



TRABAJO DE GRADO
Opción Seminario-Diplomado.

**Propuesta de implementación del blockchain para la trazabilidad y competitividad del
aguacate Hass colombiano**

Nombre del Tutor del trabajo de grado
Juan Pablo Vélez Uribe

Nombres de los estudiantes autores del trabajo de grado.

Jhony Andrey Burga Velasco

Ingeniería de Sistemas

Yair Roberto Cataño Sierra

Ingeniería Industrial

Juan David Hernández Vergara

Ingeniería Industrial

Corporación Universitaria Remington.
Facultad de ingeniería

Opción de Trabajo de grado Seminario
2025

Tabla de Contenidos

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen..... | 3 |
| 1. Marco conceptual..... | 4 |
| 1.1. Blockchain: conceptos y fundamentos..... | 4 |
| 1.2. Componentes claves..... | 5 |
| 1.3. Tipos de Blockchain | 5 |
| 1.3.1. Ventajas y limitaciones generales | 5 |
| 1.4. Blockchain y gestión de información en cadenas de suministro | 6 |
| 2. Marco contextual | 8 |
| 2.1. Características específicas de la cadena alimentaria:..... | 8 |
| 2.2. Estrategias para la adopción del blockchain en la agroindustria colombiana..... | 9 |
| 2.2.1. Identidad digital para pequeños productores | 9 |
| 2.2.2. Trazabilidad de productos estratégicos | 9 |
| 2.2.3. Uso de infraestructuras existentes: LACChain | 9 |
| 2.2.4. Tokenización de comodines agrícolas | 9 |
| 2.2.5. Sistemas de garantías descentralizadas | 9 |
| 3. Objetivo general..... | 10 |
| 3.1. Objetivos específicos | 10 |
| 4. Marco normativo..... | 11 |
| 4.1. Marco normativo nacional e internacional | 11 |
| 4.2. Marco normativo internacional..... | 11 |
| 4.3. Marco normativo nacional | 12 |
| 5. Metodología de la implementación tecnológica. | 14 |
| 6. Desarrollo e implementación del aprendizaje..... | 16 |
| 6.1. ETAPA 1: Diagnóstico y caracterización del sistema de trazabilidad actual del aguacate Hass en Colombia | 16 |
| 6.1.1. Funcionamiento actual del sistema de trazabilidad del aguacate Hass..... | 16 |
| 6.1.2. Problema central identificado: | 17 |
| 6.1.3. Potencial de la tecnología blockchain..... | 18 |
| 6.2. ETAPA 2. Diseño conceptual del modelo Blockchain. | 19 |
| 6.2.2. Flujos de información y validación..... | 21 |
| 6.3. ETAPA 3 Análisis de compatibilidad con normas internacionales | 22 |
| 6.3.1. Correspondencia con sistemas nacionales de control fitosanitario ICA,INVIMA..... | 22 |
| 6.4. ETAPA 4: Propuesta de implementación gradual modelo | 23 |
| 6.5. ETAPA 5: Evaluación del impacto esperado..... | 26 |
| Conclusiones | 28 |
| Referencias..... | 29 |

Resumen

Este trabajo, propone la implementación de la tecnología blockchain como un recurso novedoso para aumentar la trazabilidad, la claridad y la competitividad del aguacate Hass de Colombia en los mercados globales. La investigación parte del reconocimiento de que el sistema actual de trazabilidad presenta limitaciones importantes, como el uso de registros manuales, la falta de integración tecnológica y la baja conectividad entre los diferentes actores de la cadena de valor.

La metodología se desarrolló en cinco etapas. En primer lugar, se realizó un diagnóstico del contexto agroexportador para identificar los principales desafíos tecnológicos y administrativos que afectan el control de la información. Luego, se diseñó un modelo conceptual basado en blockchain híbrido, que conecta a productores, empaques, transportadores, exportadores y entidades de control sanitario, permitiendo que los datos sean verificables y seguros.

En la tercera Etapa, el modelo fue validado teóricamente con base en normas internacionales como la ISO 22005:2007 y en regulaciones de la FDA, la Unión Europea y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), lo que garantizó su coherencia técnica y legal. Posteriormente, se propuso una hoja de ruta para su implementación gradual, incluyendo estrategias de capacitación, interoperatividad con dispositivos IoT y una estructura de gobernanza compartida. Finalmente, se evaluó el impacto esperado, evidenciando mejoras en la trazabilidad, la reducción de pérdidas logísticas, el cumplimiento normativo, la confianza comercial y el acceso a nuevos mercados.

Los resultados muestran que la adopción de blockchain puede transformar la gestión de la información en la cadena del aguacate Hass, fortaleciendo la transparencia y la sostenibilidad del sector. Su aplicación representa una oportunidad para posicionar a Colombia como referente en innovación tecnológica agroalimentaria, contribuyendo al desarrollo rural y a la competitividad internacional de sus productos agrícolas.

Palabras clave: Blockchain, Cadena de suministros, Aguacate Hass, Blockchain federado, Blockchain publico

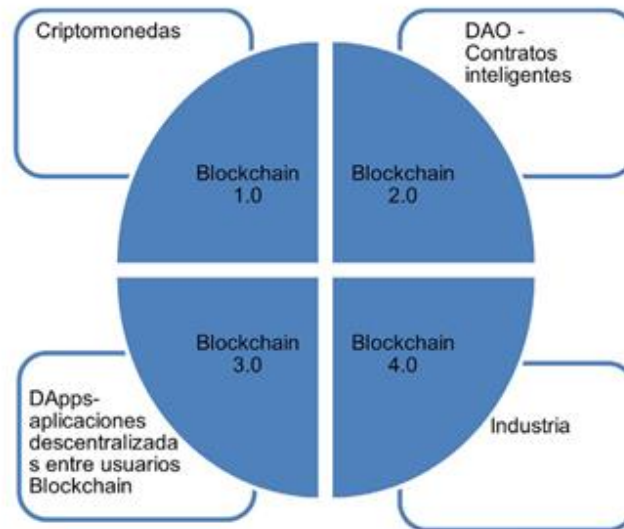
1. Marco conceptual

1.1. Blockchain: conceptos y fundamentos

Blockchain surge como una tecnología con el fin de registrar y distribuir de manera descentralizada información en bloques que están enlazados criptográficamente en forma lineal, protegiendo la integridad, la transparencia y trazabilidad de los datos.

Esta tecnología Blockchain aparece en el año 2008 junto a la criptomoneda Bitcoin por el seudónimo Satoshi Nakamoto, fue responsable de introducir el concepto de Blockchain y el crecimiento de criptomonedas en aplicaciones financieras. (Marriaga & Bonfante, 2023)

Ilustración 1: Etapas de evolución de la tecnología Blockchain.



Fuente: (Marriaga & Bonfante, 2023)

La tecnología Blockchain ha tenido cambios y evolución de una manera agresiva. La primera generación se da inicio cuando se populariza el bitcoin en el año 2008. La segunda generación se marcó con la introducción de los contratos inteligentes que ayudaron a proporcionar funcionalidad más allá de las transacciones en efectivos como acciones, préstamos y propiedades inteligentes.

La tercera generación ya había crecido, abarcando un área de aplicación más extensa que traía soluciones basadas en blockchain para usos que van más allá de la banca y las finanzas, ofreciendo servicios en sectores como la atención médica, el gobierno y la ciencia, entre otros.

finalmente la cuarta generación, la tecnología blockchain va encaminando y desarrollando en el mundo de la inteligencia artificial e inteligencia digital. (López-Sorribes et al., 2023)

Y por último la cuarta generación, la tecnología blockchain va encaminando en el tema de la inteligencia artificial (IA) e inteligencia digital. (López-Sorribes et al., 2023)

1.2. Componentes claves

Blockchain que se basa en distribuir en múltiples y diferentes nodos cada uno llevando su propia característica, creando una red que se encarga de eliminar la necesidad de una autoridad central y que llega a aumentar la resistencia a la censura. La inmutabilidad es uno de los aspectos importantes para la tecnología Blockchain que permite hacerla altamente segura lo que no cualquiera puede realizar manipulaciones o modificaciones. Estos mecanismos de consenso son importantes para validar las transacciones y se aseguran de que todos los nodos estén de acuerdo sobre el estado de blockchain (Agrawal et al., 2021). Los bloques son datos que se organizan con cada uno conteniendo una información de transacciones y con una marca de tiempo (Agrawal et al., 2021)

1.3. Tipos de Blockchain

Existen diferentes tipos de blockchain, cada una portando sus propias características para cada caso de uso. El **blockchain público** es una cadena abierta lo que permite ingresar al usuario o participante a la red sin ningún tipo de autorización. El público en general se puede participar con libertad debido a la descentralización. El Bitcoin y Ethereum son criptomonedas con códigos abiertos, lo que logra entender que cualquier usuario se permite ingresar y usar las cadenas de bloques (López & Unda, 2018). El **blockchain privado** es una cadena en la que solo un ente u organización tiene acceso a toda la red, debido a que las cadenas de bloques son centralizadas a contrario a la pública. La cadena de bloque privada está controlada y con cierto nivel de seguridad para poder controlar el acceso a los datos (López & Unda, 2018). La **cadena de bloque híbrido** es una forma en que los datos pueden ser visibles por los usuarios, pero también pueden ser manipulados. Blockchain híbrido no es más que una combinación de características de entidades públicas y privadas que ofrece flexibilidad y control (López & Unda, 2018). El blockchain federado es un tipo de red que se forma a partir de un número determinado de organizaciones, entidades o empresas que se encargan de su administración y que mantienen copias sincronizadas del blockchain. (López & Unda, 2018) En cuanto a Blockchain as a Service (BaaS), se trata de grandes compañías que brindan servicios de blockchain en la nube, donde los usuarios pueden navegar de forma segura y acceder a la información que desean almacenar.

1.3.1. Ventajas y limitaciones generales

Seguridad: La seguridad de blockchain es una de las principales ventajas. La inmutabilidad de los datos, la descentralización y los mecanismos de consenso permiten que sea extremadamente difícil alterar o manipular la información almacenada. (Guaña-Moya et al., 2022)

Transparencia: Todas las transacciones que se registran en blockchain son visibles para los usuarios o participantes de la red. Sin embargo, la transparencia puede variar dependiendo del tipo de blockchain. El blockchain público es el que ofrece mayor transparencia a comparación de los demás. (Guaña-Moya et al., 2022)

Costos: Al implementar o utilizar esta tecnología Blockchain puede ser un factor limitante para algunas organizaciones. Los costos pueden incluir el desarrollo de toda una infraestructura, el consumo de energía, las tarifas de transacción y mantenimiento de la red. Sin embargo, también puede reducir costos al eliminar intermediarios, automatizar procesos y mejorar la eficiencia. (Khatun & Darwish, 2025)

Escalabilidad: Es un desafío para esta tecnología. A medida que aumenta el nivel de transacciones, la red puede volverse más lenta y costosa de utilizar. Algunas blockchain como Bitcoin tienen limitaciones en cuanto al número de transacciones. (Khatun & Darwish, 2025)

1.4. Blockchain y gestión de información en cadenas de suministro

El blockchain es una tecnología que permite gestionar la información con alta transparencia, inmutabilidad y trazabilidad. Gracias a estas características ayuda a facilitar la creación de registros fiables y verídicos de cada transacción o movimiento de los productos durante el proceso

La descentralización y la adherencia a los principios de no repudio garantizan que toda información sea registrada con autenticidad y no pueda ser modificada sin consenso, fomentando la confianza entre los actores involucrados. Blockchain permite el acceso a los datos, mejorando la eficiencia, trazabilidad y transparencia, lo cual es importante en sectores sensibles como la alimentación. (Marriaga & Bonfante, 2023)

2. Marco contextual

Las cadenas de suministros se definen como esta etapa implica organizar, llevar a cabo y supervisar la circulación efectiva de materiales, datos y productos terminados a lo largo de la cadena, desde el proveedor hasta el consumidor, para satisfacer las demandas y deseos.

2.1. Características específicas de la cadena alimentaria:

La cadena de suministro de productos alimenticios se caracteriza por la corta vida útil de sus productos, lo que exige una gestión eficiente de la información para

poder disminuir los riesgos y asegurar la calidad hasta que llegue a manos del consumidor. Esto conlleva a que se debe conocer y se debe controlar todos los factores que influyen en el producto, desde su origen hasta su almacenamiento implementando tecnología que garanticen la seguridad y la transparencia. Es importante generar confianza en el consumidor mediante la certificación del origen y la trazabilidad de cada etapa del proceso, utilizando herramientas y sensores para un monitoreo en tiempo real.

La cadena de suministro de alimentos se enfrenta a múltiples desafíos que afectan la eficiencia en la sostenibilidad y transparencia. Uno de los problemas más relevantes es la falta de trazabilidad, entendida como el proceso de rastrear y seguir un alimento a lo largo de la cadena de producción, procesamiento y distribución mediante registros físicos o digitales. Sin embargo en el contexto colombiano, la implementación de sistema de trazabilidad enfrenta limitaciones significativas según, (Maya Trujillo et al., 2021) , persisten asimetrías en el flujo de información entre los diferentes eslabones de la cadena , lo que genera un impacto en el nivel de integración y dificulta la coordinación entre la ausencia de modelos tecnológicos y accesibles, limita el intercambio de datos en tiempo real afectando la toma de decisiones y la capacidad de respuestas ante riesgos.

La informalidad de pequeños productores, quienes presentan una parte considerable de la producción de alimentos en el país. La informalidad genera desigualdades dentro de la cadena, pequeños productores no logran acceder a los mismos beneficios económicos ni a los mercados internacionales donde se exigen las certificaciones de origen y trazabilidad.

2.2. Estrategias para la adopción del blockchain en la agroindustria colombiana

En Colombia, la adopción de blockchain podría fortalecer la trazabilidad, la transparencia y la inclusión financiera en el sector agroindustrial. Algunas estrategias clave serían:

2.2.1. Identidad digital para pequeños productores

Desarrollar sistemas de identidad digital que permitan a los productores no bancarizados construir una reputación digital, facilitando su acceso a servicios financieros y comerciales.

2.2.2. Trazabilidad de productos estratégicos

Priorizar productos de exportación como café, cacao, aguacate y frutas tropicales. La implementación de blockchain junto con sensores IoT permitiría un monitoreo automático y confiable desde el cultivo hasta la exportación.

2.2.3. Uso de infraestructuras existentes: LACChain

Para reducir costos, se pueden aprovechar infraestructuras blockchain ya disponibles, como LACChain, una red público-permisionada desarrollada por BID Lab. Esta red opera sin costo transaccional y permite la identificación y

cumplimiento regulatorio de los nodos participantes. (Pardo Vegezzi & Allende López, 2019)

2.2.4. Tokenización de comodines agrícolas

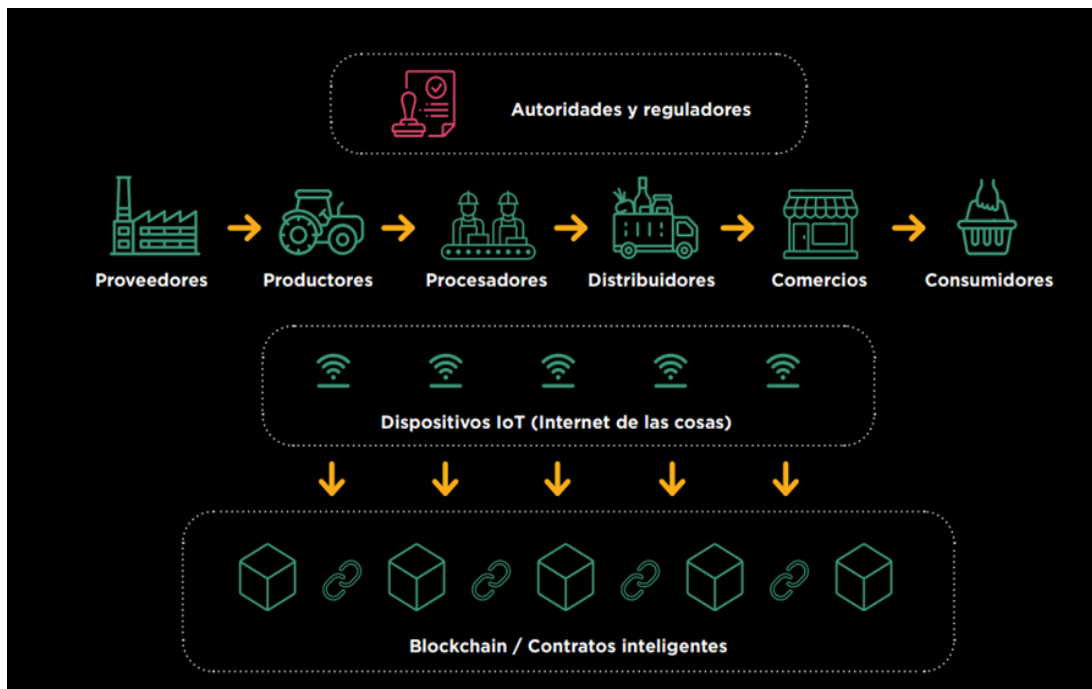
Inspirándose en el caso argentino de Agrotoken, se podrían tokenizar productos como café, cacao, arroz o maíz en Colombia, permitiendo crear activos digitales respaldados por materias primas agrícolas.

2.2.5. Sistemas de garantías descentralizadas

Implementar fondos de garantía comunitarios y sistemas de microcréditos descentralizados entre productores, basados en reputación *on-chain*, lo que fomentaría la confianza y la cooperación entre ellos. (UNIMINUTO, 2020)

La siguiente figura ilustra cómo las tecnologías blockchain pueden integrarse en las cadenas agroindustriales tanto a nivel nacional como internacional, conectando productores, procesadores, distribuidores y comercios mediante dispositivos IoT y contratos inteligentes.

Ilustración 1: Integración de blockchain e IoT en las cadenas agroindustriales



Fuente: Adaptado de Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias en América Latina y el Caribe”, 2021.

<https://publications.iadb.org/es/casos-de-uso-de-blockchain-en-las-cadenas-de-valor-agropecuarias-america-latina-y-el-caribe>

3. Objetivo general

Implementar blockchain para asegurar trazabilidad y competitividad en exportaciones del aguacate Hass colombiano mediante la digitalización de la cadena de suministros, dando verificación transparente y segura de los datos, apoyando la integración entre productores y exportadores.

3.1. Objetivos específicos

- Determinar el estado actual que manejan los procesos de trazabilidad, registro y control de la calidad en la cadena de valor del aguacate Hass colombiano.
- Analizar el marco normativo que existe tanto en Colombia como a nivel internacional con respecto al uso de blockchain en la gestión de la cadena de suministros.
- Diseñar un modelo con base en la arquitectura blockchain que permita darle registro de forma segura y verificable a la información desde la producción hasta la exportación
- Desarrollar una estrategia de capacitación y sensibilización en los actores involucrados a cerca del uso y los beneficios que tiene el blockchain en la trazabilidad agroexportadora.
- Implementar un plan piloto de registro digital basado en blockchain validando su funcionalidad en la gestión de datos logísticos, fitosanitarios y comerciales.
- Evaluar el impacto que genera el uso de blockchain en la eficiencia, transparencia y competitividad de las exportaciones de aguacate Hass colombiano.

4. Marco normativo

4.1. Marco normativo nacional e internacional

Hoy día, nuestro país exporta algunos productos agrícolas de alto valor como son el banano, café, flores, aguacate Hass y cacao hacia mercados con estrictas normas de trazabilidad y seguridad alimentaria, principalmente Estados Unidos, la Unión Europea y, en menor medida, Asia. Estos destinos exigen que cada alimento pueda ser rastreado a lo largo de todas las etapas de producción, procesamiento y distribución, conforme al principio de trazabilidad establecido por el Reglamento General de Alimentación de la Unión Europea (European Commission, s. f.) y las disposiciones de la Food and Drug Administration (FDA)

en Estados Unidos, especialmente bajo la Food Safety Modernization Act (FSMA), que incluye la Food Traceability List (U.S. FDA, 2024).

En el caso específico del comercio internacional del aguacate Hass colombiano, está regulado por un conjunto de normas nacionales e internacionales que buscan garantizar la inocuidad, trazabilidad y sostenibilidad de los productos agroalimentarios. Estas disposiciones establecen los lineamientos que deben cumplir los productores y exportadores para acceder y mantenerse en los mercados globales, especialmente en destinos como Estados Unidos, la Unión Europea y Asia, donde se imponen altos estándares de control sanitario y transparencia.

4.2. Marco normativo internacional

A nivel internacional, la trazabilidad alimentaria está regida por el Reglamento (CE) N.º 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, conocido como el Reglamento General de Alimentación de la Unión Europea, que establece la obligación de garantizar la trazabilidad en todas las etapas de producción, transformación y distribución de alimentos (European Commission, s. f.). Este reglamento exige que cada alimento exportado hacia el bloque europeo pueda ser rastreado desde su origen hasta su punto de venta final, como garantía de seguridad y confianza para los consumidores.

En los Estados Unidos, la Food Safety Modernization Act (FSMA), administrada por la Food and Drug Administration (FDA), incluye la Food Traceability Rule y la Food Traceability List (U.S. FDA, 2024), que obligan a los exportadores a mantener registros digitales verificables de los puntos críticos del proceso logístico. Para el aguacate Hass, considerado un alimento de alto riesgo por su corta vida útil y manipulación postcosecha, estos controles son esenciales para conservar su calidad y reducir rechazos en aduanas.

En mercados asiáticos como Japón y China, los requisitos de importación se sustentan en protocolos fitosanitarios bilaterales y en estándares internacionales como el Codex Alimentarius, que define prácticas seguras para la manipulación, almacenamiento y transporte de productos agrícolas frescos (FAO/WHO, 2023). Estos países también promueven la adopción de sistemas digitales de trazabilidad y certificaciones electrónicas de origen, lo que hace especialmente viable la introducción de tecnologías blockchain.

Asimismo, la norma ISO 22005:2007 establece los principios generales para diseñar e implementar sistemas de trazabilidad en la cadena alimentaria, definiendo requisitos sobre identificación de lotes, recopilación de información y mantenimiento de registros confiables. (International Organization for Standardization, 2007). Esta norma constituye una referencia técnica clave para estructurar modelos basados en blockchain en el sector agroexportador.

4.3.Marco normativo nacional

En Colombia, el marco normativo que regula la producción y exportación del aguacate Hass se fundamenta en disposiciones del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). El ICA, mediante la Resolución 448 de 2016, adoptó los requisitos fitosanitarios para la exportación de aguacate Hass hacia Estados Unidos, los cuales incluyen protocolos de trazabilidad desde el predio hasta el punto de empaque. De igual manera, el Decreto 1500 de 2007 y la Resolución 2674 de 2013 establecen los parámetros de inocuidad y buenas prácticas en alimentos, aplicables a productos frescos destinados al consumo humano.

En cuanto a la certificación de buenas prácticas agrícolas, la Resolución 30021 de 2017 del ICA define los lineamientos para obtener la certificación BPA (Buenas Prácticas Agrícolas), requisito indispensable para acceder a mercados internacionales. Este estándar exige la identificación de lotes, el registro de insumos utilizados, las condiciones de cosecha y postcosecha, y los mecanismos de trazabilidad documental.

Adicionalmente, la Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo) y la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (CONPES 4058 de 2021) promueven la adopción de tecnologías emergentes como blockchain, inteligencia artificial e internet de las cosas (IoT) para optimizar la productividad y la transparencia del sector agropecuario colombiano.

El aguacate Hass se ha posicionado como uno de los productos agrícolas no tradicionales de mayor crecimiento en Colombia, registrando un incremento del 15,77 % en las exportaciones durante 2024 en comparación con el año anterior (Portafolio, 2024). Antioquia es actualmente el principal departamento productor y exportador, concentrando cerca del 60 % de la producción nacional y más de 4.500 predios certificados (Portafolio, 2024).

En el ámbito normativo, el Decreto 931 de 2018 regula el Sistema de Trazabilidad Vegetal, estableciendo que los productores, transformadores, transportadores, distribuidores o comercializadores de especies vegetales comestibles deben cumplir con los procesos de trazabilidad desde la producción hasta la comercialización (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Asimismo, la certificación GLOBALG.A.P. se ha convertido en un requisito fundamental para la exportación de aguacate Hass colombiano, ya que garantiza la implementación de buenas prácticas agrícolas, sostenibilidad ambiental y trazabilidad del producto (Corporación Hass Colombia, 2024). Por su parte, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) verifica el cumplimiento de los estándares fitosanitarios exigidos por los mercados internacionales, otorgando el Certificado Fitosanitario de Exportación que avala la inocuidad del fruto (ICA, 2024).

Finalmente, el Decreto 690 de 2021 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo fortalece el sistema nacional de calidad y la interoperabilidad de plataformas de trazabilidad, estableciendo un marco favorable para implementar soluciones tecnológicas de registro distribuido que integren la información de productores, exportadores y entidades de control.

En este escenario, el blockchain se perfila como una herramienta estratégica para que las cadenas de exportación colombianas cumplan con dichas normativas. Su estructura descentralizada y su capacidad para generar registros inmutables permiten garantizar la integridad, transparencia y verificabilidad de los datos exigidos por las autoridades internacionales. Además, al integrarse con los sistemas de gestión de calidad y certificaciones como ISO 22005:2007 —norma internacional que define los principios y requisitos básicos para la trazabilidad en la cadena alimentaria— (ISO, 2007), esta tecnología puede fortalecer el cumplimiento normativo y agilizar las auditorías en comercio exterior. Por tanto, cualquier propuesta tecnológica orientada a la trazabilidad alimentaria en Colombia debe diseñarse de manera que cumpla simultáneamente con la normativa nacional (ICA e INVIMA) y los estándares internacionales requeridos por los principales países importadores. Solo de esta forma la adopción del blockchain podría adoptar algún valor tangible en términos de competitividad, confianza comercial y acceso a otros grandes mercados que requieran un valor agregado.

5. Metodología de la implementación tecnológica.

El estudio adopta una metodología dividida en cinco etapas principales, que permiten avanzar desde el diagnóstico del contexto hasta la propuesta de implementación y la evaluación de su impacto potencial.

Etapas 1. Diagnóstico del contexto y selección del producto piloto

Objetivo: Comprender las condiciones actuales del sector agroexportador del aguacate Hass en Colombia y los principales desafíos asociados a la trazabilidad, transparencia y competitividad.

Actividades:

- Analizar la estructura de la cadena de valor del aguacate Hass colombiano, desde la producción primaria hasta la exportación.
- Identificar los principales actores involucrados (productores, empacadores, transportadores, exportadores y autoridades de control).
- Revisar la normativa nacional e internacional en materia de trazabilidad alimentaria (ICA, INVIMA, FDA, UE, Codex Alimentarius, entre otros).
- Detectar brechas tecnológicas y limitaciones en los mecanismos actuales de registro y control de información.

Resultado esperado: Un diagnóstico integral del sistema de trazabilidad del aguacate Hass colombiano, identificando oportunidades de mejora mediante la incorporación de tecnologías blockchain.

Etapa 2. Diseño conceptual del modelo blockchain

Objetivo: Estructurar conceptualmente el modelo de aplicación del blockchain dentro de la cadena de suministro del aguacate Hass.

Actividades:

- Definir el tipo de red blockchain más adecuada (pública, privada o híbrida) según las necesidades del sector.

- Establecer los nodos o actores que participarían en la red (productor, empacador, transportador, exportador, autoridad sanitaria y cliente final).

- Determinar la información que se registraría en cada etapa del proceso (identificación de lotes, certificaciones, condiciones de transporte, registros de temperatura, fechas, entre otros).

- Diseñar los flujos de información y los puntos de validación entre los actores involucrados.

Resultado esperado: Un modelo conceptual de trazabilidad basado en blockchain, representado mediante diagramas de flujo y estructura de datos que reflejen su funcionamiento teórico.

Etapa 3. Validación teórica del modelo

Objetivo: Evaluar la coherencia técnica y normativa del modelo propuesto, asegurando su alineación con estándares internacionales y regulaciones locales.

Actividades:

- Analizar cómo se ajusta el modelo a los requisitos establecidos por la norma ISO 22005:2007, así como a las regulaciones de la FDA y la Unión Europea..

- Verificar su correspondencia con los sistemas nacionales de control fitosanitario (ICA, INVIMA).

- Contrastar la propuesta con experiencias documentadas de implementación de blockchain en la trazabilidad agroalimentaria internacional.

- Consultar literatura científica, técnica y casos de éxito que respalden la viabilidad del modelo.

Resultado esperado: Un modelo teóricamente validado y fundamentado en buenas prácticas internacionales de trazabilidad y gestión de datos agroalimentarios.

Etapa 4. Propuesta de implementación gradual modelo

Objetivo: Elaborar un plan progresivo de adopción del blockchain en la cadena de valor del aguacate Hass colombiano.

Actividades:

- Diseñar una hoja de ruta que contemple las etapas de sensibilización, capacitación, digitalización de registros y adopción tecnológica.
- Identificar los requerimientos técnicos, humanos y financieros para su implementación.
- Proponer una estructura de gobernanza y control para la red blockchain, definiendo roles y responsabilidades.
- Formular un cronograma tentativo de implementación, estableciendo etapas a corto, mediano y largo plazo.

Resultado esperado: Una propuesta metodológica de implementación escalonada, orientada a maximizar la viabilidad técnica, económica y operativa del modelo en el contexto colombiano.

Etapa 5. Evaluación del impacto esperado

Objetivo: Estimar los beneficios potenciales, riesgos y desafíos asociados a la adopción del modelo blockchain propuesto.

Actividades:

- Identificar indicadores de impacto relacionados con la competitividad, confianza comercial, sostenibilidad y eficiencia operativa.
- Evaluar los beneficios esperados en términos de trazabilidad, reducción de pérdidas, cumplimiento normativo y acceso a nuevos mercados.
- Analizar los riesgos técnicos, regulatorios y financieros que podrían limitar la adopción del modelo.

Resultado esperado: Un análisis prospectivo que permita estimar el impacto potencial del blockchain en la trazabilidad del aguacate Hass colombiano,

apoyando futuras decisiones de inversión e innovación tecnológica en el sector agroexportador.

6. Desarrollo e implementación del aprendizaje

6.1. ETAPA 1: Diagnóstico y caracterización del sistema de trazabilidad actual del aguacate Hass en Colombia

Objetivo de la Etapa

Analizar el estado actual de la trazabilidad en la cadena de suministro del aguacate Hass en Colombia, identificando sus principales limitaciones tecnológicas, administrativas y de transparencia, para definir las oportunidades de mejora mediante la implementación de un modelo basado en blockchain.

6.1.1. Funcionamiento actual del sistema de trazabilidad del aguacate Hass

La cadena de valor del aguacate Hass colombiano comprende varias etapas: producción primaria, acopio, procesamiento y exportación. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el flujo de información entre actores es fragmentado y poco digitalizado, lo que limita la trazabilidad integral del producto.

- a. **Producción primaria:** El proceso inicia con la selección de semillas certificadas y terrenos que cumplan condiciones agroclimáticas específicas. En algunos casos, los productores implementan buenas prácticas agrícolas bajo estándares internacionales, pero aún persiste un alto grado de informalidad en el registro de datos sobre insumos, fertilización, riego y control de plagas (Corporación Hass Colombia, 2024).
En departamentos como Antioquia, Tolima y Cauca, algunas fincas han comenzado a incorporar herramientas de agricultura de precisión, como sensores de suelo y drones, que permiten optimizar la producción y fortalecer la trazabilidad de origen. Sin embargo, su adopción es limitada por los costos y la falta de capacitación técnica (Agrolatam, 2023). Adicionalmente, los pagos a los trabajadores rurales y pequeños productores suelen realizarse de manera informal, dificultando la trazabilidad socioeconómica y la verificación de condiciones laborales justas (FAO, 2023).
- b. **Cosecha, acopio y postcosecha:** En los centros de acopio se registran datos como peso, fecha de cosecha y número de lote, aunque la mayoría de estos registros aún se efectúan de manera manual o mediante hojas de cálculo no integradas con los sistemas de las exportadoras. Esto genera inconsistencias y pérdida de información (FAO, 2023).

La manipulación y conservación del fruto en esta etapa es crítica. Estudios desarrollados por Agrosavia y la FAO han señalado la necesidad de aplicar protocolos estandarizados de manejo postcosecha, con el fin de mantener la calidad exportable del aguacate Hass colombiano (Agrosavia, 2023). Sin

- embargo, el monitoreo en tiempo real de variables como temperatura, humedad y transporte sigue siendo deficiente.
- c. **Procesamiento y exportación:** En la etapa de exportación, las empresas exportadoras utilizan sistemas internos para el control de lotes y cumplimiento de requisitos fitosanitarios. No obstante, la información recolectada durante la producción y postcosecha no siempre se integra o comparte con los demás actores de la cadena.
- El ICA certifica los predios y plantas empacadoras autorizadas para exportar, verificando la ausencia de plagas y el cumplimiento de estándares internacionales (ICA, 2024). Sin embargo, la información sobre el origen del fruto, las prácticas agrícolas aplicadas o las condiciones laborales no suele estar disponible para el consumidor final ni es verificable más allá de los certificados (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

6.1.2 Problema central identificado:

Ausencia de un sistema de trazabilidad digital, interoperable y verificable en la cadena del aguacate Hass colombiano, que permita registrar y validar de forma confiable el origen, las prácticas agrícolas, las condiciones laborales y el historial logístico del producto exportado.

Causas principales

Fragmentación tecnológica: uso de registros manuales o sistemas inconexos.

Falta de estandarización: ausencia de bases de datos unificadas o interoperables entre actores.

Limitada digitalización rural: baja conectividad y acceso a tecnologías por parte de pequeños productores.

Barreras económicas: altos costos de certificación y de adopción tecnológica.

Débil transparencia: información incompleta sobre procesos, condiciones laborales y sostenibilidad.

Efectos principales

Dificultad para garantizar la trazabilidad total del producto exportado.

Pérdida de competitividad frente a países con sistemas tecnológicos más avanzados, como México y Perú.

Mayor vulnerabilidad ante rechazos o sanciones en mercados internacionales.

Incremento en los costos de auditoría y control.

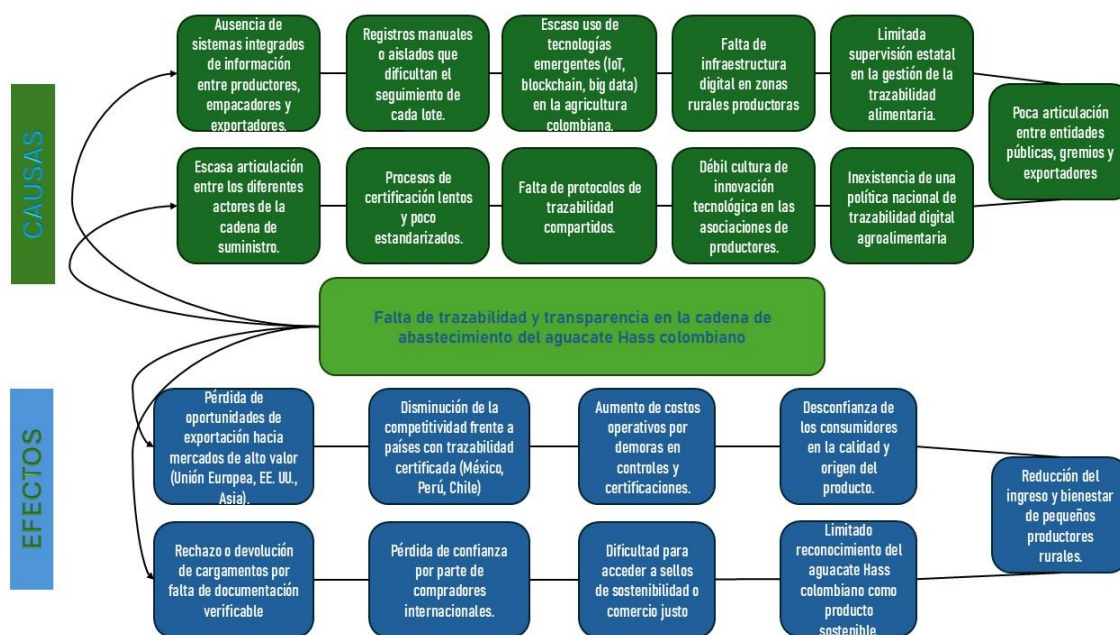
Desconfianza del consumidor final y menor valor agregado del producto colombiano.

6.1.3. Potencial de la tecnología blockchain

La tecnología blockchain podría transformar el sistema de trazabilidad del aguacate Hass al permitir el registro descentralizado, inmutable y verificable de

cada etapa del proceso, desde la siembra hasta la exportación. Su aplicación posibilitaría la integración de datos entre productores, acopiadores, transportadores y exportadores, generando transparencia, confianza y competitividad internacional (ISO, 2007).

Ilustración 3: Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia

6.2. ETAPA 2. Diseño conceptual del modelo Blockchain.

OBJETIVO: Estructurar conceptualmente el modelo de aplicación del blockchain dentro de la cadena de suministro del aguacate Hass.

El modelo busca crear una trazabilidad digital basada en blockchain híbrido, que permita verificar de manera segura y confiable cada etapa del proceso. Esto no solo mejora el control interno y reduce los errores, sino que también fortalece la confianza del consumidor y facilita el acceso a mercados internacionales.

Para desarrollar este modelo, fue necesario identificar el tipo de red blockchain que mejor se adapta a las necesidades del sector aguacatero colombiano. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC, 2022) identificó tres tipos principales de redes blockchain: públicas, privadas e híbridas.

Los sitios web públicos son completamente abiertos y permiten a todos los usuarios participar en la verificación de transacciones. Los sitios web privados están controlados por empresas o coaliciones. Las redes híbridas combinan las características de ambos, otorgando acceso a dispositivos específicos y al público a datos seleccionados.

Según las Directrices de Datos Blockchain de 2022 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), los sectores que almacenan datos sensibles, como la industria agrícola, se beneficiarían de modelos de coalición o híbridos, que son estrategias para mejorar la transparencia y el anonimato de los datos.

De igual manera, el anuncio oficial del Ministerio de Agricultura sobre el uso de blockchain en la trazabilidad agrícola afirma que este tipo de tecnología garantiza la calidad y la confianza del cliente mediante el registro de los datos de cada productor (Agronet, 2024). Por lo tanto, el modelo para la cadena de suministro de aguacate de Haas se basará en una organización híbrida de blockchain o un consorcio del sector privado con participantes autorizados (productores, empaques, transportistas, exportadores, autoridades sanitarias y organismos de certificación) que actuarán como auditores. Este proyecto buscará un equilibrio entre la transparencia, la delegación y la gobernanza compartida

6.2.1. **Nodos o actores participantes**

Los actores que formarían parte de la red serían:

el productor, que registra la información del cultivo y prácticas agrícolas;

el empaquetador, que verifica la calidad del fruto;

el transportador, que reporta las condiciones del envío;

el exportador, que sube los certificados y documentos de exportación;

el ICA y Corpohass, que validan los datos y garantizan la trazabilidad;

y finalmente, el cliente final, que puede consultar el historial del producto mediante un código QR.

De esta forma, cada participante sería responsable de subir información real y verificable, evitando alteraciones o pérdidas de datos (Uribe, 2025; Corpohass, 2024).

En cada etapa se registrarían datos clave para mantener la trazabilidad del aguacate.

Durante la producción, se incluirían detalles del lote, la ubicación y las fechas de siembra.

En el empaque, se registrarían el peso, calibre, certificaciones y condiciones del fruto.

Durante el transporte, se podrían añadir registros automáticos de temperatura y humedad.

Etapas de la cadena
Producción

Datos registrados en Blockchain
Código de finca, coordenadas GPS,
prácticas agrícolas, fertilización, riego,

| | |
|---|--|
| Empaque y clasificación | aplicación de fitosanitarios, fecha de siembra. Lote, fecha de recepción, calidad del fruto (calibre, peso, color), fotos, certificados de BPA y GlobalG.A.P. |
| Transporte interno y exportación | Temperatura, humedad, trayecto, fechas, contenedor, puerto de destino. |
| Validación y control | Certificados de exportación, trazabilidad sanitaria, aprobación del ICA. |
| Comercialización final | Fecha de entrega, país de destino, comprador, precio de exportación, evaluación de calidad. |

Fuente: Elaboración propia.

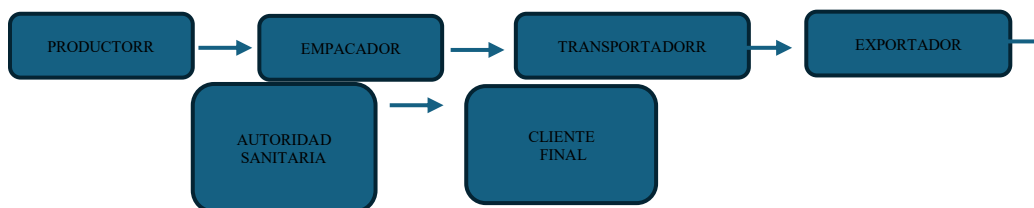
En la exportación, se guardarían los certificados del ICA y la información del envío.

Por último, el cliente podría verificar toda esta información al momento de la compra.

Como señalan (colombiadmin, 2021) y Ortiz et al. (2024), este tipo de registro ayuda a estandarizar los datos y reducir los errores entre los distintos eslabones de la cadena.

6.2.2. Flujos de información y validación

El flujo de información seguiría el orden natural de la cadena:



El modelo propuesto se basa en un flujo continuo de información que comienza en el productor y termina en el consumidor final. Cada bloque que se genera en la red es validado por los actores correspondientes, asegurando la confiabilidad de los datos.

Resultado:

El resultado esperado de esta Etapa es un modelo conceptual de trazabilidad basado en blockchain híbrido, adaptado específicamente a las condiciones del aguacate Hass colombiano. Este modelo permitirá garantizar la integridad y la seguridad de la información desde la producción hasta la exportación, reduciendo los errores manuales y mejorando la coordinación entre los diferentes actores.

También contribuirá a cerrar las brechas tecnológicas identificadas en los informes de (colombiadmin, 2021) y Uribe Gaviria (2025), al incorporar herramientas digitales que faciliten la captura y verificación de datos en tiempo real. Además, generará una ventaja competitiva importante para el país, ya que la trazabilidad confiable es un requisito cada vez más exigido en los mercados internacionales.

En general, este sistema no solo moderniza la cadena de suministro del aguacate Hass, sino que también promueve la sostenibilidad, la transparencia y la confianza del consumidor final, en línea con los objetivos de digitalización y sostenibilidad del sector agroexportador colombiano.

6.3. ETAPA 3 Análisis de compatibilidad con normas internacionales

Objetivo: Evaluar la coherencia técnica y normativa del modelo propuesto, asegurando su alineación con estándares internacionales y regulaciones locales

El modelo fue contrastado con los principios que están establecidos en la norma ISO 22005:2007, la que define los requisitos para el diseño e implementación de sistema de trazabilidad en la cadena alimentaria. Esta norma enfatiza la necesidad de garantizar la identificación única de los productos, la documentación de los flujos de información y la transparencia a lo largo de la cadena de suministro (*ISO 22005:2007(es)*)

A su vez se verificó su coherencia con la FSMA (food safety modernization), precisamente con la regla de trazabilidad (FSMA204) emitida por la U.S. Food and Drug Administration (FDA, 2022), que exige registros digitales interoperables para ciertos alimentos de alto riesgo.

En el contexto europeo, se revisaron las disposiciones del reglamento (*Regulation - 2021/2117 - EN - EUR-Lex.*), el cual refuerza la trazabilidad y el control de los productos agroalimentarios dentro del mercado único, alineando los procedimientos de seguridad alimentaria con la sostenibilidad y transparencia informativa (European Commission, 2021)

6.3.1. Correspondencia con sistemas nacionales de control fitosanitario

ICA, INVIMA

El modelo fue comparado con las políticas nacionales de trazabilidad agropecuaria del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA y la regulación sanitaria de Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA)

El ICA promueve la implementación de sistema de trazabilidad como una herramienta que fortalece la inocuidad, ayuda facilitar el comercio internacional garantizando el control sanitario en la producción primaria.

6.3.2. **Contraste con experiencia internacional de implementación de Blockchain.**

Investigaciones recientes confirman que el uso de Blockchain en las cadenas agroalimentarias mejoran las transparencia, reduciendo riesgo de fraude y falsificación de autenticidad de los productos .(Kamilaris et al., 2019).Según (Galvez et al., 2018)destacan que la inmutabilidad de los registros asegura y garantiza la integridad de los datos a lo largo del ciclo de vida del producto, lo que promueve la confianza entre productores , distribuidores y consumidores.

Se realizo una revisión de literatura académica y técnica que incluye estudios de la FAO 2020sobre la implementación de sistemas de trazabilidad efectivos, así como casos de rediseño de procesos y cadenas de suministro en la industria alimentaria. (Ansorena et al., 2009)

Además, se analizaron lineamientos del codex alimentarius(FAO & WHO,2019) y estándares globales de trazabilidad como el GS1 Global Traceability standard(GS1,2021)los cuales refuerzan la interoperabilidad y la gestión eficiente de la información nivel internacional.

Un modelo teóricamente validado y fundamentado en buenas prácticas internacionales de trazabilidad y gestión de datos agroalimentarios, alineado con las normativas ISO, FDA, Unión Europea y las políticas nacionales (ICA E INVIMA). La validación respaldada la viabilidad técnica del modelo y su potencial para fortalecer la transparencia, la seguridad alimentaria y su competitividad del sector agroalimentario.

6.4. **ETAPA 4: Propuesta de implementación gradual modelo**

Objetivo: Adoptar la tecnología blockchain en la cadena de valor del aguacate Hass buscando darle mejora a la trazabilidad, la confianza comercial, el cumplimiento fitosanitario establecido por los entes gubernamentales colombianos, así como mejorar el acceso de mercados por medio de un despliegue progresivo que está diseñado a la medida productiva de Colombia.

Ilustración 4 Hoja de ruta



Fuente: elaboración propia

6.4.1. **Requerimientos técnicos, humanos y financieros para la implementación de la tecnología blockchain**

Para implementar esta tecnología está la plataforma blockchain permissionada que cuenta con soportes para Smart contracts y roles (consortium chain), esta arquitectura debe seguir las buenas prácticas de arquitectura establecidas en la ISO 23257 (ISO 23257, 2022) También se necesitara interoperabilidad donde se daria uso de estándares GS1 (identificadores, EPCIS) y modelos de datos acordados (GS1 Global, 2017) con esta interoperabilidad se le da entrada a la integración con IoT dando paso a escáneres QE/GS1, APISs para ERPs y sistemas de packhouse, para brindar mayor seguridad y privacidad se le daría control de acceso, hashing de registros y gestión de identidad para actores dándole cumplimiento a las recomendaciones de privacidad para DLTs

Para la administración de los datos estaría a cargo una persona especializada en la seguridad de los datos (Data stewards) en fincas, empaquetadoras, transporte y hasta que el aguacate Hass llegue al consumidor final así también contaría con un equipo de TI para la integración, despliegue y administración de los nodos de la cadena y por ultimo para la parte humana que participaría sería un comité de gobernanza donde participen representantes del sector público y privado lo cuales serían responsables de las políticas, cambios y arbitraje de la cadena. (ISO 23635, 2022)

Los requerimientos son muy difíciles de calcular ya que se necesitan contar con las plataformas exactas y los equipos que se van a utilizar, se tendría que tener costos de desarrollo/licencias de la plataforma así como el hardware (Lectores, tabletas, sensores), la capacitación y el soporte técnico regional representa un gasto grande sin habla de los costos operativos donde entran los nodos, hosting y las auditorias y para incentivar el uso de la plataforma un fondo de incentivos para así darle inclusión a los pequeños productores lo que para entregar una estimación numérica se requeriría un diagnóstico local y propuestas de RFP

6.4.2. Estructura de gobernanza y control

La siguiente estructura de gobernanza se establece de acuerdo con las recomendaciones presentes en la ISO/TS 23635 y en prácticas de consorcios permitidas

En los órganos y roles estaría la asamblea de consorcio los cuales tomaran decisiones estratégicas y aprobaciones de políticas, un consejo de gobernanza donde habrá presencia de representantes clave como la de los productores, exportadores, ICA entre otros, los cuales definirán los KPIs, penalizaciones y las hojas de ruta (ISO 23635, 2022), habrá un operador de la red que sería el responsable operativo dando host a los nodos, asegurando disponibilidad y haciendo Backus para mantener respaldo de información, entraran en escena los proveedores de datos que se encargaran de dar captura y veracidad de la información en fincas, transportadores, etc.

Los mecanismos de control que se establecerían serian políticas de acceso y autorizaciones dando permisos a quien puede escribir, leer o validar información, También a las reglas de calidad de datos y las validaciones automáticas en Smart contracts lo que ayudaría a dar cumplimiento a leyes ya establecidas por el marco normativo colombiano, para información más sensible se tendría registros off-chain,

Ilustración 5: Cronograma tentativo de implementación



Fuente: elaboración propia

6.5. ETAPA 5: Evaluación del impacto esperado

Objetivo de la etapa: Estimar los beneficios potenciales, riesgos y desafíos asociados a la adopción del modelo blockchain propuesto.

6.5.1. Indicadores de impacto relacionados con la competitividad, confianza comercial, sostenibilidad y eficiencia operativa.

Uno de los indicadores importantes son la competitividad en el cual se establecerán los porcentajes de mejora en tiempo de respuestas ante consultas de compradores (Trazabilidad) también dando incremento a porcentajes en precio promedio FOB para lotes con trazabilidad certificada.

La confianza comercial sería otro indicador en el cual el número de compradores que acepten expedientes digitales verificables, también se daría reducción a los índices de rechazo en destino por incumplimiento, Se daría reducción en pérdidas por logística y dando uso de datos para optimizar rutas y reducir huella de

carbono dando una mejor sostenibilidad y logrando un impacto más amigable con el medio ambiente.

Por último, se daría paso a la eficiencia operativa en la cual se buscaría la reducción de horas administrativas por lote en la captura y validación de estos, y se automatizaran pagos mediante Smart contract.

6.5.2. Beneficios esperados en términos de trazabilidad, reducción de pérdidas, cumplimiento normativo y acceso a nuevos mercados.

Trazabilidad más rápida y confiable lo que facilita las recaes y comprobaciones de inocuidad, esto se evidencia en múltiples estudios en cadenas de alimentos (Ellahi et al., 2024)

Mejora los accesos a mercados exigentes como los compradores y reguladores de Japón, UE Y EE. UU ya que en estos países valoran la trazabilidad confiable, Colombia ya tiene rutas de exportación abiertas por lo que la trazabilidad facilita el cumplimiento. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019).

Reducción de pérdidas y mejora logística gracias a que se tendría mejor visibilidad y datos en real combinando IoT y Blockchain (World Bank, 2024).

Conclusiones

La implementación de la tecnología blockchain en la cadena de suministro del aguacate Hass colombiano representa una oportunidad real para modernizar los procesos de trazabilidad y fortalecer la competitividad del país en los mercados internacionales. A través de este estudio se evidenció que la falta de integración tecnológica, los registros manuales y la escasa digitalización de los pequeños productores limitan la transparencia y la eficiencia del sistema actual.

El modelo propuesto, basado en una red blockchain híbrida, permite que cada actor de la cadena —productores, empacadores, transportadores, exportadores y autoridades sanitarias— registre información verificable, reduciendo errores y garantizando la autenticidad de los datos. Esta arquitectura facilita el cumplimiento de los estándares internacionales de inocuidad y trazabilidad establecidos por organismos como la FDA, la Unión Europea y la norma ISO 22005:2007.

Asimismo, la hoja de ruta planteada demuestra que es posible una adopción progresiva de la tecnología, combinando herramientas de capacitación, interoperabilidad con sistemas IoT y mecanismos de gobernanza compartida. Estos elementos son esenciales para generar confianza entre los participantes y promover la sostenibilidad del modelo.

Entre los beneficios más relevantes se destacan la reducción de pérdidas logísticas, la optimización de tiempos en los procesos administrativos, la mejora del acceso a mercados exigentes y el fortalecimiento de la confianza comercial. Además, la automatización de registros y validaciones mediante contratos inteligentes contribuye a disminuir costos operativos y riesgos de fraude.

En conclusión, el blockchain no solo es una tecnología emergente, sino un instrumento estratégico para la transformación digital del sector agroexportador colombiano. Su aplicación en el caso del aguacate Hass sienta las bases para un modelo más transparente, competitivo y sostenible, que puede extenderse a otros productos agrícolas del país, impulsando el desarrollo rural y la innovación tecnológica en el ámbito agroalimentario.

Referencias

- Bastidas, L.R. (2007). *El inicio del siglo XXI*. Planeta. Sitio web: <http://www.rbastidasl.com/libro-inicio-del-sigloxxi>.
- Rodríguez, A., & Quevedo, J. (2024). Trazabilidad en la cadena de suministro de empresas de alimentos en Latinoamérica. *ERSC – Estudios Regionales y Sectoriales de Comercio*, 12(3), 73–87. https://www.researchgate.net/publication/384469404_Trazabilidad_en_la_cadena_de_su_ministro_de_empresas_de_alimentos_en_Latinoamerica
- Inter-American Development Bank (IDB). (s. f.). *Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/es/casos-de-uso-de-blockchain-en-las-cadenas-de-valor-agropecuarias-america-latina-y-el-caribe>
- Giraldo Navarro, M., & Uribe Echandía, M. (2022). *Tecnología “Block-Chain” para la trazabilidad de la cadena logística de exportación de frutas* [Trabajo de pregrado, Universidad EIA]. Repositorio EIA. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/c5c94059-f1ec-4514-85d3-e3c1fdcd7d35>
- Villanueva Méndez, E. (2025). La blockchain en la administración de la cadena de suministro de la industria alimentaria en México. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/ff1a918d-7c9a-4e67-8a2b-478644268fc6/content>
- Borrero, J. D. (2019). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain. *CIRIEC-España, revista de economía pública, social y cooperativa*, (95), 71-94. <https://turia.uv.es/index.php/ciriecespana/article/view/13123>
- IBM. (s. f. 2025). *Cómo utilizar IBM App Connect con IBM Food Trust*. En *IBM Docs*. <https://www.ibm.com/docs/es/app-connect/12.0.x?topic=apps-food-trust>
- UPRA & Ministerio de Agricultura. (2024, octubre). *Exportaciones agropecuarias de Colombia crecen un 11,5 % en agosto, impulsadas por el café, las flores y el aguacate*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. <https://upra.gov.co/es-co/sala-de-prensa/noticias/exportaciones-agropecuarias-de-colombia-crecen>
- European Commission. (s. f.). *General Food Law Regulation (EC) No 178/2002*. Recuperado de <https://food.ec.europa.eu/>
- Food and Drug Administration (FDA). (2024). *Food Traceability List (FTL)*. U.S. Department of Health and Human Services. Recuperado de

<https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma/food-traceability-list>

Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. (2023). *Codex Alimentarius: International Food Standards*. FAO/WHO. Recuperado de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

International Organization for Standardization. (2007). *ISO 22005:2007: Traceability in the feed and food chain — General principles and basic requirements for system design and implementation*. ISO.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016). *Resolución 448 de 2016: Por la cual se establecen los requisitos fitosanitarios para la exportación de aguacate Hass a los Estados Unidos*. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Resolución 30021 de 2017: Por la cual se establecen los requisitos para la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)*. ICA.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Resolución 2674 de 2013: Por la cual se reglamentan los requisitos sanitarios para la fabricación y manipulación de alimentos para consumo humano*. MinSalud.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2021). *Decreto 690 de 2021: Por el cual se fortalecen los sistemas de calidad e interoperabilidad de plataformas de trazabilidad*. MinCIT.

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Documento CONPES 4058: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria*. DNP. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/4058.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (2019). *Ley 1955 de 2019: Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022, Pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Diario Oficial No. 51.013.

U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service (USDA FAS). (2022). *Colombia: Fresh Avocado Annual Report 2022*. USDA FAS. Recuperado de <https://www.fas.usda.gov/>

Fresh Fruit Portal. (2025). *Exportaciones de aguacate Hass colombiano crecen en Europa y Asia*. Recuperado de <https://www.freshfruitportal.com/>

Import Globals. (2025). *Avocado Hass Export Data from Colombia 2025*. Recuperado de <https://www.importglobals.com/>

Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107130. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>

Guaña-Moya, J., Roa, H. N., Marcillo, F., Ayavaca-Vallejo, L., Chiluisa-Chiluisa, M., & Moya-Carrera, B. (2022). Tecnología Blockchain, qué es y cómo funciona. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2022(E54), 101-114. <https://puceinvestiga.puce.edu.ec/en/publications/tecnolog%C3%ADa-blockchain-qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-funciona-2>

Khatun, M., & Darwish, T. (2025). Unlocking Blockchain's Potential in Supply Chain Management: A Review of Challenges, Applications, and Emerging Solutions. *Network*, 5(3), 34. <https://doi.org/10.3390/network5030034>

López, M. A., & Unda, V. C. (2018). Blockchain: Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. *IDB Publications*. <https://doi.org/10.18235/0001139>

López-Sorribes, S., Rius-Torrentó, J., & Solsona-Tehàs, F. (2023). A Bibliometric Review of the Evolution of Blockchain Technologies. *Sensors*, 23(6), 3167. <https://doi.org/10.3390/s23063167>

Marriaga, C. E., & Bonfante, M. C. (2023). *Blockchain: Aplicación en el Comercio Internacional y en la Gestión de la Cadena de Suministro*. *Transinformação*, 35, e220028. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202335e220028>

Maya Trujillo, T., Orjuela Castro, J. A., Herrera, M. M., Maya Trujillo, T., Orjuela Castro, J. A., & Herrera, M. M. (2021). Retos en el modelado de la trazabilidad en las cadenas de suministro de alimentos. *Ingeniería*, 26(2), 143-172. <https://doi.org/10.14483/23448393.15975>

Pardo Vegezzi, A., & Allende López, M. (21 de mayo de 2019). *¿Qué es y en qué consiste la alianza global LACChain?* Medium. <https://lacchain.medium.com/qu%C3%A9-es-y-en-qu%C3%A9-consiste-la-alianza-global-lacchain-4d37f35d9746>

UNIMINUTO. (2020). *Blockchain para la Inclusión Financiera de Pequeños Productores a Través de Plataformas de Crowdlending: El caso de EthicHub*. Repositorio Institucional UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/bitstreams/202e2f04-61a8-4c23-b120-94820c556b55/download>

Allende López, M., & Colina Unda, V. (2018). *Blockchain: Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social*. <https://doi.org/10.18235/0001139>

International Organization for Standardization. (2022). *ISO 23257:2022 Blockchain and distributed ledger technologies* <https://www.iso.org/standard/75093.html>

GS1 Global. 2017(s. f.). *GS1 Global Traceability Standard (GTS)*. <https://www.gs1.org/standards/gs1-global-traceability-standard>.

International Organization for Standardization. (2022). *ISO/TS 23635:2022 Blockchain and distributed ledger technologies* <https://www.iso.org/standard/76480.html>

Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A. E.-D. A. (2024). Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities. *Applied Sciences*, 14(19), 8944. <https://doi.org/10.3390/app14198944>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019, julio 24). *Productores de aguacate Hass colombiano podrán exportar a Japón desde el 31 de julio*. <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/productores-de-aguacate-hass-colombiano-podran-exp>

World Bank. (2024). *Implementation of public agrifood digital traceability platforms*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099724310182330688/pdf/IDU03bd6b7680aa0804d260a4120c0c008620286.pdf>

Agronet. (2024, diciembre 18). *En Colombia, tecnología blockchain asegura trazabilidad agropecuaria*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/En-Colombia%2C-tecnolog%C3%ADa-blockchain-asegura-trazabilidad-agropecuaria.aspx>

CORPOHASS. (2025). *Informe de gestión 2024*. Corporación de Productores, Exportadores y Transformadores de Aguacate Hass. <https://www.corpohass.com/content/uploads/2025/03/informe-de-gestion-2024-corpohass.pdf>

Instituto Nacional de Mercadeo Agropecuario (INM). (2019). *Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena del aguacate Hass en Colombia*. https://inm.gov.co/wp-content/uploads/2024/06/2019-Informe-Aguacate-Hass_VFfinal.pdf

□ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Cadena productiva Aguacate – cifras sectoriales*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/aguacate/documentos/2020-03-30%20cifras%20sectoriales.pdf>

□

Ortiz-Moreno, L. M., Vega-Porras, F. S., & García-Cáceres, R. G. (2024). *Caracterización estratégica de la cadena de suministro del aguacate en Colombia*.

SIGNOS – Investigación en Sistemas de Gestión, 16(2), 20-45.

<https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/signos/article/view/10066>

Ansorena, M. R., Goñi, M. G., Aguëro, M. V., Roura, S. I., & Scala, K. C. D. (2009). Application of the General Stability Index method to assess the quality of butter lettuce during postharvest storage using a multi-quality indices analysis. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.016>

colombiadmin. (2021, mayo 7). *ColombiaMide lanza Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena productiva de aguacate Hass y plan de acción.*

Antioquia y su zona de influencia. ColombiaMide.

<https://colombiamide.inm.gov.co/colombiamide-lanza-estudio-sobre-las-necesidades-y-brechas-de-calidad-en-la-cadena-productiva-de-aguacate-hass-y-plan-de-accion-antioquia-y-su-zona-de-influencia/>

Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222-232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>

ISO 22005:2007(es), Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal—Principios generales y requisitos básicos para el diseño e implementación del sistema. (s. f.). Recuperado 19 de octubre de 2025, de

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es>

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldó, 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>

López, M. A., & Unda, V. C. (2018). Blockchain: Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. *IDB Publications*.

<https://doi.org/10.18235/0001139>

Marriaga, C. E., & Bonfante, M. C. (2023). *Blockchain: Aplicación en el Comercio Internacional y en la Gestión de la Cadena de Suministro.* *Transinformação*, 35, e220028. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202335e220028>

Regulation—2021/2117—EN - EUR-Lex. (s. f.). Recuperado 19 de octubre de 2025, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R2117>

Ansorena, M. R., Goñi, M. G., Aguëro, M. V., Roura, S. I., & Scala, K. C. D. (2009). Application of the General Stability Index method to assess the quality of butter lettuce during postharvest storage using a multi-quality indices analysis. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.016>

Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222-232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>

ISO 22005:2007(es), *Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal—Principios generales y requisitos básicos para el diseño e implementación del sistema*. (s. f.). Recuperado 19 de octubre de 2025, de <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es>

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldó, 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>

INVIMA. (2022). Lineamientos de trazabilidad y control sanitario en la cadena alimentaria. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. <https://www.invima.gov.co>

GS1. (2021). Global Traceability Standard (GTS). GS1 Global Office. <https://www.gs1.org/standards/traceability>

European Commission. (2021). Regulation (EU) 2021/2117 of the European Parliament and of the Council on official controls and food traceability. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R2117>

FAO. (2020). Food traceability: Guidance for the implementation of effective traceability systems in food supply chains. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb0703en/cb0703en.pdf>

FDA. (2022). Requirements for additional traceability records for certain foods (Food Traceability Rule, FSMA 204). U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma/traceability>

GS1. (2021). Global Traceability Standard (GTS). GS1 Global Office. <https://www.gs1.org/standards/traceability>

Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. (2023). Sistema Nacional de Trazabilidad Agropecuaria. Bogotá, Colombia. <https://www.ica.gov.co>

GS1. (2021). Global Traceability Standard (GTS). GS1 Global Office. <https://www.gs1.org/standards/traceability>

Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. (2023). Sistema Nacional de Trazabilidad Agropecuaria. Bogotá, Colombia. <https://www.ica.gov.co>

