básico de Blockchain y su aplicación en la trazabilidad de datos médicos. *Universitat Politècnica de València*.
53. Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., & Sánchez, J. C. (2021). Study and analysis of the implementation of 4.0 technologies in the agri-food supply chain: A state of the art. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 11(12), 2526. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122526>
54. Navarro, B. Y. (2017). Blockchain y sus aplicaciones. *Chaindocs.org*. Recuperado el 30 de octubre de 2023, de <https://chaindocs.org/wp-content/uploads/2023/08/06.-Blockchain-y-sus-aplicaciones-autor-Benjamin-Yahari-Navarro.pdf>
55. Navarro, M. G., & Echandia, M. U. (2022). TECNOLOGÍA “BLOCK-CHAIN” PARA LA TRAZABILIDAD DE LA CADENA LOGÍSTICA DE EXPORTACIÓN DE FRUTAS. *UNIVERSIDAD EIA*.
56. Navarro, M., & Echandia, M. (2022). TECNOLOGÍA “BLOCK-CHAIN” PARA LA TRAZABILIDAD DE LA CADENA LOGÍSTICA DE EXPORTACIÓN DE FRUTAS. (2022). <https://repository.eia.edu.co/flip/?pdf=https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/de0c3fa4-e440-4b02-8574-ebabe4972d58/content>
57. Nazarov, A. D., Shvedov, V. V., & Sulimin, V. V. (2019). Blockchain technology and smart contracts in the agro-industrial complex of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315, 032016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/3/032016>
58. Ong, J., Musa, S. N., & Mahmood, N. Z. (2022). System dynamic modeling for plastic supply chain in Klang Valley, Malaysia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(2), 1257–1269. <https://doi.org/10.15244/pjoes/142138>

59. OpenAI. (2024). ChatGPT [Software de inteligencia artificial]. Recuperado de <https://www.openai.com/chatgpt>
60. Orjuela Castro, J. A., & Herrera Ramírez, M. M. (2014). Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: Un enfoque desde la dinámica de sistemas. Ingeniería, 19(2). <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2014.2.a03>
61. Ortizá Palomares, J. (2022). Blockchain como tecnología para la agricultura. <http://eprints.rclis.org/43470/>
62. Ortiz, L. M. P., & Torres, K. J. V. (2022). Análisis de la tecnología blockchain aplicada a la logística de agrocadenas caso de estudio del café en Colombia. Universidad Piloto de Colombia.
63. Perboli, G., Musso, S., & Rosano, M. (2018). Blockchain in Logistics and Supply Chain: A lean approach for designing Real-World use cases. IEEE Access, 6, 62018–62028. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2875782>
64. Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. Strategic Management Journal, 14(3), 179-191. <https://doi.org/10.1002/smj.4250140303>
65. Á. Preukschat, Blockchain: la revolución industrial de internet, Octava ed., Barcelona: Gestión 2000, 2017, p. 288.
66. Pincheira, M., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany. <https://doi.org/10.1109/iot.2018.8554666>
67. Polasik, M., Głowicki, M., & Wilamowski, R. (2020). Blockchain technology in supply chain management: An application to perishable goods in the Polish food chain. Sustainability, 12(10), 4228. <https://doi.org/10.3390/su12104228>
68. Polater, A., & Demirdogen, O. (2018). An investigation of healthcare supply chain management and patient. International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing. doi:<https://doi.org/10.1108/IJPHM-07-2017-0040>
69. Qi, J., Tao, F., Cheng, Y., Guo, M., & Zhao, D. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. International Journal of Production Research, 56(1-2), 282–296. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1390468>
70. Ramón García, R., Heras Jara, I., & Gil-Berrozpe, L. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE BLOCKCHAIN EN LA TRAZABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN EL DISTRITO DE PAMPAS DE HOSPICIO. Universidad César Vallejo.
71. Regnier, E., & Lugosch, L. (2017). Digital disruption in agribusiness: How digital leaders are transforming the way the industry operates. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/retail-distribution/digital-disruption-agribusiness.html>
72. Recent Advances in Blockchain Technology. (2023). En Intelligent systems reference library. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-22835-3>
73. Riaz, M., Jabeen, M., & Shah, M. A. (2020). Blockchain for sustainable agriculture supply chain: Challenges and future directions. Sustainability, 12(21), 9163. <https://doi.org/10.3390/su12219163>
74. Rocha, G., De Oliveir, L., & Talamini, E. (2019). Aplicaciones blockchain en agronegocios: una revisión sistemática. [https://www.researchgate.net/publication/350745193 Blockchain Applications in Agribusiness A Systematic Review](https://www.researchgate.net/publication/350745193_Blockchain_Applications_in_Agribusiness_A_Systematic_Review)

75. Roldán Bravo, M. P., Martín Pascual, J., & Garrido Yserte, R. (2019). ANÁLISIS DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL ÉXITO DEL DESPLIEGUE DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA CADENA DE SUMINISTRO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO. *Revista Iberoamericana de Estrategia*, 18(2), 257. <https://doi.org/10.5585/riae.v18i2.3175>
76. Rubin, L. (2019). Blockchain Applications in Supply Chain Management. In *Supply Chain Management and Logistics in Emerging Markets* (pp. 47–63). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12056-5_3
77. Fuertes, S. (2018). Implementación de la tecnología Blockchain a entidades del tercer sector. Core.ac.uk. <https://core.ac.uk/download/pdf/185525609.pdf>
78. Ruiz, S., Bonnin, J. M., & Biot-Pelletier, D. (2021). Blockchain as an enabler for traceability in the agri-food supply chain: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 129, 103411. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103411>
79. Şahin, H., & Topal, B. (2018). Examination of effect of information sharing on businesses performance in the supply chain process. *International Journal of Production Research*, 57(3), 815–828. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1484954>
80. Shen, H., Gao, S., & Fu, X. (2020). Blockchain in the food industry: A review. *Engineering Reports*, 2(5), e12102. <https://doi.org/10.1002/eng2.12102>
81. Shivendra, N., Chiranjeevi, K., Tripathi, M. K., & Maktedar, D. D. (2021, 25 marzo). Block chain Technology in Agriculture Product Supply Chain. <https://doi.org/10.1109/icaais50930.2021.9395886>
82. Solís-Guzmán, J. (2018). Los paradigmas de la administración de la cadena de suministro: hacia la gestión del conocimiento. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (84), 155-166. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/335670>
83. Stranieri, S., Riccardi, F., Meuwissen, M. P. M., & Soregaroli, C. (2021). Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains. *Food Control*, 119, 107495. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107495>
84. Subirana, C. (2018). Cómo la tecnología blockchain transformará las cadenas de suministro. *Accid.org*. Recuperado el 28 de mayo de 2024. https://accid.org/wp-content/uploads/2020/07/C%C3%B3mo_la_tecnolog%C3%ADa_blockchain_transformar%C3%A1_las_cadenas_de_suministro_C_Subiranalogo-1.pdf
85. Taherdoost, H. (2023). Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *Information*, 14(2), 117. <https://doi.org/10.3390/info14020117>
86. Taha, M. R., Hashim, K. F., Ismail, M. Y., Wahab, D. A., & Alsariera, Y. K. (2020). Blockchain technology for the agri-food industry and circular economy: A systematic review and research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123664>
87. Tang, L., Sun, X., Lu, X., & Jia, C. (2020). Blockchain-based traceability in food supply chain quality management. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106481. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106481>
88. Tapia, A., & Tigre, E. (2024). Modelo de negocio para la Fundación Agrícola Andina ubicada en la parroquia Susudel de la provincia del Azuay. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/44329>
89. Taş, R., & Tanrıöver, Ö. Ö. (2020). A Systematic Review of Challenges and Opportunities of Blockchain for E-Voting. *Symmetry*, 12(8), 1328. <https://doi.org/10.3390/sym12081328>

90. Thakur, V. K., Gupta, R. K., Thakur, M. K., & Krishnan, P. S. G. (2021). Recent progress on blockchain technology for supply chain and its role in transforming the industrial sector. *Journal of Industrial Integration and Management*, 6(4), 331–350. <https://doi.org/10.1142/s242486222150018x>
91. Tokkozhina, U., Martins, A. L., & Ferreira, J. C. (2022). Use of Blockchain Technology to Manage the Supply Chains: Comparison of Perspectives between Technology Providers and Early Industry Adopters. *Journal Of Theoretical And Applied Electronic Commerce Research*, 17(4), 1616-1632. <https://doi.org/10.3390/jtaer17040082>
92. Treiblmaier, H. (2018). The Impact of the Blockchain on the Supply Chain: A Theory-Based Research Framework and a Call for Action. Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3224145>
93. Trigo, A., & Elahi, E. (2019). Study of the blockchain adoption potential for agri-food products in developing countries. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 34(1), 42–50. <https://doi.org/10.19053/01211129.v34.n1.2019.8961>
94. Vidalón, D. (2018). El minorista Carrefour utiliza blockchain para mejorar los controles de los productos alimenticios. <https://www.reuters.com/article/idUSKCN1G11BM/>
95. Wang, Y., Gan, W., Tan, Y., Xu, L., & Choo, K.-K. R. (2019). Blockchain-based Internet of Things (IoT) in agriculture. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8780–8789. <https://doi.org/10.1109/ijot.2019.2896227>
96. Wang, Y., Hu, X., & Gong, Y. (2019). A blockchain-based framework for improving the trustworthiness of food supply chain. *IEEE Access*, 7, 41542–41549. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2905155>
97. Wang, Y., Zhang, Y., Ren, J., & Cai, H. (2022). Research on Agricultural Food Supply Chain System Model Based on Blockchain Technology. *Complexity*, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/6613569>
98. Wijaya, R. H., Ardiansyah, M., Hendrawan, H., Irawan, D. E., & Yulianto, Y. (2018). Blockchain implementation in supply chain: A systematic literature review and further research directions. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 96(19), 6721–6742.
99. Yang, H., Tian, G., & Zhu, S. (2021). A survey of blockchain technology in agri-food supply chain management. *Engineering Reports*, 3(2), e12332. <https://doi.org/10.1002/eng2.12332>
100. Yang, Y., Sun, W., & Wang, S. (2019). Blockchain for Agriculture: Opportunities and Challenges. *Blockchain for Agriculture: Opportunities and Challenges*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/wetseb.2019.00011>
101. Yasin, R., Rahim, A. R. A., & Safuan, S. (2020). Adoption of blockchain in the halal food industry: An analysis of the opportunities and challenges. *Engineering Reports*, 2(11), e12141. <https://doi.org/10.1002/eng2.12141>
102. Zhou, L., Wang, L., & Ma, X. (2022). The application of blockchain technology in the field of food safety in China: Current status, existing problems, and future development. *Safety Science*, 149, 105471. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105471>

Anexos

Anexo A. Encuesta realizada a los agricultores de Ambato

Agricultor Encuestado	1. Cuantos invernaderos o parcelas tiene para cosecha	2. Dimensiones del invernadero o parcela	3. Cada que tiempo realiza la cosecha	4. Cantidad de producto cosechado	5. Se vende todo lo cosechado o una fracción	6. Como vende el producto lb o kg	7. Cual es el costo de venta del producto	8. Cantidad de producto dañado en cada cosecha	9. Si se maneja inventario cual es la cantidad de este	10. Maneja algun sistema de documentación	11. De qué manera almacena los productos cosechados	12. Si el producto requiere secado cual es el tiempo	13. Cual es la demanda que solicita la empresa que le compra las plantas medicinales	14. Se cuenta con algun registro de las etapas como siembra, cultivo fumigación, limpieza de malezas, cosecha y almacenado
Estela Villalba	1 parcela	432 m2	Cedron 2 x año y Hierba luisa 3x año	80 kg cedrón y 80 kg de Hierba luisa	Todo	kg	\$0.2 pero ha subido en temporada hasta \$0.5	3 kg por cosecha	No	No	Invernadero de 5x4m	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Amelia Duchí	2 parcela	>440m2	Cada 4 meses dependiendo el producto	Ortiga 150kg Manzanilla 50 kg Borraja 30 kg Menta 200kg	Todo	kg	\$0.2 pero ha subido en temporada hasta \$0.5	75kg dañado de menta	No	No	Invernadero en sacos pero la entrega es inmediata	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Mario Remache	1 parcela	1200m2	Intervalo de 3 a 5 meses depende el producto	Torongil 70kg tomillo 70kg Manzanilla 70kg menta 70kg	Todo	Kg	\$0.25 pero ha subido en temporada hasta \$0.5	30kg de manzanilla y 20kg de menta	No	No	En gabeta, sacos, entrega inmediata	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Jorge Arias	1 parcela	5000m2	Cosecha amaranto cada 7 meses	11 sacos de 45kg	Todo	kg	Aproximadamente \$0,45 xkg	100 kg	No	No	Bodega 3x2x2m en sacos	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Maria Remache	1 parcela	>2600m2	Torongil, Borraja, malba de manera continua	2800 kg	Todo	kg	\$0.2 xkg	80Kg	No	No	Sacos	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Walter García	1 parcela	18000m2	Hierba luisa, cada 3 meses, hoja de naranja de manera continua	Hierba luisa 350kg, Hojas de naranja 300kg	Todo	kg	\$3.5 el kg de hierba luisa	200kg en perdida	No	No utiliza el documento	Sobre lonas para evitar ingreso de hormigas	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No
Maria Hernandez	1 parcela	>440m2	Cedron 2 x año y Hierba luisa 3x año	160kg	Todo	kg	\$0.2 pero ha subido en temporada hasta \$0.5	7kg	No	No	Invernadero sobre especie de camas	No requiere	Se entrega todo, no hay minimo	No

Anexo 1. Encuesta realizada a los agricultores de Ambato. Autoría Propia

Anexo B. Tabla de selección de indicadores

Autor es	ID	Indicador	Proceso	Cadena de Suministr	Observaciones	Similitud	Estado
	1	Inventario de materia prima	Producción	Agricultor	Tomado como la cantidad de inventario dentro de los invernaderos	[36, 44]	Considerado
	2	Tasa de adquisición	Producción	Agricultor. Productor	No se considera en el trabajo		No considerado
	3	Tasa de producción	Producción	Agricultor	Tomado como la siembra de plantas medicinales	[5,28,46]	Considerado
	4	Tiempo de transporte	Distribución	Agricultor	Tomado con la distancia entre los destinos	[]	Considerado
	5	Fabricación	Producción	Agricultor. Productor	Tomado como la producción en agricultor y productor	[3,28,46]	No considerado
	6	Orden de distribución esperada	Distribución	Productor- Agricultor	Tomado como indicador de ordenes de producción al agricultor	[15,41]	Considerado
	7	Discrepancia de fabricación	Producción	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerado
	8	Tiempo de ajuste de fabricación	Producción	N/A	No es aplicable al trabajo	[]	No considerado

Ong et al. (20 22)	9	Inventario minorista (RI)	Parte Interesada	N/A	Se utiliza otros indicadores	[36, 44]	No considerad o
	1 0	Ventas	Producción	Agricultor	Este se descompone en 3 indicadores del agricultor (Precio de venta al productor, precio de venta al mercado y los ingresos del agricultor)	[40]	Considerad o
	1 1	Reserva de demanda	Producción	Agricultor	No es relevante en el trabajo	[]	No considerad o
	1 2	Demanda	Producción	Agricultor- Productor	Tomado como indicador de demanda externa para el productor	[19,25,39 ,45]	Considerad o
	1 3	Tasa de reducción de reserva de demanda	Producción	N/A	No es aplicable al trabajo	[]	No considerad o
	1 4	Reserva de pedidos	Distribución	N/A	No es aplicable al trabajo	[]	No considerad o
	1 5	Pedidos de minoristas	Distribución	Productor- Agricultor	Tomado como la compra a otros Agricultores	[6,41]	Considerad o
	1 6	Tiempo de reducción de reserva de pedidos	Distribución	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerad o
	1 7	Tiempo de envío	Distribución	N/A	Se utiliza la distancia como método de cálculo de costo de distribución	[]	No considerad o
	1 8	Tiempo de entrega	Distribución	N/A	Se utiliza la distancia como método de cálculo de costo de distribución	[]	No considerad o
	1 9	Demanda esperada	Producción	Agricultor- Productor	Tomado como el intercambio de información entre el agricultor y el productor	[12,25,39 ,45]	Considerad o
	2 0	Calidad	Producción	Agricultor. Produc tor	Tomado como las Auditorías a los procesos de producción	[29]	Considerad o
	2 1	Consumidor	N/A	N/A	No considerado en el trabajo	[38]	No considerad o
	2 2	Tasa de disposición	Producción	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerad o
	2 3	Tiempo de disposición	N/A	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerad o
	2 4	Relleno sanitario	N/A	Agricultor	Tomado como los desechos del agricultor y del productor	[47,50]	Considerad o
	2 5	Demanda local	N/A	N/A	Se utiliza el indicador 12	[12,19,39 ,45]	No considerad o
	2 6	Tiempo de inspección	N/A	N/A	No es aplicable al trabajo	[]	No considerad o

Martínez et al. (2013)	27	Uso de las tecnologías de información	Producción	Agricultor-Productor		[31]	Considerado
	28	Productividad	Producción	Agricultor-Productor	Tomado el indicador 3	[3,5,42,46]	No considerado
	29	Calidad	Producción	N/A	No considerado, no es relevante en el trabajo	[20]	No considerado
	30	Almacenamiento por medio digitales	N/A	Agricultor.Productor	Tomado como el indicador de Registro Inmutable de auditorías	[44]	Considerado
Ramírez & Castro (2014)	31	Implementación tecnológica	Producción	Agricultor-Productor		[27]	Considerado
	32	Ciclo de vida del producto	N/A	N/A	No es considerado en el trabajo	[]	No considerado
	33	Índice de trazabilidad	Distribución	Agricultor-Productor	Considerado para nuestra investigación como Auditorías de existencias del agricultor	[]	Considerado
	34	Proveedor	Distribución	N/A	No es considerado en el trabajo	[]	No considerado
	35	Infraestructura	Producción	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerado
	36	Cantidad de MP	Producción	Agricultor-Productor		[1, 9]	Considerado
	37	Tamaño de lote	Distribución	N/A	No es relevante en el trabajo	[]	No considerado
	38	Clientes	N/A	N/A	No es considerado por el alcance del trabajo	[21]	No considerado
	39	Demanda	Producción	Productor	Considerado el indicador 12	[12, 19, 25, 45]	No considerado
	40	Ventas	Producción	N/A	Tomado el indicador 10	[10]	No considerado
	41	Órdenes de producción	Producción	Productor-Agricultor		[6,15]	Considerado
	42	Productividad laboral	N/A	Agricultor	No es considerado el indicador	[3,5,28,46]	No considerado
	43	Capacidad productiva	Producción	Agricultor-Productor	Considerado como capacidad productiva máxima	[]	Considerado
	44	Almacenamiento en proceso	N/A	N/A	No es considerado para el trabajo	[1, 9, 30]	No considerado
Ballesteros & Téllez (2018)	45	Demanda Externa	Producción	Productor	Considerado el indicador 12	[12, 19, 25, 39]	No considerado
	46	Producción de Cacao	Producción	Productor	Tomado el indicador 3	[3,5,28]	No considerado
	47	Pérdida por Ha	Producción	Agricultor	Indicador de desperdicios tomado el 24	[24,50]	No considerado
	48	Transformación del Cacao	Producción	Productor	No es considerado por el alcance del trabajo	[]	No considerado
	49	Importaciones	N/A	N/A	No considerado por el alcance del trabajo	[]	No considerado
Acevedo & Ballesteros (2021)	50	Desperdicios	Distribución-Producción	Productor-Agricultor	Tomado como los desperdicios del producto a lo largo de la cadena	[47,24]	Considerado
	51	Inventario	Producción	Productor	Tomado como el inventario de producto terminado	[]	Considerado
	52	Costos	Distribución	Agricultor	Tomado como el costo de logística	[]	Considerado
	53	Gastos	Distribución-Producción	Productor-Agricultor	Tomado como los gastos representativos por una acción	[]	Considerado
	54	Demanda	Producción	Productor	Considerado el indicador 12	[12, 19, 25, 39]	No considerado

Calleja (2020)	55	Demanda	Producción	Productor-Agricultor	Considerado el indicador 12	[12,19,25,39]	No considerado
	56	Producción lotes	Producción	Productor	Tomado el indicador 3	[3,5,28,43]	No considerado
	57	Almacenamiento de datos	N/A	N/A	No considerado por el alcance del trabajo	[]	No considerado
	58	Inventario	Producción	Productor	Tomado el indicador 51	[51]	No considerado
	59	Distribución de pagos	N/A	N/A	No considerado por el alcance del trabajo		No considerado
	60	Adquisición de materia prima	Producción	Productor	Tomado como la materia prima solicitada por el Productor	[]	Considerado
	61	Distribución	Distribución	Productor-Agricultor	Tomado el indicador 15	[15]	No considerado
Treiblm aier (2018)	62	Inventario	Producción	Productor	Tomado el indicador 51	[51]	No considerado
(Borrero , 2019)	63	Gancias	Producción	Productor	Tomado como el resultado de ingresos menos los gastos	[]	Considerado
	64	Ventas	Producción	Productor	No considerado por el alcance del trabajo		No considerado
	65	Compras	N/A	N/A	Tomado como la acción de adquirir algo	[]	Considerado
Perboli (2018)	66	Gsto de implementación de la tecnología	N/A	Productor-Agricultor	Tomado como el gasto de implementar BlockChain	[]	Considerado
	67	Programación de producción	N/A	N/A	No considerado por el alcance del trabajo	[]	No considerado
Khan et al. (2023)	68	Orden del productor	Producción	Productor	Tomado como la cantidad de producto demandado	[]	Considerado

Anexo C. Fórmulas de los indicadores

(01) Adquisición de MP PR= (Compra a otros agricultores+"Distribución Agric.")

(02) Auditoría de existencias Agricultor= IF THEN ELSE (Tecnología BC Agricultor>0.5, RANDOM NORMAL (0.6, 1, 0.75, 0.1, 1), RANDOM NORMAL(0, 0.6, 0.3, 0.1, 1))

(03) Auditoría de existencias PR=IF THEN ELSE (Tecnología BC Productor>0.5, RANDOM NORMAL(0.6, 1, 0.75, 0.1, 1), RANDOM NORMAL(0, 0.6, 0.3, 0.1, 1))

(04) Capacida Estimada Máx= 150

(05) Capacidad Estimada Min= IF THEN ELSE (Tecnología BC Productor>0.5, IF THEN ELSE(Demanda Externa>200, 120, 80), 80)

(06) Compra a otros agricultores= IF THEN ELSE (Tecnología BC Agricultor>0.5,RANDOM NORMAL(30, 70, 50, 2, 1), RANDOM NORMAL(50, 90, 65, 2, 1))

(07) Constante de adimensionalidad= 1

(08) Constante de Crecimiento demanda PR= 0.01

(09) Demanda Externa= (Max Capacidad PR)/(1+EXP(-Constante de Crecimiento demanda PR*Tiempo))

- (10) Demanda Productor= (IF THEN ELSE(Orden del Productor>0, Orden del Productor , 0))
- (11) Ingresos Productor= Precio de venta*Distribución Productor
- (12) IngresosAG= "Distribución Agric."*"Precio de ventaAG-Prod"+Distribución alterna*Precio Venta Mercado
- (13) Distancia de distribución= INTEGER(RANDOM NORMAL(23 , 70 , 40 , 5 , 1))
- (14) "Distribución Agric."= IF THEN ELSE(Demanda Productor>(Inventario Agricultor-Desperdicios), (Inventario Agricultor -Desperdicios) , Demanda Productor)
- (15) Distribución alterna= IF THEN ELSE(Demanda Productor>0 , 0 , IF THEN ELSE((Inventario Agricultor-Demanda Productor-Desperdicios)>0 , (Inventario Agricultor-Demanda Productor -Desperdicios)*(RANDOM NORMAL(0, 1 , 0.4 , 0.05 , 1)) , 0))
- (16) Distribución Productor= IF THEN ELSE(Demanda Externa<(Inventario PF Productor-"Desperdicios Prod.") , Demanda Externa , Inventario PF Productor-"Desperdicios Prod.")
- (17) Factor de Perdida PR= RANDOM NORMAL(0.08, 0.2 , 0.14 , 0.001 , 1)
- (18) Factor de perdidaAG=RANDOM NORMAL(0.1, 0.3 , 0.15 , 0.03 , 1)
- (19) FINAL TIME = 48
- (20) Ganancias Productor= INTEG (Ingresos Productor-Gastos productor, 1000)
- (21) GananciasAG= INTEG (IngresosAG-GastosAG, 100)
- (22) Gasto distribución= 0
- (23) Gastos de Distribución= 0
- (24) Gastos de Producción= 5.17
- (25) "Gastos Implementar Tecn BC Prod."= 420
- (26) "Gastos Implementar Tecn. BC"= 0
- (27) Gastos productor= Distribución Productor*Gastos de Producción+Gastos de Distribución+"Gastos Implementar Tecn BC Prod."
- (28) GastosAG= Gasto distribución*Distancia de distribución+"Gastos Implementar Tecn. BC"
- (29) Desperdicios= IF THEN ELSE (Auditoría de existencias Agricultor>0.6, (Inventario Agricultor*(1-Auditoría de existencias Agricultor) *0.04) , (Inventario Agricultor*(1-Auditoría de existencias Agricultor)*Factor de perdidaAG))
- (30) "Desperdicios Prod."= IF THEN ELSE (Auditoría de existencias PR>0.6, (Inventario PF Productor *(1-Auditoría de existencias PR) *0.07) , (Inventario PF Productor*(1-Auditoría de existencias PR)*Factor de Perdida PR))
- (31) INITIAL TIME = 0
- (32) Inventario Agricultor= INTEG ((Producción-Desperdicios-"Distribución Agric."-Distribución alterna),50)
- (33) Inventario de Mat Prima PR= INTEG (Adquisición de MP PR-Producción PR,120)
- (34) Inventario PF Productor= INTEG (Producción PR-"Desperdicios Prod."-Distribución Productor,15)
- (35) Max Capacidad PR= RANDOM UNIFORM (230, 400, 1)
- (36) Orden del Productor= IF THEN ELSE (Tecnología BC Agricultor>0.5, IF THEN ELSE (Inventario de Mat Prima PR<70, RANDOM NORMAL (50, 100 , 70 , 10 , 1) , 0)*1.5 , IF THEN ELSE(Inventario de Mat Prima PR <70, RANDOM NORMAL(30, 50 , 40 , 10 , 1) , 0))

- (37) Precio de venta= 16.18
- (38) "Precio de ventaAG-Prod"= 0.13
- (39) Precio Venta Mercado= 0.0909
- (40) Producción= IF THEN ELSE(Time/3=INTEGER(Time/3), RANDOM NORMAL (Capacidad Estimada Min, Capacida Estimada Máx , (Capacida Estimada Máx+Capacidad Estimada Min)/2 , 7 , 1), 0)
- (41) Producción PR= IF THEN ELSE (Inventario de Mat Prima PR>Demanda Externa, Demanda Externa, Inventario de Mat Prima PR)
- (42) Registro inmutable AG=IF THEN ELSE (Auditoría de existencias Agricultor>0.8, 1, 0)
- (43) Registro inmutable PR= IF THEN ELSE (Auditoría de existencias PR>0.8, 1, 0)
- (44) SAVEPER = TIME STEP
- (45) Tecnología BC Agricultor= 0
- (46) Tecnología BC Productor= 0
- (47) Tiempo= Constante de adimensionalidad*Time
- (48) TIME STEP = 1