

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

## VICERRECTORÍA ACADÉMICA

### CARRERA DE COMERCIO INTERNACIONAL

#### MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN COMERCIO INTERNACIONAL

##### **Título de la investigación:**

Uso del *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región  
Huetar Atlántico durante el periodo 2023-2024

##### **Nombre del estudiante:**

Nicole Sanabria Sandí

##### **Tutora:**

Gina Valerio Calvo

Sede Aranjuez

Noviembre, 2025

## Contenido

CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	12
Justificación .....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos específicos.....	15
Antecedentes .....	15
Tesis Internacionales .....	15
Tesis Nacionales.....	22
Proyecciones .....	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	28
Comercio Internacional.....	28
Logística .....	28
Exportación .....	29
Transparencia en las Exportaciones .....	30
Competitividad de las Exportaciones .....	31
Empresa Exportadora .....	32
Exportación de Banano Internacional.....	33
Importación .....	37
Tecnología.....	37
Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) .....	38
Flujo de Información.....	39
Análisis de Datos.....	39
<i>Blockchain</i> .....	40
Nodos.....	41
Bloques .....	41

Hash.....	42
Peer to Peer.....	42
Minería.....	43
Criptografía.....	44
Descentralización.....	44
Inmutabilidad.....	45
Contratos Inteligentes.....	45
Usos de la Tecnología Blockchain.....	46
Tipos de Tecnología Blockchain.....	50
Plataformas Blockchain Disponibles Para la Trazabilidad de Exportaciones Agrícolas.....	52
Trazabilidad.....	54
Cadena de Suministro.....	55
Sistemas de Trazabilidad.....	56
Sistemas Tradicionales de Trazabilidad Utilizados en las Exportaciones de Banano.....	57
Sistemas Modernos de Trazabilidad Utilizados en las Exportaciones de Banano.....	57
Cultivo de Banano.....	58
Cultivo de Banano en Costa Rica.....	59
Cultivo de Banano en la Región Huetar Atlántico.....	59
Plagas y Enfermedades del Banano.....	60
Agroquímicos Utilizados en el Cultivo de Banano.....	62
Aplicación del <i>Blockchain</i> en el Cultivo de Banano.....	62
Regulaciones Sanitarias.....	63
Riesgos Sanitarios Relacionados con el Cultivo de Banano.....	64
Control Fitosanitario de las Exportaciones de Banano.....	65
Normativas para la Bioseguridad de las Exportaciones de Banano.....	66
Requisitos de Exportación y de los Compradores Internacionales de Banano a Otros Países Relacionados con el <i>Blockchain</i> .....	67
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	69

Enfoque .....	69
Cualitativo .....	69
Diseño Cualitativo .....	70
Fenomenología Empírica .....	70
Población y Muestra .....	71
Población.....	71
Muestra.....	71
Unidad de Análisis .....	73
Instrumentos Cualitativos Utilizados en la Investigación.....	75
Proceso de Recolección de Datos .....	76
Fuentes de Información.....	76
Fuentes Primarias .....	77
Fuente Secundaria .....	77
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	79
Unidad de Análisis 1: Sistemas de Trazabilidad.....	80
Categoría 1: Tipos de Sistemas de Trazabilidad .....	81
Categoría 2: Nivel de Integración de los Sistemas Actuales.....	87
Categoría 3: Limitaciones de los Sistemas Actuales.....	91
Categoría 4: Requerimientos Específicos de la Trazabilidad.....	96
Unidad de Análisis 2: Beneficios y Desafíos.....	100
Categoría 1: Beneficios de la Aplicación del <i>Blockchain</i> .....	101
Categoría 2: Desafíos de la Aplicación del <i>Blockchain</i> .....	107
Unidad de Análisis 3: Tecnologías .....	112
Categoría 1: Plataformas Actuales .....	112
Categoría 2: Características de la Tecnología <i>Blockchain</i> .....	116

Categoría 3: Modelos de <i>Blockchain</i> .....	122
Categoría 4: Viabilidad del <i>Blockchain</i> en la Trazabilidad de las Exportaciones de Banano	126
Interpretación de los Datos .....	129
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
Conclusiones.....	133
Recomendaciones .....	135
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	138
Objetivo General.....	138
Objetivos Específicos.....	138
Propuesta.....	139
Factibilidad.....	139
Pasos para el cumplimiento.....	140
Recursos .....	143
Cronograma de Aplicación.....	144
Evaluación de Resultados.....	145
Etapa 1: Monitoreo de las Métricas Analíticas del Tránsito de la Red .....	146
Etapa 2: Aplicación de encuestas .....	146
Referencias.....	147
ANEXO.....	157
Cuestionario .....	157

## Figuras

Figura 1: Exportadores de banano a nivel mundial.....	34
Figura 2: Modelos más viables para la trazabilidad de las exportaciones de banano. ....	124
Figura 3: Pestaña 2: ¿Qué es el blockchain?.....	141
Figura 4: Pestaña 4: Noticias y Actualidad.....	142

## Tablas

Tabla 1: Principales destinos de las exportaciones de banano de Costa Rica.....	36
Tabla 2: Principales plagas y enfermedades del cultivo de banano en Costa Rica.....	61
Tabla 3: Entrevistados.....	72
Tabla 4: Unidades de análisis.....	74
Tabla 5: Unidades y categorías de análisis .....	79
Tabla 6: Cronograma de Aplicación .....	144

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por haberme guiado durante este largo camino de mucho aprendizaje, por bendecirme con su presencia y su amor, y por darme el esfuerzo y la disciplina para poder alcanzar esta meta.

A mis seres queridos y familiares, por su gran apoyo, amor incondicional y motivación no solo durante este proceso, sino a lo largo de mi vida académica.

A los entrevistados por su valiosa colaboración al compartir sus experiencias y conocimientos que fortalecieron la investigación.

A mi director de carrera, Fernando Ramírez, por apoyo constante, su dirección y confianza.

A mi tutora Gina Valerio, por compartir su conocimiento conmigo y guiarme en cada paso de esta investigación con paciencia y dedicación.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios por ser mi roca en los momentos débiles y por ayudarme a surgir y culminar este proceso, independientemente de los obstáculos que se presentaron a lo largo de este proyecto. También, dedico este esfuerzo a mis papás, por todo lo que ellos sacrificaron por mí para darme una buena vida y educación de calidad que me ha permitido alcanzar esta meta.

## Resumen Ejecutivo

El documento presente se enfoca en estudiar la aplicación potencial de la tecnología *blockchain* con el propósito de fortalecer la transparencia, eficiencia y confiabilidad en la trazabilidad de las exportaciones de banano cuyo origen es la región Huetar Atlántico. El estudio surge debido a la creciente demanda de los compradores internacionales por herramientas que garanticen la calidad y el cumplimiento de las normativas sanitarias y de sostenibilidad de los productos que están adquiriendo. En especial, en el sector bananero, ya que esta fruta requiere un control riguroso que garantice su calidad en todas las etapas de su cadena de suministros.

El trabajo titulado “Uso del *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico durante el periodo 2023-2024” tiene como objetivo general analizar el uso de la tecnología *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano de las empresas del sector Huetar Atlántico, con el fin de responder al planteamiento de la investigación.

Se fundamenta la investigación en un estudio cualitativo con un diseño de fenomenología empírica, por medio del cual se recopiló información valiosa de fuentes primarias a partir de sus experiencias y fuentes secundarias para complementar la información obtenida. Se utilizó la entrevista como instrumento para recolectar las opiniones de profesionales en la exportación de banano en la región Huetar Atlántico y expertos en tecnología *blockchain*.

A partir de los aportes de los entrevistados, se identificaron las principales limitaciones de los sistemas actuales de trazabilidad, entre ellas la falta de integración entre actores, la escasa digitalización de la documentación y la vulnerabilidad a la manipulación de los datos, que limita la confianza en la información compartida. La tecnología *blockchain* se presenta como una solución viable a los problemas mencionados por la muestra de la investigación debido a sus características de inmutabilidad, transparencia y seguridad.

Finalmente y como respuesta al planteamiento del problema de investigación, el *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico, se

determina que funciona para registrar los datos de la cadena de suministros de manera segura, verificable y en tiempo real, fortaleciendo la competitividad de las exportaciones del país al ofrecer visibilidad de forma eficiente, lo que permite mejorar la confianza de los compradores internacionales en los exportadores.

## CAPÍTULO I: PROBLEMA

Durante años, las empresas exportadoras y de logística han implementado diversos métodos y herramientas para optimizar su cadena de suministros, en especial considerando el mercado global actual altamente competitivo. En este escenario, la trazabilidad en las exportaciones agroindustriales representa un aspecto crítico para garantizar la calidad de la mercancía, ya que permite identificar el origen y las etapas que experimenta, desde el momento de cultivo y producción, hasta la distribución.

Con la evolución tecnológica, han surgido diferentes herramientas para optimizar la trazabilidad en la logística agrícola, entre estas se encuentra el *blockchain*. Esta es una tecnología de registro de datos inmutable que se almacenan en bloques entrelazados. En la exportación de cultivos se puede utilizar para registrar la información de manera precisa y verificable en cada etapa de la cadena de suministros.

La implementación del *blockchain* en este ámbito puede generar una mayor confianza en el mercado internacional, al contar con la transparencia necesaria para garantizar que las mercancías cumplan con todos los requerimientos de importación. Además, puede contribuir a una mejor respuesta ante auditorías y normativas fitosanitarias, lo que suele significar una reducción de tiempo y costos operativos para ambas partes. Ambos factores aumentan la competitividad de los productos costarricenses en mercados extranjeros con altos estándares de seguridad alimentaria.

El banano es uno de los principales productos agrícolas de exportación en Costa Rica. Su importancia se remonta a décadas atrás cuando la economía nacional dependía en gran medida de este cultivo, junto con el café. La región Huetar Atlántico es la zona más relevante para el cultivo de banano. Según Rivera (2024), “El año pasado, el sector aportó US\$1.221 millones en ingresos y exportó más de 125 millones de cajas de banano, representando el 7% de las exportaciones nacionales”. (párr. 2).

A pesar de la amplia experiencia del país en la producción y comercialización internacional del banano, los procesos actuales de trazabilidad en el sector bananero presentan

limitaciones en términos de transparencia, eficiencia y seguridad de la información, lo que puede llegar a comprometer la competitividad de Costa Rica como exportador en mercados foráneos cada vez más exigentes.

Una trazabilidad ineficiente de los productos agrícolas puede llevar a la pérdida de confianza del consumidor, la pérdida de reputación al reflejar negligencia para las otras partes de la transacción y dificultades para identificar el origen de problemas de calidad, lo que afecta la rápida gestión de riesgos. A partir de los factores mencionados anteriormente, surge la siguiente interrogante para ampliar la investigación presente:

¿Cuál es el uso del *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico durante el periodo 2023-2024?

### **Justificación**

La presente investigación es de suma relevancia en el contexto del mercado global actual, en el cual la competitividad aumenta día con día, impulsada por la saturación del mercado, la innovación tecnológica y el acceso a nuevas herramientas. El sector agroexportador no es la excepción a esto, el comercio internacional del banano, en particular, enfrenta un desafío importante por el aumento de la competencia, los compradores se vuelven cada vez más exigentes en términos de seguridad y controles de calidad.

Considerando este panorama, el exportador debe mantenerse actualizado y adoptar herramientas como la tecnología *blockchain*, la cual ofrece una solución estratégica y moderna para mejorar la trazabilidad de las mercancías, garantizando el cumplimiento de normas fitosanitarias y de calidad para que su cultivo se alinee de forma satisfactoria con los altos estándares de mercados extranjeros.

En términos económicos, la implementación del *blockchain* para la trazabilidad de las exportaciones de banano puede representar un ahorro significativo de recursos al poder reconocer de manera eficiente y rápida el origen de cualquier anomalía como la detección de plagas o problemas de calidad. Esto contribuye a tener la capacidad de evitar pérdidas de

mercancía y reducir desperdicios, además de obtener menos sanciones derivadas del incumplimiento de los reglamentos, esto al garantizar que cada bloque de información cuente con los requisitos completos y que estos sean de fácil acceso para cada una de las partes involucradas.

El cultivo de banano es crucial para la sociedad costarricense, al generar directa e indirectamente una gran cantidad de empleos, especialmente en zonas rurales como la región Huetar Atlántico. Sin embargo, se conoce que este cultivo es vulnerable a una amplia variedad de plagas, lo que genera desconfianza en los compradores. Ante esta situación, contar con un sistema de *blockchain* permitiría reforzar la transparencia, proporcionando información verificable sobre el origen y las condiciones de producción, además de permitir una respuesta rápida ante cualquier eventualidad, al identificar la finca y el lote de procedencia del producto afectado.

Esta investigación también se posiciona como una oportunidad para contribuir al desarrollo del conocimiento académico sobre la aplicación de la tecnología inteligente en la agricultura. Según Procomer (2022), “Se trata de incorporar las últimas innovaciones tecnológicas con el objetivo de optimizar los recursos y tomar mejores decisiones”. (párr. 1). De esta manera, el uso del *blockchain* en el sector bananero puede aumentar la producción del cultivo de forma informada y sostenible, manteniendo su estándar de calidad. Esto le permite suplir una mayor parte del mercado internacional, obteniendo mayores ganancias y una mejor reputación como proveedor.

Por otra parte, esta propuesta busca presentarle una opción concreta al sector bananero costarricense para optimizar su logística, mejorar la trazabilidad de sus exportaciones y fortalecer el sentimiento de confianza en los clientes al adquirir su producto, por medio de la aplicación del *blockchain*. Lo anterior respaldado en el hecho de que este avance tecnológico cuenta con la capacidad de registrar los datos de forma segura, descentralizada e inmutable.

Finalmente, a pesar de que existe una tendencia del uso de la tecnología para la agricultura, aún existe un desconocimiento considerable sobre el uso del *blockchain* en la

trazabilidad dentro de la comunidad agrícola del país. La falta de información clara y accesible sobre su implementación, sus beneficios y sus limitaciones genera una barrera para su aplicación. Por lo tanto, este estudio busca darle una mayor visibilidad al potencial uso del *blockchain* en las exportaciones de banano para el aprovechamiento de los exportadores costarricenses, analizando su viabilidad en las condiciones actuales de las empresas.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el uso de la tecnología *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano de las empresas del sector Huetar Atlántico.

### ***Objetivos Específicos***

Identificar el estado actual de los sistemas de trazabilidad en las exportaciones de banano en las empresas del sector Huetar Atlántico y sus principales limitaciones.

Determinar los beneficios y desafíos del *blockchain* como una herramienta innovadora para garantizar la transparencia y la confianza en la cadena de suministro de banano.

Explicar las tecnologías de *blockchain* disponibles para la trazabilidad agrícola, sus características y su viabilidad.

Diseñar una propuesta de creación de una página web que promueva el conocimiento y la visibilidad del uso de la tecnología *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico.

## **Antecedentes**

### **Tesis Internacionales**

La primera tesis internacional que se consultó para tener una visualización más clara durante el desarrollo de esta investigación es la de los autores Giraldo y Uribe (2022) cuyo tema

propuesto fue “Tecnología “block-chain” para la trazabilidad de la cadena logística de exportación de frutas”, la realizaron para la Universidad EIA y optaron por el grado académico de pregrado (licenciatura) en Ingeniería Administrativa.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Identificar los beneficios e implicaciones del *blockchain* en la cadena logística de exportación de frutas, y los siguientes Objetivos Específicos: Describir los efectos de la trazabilidad con la implementación de tecnología “*blockchain*” en la exportación de frutas, Explicar el beneficio económico que podría tener una compañía exportadora de fruta al implementar la tecnología “*blockchain*”, Determinar cuáles son los requerimientos para implementar la tecnología “*blockchain*” y Enunciar los costos que tiene la implementación de la tecnología “*blockchain*” en la cadena logística de exportación de frutas.

La metodología que se emplea es la cualitativa, ya que permite una comprensión profunda y contextual del fenómeno estudiado. Mediante el uso de los siguientes instrumentos para la recolección de datos: entrevista con expertos en el ámbito e investigación de fuentes secundarias, se procura construir una visión integral que contribuya a encontrar respuesta al problema de investigación de manera óptima.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando Giraldo y Uribe (2022) indican que el *blockchain* cuenta con diferentes beneficios, ya que permite rastrear los cultivos en tiempo real, mejorando la eficiencia y la transparencia en la cadena de suministros, además de ayudar a la reducción de riesgos por la detección proactiva de posibles problemas en el acopio de materias primas y componentes, entre otros. Para lo anterior, se recomienda que las empresas evalúen sus condiciones para analizar si la inversión en el *blockchain* es viable para ellos considerando su situación presente y las características de la herramienta.

La tesis titulada “Tecnología “block-chain” para la trazabilidad de la cadena logística de exportación de frutas” tiene una gran importancia para la investigación presente ya que comprueba que el uso del *blockchain* logra que la trazabilidad de las exportaciones de fruta sea

más eficiente, destacando los beneficios para las empresas sin dejar de lado los costos y otros obstáculos. La tesis también llena un vacío de conocimiento de los requerimientos de implementación del *blockchain* el cual se ubica en los niveles más altos de adopción de TIC, lo que indica que su adopción requiere una infraestructura tecnológica avanzada y conocimiento previo en TIC.

La siguiente tesis internacional consultada con el propósito de obtener más información relevante para el estudio presente es la de Cordero y López (2022) con el tema “La tecnología *blockchain* y su impacto en los procesos de exportación en el Ecuador”, realizada para la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil y optan por el grado académico de Licenciatura en Comercio Exterior.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Describir cómo la tecnología *blockchain* impacta al sector exportador, analizando los procedimientos respectivos, para incentivar el comercio internacional ecuatoriano en el periodo 2021-2022, y los siguientes Objetivos Específicos: Establecer cuál es el uso de la tecnología *blockchain* dentro de la logística y transporte internacional, Identificar las áreas donde se puede implementar *blockchain* en el Ecuador y Plantear cuáles son las ventajas y desventajas de la implementación de la tecnología *blockchain* con respecto al, tiempo, seguridad y calidad en un proceso de exportación.

La metodología que se emplea es la cualitativa, con un enfoque exploratorio para indagar el fenómeno de la investigación con el propósito de encontrar el punto crítico de las ineficiencias en la documentación física y sus efectos consecuentes. Mediante el uso de los siguientes instrumentos: el *focus group* (entrevista) a ocho agentes aduaneros y la revisión de documentos, se procura encontrar respuesta al problema de investigación recopilando la información importante.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que el *blockchain* tiene la capacidad de reducir el tiempo y los costos de las transacciones internacionales, al generar la confianza necesaria entre las partes; además, podría mejorar la gestión de las cadenas de suministro, proporcionando información en

tiempo real sobre el origen y el movimiento del producto; finalmente, establece que el *blockchain* mejora la detección de flujos comerciales ilícitos. Sin embargo, menciona desafíos como la necesidad de un marco legal adecuado y de una infraestructura tecnológica robusta para poder aprovechar esta herramienta.

Para lo anterior el autor recomienda tomar en cuenta las implicaciones económicas de aplicar una cadena de bloques, así como considerar todos los riesgos de implementación con anticipación, teniendo en cuenta que ninguna tecnología está exenta a fraudes o a los piratas informáticos y que los usuarios de la cadena son completamente anónimos por lo que se deben de mantener las medidas de seguridad necesarias.

Esta tesis se enfoca en la implementación del *blockchain* para las exportaciones desde distintas perspectivas: desde el punto de vista aduanero y desde el ámbito de los exportadores se logra obtener conocimiento relacionado al tema de investigación. El autor se enfoca en aspectos como la eficiencia en las transacciones, la transparencia en la cadena de suministro y la reducción de costos operativos, que evidencian los beneficios obtenidos de la aplicación del *blockchain*. Por otro lado, también es transparente con los desafíos relacionados a esta implementación, lo que otorga la posibilidad de considerar ambos puntos para la investigación presente.

La tercera tesis internacional consultada como antecedente para la investigación presente es la de los autores Cabezas y Pérez (2023) quienes presentan el tema “*Blockchain e inteligencia artificial: modelo para la trazabilidad de productos en la cadena de suministro*”, la realizan para la Universidad del Desarrollo en Santiago, Chile y opta por el grado académico de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Proponer un modelo conceptual para implementar una red segura que permita autenticar el origen de una unidad de fabricación, su trazabilidad y automatización en la cadena de suministro hasta el cliente final, y los siguientes Objetivos Específicos: Examinar los tipos de redes *blockchain*, la integración con los clientes y automatización de análisis de datos, Analizar factibilidad que articule un modelo de

programación lineal emplazado en Chile, cuyos resultados sean considerados desde la mirada de variables basadas en experiencia y Formular las etapas necesarias para la trazabilidad de los productos dentro de la cadenade suministro.

La metodología que se emplea es la mixta, la cual se basa cualitativamente en el uso de la entrevista aplicada expertos en el tema como instrumento principal y para la parte cuantitativa, se basa en un modelo tecnológico apoyado en las entrevistas. Con el uso de ambos instrumentos y metodologías, los autores procuran encontrar respuesta al problema de investigación planteado en su tesis de graduación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando Cabezas y Pérez (2023) indican que la implementación del *blockchain* en la trazabilidad de los productos permite “contar con una red segura, un sello de origen y acceso a información de seguimiento precisa”. (p. 64). Para lo anterior se recomienda mantener un perfil de colaboradores actualizado y supervisar a estos, estandarizar la información para evitar desorganización y desarrollar una aplicación o página web que consolide la información.

Este estudio es de suma relevancia para la tesis presente ya que comprueba que el uso de *blockchain* y otras herramientas de la IA permiten corregir fallos comunes en las cadenas de suministros actuales como lo son la falta de visibilidad y la vulnerabilidad a fraudes o errores. El documento además resalta la importancia de tener una infraestructura tecnológica adecuada y una integración de diferentes ámbitos a nivel empresarial para poder garantizar la eficiencia de estos instrumentos.

La próxima tesis internacional que se consultó fue escrita por los autores Ñañez y Ballona (2024) sobre el tema “La gestión de la trazabilidad alimentaria y su relación con la cadena de suministro de empresas peruanas exportadoras de mango durante el periodo 2016-2022”, la realizan para la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas y optan por el grado académico de Licenciatura en Negocios Internacionales.

La investigación tiene como Objetivo General: Determinar la relación entre la gestión de la trazabilidad alimentaria con la cadena de suministros de empresas peruanas exportadoras de mango durante el periodo 2016-2022, y los siguientes Objetivos Específicos: Determinar la relación entre la gestión de seguridad con la cadena de suministros de empresas peruanas exportadoras de mango, Determinar la relación entre la gestión de información con la cadena de suministros de empresas peruanas exportadoras de mango y Determinar la relación entre la gestión de calidad con la cadena de suministros de empresas peruanas exportadoras de mango.

La metodología que se emplea es la cualitativa, la cual utiliza la encuesta como instrumento de investigación para poder complementar anteriores investigaciones que se establecen como fuentes secundarias de información. Con la encuesta, los autores procuran encontrar respuesta al problema de investigación al aplicarle la misma a diferentes empresas exportadoras de mango en Perú y analizar las respuestas obtenidas por cada una de ellas.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta a los objetivos, cuando el autor indica que una buena trazabilidad alimentaria puede garantizar un funcionamiento eficiente de los eslabones de la cadena de suministros, por lo que tienen una relación de proporcionalidad directa. Para lo anterior se recomienda a las empresas investigar sobre herramientas tecnológicas para la verificación documentaria y revisión ante organismos reguladores, implementar un plan de ruta que impulse el desarrollo de calidad en la cadena de suministro y priorizar una seguridad adecuada para regular la inspección y control de plagas que perjudiquen las frutas.

El documento analizado permite obtener una visión clara de los desafíos que experimentan las empresas exportadoras de mango en Perú con respecto a su trazabilidad como la falta de tecnologías adecuadas y la necesidad de capacitación del personal, esto llena el vacío del conocimiento de ejemplos prácticos de algunos obstáculos que se podrían señalar también en las empresas exportadoras de banano en Costa Rica. También menciona que tecnologías como el *blockchain* pueden ser una solución efectiva para enfrentar los desafíos, por lo que se puede concluir que complementa la investigación presente.

La última tesis internacional que se consultó para ampliar los conocimientos relacionados al tema de investigación presente se titula “Tecnología *Blockchain* y la logística internacional en el sector agrícola de Latinoamérica” desarrollada por Rios y Vera (2021) para optar por el grado académico de Licenciatura en Negocios Internacionales en la Universidad César Vallejo, ubicada en Piura, Perú.

El Objetivo General de esta investigación es: Identificar la forma en la que la tecnología *blockchain* mejora la logística internacional en el sector agrícola de Latinoamérica, y como Objetivos Específicos se plantearon: Identificar cómo los *smart contracts* mejoran la logística internacional, Identificar las herramientas *blockchain* que optimizan la trazabilidad en la logística internacional del sector agrícola en Latinoamérica e Identificar cómo se implementa la tecnología *blockchain* en la logística de última milla del sector agrícola en Latinoamérica.

Para este estudio se aplica una metodología de enfoque cualitativo con un diseño de investigación basado en la teoría fundamentada específicamente, los autores utilizan el diseño sistemático, concentrado principalmente en la recolección de datos. Se utilizó el instrumento de la entrevista y el análisis documental para encontrar una respuesta al problema de investigación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que “*blockchain* promete grandes oportunidades de desarrollo para el sector agrícola ya que con la incorporación de esta tecnología puede dar solución a inconvenientes en la manipulación de datos e información en tiempo real del proceso de producción y transporte”. (pp. 33-34). Para esto, resalta la siguiente recomendación propuesta por los autores: “Implementar y validar el uso de los *smart contracts* en el sector agrícola de Latinoamérica y ajustarlo en el régimen legal”. (p. 35).

Este antecedente evidencia y comparte información importante sobre diferentes herramientas que se pueden aplicar en la logística internacional del sector agrícola como Ethereum, Hyperledger, Multichain, VeChain, IOTA. Al observar cómo estas herramientas funcionan, los casos prácticos establecidos y sus diferentes características, es posible identificar

cuáles funcionarían no solo para los *smart contracts*, sino también para registrar información adicional de la trazabilidad de las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico.

### **Tesis Nacionales**

La primera tesis nacional consultada con el fin de conocer aplicaciones prácticas de la tecnología *blockchain* en cadenas de suministro agrícolas es la de Cubillo (2023) con el tema “Aplicaciones de la tecnología *blockchain* en las cadenas de suministro en la industria alimentaria costarricense durante el período 2021-2022”, la realiza para la Universidad Internacional de las Américas y opta por el grado académico de Licenciatura en Comercio Internacional.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Analizar las aplicaciones de la tecnología *blockchain* en las cadenas de suministro en la industria alimentaria costarricense, y los siguientes Objetivos Específicos: Explicar la relación de la tecnología *blockchain* en la cadena de suministros, Determinar las posibles implicaciones de la aplicación de la tecnología *blockchain* en la cadena de suministros e Identificar las posibles áreas de aplicación y la funcionalidad de la tecnología *blockchain* en la cadena de suministros en la industria alimentaria.

La metodología que emplea la autora para analizar el fenómeno de manera sistémica y encontrar respuesta al problema de investigación es la cualitativa, la cual, mediante el uso de los siguientes instrumentos: la recopilación de teorías, y de investigaciones preexistentes como fuentes secundarias de información, y la entrevista como fuente primaria con la finalidad de obtener el criterio de expertos, procura encontrar una respuesta al problema de investigación.

Se concluye lo siguiente según las indicaciones de la autora: mientras que la tecnología de la cadena de bloques ofrece ventajas importantes como la trazabilidad, seguridad mediante la encriptación de los datos y la reducción de intermediarios, también existen varios desafíos como la falta de regulación nacional y los altos costos y consumo energético. La autora recomienda realizar una investigación adecuada e iniciar con una prueba del sistema antes de implementarlo

en su totalidad. Por otro lado, sugiere que los expertos sobre el *blockchain* mantengan una comunicación clara y transparente con los trabajadores y que realicen un monitoreo constante de los sistemas.

La investigación realizada por Cubillo plantea factores cruciales para el estudio presente como los beneficios y los desafíos de la implementación del *blockchain* en las cadenas de suministros de las empresas de la industria alimenticia en Costa Rica. A diferencia de las tesis internacionales, este documento otorga conocimiento clave sobre la realidad nacional y las limitaciones que existen con respecto a la aplicación de una tecnología tan avanzada como el *blockchain*.

A nivel nacional, se revisó un estudio relevante que permite comprender mejor el contexto local y sus implicaciones, el cual fue escrito por Araya (2021) cuyo tema de investigación se titula “Propuesta de mejora en los procedimientos poscosecha del banano de exportación en el grupo San Alberto, Siquirres, Costa Rica”, la realiza para la Universidad Nacional y opta por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Determinar el nivel de aprovechamiento de los bananos en calidad primera de exportación con una propuesta de mejora en los procedimientos actuales de las empacadoras del grupo San Alberto, Siquirres, Costa Rica, y los siguientes Objetivos Específicos: Diagnosticar situacional y operativamente los procesos del grupo San Alberto según sus procedimientos actuales de empaque de banano, Establecer los procedimientos operativos y empaque del manejo poscosecha del banano de exportación, y Elaborar un plan de acción para la implementación de los procedimientos operativos.

La metodología que emplea el autor, según los objetivos de su investigación es la cualitativa; para desarrollarla, utiliza la entrevista. Como instrumento, se aplica un cuestionario a 52 personas de preguntas abiertas con respuestas espontáneas, esto con el propósito de encontrar respuesta al problema de investigación y adquirir conocimiento relevante de expertos. También se utilizó la observación pasiva mediante las visitas a las tres empacadoras del GSA.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que el manual creado para estandarizar y mejorar el proceso de empaque y postcosecha del banano logra una eficiencia en la utilización de recursos disponibles, además de funcionar como un manual de capacitación para el personal. Para lo anterior se recomienda automatizar el sistema de comunicación con un sistema centralizado de información y realizar un proceso de capacitación con todo el personal para reforzar los criterios.

Esta tesis aporta conocimiento relevante a la investigación presente, ya que permite comprender los procedimientos postcosecha del banano de un grupo exportador de la zona Huetar Atlántico. El documento detalla la clasificación, empaque, inspección de calidad y exportación de las plantas empacadoras, lo que permite reconocer en qué partes del proceso y de qué manera se podría implementar la tecnología *blockchain* y los pasos que son importantes registrar para las partes involucradas.

La tercera tesis nacional consultada fue redactada por Flores (2020) cuyo tema de investigación se titula “Posibles afectaciones en la producción del banano y plátano costarricense debido a la plaga fusarium raza tropical 4 para la exportación al mercado 2020”, la realiza para la Universidad Internacional de las Américas y opta por el grado académico de Bachillerato en Comercio Internacional.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Identificar las posibles afectaciones del Fusarium Raza Tropical 4 para la exportación al Mercado 2020, y los siguientes Objetivos Específicos: Determinar cuáles son las consecuencias que tendría Costa Rica con la entrada de la plaga del Fusarium Raza Tropical 4 e Indagar qué estrategias y prevenciones según los expertos en el campo ayudarían al combate de esta plaga y, a su vez, que su plan de acción evite la entrada del hongo a Costa Rica.

La metodología que se emplea para el estudio consultado es la cualitativa, ya que la autora cuenta con una vasta exposición y formulación de planteos durante todo el desarrollo de este, lo que hace que este instrumento sea el más adecuado. Durante el proceso de la

investigación, utiliza el instrumento de la entrevista, la cual estuvo compuesta por preguntas amplias con el objetivo de procurar encontrar respuesta al problema de investigación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta a los objetivos de la investigación, cuando se indica que el sector más afectado por el contagio del Fusarium Raza Tropical 4 sería el sector exportador de los cultivos de banano y plátano, ya que tendría implicaciones como la caída exponencial de las exportaciones, una gran pérdida de empleos, causa de la imposibilidad de producción y la aridez de los suelos. Para lo anterior, se recomienda a los productores implementar estrictamente protocolos de prevención contra el Foc R4T y a instituciones nacionales y autoridades fronterizas fortalecer la fiscalización y el acompañamiento técnico y legal.

El tercer antecedente de esta investigación expone uno de los riesgos más perjudiciales de una mala logística internacional de cultivos, la propagación de una plaga. Los mercados internacionales suelen contar con medidas estrictas para evitar las consecuencias que esto conlleva, analizar las afectaciones que menciona la autora como la caída del PIB, la pérdida de empleos y el desabastecimiento de mercados pone en perspectiva lo importante que es para las empresas contar con mecanismos que les ayude a tener un acceso transparente y ordenado a la información como lo es el *blockchain*, por lo que se evidencia la necesidad de esta tesis para el estudio presente.

Para llenar vacíos conceptuales en torno a tecnología *blockchain* y sus demás ámbitos de aplicación, se revisa la tesis de Vallejos (2023) con el tema “Transformación digital como facilitación aduanera de costa rica para el año 2022: caso *blockchain*”, la realiza para la Universidad Internacional de las Américas y opta por el grado académico de Licenciatura en Comercio Internacional.

De esta investigación se desprende el siguiente Objetivo General: Estudiar la transformación digital para la facilitación aduanera en Costa Rica usando la tecnología de *blockchain* para el año 2022, y los siguientes Objetivos Específicos: Conocer sobre las funciones que tiene el *blockchain* como herramienta digital y su relación con la facilitación aduanera en

Costa Rica, Determinar los beneficios de la implementación del *blockchain* en los procesos aduaneros considerando la estrategia de transformación digital del país e Identificar las posibles áreas de mejora del Sistema Aduanero costarricense, así como los esfuerzos a realizar para digitalizar el intercambio comercial.

La metodología que se emplea en esta tesis en específico es la cualitativa, esta metodología permite explorar las percepciones, experiencias y conocimientos de los actores involucrados en el proceso de exportación de banano mediante el uso de las entrevistas, con las cuales se busca identificar patrones, coincidencias y diferencias entre la teoría y la práctica para comparar lo desarrollado en el marco teórico y encontrar respuesta al problema de investigación.

Se concluye lo siguiente dando respuesta al objeto de estudio de la investigación: la aplicación del *blockchain* en el ámbito aduanero permitiría crear un comercio más eficiente al agilizar los trámites digitales, lo que puede reducir el tiempo de tránsito de las mercancías. Además de reducir la vulnerabilidad de las bases de datos, manteniendo segura la información. Para lo anterior se recomienda al Estado costarricense modernizar sus plataformas tecnológicas, como el TICA, mediante inversiones en tecnologías emergentes, así como destinar mayores recursos al MICITT y analizar las variantes de *blockchain* para maximizar sus beneficios y mitigar sus riesgos.

La tesis expuesta permite obtener conocimiento importante sobre el tema desde el punto de vista de los trámites aduanales, evidenciando los beneficios de la aplicación de la cadena de bloques en el sistema costarricense. Se menciona la Estrategia de transformación digital de Costa Rica, la cual permite concluir que el país que se acerca cada vez más a revolucionar su tecnología y que tiene el objetivo de seguir creciendo tecnológicamente. Tener la posibilidad de observar los efectos macro de la aplicación del *blockchain* permite relacionar ciertos conceptos con una aplicación a nivel más micro como lo son las empresas exportadoras de banano del país.

### **Proyecciones**

- Se identificará el estado actual de los sistemas de trazabilidad en las exportaciones de banano en las empresas del sector Huetar Atlántico, con el fin de conocer cómo rastrean

sus exportaciones actualmente, las características de sus sistemas y sus principales limitaciones para trabajar en los problemas presentes, de esta manera se podrá comprender claramente las mejoras necesarias a su sistema y encontrar la manera de adoptar la tecnología de *blockchain* a su trazabilidad de forma fluida e integrada.

- Por otro lado, se determinarán los beneficios y desafíos del *blockchain* como herramienta innovadora para garantizar la transparencia y la confianza en la cadena de suministro de las empresas exportadoras de banano, con el propósito de que estas cuenten con la posibilidad de tomar decisiones informadas sobre si deciden implementar el *blockchain* o no. De la misma forma, les brinda la oportunidad de prepararse para competir en el mercado global contemporáneo, al conocer algunas de las herramientas utilizadas actualmente.
- Finalmente, se explicarán las tecnologías de *blockchain* disponibles para la trazabilidad agrícola, sus características y su viabilidad. Esto con la intención de que los productores, exportadores y demás personas involucradas en la cadena de suministros del sector tengan visibilidad para identificar cuál se adapta mejor a sus necesidades reales según sus características y que puedan entender cómo funcionan, qué ofrecen y si les es útil.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### Comercio Internacional

El comercio internacional es el conjunto de intercambios de bienes, capitales y servicios que son realizados entre distintos países. Este intercambio les permite a las naciones diversificar los productos, aumentar el crecimiento económico, crear relaciones comerciales con otros países y aprovechar las ventajas comparativas. Román (2025) define el comercio internacional de la siguiente manera:

El Comercio Internacional se refiere al intercambio de bienes, servicios y capitales entre distintos países. Este fenómeno permite a las naciones acceder a productos que no producen localmente, optimizar sus recursos y fomentar relaciones económicas globales. A través del comercio internacional, los países pueden especializarse en la producción de bienes y servicios donde tienen una ventaja competitiva, lo cual mejora la eficiencia global del sistema económico. (párr. 2).

Durante años, Costa Rica se ha especializado en la exportación de banano, sin embargo, con el paso del tiempo, la competencia de la venta de este cultivo a nivel internacional ha ido en aumento. Esto significa que, si el país quiere que su mercancía sea posicionada en este mercado y logre diferenciarse de las demás, debe actualizar sus métodos, asegurarse de que su producción sea eficiente y segura y que sus compradores sean capaces de notar esto. Por este motivo es de suma importancia el uso de herramientas como el *blockchain*, que logra la transparencia entre ambas partes.

### Logística

La logística se puede definir como el conjunto de procesos necesarios para que un producto sea transportado de un lugar a otro, inicia en el lugar de origen de la mercancía, incluye el empaque y el embalaje de la mercancía, el transporte, la documentación y el almacenaje y

concluye cuando los bienes llegan a su destino final. Su propósito es mitigar cualquier riesgo posible para asegurar que la entrega del producto sea realizada de forma puntual, con el menor costo posible y en su estado óptimo, manteniendo la calidad esperada por el cliente. Los autores, Cruz, Medina, Sanchez, Sangroni y Pérez (2021) explican la importancia de la logística de la siguiente manera:

La logística es una pieza clave en cada empresa relacionada con el ingreso de materias primas, es necesario que exista la coordinación pertinente desde el inicio del proceso hasta el final. La función principal que cumple la logística se basa en que las empresas logren poner a disposición de los clientes los productos en el lugar y momento indicado. La base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes o servicios; de aquí la importancia del manejo del inventario por parte de la misma y de la aplicación de la logística y la cadena de suministro en las empresas. (párr. 4).

En el caso específico de las exportaciones de cultivos como el banano, la logística cobra aún más importancia al tratarse de un producto perecedero y con especificaciones de manipulación y cosecha estrictas para que tenga la calidad requerida y evitar cualquier tipo de plagas, enfermedades, o desperdicios. Para lograr estos objetivos, es necesario mantener un mayor control sobre tiempos, rutas, documentación y regulaciones internacionales. Debido a sus características, mencionadas en este documento, la implementación del *blockchain* en la trazabilidad de este proceso permite facilitar estos requerimientos y lograr una logística eficiente.

## **Exportación**

La exportación se define como la actividad de fabricar un bien o un servicio para su venta en otro lugar fuera del territorio nacional del país de proveniencia. Es un factor importante en el mundo globalizado actual y en el comercio internacional, ya que permite intercambiar productos entre distintos países para poder abastecer los mercados con mayor variedad y generar más ganancias al expandir el mercado. La exportación también es un medio para aprovechar las

producciones que un país puede realizar de forma más eficiente que otros o por un menor costo de oportunidad, lo que se conoce como ventajas absolutas y comparativas.

Montes de Oca (2024) menciona características importantes relacionadas con este término: “Es un sistema conocido desde la antigüedad. La palabra exportación procede del latín ‘exportatio’, se refiere así al acto de enviar y recibir mercancías y géneros, cuyo resultado final incide en unas ganancias para la empresa o país emisor”. (párr. 10). Las exportaciones son beneficiosas tanto para las empresas y las personas involucradas, al ayudarlas a diversificar sus fuentes de ingreso como para los países al mejorar algunos de sus indicadores económicos como el PIB.

Para realizar una exportación se requiere seguir distintos pasos que varían según el producto a exportar, como registrarse ante una entidad (en Costa Rica, Procomer), cumplir con regulaciones sanitarias, normas técnicas y documentación importante con el propósito de asegurar la calidad, la seguridad y la proveniencia de las mercancías, cada uno de estos pasos pueden ser registrados en la cadena de bloques. La logística, incluyendo el embalaje y el transporte también juegan un papel importante para minimizar los riesgos de que los bienes arriben al destino en malas condiciones.

### ***Transparencia en las Exportaciones***

La transparencia en las exportaciones se refiere al acceso a la información relacionada al proceso de exportación. Corresponde a la disponibilidad que tienen las partes involucradas a datos relevantes como el origen de la mercancía, el proceso y las condiciones de producción, la logística de transporte y la calidad. Esto aumenta la confianza del comprador en los bienes y previene diferentes tipos de engaños con respecto a las características del producto, mejorando la reputación del exportador en el mercado internacional.

Además, la transparencia en el ámbito de las exportaciones también facilita el cumplimiento de las regulaciones de importación en los países de destino, ayudando a evitar retrasos en la exportación, al evidenciar las certificaciones y el seguimiento de las normas

fitosanitarias correspondientes al producto, como por ejemplo en el caso del banano, se puede demostrar el uso de ciertos pesticidas, o el cumplimiento con el Certificado Fitosanitario de Exportación para que el cultivo pueda salir del país. Avesani, Kobuta, y Mukhtar (2021), exponen la importancia de la transparencia en el comercio internacional con el texto a continuación:

La falta de transparencia puede afectar a la confianza entre socios comerciales, menoscabando así la estabilidad de los mercados agroalimentarios. En cambio, disponer de información rápida y exhaustiva sobre las condiciones de los mercados y las normas que afectan al acceso a ellos resulta esencial para incrementar la participación de las empresas agrícolas en el comercio internacional, lo cual, a su vez, mejora la productividad y la competitividad y promueve el crecimiento económico, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza. (p. 1).

### ***Competitividad de las Exportaciones***

La competitividad en el ámbito de las exportaciones se refiere a la capacidad de diferenciarse y posicionarse en un mercado específico. Ser competitivo en una industria depende de varios factores como la calidad del producto, el precio, la seguridad y el cumplimiento de las normas, la eficiencia logística, y la capacidad de adaptación e innovación. Lograr destacar en un mercado ayuda a obtener mayores ganancias y a tener una mejor reputación, lo que permite expandir la cartera de clientes, e impulsar la innovación y la satisfacción de los consumidores. Martínez (2024) amplía el concepto de competitividad con la siguiente información:

La competitividad depende de varios factores, incluidos la innovación, la infraestructura, el entorno empresarial, el acceso a recursos naturales y humanos cualificados, y las políticas gubernamentales. Un entorno competitivo fomenta la eficiencia y la excelencia,

incentivando a las empresas a innovar constantemente para mantener o mejorar su posición en el mercado. (párr. 5).

Cuando se trata de la competitividad en el sector agrícola, se debe considerar la alta saturación del mercado y las exigencias de los compradores; también se incluyen otros factores como certificaciones de sostenibilidad y calidad, y las herramientas de trazabilidad que ayudan a garantizar la calidad y la seguridad alimentaria. Un ejemplo de este tipo de innovaciones es el *blockchain* el cual permite crear un registro inmutable de todas las etapas de la cadena de suministros para crear confianza y seguridad con el cliente.

### ***Empresa Exportadora***

La empresa exportadora es aquella que comercializa sus productos por fuera de su mercado nacional. Estas empresas suelen encontrar una ventaja, ya sea absoluta o comparativa, o una carencia en algún mercado foráneo y deciden suplirla usualmente con el propósito de generar ingresos. Estas empresas deben adaptarse a las tendencias del mercado e informarse del consumidor del país de destino, analizando su mercado objetivo para adaptar el producto de forma adecuada. Finalmente, deben asegurarse de cumplir con toda la normativa nacional e internacional y ofrecer un producto de calidad para mantener su reputación en los mercados externos.

Las empresas exportadoras ayudan a diversificar los bienes ofrecidos en un mercado y a crear un ambiente más competitivo, lo que impulsa a las demás empresas exportadoras y nacionales a ofrecer productos de mejor calidad. También generan beneficios en la economía del país al fomentar el intercambio internacional, establecer relaciones con las personas del mercado importador y generar una renta y empleos para la comunidad en la que se establecen. Minondo (2022) expande el tema de la importancia de las empresas exportadoras estableciendo lo siguiente:

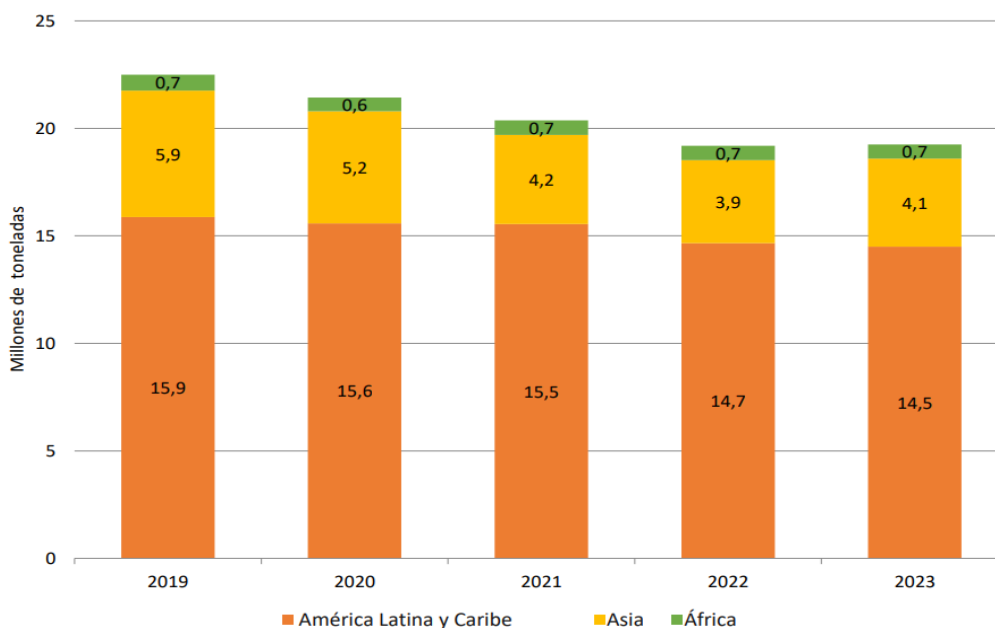
Las empresas exportadoras son importantes porque nos permiten acceder a bienes y servicios que no producimos y que son clave para nuestro bienestar. Además, las empresas exportadoras sobresalen por sus buenos indicadores de empleo, productividad, e innovación. Por ello, son un segmento de empresas que debemos cuidar y fomentar con especial empeño. (párr. 7).

### ***Exportación de Banano Internacional***

La exportación de banano es una actividad económica relevante a nivel mundial debido a su importancia en las dietas de varias poblaciones en diferentes regiones. El banano es una fruta popular destacada por su sabor dulce y por ser rica en nutrientes como el potasio, fibra, y vitaminas. Debido a las condiciones climáticas necesarias para su cultivo, países latinoamericanos como Ecuador, Costa Rica, y Guatemala, y algunos países del sudeste asiático como Filipinas destacan en la producción y exportación de banano.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), “El volumen total de las exportaciones alcanzó así unos 19,3 millones de toneladas en 2023” (p. 2), lo que representa un aumento de un 0.3% en comparación con las exportaciones del año anterior a este. Aunque el incremento es modesto, logra reflejar la estabilidad del consumo de banano, al ser este uno de los productos agrícolas más comercializados, a pesar de los retos de su exportación.

La demanda de este cultivo se mantiene a nivel internacional debido a los factores anteriormente mencionados, sin embargo, las exportaciones de bananos se exponen a una variedad de desafíos como la fluctuación de los precios de implementos básicos para el cultivo, catástrofes climáticas como inundaciones y tormentas tropicales, y la aparición de plagas. Por ende, es de suma importancia que los exportadores mantengan un control adecuado sobre su producción y que, de esta manera, puedan suplir el mercado internacional de forma segura.

**Figura 1:***Exportadores de banano a nivel mundial*

*Nota.* Adaptado de *Exportación mundial de banano por región, 2019 – 2023, millones de toneladas*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2024. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/318cda0c-dae9-4c24-a8cb-44afd40b90c3/content>

### ***Exportación de Banano Desde Costa Rica***

Durante años Costa Rica ha destacado en la exportación bananera, no solo por el sabor y la calidad del cultivo, sino también por su compromiso con la sostenibilidad con certificaciones como Rainforest Alliance, que certifica la producción ética y ecológica. Procomer (2025) establece que en el año 2024 el banano fue el tercer producto más exportado por el país, con un 6% del total volumen de las exportaciones. La región Huetar Atlántico es la que produce la mayor cantidad de banano para la exportación, debido a su clima húmedo que favorece el cultivo y la maduración de la fruta.

La exportación de banano representa una actividad económica de suma importancia, ya que además de aportar divisas a la economía, también ayuda a la balanza comercial del país. Por

otro lado, el sector bananero representa una fuente importante de empleos, especialmente en zonas más rurales donde se ubican las plantaciones y las productoras. Finalmente, no se puede dejar de lado su contribución indirecta a labores como el transporte tanto terrestre como portuario y el sector logístico. Lozano (2022) evidencia la importancia de este sector de la siguiente manera:

Esta industria genera en el país, nada más y nada menos que, 40.000 empleos directos y 100.000 indirectos que son permanentes, pues la recolección de la fruta y el mantenimiento general de las plantaciones se realiza a lo largo de todo el año, convirtiéndola en una industria estratégica. (párr. 3).

Las exportaciones de banano de Costa Rica tienen diferentes obstáculos, entre ellos se encuentran fenómenos meteorológicos como El Niño que genera sequías y el aumento en las temperaturas. Otro de sus desafíos son plagas como el hongo *Fusarium* y la araña roja. Como último obstáculo, resaltan las solicitudes de una baja en los precios del banano impuesta por los mercados importadores, Arce (2023) establece lo siguiente al respecto:

El medio especializado Reefer Trend comunicó el pasado 08 de diciembre que los supermercados europeos están solicitando una rebaja de 1.30 euros/caja en el precio del banano, pasado de 16.30 euros/caja a 15,00 euros/caja de banano, es decir un -8,00% para un año. (párr. 1).

Costa Rica ha logrado mantener el precio de sus exportaciones bananeras justificado en la calidad de la producción nacional de este cultivo, las excelentes condiciones de exportación, y las certificaciones de sostenibilidad. Por este motivo es de suma importancia que los exportadores se aseguren de mantener la calidad de su cultivo y la transparencia en este proceso, herramientas innovadoras como el *blockchain* pueden ser clave para mantener el posicionamiento en los mercados foráneos.

**Destinos de las Exportaciones de Banano desde Costa Rica.** Debido a la calidad del cultivo, su ubicación estratégica con puertos en el Pacífico y el Caribe, y las relaciones internacionales fortalecidas por tratados de libre comercio, Costa Rica cuenta con varias oportunidades de venta de banano en los mercados extranjeros. El principal importador de banano costarricense es Estados Unidos, seguido por países europeos como el Reino Unido, Bélgica y Holanda. Sajami (2025) aporta la siguiente información con respecto a los destinos de importación del banano de Costa Rica.

Destaca que Costa Rica sigue enfocada en sus mercados principales: la Unión Europea, que absorbe el 47% de la exportación; Estados Unidos, con un 33%; Reino Unido, con un 9%, y el resto a otros mercados, principalmente del Medio Oriente, tales como Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, entre otros. (párr. 3).

**Tabla 1**

*Principales destinos de las exportaciones de banano de Costa Rica*

Destino	Millones USD	Toneladas
Estados Unidos	376	853 206
Reino Unido	98	236 097
Holanda	90	208 576
Bélgica	80	184 294
Italia	73	182 129
España	46	120 244
Alemania	45	105 451
Turquía	25	63 087
Ucrania	24	72 763
Portugal	23	66 840

*Nota.* Adaptado de *Principales destinos para la exportación de banano desde Costa Rica en el año 2019*. Rojas (2021) con base a datos de Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2020. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/f9b17a1b-9b01-4736-b26b-37991361c645/content>

## **Importación**

Una importación se puede definir como el proceso realizado cuando un comprador adquiere un bien o un servicio proveniente de otro país. Usualmente las importaciones se hacen con el propósito de obtener un producto a un menor precio al que es ofrecido en su mercado local o acceder a un bien que no se produce del todo en el mercado local. Rivera (2021) amplía a continuación el significado de este término:

En este sentido, podemos definir una importación como toda entrada de una mercancía, bien o servicio enviada desde un determinado territorio aduanero, con destino a otro territorio aduanero, bajo el cumplimiento de todos los requisitos y requerimientos formales legales a que haya lugar, de acuerdo a la legislación aduanera nacional. (p. 6).

Las importaciones forman parte de la balanza comercial de los países y fomenta las relaciones internacionales. También ayudan a diversificar el consumo de un país ofreciendo bienes no ordinarios en los mercados como por ejemplo frutas de temporada o que su producción es poco común localmente, como por ejemplo el banano. Los principales exportadores de banano son países de primer mundo con tecnología avanzada y normas fitosanitarias estrictas, por lo que es importante que los exportadores conozcan bien el país de importación y sus requisitos para no infringir ninguna de sus regulaciones.

## **Tecnología**

La tecnología es el conjunto de conocimientos y herramientas aplicadas por una persona para resolver algún problema específico y mejorar su calidad de vida. Este concepto ha permitido experimentar soluciones innovadoras en campos críticos como el de la salud, la educación y la comunicación no sólo con herramientas o aparatos, sino también con la creación de metodologías y sistemas. Los autores Saavedra, Figueroa y Sánchez (2021) plantean la siguiente definición del término:

Se puede referir que la tecnología desde algunos escenarios se ha asumido como un campo transversal, donde el sujeto es capaz de materializar una idea que nace a partir de la identificación un problema, cuya intención de su solución es suplir una necesidad contextual, y es en el marco de la construcción de esa solución, donde el sujeto es capaz de convocar otras habilidades humanas, como es, la creatividad, la curiosidad y el diseño. (p. 119).

De esta manera se logra comprender que el término “tecnología” va más allá de los artefactos o aparatos físicos que se utilizan de forma cotidiana, también hace referencia al proceso humano activo y al conocimiento aplicado para lograr la creación exitosa y eficiente de los aparatos y las metodologías. El autor involucra en su definición la parte tecnológica tangible sin dejar de lado la parte intelectual, otorgando una definición completa de la palabra que se relaciona con las tecnologías del mundo actual como el *blockchain*, el cual es un sistema tipo software, que corre en tecnología hardware como las computadoras.

### **Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)**

El concepto de TIC se refiere a todas las tecnologías utilizadas para comunicarse, compartir información y procesar datos de manera eficiente y en poco tiempo. Está compuesta por diferentes ámbitos de la tecnología como el hardware o los aparatos físicos, el software, los sistemas utilizados, las redes como el internet, y los servicios o plataformas como las redes sociales. La Universidad Latina de Costa Rica (2020) explica la importancia de estas tecnologías de la siguiente manera:

Su función principal es facilitar el acceso a la información fácil y rápida en cualquier formato, esto es posible a través de la inmaterialidad; es decir de la digitalización de la información para almacenarla en grandes cantidades o tener acceso aún si está en dispositivos lejanos. (párr. 6).

Las Tecnologías de la Información y Comunicación, al digitalizar la información y permitir acceso a ella de forma inmediata, son los fundamentos de la creación y el desarrollo constante de tecnologías como el *blockchain*. El *blockchain* es un ejemplo de una de las tecnologías más avanzadas de las TICs, al ser un tipo de software que se conecta a redes globales, lo que garantiza la transparencia de la información y facilita el acceso a la misma.

### **Flujo de Información**

El término de flujo de información se refiere al recorrido mediante el cual los datos se transfieren de un lado a otro en una red o un sistema. Este intercambio de información puede ser de forma horizontal o vertical, interno o externo. Alvarado (2024) explica el funcionamiento de estas en su artículo, al indicar que “Funcionan como la red que conecta diferentes áreas y niveles jerárquicos, para asegurar que la información relevante llegue a las personas adecuadas en el momento oportuno”. (párr. 5).

En el ámbito del *blockchain*, el flujo de información se caracteriza por ser compartido, transparente, e inmutable. Estas cualidades constituyen las características de este sistema y garantizan su confiabilidad. La información es registrada en bloques, cada bloque contiene la identificación o hash del bloque anterior, esto es lo que enlaza la información relacionada. Los datos son verificados por los nodos y su seguridad se garantiza mediante mecanismos de criptografía avanzados.

### **Análisis de Datos**

El análisis de datos se puede definir como un proceso en el cual se examina y organiza un conjunto de información, con el propósito de que esto posibilite encontrar un patrón o una respuesta a un problema en específico. Yasar (2024) resume el objetivo de este proceso de la siguiente manera: “Las tecnologías y técnicas de análisis de datos se utilizan ampliamente en los sectores comerciales para que las organizaciones puedan tomar decisiones empresariales más informadas”. (párr. 1).

El *blockchain* es una herramienta que facilita el registro de la información al almacenar los datos de forma segura e inmutable, lo que favorece el análisis de datos para lograr rastrear operaciones. En áreas como la trazabilidad, permite identificar desde el origen de las mercancías hasta su destino final, logrando una mayor eficiencia en los procesos, por lo que la integración del *blockchain* para el análisis de datos asegura que la información pueda ser verificada y protegida contra manipulaciones. Esto aumenta la transparencia y la confianza entre las partes, volviendo a sus usuarios más competitivos en el mercado.

### ***Blockchain***

El *blockchain* se puede definir como una tecnología digital o software que permite almacenar la información de forma segura y de manera tal de que los datos ya almacenados sean inmutables. Esto es posible gracias a una base de datos que se distribuye entre varios participantes conocidos como nodos en el cual se organiza la información en bloques conectados entre sí por medio de su hash. Cada bloque contiene su hash y el hash del bloque anterior, lo que garantiza que la cadena no pueda ser modificada.

En su artículo, los autores (2017) definen el *blockchain* de la siguiente manera “Una *blockchain* no es otra cosa que una base de datos que se halla distribuida entre diferentes participantes, protegida criptográficamente y organizada en bloques de transacciones relacionados entre sí matemáticamente”. (p. 23). Seguidamente, proceden a identificar la clave de este sistema al decir que “El consenso es precisamente la clave de un sistema *blockchain* porque es el fundamento que permite que todos los participantes en el mismo puedan confiar en la información que se encuentra grabada en él”. (p. 23).

Lo que establecen estos autores evidencia el motivo por el cual el uso del *blockchain* puede funcionar en la trazabilidad de las exportaciones de banano. Al ser un sistema en el que la información es inmutable, permite que haya confianza instantánea entre el comprador y el vendedor al tener transparencia en todo el proceso de la cadena de suministros, sabiendo exactamente lo que se está comprando y garantizando la seguridad y la calidad del cultivo.

## ***Nodos***

Un nodo es un punto de conexión dentro de una red en el cual se almacena la información. Estos puntos resultan fundamentales para el funcionamiento de diversas herramientas tecnológicas ya que, gracias a ellos, la información tiene la capacidad de ser transferida de un punto a otro. Los nodos son uno de los elementos clave que posibilitan el uso del *blockchain* según su diseño original y con las características que lo distinguen como una tecnología innovadora. Señor (2023) explica la relación de ambos términos de la siguiente manera:

...*blockchain* es un sistema de almacenamiento descentralizado y distribuido entre los nodos de la red, es decir, los datos no se guardan en una única ubicación, como puede ocurrir en una red IoT con la capa del cloud si tiene la estructuración típica comentada anteriormente, ni son controlados por una única entidad. (p. 11)

Los nodos que participan en un sistema de *blockchain* son los que permiten que esta sea una red descentralizada y segura, ya que la gestión de la información no está en una sola persona, sino en varios dispositivos pertenecientes a diferentes usuarios. Cada nodo cuenta con una copia de los registros de las transacciones realizadas y algunos inclusive se encargan también de verificar los datos antes de que estos sean incorporados a la cadena.

## ***Bloques***

En el *blockchain*, los bloques son las estructuras que almacenan la información de la cadena. Cada bloque tiene su propia identificación, conocida como *hash* y cada dato ingresado cuenta con su fecha de introducción, entonces cuando un bloque se llena de información verificada, este es incluido a la cadena y se enlaza al contener el hash del bloque anterior. Los bloques ayudan a que la cadena sea inmutable, ya que para poder modificar un solo bloque se requiere alterar todos los bloques siguientes, lo que es casi imposible en una red descentralizada, ya que se tendrían que cambiar al mismo tiempo muchas copias del registro en distintos nodos.

Basándose en la información anterior, se puede concluir que los bloques dan la posibilidad de crear un registro público, compartido y seguro. Maldonado (2023) presenta la siguiente analogía para comprender mejor este concepto: “Siguiendo esta semejanza, si una red *blockchain* es un libro mayor, cada bloque serían cada una de las páginas que lo forman y donde van quedando anotadas todas las transacciones realizadas dentro de la red”. (párr. 9).

### ***Hash***

Un *hash* se puede definir como la identificación de cada bloque de la cadena, es un código único compuesto por números y letras. Si la información original contenida en el bloque cambia, el *hash* cambiará también, por lo que este código permite asegurar que la información contenida en el *blockchain* sea realmente inmutable. Cada bloque incluye el hash del bloque anterior, esto es lo que conecta a los bloques como una cadena. Valencia-Ramírez (2020) explica el concepto de la siguiente manera:

Es el número que identifica al bloque, se trata de un número único e irrepetible que cada bloque contiene, más el número del bloque anterior, esto permite que se forme la cadena. Este número de “identificación” va a depender de la información que el contenga, si la información se cambia el número también lo hará y romperá la cadena y todos los participantes de la red se darán cuenta del intento de fraude. (p. 48).

### ***Peer to Peer***

Un sistema se categoriza como peer to peer cuando es descentralizado, lo que significa que todos los usuarios (en el *blockchain* conocidos como nodos) tienen el mismo nivel de autoridad, de comunicación, de control y de accesos a la red. Al no haber una computadora central, se pueden prevenir ciberataques y en caso de que algún participante se desconecte, los demás pueden continuar funcionando sin ningún inconveniente. Aliaga (2023) expone el término de este modo:

Una red Peer-to-Peer (o P2P) es un tipo de red de computadores descentralizada donde los computadores (nodos) en la red comparten recursos directamente entre sí sin la necesidad de un servidor centralizado, o sea, definida en oposición al clásico modelo de cliente-servidor. (p. 5).

El hecho de que los recursos sean compartidos de forma directa y equitativa genera confianza y transparencia dentro de la red, además de fomentar la colaboración entre los participantes. Que el *blockchain* utilice este modelo de operación es fundamental, ya que todos los nodos pueden almacenar todos los registros de las transacciones y participar en la validación de cada dato, lo que ayuda a mantener la seguridad al detectar rápidamente cualquier intento de alteración de la cadena, haciendo que esta sea más segura.

### ***Minería***

La minería es el sistema utilizado en el *blockchain* para validar las transacciones realizadas en la red. Los mineros se encargan de resolver un problema matemático complejo con el propósito de lograr agregar un nodo a la cadena. Este proceso no solo ayuda a mantener la seguridad de la cadena, también es lo que permite que el *blockchain* pueda ser un sistema descentralizado, ya que las transacciones las confirman los mineros. Becerra (2022) explica el funcionamiento de la minería de este modo:

De manera muy esquemática, en un intervalo de tiempo dado, todos los mineros (nodos) crean bloques con miles de transacciones (transferencias entre billeteras) e intentan resolver un problema matemático único correspondiente al bloque creado. El primero en resolverlo debe enviar la información de su bloque al resto de los mineros (nodos) para que puedan confirmarlo y agregarlo a la *blockchain* de la red. (párr. 4).

En el caso de las criptomonedas, la recompensa por descifrar el código suele ser una moneda, de ahí proviene el nombre de este concepto, pero al implementar este sistema en la trazabilidad de las exportaciones, podría contarse con una remuneración económica, lo que incitaría a los usuarios a participar en este proceso de minería y descifrar los problemas matemáticos con el propósito de evitar que se registren transacciones incorrectas o duplicadas y de mantener la información segura; no todos los tipos de *blockchain* requieren mineros.

### ***Criptografía***

La criptografía es un método utilizado para proteger la información transformándola en un código cifrado que solo las personas autorizadas pueden descifrar con una llave privada que permite desbloquear el código. En el *blockchain*, la criptografía permite que la información sensible pueda ser vista solo por los usuarios que poseen la clave del código criptográfico. Mena (2024) menciona lo siguiente al respecto: “La seguridad de la *blockchain* se basa en la criptografía, que garantiza que una vez que se ha agregado un bloque a la cadena, no se puede modificar sin alterar todos los bloques posteriores, lo cual es prácticamente imposible”. (p. 2).

### ***Descentralización***

La descentralización se refiere a un modelo en el cual no existe un usuario central que tenga autoridad y control sobre todo el sistema, sino que cada participante tiene la misma accesibilidad a la red. Esto evita la manipulación de los datos por un servidor central y permite que los sistemas sean más eficientes y seguros. A continuación, se presenta la definición establecida por Bubenko (2024): “(...) la descentralización implica la distribución de poder, control y autoridad de toma de decisiones entre múltiples entidades o individuos. En sistemas descentralizados, no hay un solo punto de control, y la toma de decisiones se distribuye entre varios participantes”. (párr. 3).

Esta característica fundamental del *blockchain* les aporta transparencia a la información que contenga la cadena y autonomía a los usuarios, al no haber intermediarios que puedan alterar la información real ni tener que confiar en una autoridad central, ya que ellos mismos tienen la posibilidad de acceder a los datos y de almacenarlos. En las exportaciones, esta es la clave de la

confianza entre el comprador y el vendedor, ya que el comprador puede acceder a los datos relacionados a su compra de banano desde la finca en la que se cultivó el mismo hasta los documentos de control de calidad.

### ***Inmutabilidad***

La inmutabilidad se puede definir como la ausencia del cambio en sistemas tecnológicos, esto significa que la información registrada no pueda ser alterada o eliminada. En el ámbito del *blockchain*, esto es posible debido a que los bloques se entrelazan por medio del código hash, cada bloque contiene el hash del bloque anterior, entonces, si la información de un bloque cambia, su hash también lo haría. Esto significa que no se puede cambiar la información de un bloque sin modificar toda la cadena, lo que hace la alteración de esta casi imposible. Lima (2024) relaciona la inmutabilidad con el *blockchain* de la siguiente manera:

Cuando un objeto es inmutable permite que pueda ser compartido por varios objetos sin que puedan afectarse entre sí, ya que no hay nada que puedan hacer sobre ese objeto compartido que produzca un cambio visible para el otro objeto que lo conoce.

Actualmente a la propiedad de inmutabilidad se le relaciona con *blockchain*, debido a la capacidad que tienen los datos registrados en la cadena de bloques de ser imborrables o no modificados del registro. (p. 10).

### ***Contratos Inteligentes***

Los contratos inteligentes se programan dentro del *blockchain* como un acuerdo digital automatizado entre las partes involucradas. Padilla (2020) lo define de la siguiente manera: “un contrato inteligente es un software que permite ejecutar de manera automática códigos que incorporan obligaciones entre partes acordadas de manera previa y que se encuentran almacenadas en un registro descentralizado, ante la verificación de las condiciones codificadas”. (párr. 13).

Esta es una de las funciones más características del *blockchain*, ya que da la posibilidad de que el sistema sea flexible ante excepciones que pueden suceder en un proceso tan volátil, como lo es una cadena de suministros de un producto agrícola como el banano. Además de que aumenta la confianza entre las partes porque las reglas no se pueden modificar ni manipular, lo que hace que los procesos sean más seguros y eficientes.

### ***Usos de la Tecnología Blockchain***

La tecnología *blockchain* se aplica en una gran variedad de sectores con el propósito de mantener la transparencia, seguridad y la inmutabilidad de la información registrada. Su uso más conocido es en las criptomonedas cuando Satoshi Nakamoto en el año 2008 crea el Bitcoin, la primera moneda descentralizada y segura, que le permite a sus usuarios mantener su anonimidad. En la medicina también se utiliza el *blockchain* para proteger el historial médico de los pacientes y para gestionar los datos confidenciales de ensayos clínicos.

La cadena de bloques también se ha convertido en una herramienta importante del área de banca y finanzas, donde posibilita realizar transacciones de manera más segura al mejorar la transparencia de las inversiones, hacer pagos de forma más rápida y segura, y prevenir el fraude, ya que la información registrada es inmutable. Por otro lado, el *blockchain* también está experimentando un auge en su uso para la educación al facilitar la gestión de expedientes académicos digitales y garantizar la autenticidad de los títulos y las calificaciones obtenidas.

Una de las aplicaciones más innovadoras del *blockchain* ha sido para la trazabilidad de los productos agrícolas en su cadena de suministros, en especial si son productos de exportación, ya que se conoce que no hay tanta confianza entre las partes en la mayoría de los casos. El *blockchain* ayuda a crear esa confianza al permitirle a la otra parte conocer desde el origen del producto hasta que este le es entregado, lo que permite adicionalmente identificar problemas de calidad, manejo o plagas de forma eficiente. Debido a las propiedades del *blockchain*, este puede ser utilizado en distintos ámbitos, Marín (2022) establece lo siguiente al respecto:

Características como la inmutabilidad de la red, la trazabilidad, la agilidad que permite en las transacciones y la incensurabilidad justifican la cantidad de usos de esta en ámbitos muy diversos como las finanzas, la educación, la salud o la energía entre otros. (p. 47).

### ***Beneficios del uso del Blockchain en la Trazabilidad de las Exportaciones de Banano***

El uso del *blockchain* puede generar varios beneficios para la trazabilidad de las exportaciones de banano. Entre ellos destaca la transparencia total que genera al asegurarse que todas las etapas de la cadena de suministros estén registradas. El hecho de que estos registros de información sean inmutables expone un segundo beneficio, ya que el hecho de que no pueda haber manipulaciones en los datos que obtiene el comprador crea una mayor confianza en la calidad y la procedencia del banano, protegiendo a ambas partes de la transacción.

Adicionalmente, el uso de la cadena de bloques en la trazabilidad de las exportaciones de banano permite reaccionar rápidamente ante cualquier inconveniente que se presente en la cadena de suministros, ya sea una mala manipulación del banano o contaminación cruzada una plaga, el *blockchain* da acceso para identificar el lote afectado, la procedencia, la etapa en la que se ocasionó el problema y el responsable de esta para poder realizar retiros selectivos. Esto no solo evita el desperdicio de mercancía, sino que también permite atacar el problema de raíz de forma eficiente.

La aplicación del *blockchain* también optimiza la cadena de suministros, ya que, debido a la verificación automatizada de la información, se requieren menos intermediarios en el proceso. Lo anterior, aparte de reducir costos de operación, también hace que la cadena sea más eficiente y rápida al eliminar errores humanos y el exceso de papeleo innecesario, además de permitirle a las partes contar con acceso en tiempo real a los datos, lo que también ahorra tiempo al colaborar con la identificación desvíos de manera inmediata y monitorear la calidad del cultivo.

Finalmente, el uso de la cadena de bloques en este ámbito apoya el cumplimiento de las normativas de los mercados exigentes como el americano y el europeo, al tener toda la

información necesaria transparente y auditada. El cumplimiento certificado de estas normas les permite a los exportadores ser más competitivos en el mercado internacional al mostrar compromiso con la calidad, la cooperación con las regulaciones fitosanitarias y la innovación tecnológica para hacer sus operaciones más eficientes y satisfacer a sus clientes. BananaExports (2025) cita a Cárdenas (2024) para destacar la importancia de la trazabilidad del banano en el mercado actual:

la trazabilidad digital sigue evolucionando, se está convirtiendo rápidamente en un requisito estándar para las importaciones agrícolas en Europa. Foros globales recientes, como el Global Food Traceability Forum, han discutido la necesidad de adoptar estos sistemas para satisfacer las crecientes demandas de transparencia, sostenibilidad y seguridad alimentaria. (párr. 5).

### ***Desafíos del Uso del Blockchain en la Trazabilidad de las Exportaciones de Banano***

Aunque el *blockchain* ofrece varios beneficios, es importante también considerar los retos que se puede experimentar debido a su uso. El desafío más conocido es el alto costo de inversión, a pesar de que con los años se han creado sistemas menos costosos, la inversión inicial para aplicar la cadena de bloques puede ser muy costosa para las empresas. Se debe considerar no sólo el costo del software, sino también los sensores necesarios para la trazabilidad, la infraestructura tecnológica y la capacitación del personal.

La falta de infraestructura digital y tecnológica en las zonas rurales también puede ser un obstáculo para aplicar este sistema, en especial al considerar que, en muchas ocasiones, las plantaciones de banano se encuentran en zonas rurales, donde quizás no se cuenta con una buena conexión de internet para subir las cosas a la cadena de bloques. Por otro lado, las personas involucradas en la cadena de suministros pueden tener dificultades para adaptarse a este sistema e incluso mostrar resistencia a un cambio tan innovador, en especial si están acostumbrados al sistema tradicional de trazabilidad.

Adicionalmente, la falta de regulaciones legales puede generar preocupación en los exportadores de banano, ya que el *blockchain* al ser una herramienta tan novedosa, no cuenta con normas claras y se puede cuestionar su validez jurídica y fiscal. Al tratarse de un sistema que maneja información sensible y confidencial, esto representa un obstáculo en su aplicación. Por último, se conoce que las redes de *blockchain*, en especial las públicas, consumen mucha energía, lo que puede generar un problema en la sostenibilidad dependiendo de la alternativa escogida. Grasso (2022) establece lo siguiente al respecto:

El mecanismo de consenso mediante el cual la tecnología *blockchain* agrega nuevos bloques a la cadena puede ser muy costoso para el medioambiente. Según el sitio [statista.com](http://statista.com), la red de Ethereum, *blockchain* sobre el cual se ejecutan la mayoría de los proyectos, consume en un año más energía que Colombia o República Checa. (p. 11).

### ***Viabilidad de la Aplicación del Blockchain en la Trazabilidad de las Exportaciones de Banano***

Después de considerar los beneficios y los desafíos del uso de *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano, se puede deducir que la aplicación de este sistema sería viable, ya que ofrece grandes ventajas para los exportadores que los ayudarían a posicionarse en el mercado competitivo internacional y a acoplarse mejor a las regulaciones internacionales, especialmente con un producto como el banano que es altamente perecedero y propenso a plagas y enfermedades.

Sin embargo, no se pueden dejar de lado los desafíos que pueden experimentar los exportadores como los costos de implementación y la infraestructura necesaria, que varían dependiendo de la empresa, el tipo de *blockchain* que decidan utilizar y su ubicación en la zona Huetar Atlántico. Por este motivo es de suma importancia que cada empresa analice y realice un estudio de su situación actual y su mercado objetivo antes de tomar la decisión de aplicar el *blockchain* en su cadena de suministros.

Basado en lo anterior, se puede concluir que esta herramienta sí tiene el potencial para convertirse en un requisito emergente con creciente demanda por parte de los compradores en un futuro. Procomer (2020) continúa estableciendo en su artículo que “Los exportadores y/o potenciales exportadores deben monitorear sus mercados de interés y el comportamiento de los consumidores, con la finalidad de estar enterados de las innovaciones y tendencias de compra”. (párr. 5).

### ***Tipos de Tecnología Blockchain***

Con la evolución del *blockchain*, se han creado diferentes variaciones con características únicas, según la manera en la que se desea aplicar esta herramienta. Los tipos de tecnología *blockchain* se dividen según la accesibilidad que tienen los usuarios a la información de la red y si es una red descentralizada o no. Cada uno de los cuatro tipos de *blockchain* es más adecuado para un uso específico según el tipo de empresa que lo quiera utilizar. Finance Crime Academy (2025) explica esto en su artículo con mayor amplitud:

*Blockchain* puede exhibir diferentes características y cubre una amplia gama de sistemas que van desde ser completamente abiertos y sin permisos hasta estar autorizados. En la práctica, *blockchain* es una tecnología con muchas caras que también pueden causar implicaciones de auditoría. Analicemos esto con más detalle. (párr. 5).

#### ***Blockchain Pública***

Esta red se puede definir como una red abierta a la que cualquier persona puede entrar y salir sin necesitar ninguna autorización. Esta red se mantiene descentralizada, todos los usuarios tienen el mismo acceso y son ideales para las criptomonedas que requieren un sistema que les otorgue confianza a los usuarios sin ningún intermediario. Un ejemplo de este tipo de *blockchain* es el utilizado para Bitcoin. Guaña-Moyat et al. (2022) definen esta red de la siguiente manera:

Este tipo de *blockchain* es una cadena abierta que no requiere ningún tipo de autorización para unirse, por tanto, el público en general puede participar sin autorización debido al

carácter descentralizado y no estar controlado por nadie. La cadena de bloques pública permite que todas las ramas de la cadena creen y validen datos. (p. 108)

### *Blockchain Privada*

La red de *blockchain* privada es controlada por una organización específica, la cual regula los accesos a la información y los usuarios que pueden utilizarla. Es aplicada por empresas o bancos que necesitan mantener centralizado el control de la información. Campbell (2025) menciona lo siguiente con relación a su funcionamiento: “Si bien opera como una red *blockchain* pública, en el sentido de que utiliza conexiones peer-to-peer y descentralización, este tipo de *blockchain* tiene una escala mucho menor y puede personalizarse para adaptarse a las necesidades de una empresa”. (párr. 14).

### *Blockchain Híbrida*

Cuando las empresas desean aprovechar el *blockchain* y ofrecer transparencia pública a una parte de su información, pero mantener un control privado, se les recomienda aplicar la cadena de bloques híbrida. Esta es una opción flexible en la que parte de la información es pública pero solo usuarios autorizados pueden validar las transacciones. Este tipo de *blockchain* es el más utilizado en los sistemas para cadenas de suministro ya que permite compartir la información clave para las partes involucradas, y mantener confidenciales los temas sensibles de la empresa exportadora. Campbell (2025) establece el término de la siguiente forma:

Una *blockchain* híbrida combina elementos de las *blockchains* privadas y públicas.

Permite a las organizaciones configurar un sistema privado basado en permisos junto con un sistema público sin permisos, lo que les permite controlar quién puede acceder a datos específicos almacenados en la *blockchain* y qué datos se hacen públicos. Cuando un usuario se une a una *blockchain* híbrida, tiene acceso total a la red. Su identidad está protegida de otros usuarios a menos que realice una transacción. En ese caso, su identidad se revela a la otra parte.

Normalmente, las transacciones y los registros en una *blockchain* híbrida no se hacen públicos, pero pueden verificarse cuando sea necesario, por ejemplo, al permitir el acceso mediante un contrato inteligente. La información confidencial se mantiene dentro de la red, pero sigue siendo verificable. Aunque una entidad privada sea propietaria de la *blockchain* híbrida, no puede modificar las transacciones. (párr. 34 y 35).

### *Blockchain de Consorcio*

El *blockchain* de consorcio es un tipo de red semi privada controlada por un grupo de empresas u organizaciones predeterminado. Se considera como una cadena de bloques parcialmente descentralizada, ya que no hay un usuario que tenga más autoridad que otro, todos los miembros tienen el mismo acceso, por lo que es más segura que una red privada pero más rápida que una pública al contar con menos usuarios.

Es frecuentemente utilizada en ámbitos como banca y finanzas y por entidades gubernamentales. Guña-Moyat et al. (2022) comparten la siguiente información relacionada a este tipo de *blockchain*: “El objetivo de un consorcio de *blockchain* es ayudar a las empresas a colaborar, debido a esto son las más solicitadas para la elaboración de soluciones compartidas para gobiernos, empresas y asociaciones”. (p. 109).

### ***Plataformas Blockchain Disponibles Para la Trazabilidad de Exportaciones Agrícolas***

Debido a la gran cantidad de beneficios que genera la aplicación del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones agrícolas, actualmente existen diferentes sistemas creados alrededor del mundo que le permiten a las partes de la cadena de suministros rastrear los productos de forma transparente, segura, eficiente y con menos riesgos en términos de transacciones y logística entre las plataformas que ofrecen estos servicios son OriginTrail, Provenance, Agridigital, IBM Food Trust, TE-FOOD y Ambrosus. A continuación, se ampliará sobre estas últimas tres, que son de las más utilizadas a nivel mundial.

### *IBM Food Trust*

Esta es una plataforma basada en *blockchain* creada por IBM que permite a sus participantes colaborar y compartir datos sobre los productos. Cada vez que el alimento pasa por alguna de sus etapas de producción, se registra la información en la *blockchain*, esta información se vuelve inmutable y se registra en la red en tiempo real, solo ciertos usuarios tienen acceso a la información. Las empresas compradoras y los consumidores finales pueden escanear el código QR en los alimentos para conocer su información, desde su origen hasta las normas fitosanitarias que sigue. Torres (2024) desarrolla la importancia de este sistema:

En resumen, IBM Food Trust está transformando la industria alimentaria al proporcionar una plataforma basada en *blockchain* que ofrece una forma segura y transparente de gestionar la cadena de suministro. Con beneficios que van desde una mayor transparencia hasta una mejor seguridad alimentaria, esta innovadora solución está ayudando a impulsar la industria hacia un futuro más seguro y eficiente. (párr. 11)

### *TE-FOOD*

TE-FOOD es una de las plataformas más utilizadas para la trazabilidad de bienes agrícolas tanto frescos como congelados. Fue creada en el año 2016 y cuenta con miles de usuarios alrededor del mundo. Este sistema identifica los productos ya sea por medio de un código QR o la identificación de radiofrecuencia y les ofrece a las empresas diferentes métodos para registrar y buscar la información, ya sea una aplicación B2B o un API, lo que permite que sea compatible con otros sistemas. Puesta en Marcha (2024) menciona lo siguiente acerca de esta plataforma:

Siguiendo su misión "Tienes derecho a saber lo que comes", TE-FOOD utiliza la tecnología *blockchain* para mejorar la trazabilidad y la seguridad alimentaria. Ha desarrollado una solución de trazabilidad basada en *blockchain* que rastrea el movimiento de los productos alimenticios desde la granja hasta el consumidor y almacena la

información. Permite la monitorización de los alimentos, lo que facilita la identificación y prevención del fraude alimentario y reduce el desperdicio de alimentos.

La plataforma ha sido adoptada por más de 6.000 empresas y organizaciones, rastreando más de 400.000 transacciones diarias, y puede ser utilizada por agricultores domésticos y marcas globales con diferentes categorías de alimentos, como carne, huevos y frutas y verduras frescas. (párr. 10 y 11).

**Ambrosus.** Ambrosus es un sistema que utiliza tanto el *blockchain* como el internet de las cosas (IoT) para mejorar la trazabilidad en la cadena de suministros de productos agrícolas y farmacéuticos. Por medio de sensores y rastreadores como los códigos QR y RFID monitorean los productos en tiempo real desde su cosecha hasta que estos llegan al consumidor final. La Comisión Europea (2020) menciona lo siguiente acerca de esta plataforma: “La red Ambrosus es un ecosistema basado en *blockchain* para cadenas de suministro que garantiza el origen, la calidad, el cumplimiento normativo y la correcta gestión de los artículos rastreados por la red”. (párr. 1).

Las partes de la transacción firman un contrato inteligente, el cual ingresan al *blockchain* para garantizar la inmutabilidad de los parámetros aprobados por los involucrados. La información es ingresada por los sensores y por las partes a la cadena de bloques, así pueden mantener monitoreado el estado y la calidad de los bienes y, en caso de que algo se salga de los parámetros establecidos, se conoce exactamente en qué etapa del proceso sucedió y quién fue el responsable.

### **Trazabilidad**

La trazabilidad se puede definir como el rastreo de un bien de un punto a otro, desde su origen hasta su destino final. Se considera desde su estado inicial como materia prima, su producción, su empaque, su logística a su lugar o país de destino y su recorrido hasta su punto de venta. Este seguimiento se puede realizar por medio de etiquetas, códigos QR, documentación

física y registros de datos digitales como el *blockchain*. Herrera, Maya, y Orjuela (2021) después de analizar diferentes definiciones, explica el término en su artículo de la siguiente manera:

La trazabilidad es la capacidad de rastrear y seguir un alimento y su unidad trazable previamente identificada, por medio de registros físicos o digitales a lo largo de toda la CS para el control y localización en cualquier momento a lo largo del ciclo de vida de dicha unidad, que permita la toma de decisiones. (párr. 14)

En las exportaciones, la trazabilidad es de suma importancia ya que es un medio para garantizar la calidad y la seguridad de los bienes. Los países importadores usualmente requieren información crucial como de dónde provienen las mercancías y cuál fue su manejo para asegurarse de no permitir el ingreso de alguna plaga, contaminación u otros problemas sanitarios que puedan afectar sus mercados locales y a su población, en especial cuando se trata de cultivos susceptibles a estos factores como lo es el banano. La trazabilidad facilita comprobar el cumplimiento de las normativas internacionales, lo que también ayuda a construir confianza con el comprador.

### **Cadena de Suministro**

El término cadena de suministro se refiere a todas las actividades que conlleva una mercancía, desde las compras de su materia prima, su fabricación, y su producción, hasta después de que el producto es entregado al comprador con procesos como el servicio post compra. Requiere de una gran planificación estratégica, para lograr coordinar cada uno de los procesos, asegurando que un paso no atrase al siguiente y que cada etapa sea realizada correctamente, también se necesita un control riguroso sobre las compras, los inventarios y los productos, tanto los que se encuentran en proceso de fabricación, como los que están en proceso de empaque y de distribución al cliente.

Los escritores García, Panizo y Sánchez (2022) comparten el objetivo de la cadena de suministros: “El objetivo principal de la cadena de suministro es dar respuesta rápida a los

pedidos entrantes de la mejor forma posible”. (p. 22). Para las exportaciones de banano esto significa mantener la gestión adecuada de la cosecha en la finca de producción, el control de calidad, el empaque y el transporte tanto local como internacional, hasta que el producto sea entregado al comprador, todo esto según la demanda del producto y asegurando la satisfacción de los clientes.

Para aplicar un sistema como el *blockchain* es importante que cada parte involucrada en el sistema registre su información de manera adecuada. Esto significa que todos los actores, desde el productor agrícola hasta el distribuidor final, ingresen los datos necesarios precisos. Esta información es parte crucial de la creación de la cadena de bloques inmutable que permite contar con una trazabilidad transparente, eficiente y segura a lo largo de toda la cadena de suministros, permitiendo garantizar la calidad de los bienes y mantener la confianza del comprador.

### **Sistemas de Trazabilidad**

Los sistemas de trazabilidad son aquellas herramientas que se utilizan para darle seguimiento al recorrido que conlleva la fabricación, producción y logística de las mercancías. Estos sistemas son los que logran garantizar el conocimiento de los factores necesarios para asegurar la calidad y la manipulación correcta de los bienes como la temperatura, la ubicación, la finca de proveniencia, el embalaje y el empaque, entre otros. Hallak y Tacsir (2021) mencionan lo siguiente acerca de los sistemas de trazabilidad aplicados a la cadena de suministros:

Estos sistemas “de cadena” implican beneficios en términos de eficiencia, normalización, explotación de la información y reputación. Además, sirven como plataforma para el desarrollo de otros más avanzados que contienen información adicional valorada por los clientes, constituyéndose en instrumentos de diferenciación. (p. 1).

### ***Sistemas Tradicionales de Trazabilidad Utilizados en las Exportaciones de Banano***

Los sistemas tradicionales de trazabilidad utilizados en las exportaciones de banano se refieren a aquellas herramientas utilizadas que no se han adaptado a las tecnologías complejas y modernas utilizadas hoy en día. Principalmente se trata de un registro basado en documentos físicos, como facturas, certificados, enumeración de lotes de producción, fotos y sistemas digitales básicos como hojas de Excel y *trackers* de navieras u empresas de transporte.

Estos sistemas suelen ser menos costosos y es más sencillo capacitar al personal, pero están sujetos a errores humanos, no cuentan con tanta transparencia, y usualmente suelen ser más lentos. Cachada (2022) establece lo siguiente en relación con los sistemas tradicionales de trazabilidad de la siguiente manera (como se cita en Pacheco-Bermeo, Ruiz-Solano, & Guzmán-Arias, 2023): “Los trabajadores usaban manualmente los primeros sistemas de trazabilidad y rastreo para registrar información, pero presentaban riesgos como información errónea y/o el uso ineficiente de los recursos”. (p. 47).

### ***Sistemas Modernos de Trazabilidad Utilizados en las Exportaciones de Banano***

En la actualidad debido a los avances tecnológicos de distintas herramientas existen opciones más innovadoras y eficientes para la trazabilidad de las exportaciones de cultivos como el banano. Entre ellos se encuentran los códigos QR, la identificación por radiofrecuencia (RFID), plataformas en la nube y la tecnología *blockchain*. Estos sistemas permiten tener acceso a la información en tiempo real, requieren menos trabajo humano y son menos propensos a sufrir de errores, por otro lado, se conoce que son más costosos, complicados de aprender y de integrar a los sistemas tradicionales. Ding et al. (2023) aportan la siguiente información clave acerca de estas tecnologías:

Entre ellas, algunas nuevas tecnologías se utilizan ampliamente en la industria alimentaria, como la inteligencia artificial, el *big data*, la impresión 3D y la tecnología *blockchain*. La aplicación de estas nuevas tecnologías puede mejorar la productividad,

reducir el desperdicio, mejorar la calidad y la seguridad alimentaria, aumentar la demanda masiva y fidelizar a los consumidores. (p. 4).

### **Cultivo de Banano**

El cultivo del banano es uno de los más cruciales a nivel mundial, no sólo por su importancia para el comercio internacional, sino también por la seguridad alimentaria que genera. Se produce en países con climas tropicales y subtropicales, con temperaturas cálidas y un alto nivel humedad como Costa Rica y otros países latinoamericanos, en los que este cultivo genera un sustento económico importante al generar empleos y divisas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establece lo siguiente acerca del cultivo de banano:

Las plantas de banano se reproducen asexualmente brotando vástagos desde un tallo subterráneo. Los brotes tienen un crecimiento enérgico y pueden producir un racimo maduro en menos de un año. Los vástagos siguen brotando de una única mata año tras año, lo que hace de los bananos un cultivo perenne. La importancia del banano como cultivo alimentario en las zonas tropicales no puede subestimarse. (párr. 3).

El cultivo de banano cuenta con un proceso que inicia con la preparación del suelo y las condiciones óptimas. Lo más popular es la siembra de un hijuelo o rizoma de una planta madre, en lugar de semillas. Cherlinka (2025) proporciona los siguientes datos sobre las etapas de cultivo y el tiempo de cada una:

El cultivo de plátano pasa por tres etapas principales de crecimiento: crecimiento vegetativo (unos 6 meses), floración (unos 3 meses) y desarrollo del fruto (unos 3 meses). Así pues, el tiempo que transcurre entre la plantación y la cosecha suele oscilar entre

nueve y doce meses, dependiendo del periodo de maduración de la variedad y de las condiciones de cultivo locales. (párr. 36).

Este tipo de cultivo, al ser perenne, significa que su ciclo de vida es mayor a un año y por la reproducción de sus vástagos o tallos, implica procesos agrícolas que requieren control y monitoreo continuo. Por lo que el uso del *blockchain* puede ser beneficioso al ofrecer un seguimiento registrado de cada etapa del cultivo, garantizando transparencia y organización para las partes involucradas.

### **Cultivo de Banano en Costa Rica**

El cultivo de banano en Costa Rica representa una de las actividades agrícolas más relevantes y estratégicas dentro del sector agroexportador. Desde el siglo XX, la exportación de este cultivo se ha ido fortaleciendo hasta convertirse en uno de los pilares importantes de la economía. La exportación de banano también ha fomentado la creación de empleos y el aumento de la comercialización. Mata y Díaz (2023) mencionan lo siguiente en relación con el cultivo de banano nacional:

En Costa Rica, el banano fresco ha sido unas de las mercancías más constantes en cuanto a volúmenes de exportación desde el siglo pasado. Dicha actividad se desarrolla principalmente en la zona Huetar Caribe del país y es una actividad que se ubica en los primeros lugares en la cartera de exportación del país en la actualidad. (p. 4).

### ***Cultivo de Banano en la Región Huetar Atlántico***

La Región Huetar Atlántico constituye la principal zona de producción bananera del país. Sus condiciones climáticas, caracterizadas por una elevada humedad y temperaturas cálidas, contribuyen significativamente a la calidad y a la adecuada maduración del cultivo. En esta región se encuentran tanto productores nacionales y pequeñas y medianas empresas (pymes) como reconocidas compañías exportadoras multinacionales, entre ellas Dole y Chiquita. Esta

dinámica comercial ha impulsado el desarrollo económico, generando empleo no solo de forma directa en las plantaciones, sino también en empresas de servicios de empaque, transporte y logística.

Los cultivos de banano en la región Huetar Atlántico también han contribuido a la reducción del impacto de eventos climáticos y a minimizar los daños a los ecosistemas debido al manejo adecuado de los suelos, el reciclaje y el control de plagas, ya que estas producciones están supervisadas por organizaciones locales para garantizar la calidad del cultivo y que la agricultura sea realizada de manera ética y sostenible. Mata (2021) profundiza más este concepto con la siguiente información:

En síntesis, la actividad bananera en la zona Huetar Caribe encierra características en su funcionamiento que destaca un proceso altamente coordinado, el mismo se estructura con la participación de distintos tipos de empresas, tanto nacionales como extranjeras, que combinan el uso intensivo de la tierra, mano de obra y capital, esto con la finalidad de lograr posicionar un producto de alta calidad en los mercados que demandan en este caso, el banano como fruto fresco. (p. 35).

### **Plagas y Enfermedades del Banano**

El banano es un cultivo susceptible a distintas plagas y enfermedades debido a su origen tropical, la alta temperatura en la que se cosecha y porque uno de sus sistemas de producción más comunes es el monocultivo, lo que aumenta las probabilidades de que los patógenos sean transmitidos de una planta a otra. Rojas (2021) establece información valiosa al respecto: “Los problemas más comunes están asociados con enfermedades causadas por hongos, virus, bacterias, nematodos e insectos. Su control estará determinado por un adecuado reconocimiento y los métodos utilizados que pueden ser: cultural, natural, biológico y químico”. (p. 13).

Por este motivo, su control fitosanitario es de suma importancia, no solo para proteger la producción local, sino también para evitar la introducción de plagas y enfermedades en países importadores y generar un riesgo sanitario. Un sistema como el *blockchain* aplicado en la trazabilidad de las exportaciones de banano ayuda a garantizar información verídica e inmutable sobre las prácticas agrícolas, con el fin de asegurar la calidad del cultivo y que este se encuentre libre de plagas, creando confianza en el cliente y con las autoridades de control de importaciones en el país de destino.

**Tabla 2**

*Principales plagas y enfermedades del cultivo de banano en Costa Rica.*

	<b>Enfermedad / Plaga</b>	<b>Nombre Científico</b>
<b>Principales Enfermedades</b>	Mal de Panamá	<i>Fusarium oxysporum f. sp. Cubense (Foc)</i>
	Moko	<i>Pseudomonas solanacearum</i>
	Pudrición del corazón	<i>Erwinia corotovora</i>
	Sigatoka negra	<i>Pseudocercospora fijiensis</i>
	Speckling	Combinación de hongos y clima
	Virosis bunchy top	<i>Xanthomonas sp.</i>
<b>Principales Plagas</b>	Abeja conga	<i>Trigona corvina</i>
	Afidos	<i>Pentalonia nigronervosa</i>
	Caligo	<i>Caligo memmon</i>
	Ceramidia	<i>Antichloris viridis</i>
	Cochinillas arinosas	<i>Pseudococcus spp.</i>
	Escama	<i>Diaspis boisduvalii</i>
	Gusano monturita	<i>Acharia apicalis</i>
	Gusano verde	<i>Opsiphanes tamarindi</i>
	Mosca blanca	<i>Aleurodicus spp.</i>
	Mosca chichera	<i>Hermethia illucens</i>
	Nematodos	<i>Radopholus similis</i>
	Picudo negro	<i>Cosmopolites sordicus</i>
	Trips	<i>Chaetanaphothrips spp.</i>

*Nota.* Adaptado de *Principales plagas y enfermedades del cultivo de banano en Costa Rica.*

Rojas (2021) a con base a datos de (Cubillo, 2013, p.4) y (Ortiz. et al. 2001, pp.155-162).

<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/f9b17a1b-9b01-4736-b26b-37991361c645/content>

## **Agroquímicos Utilizados en el Cultivo de Banano**

El banano debido a su susceptibilidad a distintos tipos de plagas y enfermedades requiere del uso de pesticidas y agroquímicos. Mosquera (2023) menciona los siguientes tipos de químicos utilizados en los cultivos de banano: insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, acaricidas y fertilizantes. Estos se utilizan con el propósito de garantizar la salud de las plantaciones y la calidad del cultivo para el ingreso a mercados extranjeros, sin embargo, se conoce que estos químicos pueden tener efectos nocivos para la salud de las personas y para el medio ambiente, por lo que su uso debe de ser controlado y monitoreado. Al respecto Mosquera (2023) comenta que:

Los agroquímicos, aunque esenciales para la protección y mejora del rendimiento de los cultivos, presentan potenciales riesgos para la salud humana, el medio ambiente y otros organismos no objetivo si no se manejan adecuadamente. El manejo y disposición segura de estos compuestos y sus residuos es esencial para mitigar estos riesgos. (p. 24).

El *blockchain* es una herramienta idónea para que los compradores internacionales tengan acceso a información confiable sobre el uso de agroquímicos adecuado, obteniendo así garantía total de la calidad del cultivo que están obteniendo. Por otro lado, este instrumento facilita el ingreso a los mercados internacionales, ya que permite comprobar de manera eficiente el cumplimiento de las regulaciones que verifican que los productos agrícolas ingresen al país libres de plagas y enfermedades.

## **Aplicación del *Blockchain* en el Cultivo de Banano**

Una herramienta como el *blockchain* es una propuesta innovadora para facilitar y fortalecer diferentes procesos en la cadena de suministros relacionados con la trazabilidad de la exportación del banano al brindar un registro inmutable de información valiosa de cada etapa, desde la finca de plantación hasta su transporte e ingreso al país de destino. Este sistema al almacenar los datos de forma segura y garantizar su autenticidad, reduce los riesgos de manipulación y fraude. Tal como lo plantean los autores Giraldo y Uribe (2022) a continuación:

Algunas de las ventajas principales del *Blockchain* en la cadena de suministro parten del hecho de que es programable, fiable, y permite obtener información en tiempo real sobre las operaciones realizadas. El objetivo de emplear esta tecnología entonces es poder reaccionar rápidamente en caso de que se presente alguna incidencia o imprevisto. Y, especialmente para las industrias alimentarias, las características del *Blockchain* que se mencionaron anteriormente lo convierten en una garantía de calidad para las compañías. (p. 16).

La implementación de este instrumento también otorga transparencia y confianza al ofrecer acceso a datos sobre el origen, la manipulación del producto y las prácticas agrícolas y sostenibles, lo que permite crear una relación sólida con el comprador y aumentar su satisfacción. A largo plazo esto le presenta la posibilidad al exportador de posicionarse en el mercado y diferenciarse de la competencia internacional por su nivel de responsabilidad, eficiencia, e innovación.

### **Regulaciones Sanitarias**

Las regulaciones sanitarias son el conjunto de normas y procedimientos que las mercancías deben cumplir para poder ser comercializadas en un país. Estas son establecidas con el propósito de proteger la salud pública y garantizar la seguridad y la inocuidad de los bienes que entran al mercado. Usualmente cuando se trata de productos importados, las regulaciones suelen ser más estrictas. La OMC (1998) establece lo siguiente al respecto:

Pero también dice que es preciso que las reglamentaciones estén fundadas en principios científicos y, además, que sólo se apliquen en la medida necesaria para proteger la salud y la vida de las personas y de los animales o para preservar los vegetales y que no

discriminen de manera arbitraria o injustificable entre Miembros en que prevalezcan condiciones idénticas o similares. (párr. 5).

En este caso, las medidas sanitarias son críticas ya que colaboran con la prevención y la propagación de plagas, enfermedades y contaminantes en el país importador del banano costarricense. Con el *blockchain*, el exportador puede demostrar el cumplimiento de las exigencias sanitarias y regulatorias de manera más eficiente e inmutable, lo que genera confianza para el cliente, seguridad para el exportador en el conocimiento de su producción y facilita el acceso a mercados de alto nivel que tienen mayores estándares de calidad.

### **Riesgos Sanitarios Relacionados con el Cultivo de Banano**

Los riesgos sanitarios en el cultivo de banano se refieren a las actividades o factores del proceso de producción que pueden tener consecuencias negativas sobre el ecosistema o las personas cuando no son gestionados de manera correcta. La mayoría de estos riesgos se relacionan con las plagas, enfermedades y sustancias químicas como los plaguicidas. Estos químicos pueden tener repercusiones sobre la salud. Esto es respaldado por la información que brinda Barrantes (2024) sobre el tema:

Los residuos de plaguicidas en los alimentos son una fuente importante de exposición para la población en general. A pesar de que existen límites máximos de residuos (LMR) establecidos por organismos reguladores, se ha encontrado que algunos alimentos contienen niveles de residuos que superan estos límites, lo cual representa un riesgo para la salud pública. (párr. 6).

Otros riesgos sanitarios asociados con la producción de esta fruta son los riesgos biológicos, que se refieren a los factores de peligro como picaduras, alergias, enfermedades, y mordeduras ocasionadas por animales que están cerca de las plantaciones de banano como gusanos, hormigas, avispas, mosquitos, serpientes, roedores, virus y bacterias. Adicionalmente,

se incluyen riesgos del entorno laboral para los agricultores como ruidos y vibraciones fuerte de la maquinaria, radiación ultravioleta del sol en las fincas y las enfermedades como cólera y dengue relacionadas con estos espacios de cultivo.

El uso del *blockchain*, al ofrecer la trazabilidad digital inmutable, ayuda a prevenir y mitigar estos riesgos, ya que no solo permite garantizar que el banano es producido de manera sostenible y bajo condiciones laborales óptimas, sino que también ofrece datos verídicos e inmutables sobre el manejo fitosanitario, las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas protegiendo también la salud de los consumidores finales.

### **Control Fitosanitario de las Exportaciones de Banano**

La medida más importante para combatir los riesgos sanitarios es la prevención. Existen diferentes prácticas que cumplen el propósito de asegurar que los cultivos se encuentren en condiciones óptimas para la exportación. Entre las prácticas que se aplican para el control fitosanitario de las exportaciones de banano se encuentran el monitoreo y la evaluación de plagas, explicado por Bravo (2024) a continuación:

El monitoreo y la evaluación de plagas y enfermedades son componentes esenciales en la toma de decisiones dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Estas prácticas permiten detectar y cuantificar la presencia de organismos nocivos en los cultivos, proporcionando datos fundamentales para determinar el momento y la necesidad de intervención. (p. 176).

Otro de los métodos más utilizados son los controles biológicos. Esta práctica consiste en utilizar una bacteria o un hongo que, al momento de realizar la colonización, elimina las plagas nocivas. Asimismo, también se emplea como medio de control el enfoque en la salud del suelo, asegurando que cuente con todos los nutrientes necesarios, un nivel de humedad adecuado y la temperatura correcta para el desarrollo del cultivo.

En esta misma línea, la preparación del terreno mediante sistemas de drenaje y un riego adecuado, es esencial para evitar la acumulación de agua, que puede generar hongos y mosquitos. Controlar la maleza y las hierbas por medio de herbicidas, métodos naturales o prácticas manuales también puede evitar plagas como roedores y serpientes, el control químico de plagas y los fertilizantes complementan estas estrategias. Adicionalmente, el deshoje sanitario forma parte del control del cultivo de banano, este proceso elimina las hojas que estén en contacto con el racimo con el propósito de evitar que este le ocasione lesiones en la fruta.

La selección adecuada de la fruta representa una de las partes más importantes del control de calidad, verificando su aspecto para evitar incluir lotes de productos no aptos para la exportación. Por último, el lavado y la desinfección del banano permiten garantizar la inocuidad, siempre acompañados de un control de la calidad del agua. El control fitosanitario en cada etapa de la cadena de suministros de suma importancia para asegurar la exportación de un cultivo de calidad y documentar estos controles por medio de un sistema como el *blockchain* permite mantener una mayor organización y a crear confianza con los compradores internacionales.

### **Normativas para la Bioseguridad de las Exportaciones de Banano**

Con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los estándares de la exportación y mantener la salud tanto de las personas involucradas en la producción como la de los consumidores finales, existen diferentes normas y regulaciones impuestas por organizaciones internacionales como la Organización Mundial del Comercio (OMC), la Comisión del Codex Alimentarius y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

En Costa Rica, el Servicio Fitosanitario del Estado, parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería, es la entidad encargada de monitorear el seguimiento de las regulaciones agrícolas para las exportaciones y las importaciones; cuenta con un plan estratégico importante basado en la Ley de Protección Fitosanitaria. CORBANA (2025) brinda información adicional esencial con respecto a las normas, controles y certificaciones nacionales que regula esta entidad:

La exportación de banano está regulada por estrictos protocolos ambientales y sanitarios, definidos en el marco legal de Costa Rica. Además de estar certificada por organismos internacionales como Global GAP, Rainforest Alliance, SMETA, Suistainabilty Grown, entre otros. También el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) realiza inspecciones constantes en las empresas. Se realizan 82 auditorías externas al año en las fincas bananeras para garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales. (párr. 6).

Como se evidencia en los párrafos anteriores, existen diferentes normativas, tanto nacionales como internacionales, para garantizar la calidad de las exportaciones y la salud de las personas que tengan contacto con la mercancía. El *blockchain* representa una herramienta estratégica para garantizar el cumplimiento de estas normas y facilitar el acceso a información confiable que se relaciona con estas, permitiendo demostrar los procesos seguidos en cada etapa de la cadena de suministros a cualquier entidad o cliente que cuente con acceso al *blockchain*.

### **Requisitos de Exportación y de los Compradores Internacionales de Banano a Otros Países Relacionados con el *Blockchain***

Al existir tantos exportadores de banano alrededor del mundo, se puede deducir que se trata de un mercado saturado con clientes sumamente exigentes, que cuentan con tecnología innovadora de alta calidad como los compradores de países europeos y Estados Unidos. Estos importadores tienen normas estrictas para proteger sus ecosistemas, sus cultivos y a su población con estándares referentes al control de plagas y enfermedades, inocuidad alimentaria y las buenas prácticas agrícolas y sostenibles. Por este motivo, el *blockchain* le añadiría un gran valor a las exportaciones de banano de la región Hueta Atlántico.

Con la implementación de esta tecnología, los exportadores son capaces de demostrar y verificar de manera inmutable cada fase del proceso productivo y logístico del banano. El sistema registra el origen, las fincas, las temperaturas a la que se mantuvo la fruta, los

tratamientos fitosanitarios aplicados y las prácticas agrícolas y de logística de transporte utilizadas para manipular el cultivo. Lo anterior genera confianza en el comprador al poder comprobar la calidad del bien que están adquiriendo, esta confianza es un elemento diferenciador en el mercado.

Aunque actualmente no existen requisitos o una estandarización del uso del *blockchain*, ya es una herramienta utilizada por grandes empresas que están obteniendo resultados positivos. Procomer (2020) menciona en su artículo sobre el aumento de la importancia del *blockchain* en el sector hortofrutícola que “Para las empresas es muy importante estar al tanto de estos avances, pues existe la posibilidad de que en el futuro pueda convertirse en un requerimiento por parte de los compradores”. (párr. 4).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### Enfoque

#### Cualitativo

El enfoque cualitativo se puede definir como una manera de investigar que se centra en abordar el fenómeno desde el punto de vista de las personas involucradas. Mientras que el enfoque cuantitativo se basa en datos numéricos y mediciones, el cualitativo se sustenta en el uso de instrumentos como entrevistas abiertas y observaciones. Este método permite conocer aspectos importantes sobre el tema de investigación realizando un trabajo exploratorio al indagar y analizar las experiencias de la muestra seleccionada, lo que da la posibilidad de poder obtener conocimiento a través de la experiencia de expertos que poseen un amplio dominio de la materia.

Para Hernández et al. (2018), la investigación cualitativa estudia:

...fenómenos de manera sistémica. Sin embargo, en lugar de comenzar con una teoría y luego “voltar” al mundo empírico para confirmar si esta es apoyada por los datos y los resultados, el investigador comienza el proceso examinando los hechos en sí y revisando los estudios previos, ambas acciones de manera simultánea, a fin de generar una teoría que sea consistente con lo que está observando que ocurre. (p. 7).

A lo citado Hernández et al. (2018) agregan que “(...) se plantea un problema de investigación (...). Va enfocándose paulatinamente. La ruta se va descubriendo o construyendo de acuerdo al contexto y los eventos que ocurren conforme se desarrolla el estudio”. (p. 7)

De igual forma los autores Hernández et al. (2018) sostienen que:

Las investigaciones cualitativas suelen producir preguntas antes, durante o después de la recolección y análisis de los datos. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica

entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, puede variar en cada estudio. (pp. 7-8).

La presente investigación será realizada a partir de la recopilación de teorías e investigaciones preexistentes, de manera que se demuestre el potencial del uso del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico costarricense. Además, se realizarán entrevistas con el propósito de lograr obtener el criterio de expertos en la materia que trabajan diariamente en el campo de estudio, de esta manera se respalda de forma confiable la información consultada.

Utilizar un enfoque cualitativo para la investigación permite adentrarse en las vivencias diarias de personas expertas en el ámbito de la exportación de banano y de expertos en la creación de *softwares* como el *blockchain*, cuyo conocimiento, obtenido por medio de sus estudios y sus experiencias, complementan la información recolectada de las demás fuentes de la investigación y ayudan a establecer conclusiones basadas no sólo en teoría sino también en la práctica de la realidad en Costa Rica, específicamente en la zona Huetar Atlántico.

## **Diseño Cualitativo**

### **Fenomenología Empírica**

El diseño fenomenológico empírico se enfoca en conocer el sentido de un fenómeno específico en la vida cotidiana de las personas según sus experiencias, en lugar de la interpretación del investigador. Con la información obtenida, se logra identificar patrones y coincidencias por medio de un análisis de datos profundo. Se utiliza principalmente cuando se requiere explorar fenómenos complejos relacionados con emociones, decisiones o comportamientos desde una percepción humana.

En la experiencia compartida el propósito es explorar, describir y comprender las experiencias de las personas respecto a un fenómeno y descubrir los elementos en común de tales vivencias. Se obtiene la perspectiva de los participantes. Se explora, describe y comprende lo que los individuos tienen en común de acuerdo con sus experiencias ante determinado fenómeno:

sentimientos, emociones, etc. El investigador trabaja directamente con los participantes y la esencia de la experiencia compartida. Ver página 551 de Hernández y Mendoza 2018.

El diseño fenomenológico empírico es el ideal para esta investigación porque otorga la posibilidad de explorar y conocer las experiencias de los actores involucrados en el proceso de la trazabilidad de las exportaciones de banano en relación con el uso potencial de la tecnología *blockchain*. Esto es posible al captar cómo estos perciben las limitaciones de los sistemas actuales, así como sus opiniones acerca de una posible implementación de un instrumento innovador como el *blockchain*, tomando en consideración como modificaría sus labores diarias y los efectos que podría generar tanto positivos como negativos para los actores involucrados.

## **Población y Muestra**

### **Población**

“Son todos los casos que concuerdan con determinadas características. Las poblaciones deben situarse de manera concreta por sus características de contenido, lugar, tiempo y accesibilidad, para esto se debe delimitar la unidad a estudiar”. (Hernández y Mendoza, 2018, p. 199) Se define como el conjunto finito o infinito con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio.

La población de la investigación presente se encuentra compuesta por los actores de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico, instituciones nacionales relacionadas con la tecnología del *blockchain* o con las exportaciones de banano y expertos en el campo del *blockchain*. Todos estos actores se ven afectados por el tema de investigación y se relacionan con él de maneras distintas, por lo que cada uno aporta su experiencia única con respecto al uso del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano.

### **Muestra**

Según los autores Hernández y Mendoza (2018), la muestra de una investigación puede definirse de la siguiente manera:

En la ruta cuantitativa, una muestra es un subgrupo de la población o universo que te interesa, sobre la cual se recolectarán los datos pertinentes, y deberá ser representativa de dicha población (de manera probabilística, para que puedas generalizar los resultados encontrados en la muestra a la población). (p. 196).

La muestra de este estudio se define como una muestra cualitativa cuyo tamaño depende de factores como el fenómeno de investigación, la capacidad para recolectar y analizar la información, el nivel de comprensión deseado y la saturación de las categorías. Se selecciona una muestra no probabilística con el propósito de que se pueda acceder a una muestra de expertos y partes interesadas en los procesos de trazabilidad de las exportaciones de banano y del uso del *blockchain* en este ámbito.

Esta muestra puede cambiar según sea necesario durante el desarrollo del estudio, no es probabilística y no busca generalizar resultados sino profundizar en el fenómeno que se estudia. Se conforma por profesionales en el campo del *blockchain* y en las exportaciones de banano de la zona Huetar Atlántico del país, que cuentan con el conocimiento y la experiencia necesaria para brindar información valiosa a la investigación desde una perspectiva contextualizada y significativa. Considerando lo anterior, los entrevistados que conforman la muestra son los siguientes:

**Tabla 3**

*Entrevistados*

# Entrevistado	Puesto	Razón
No. 1	Gerente General de Olé Software	Experto en el desarrollo de softwares utilizando herramientas como el <i>blockchain</i> .
No. 2	Evaluadora de fruta en Finca Bananera El Esfuerzo.	Evaluadora de banano de exportación que permite obtener una perspectiva de la empresa nacional.

No. 3	Coordinador de Banano Orgánico en Fyffes	Exportador de banano que permite obtener una perspectiva de la empresa nacional.
No. 4	Director de Asistencia Técnica en CORBANA	Director de una institución no gubernamental que apoya a la industria bananera nacional.
No. 5	Gerente de Logística en Chiquita Brands.	Gerente en logística Internacional del banano encargado de gestionar los procesos de exportación del mismo.
No. 6	Presidente de Socaa Software S.A	Proveedor de softwares operativos a distintas empresas con conocimiento y experiencia en <i>blockchain</i> .
No. 7	Lider Técnico y Desarrollador Senior en SuFacturaFácil	Desarrollador de softwares con conocimiento en <i>blockchain</i> .

### Unidad de Análisis

En su libro, los autores Hernández y Mendoza (2018) definen la unidad de análisis de la siguiente manera:

Aquí el interés se centra sobre "qué" o "quiénes" se recolectarán los datos (personas u otros seres vivos, objetos, sucesos, colectividades de estudio), lo cual depende del planteamiento del problema, los alcances de la investigación, las hipótesis formuladas y el diseño de investigación. (p. 197).

En otras palabras, la unidad de análisis permite conocer cómo se extraerán los datos obtenidos durante la investigación.

**Tabla 4***Unidades de análisis*

<b>OBJETIVO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>DEF. CONCEPTUAL</b>	<b>INSTRUMENTALIZACIÓN</b>
Identificar el estado actual de los sistemas de trazabilidad en las exportaciones de banano en las empresas del sector Huetar Atlántico y sus principales limitaciones.	Sistemas de trazabilidad	Tipos de sistemas de trazabilidad. Nivel de integración de los sistemas actuales. Limitaciones de los sistemas actuales. Requerimientos específicos de la trazabilidad.	Se trata de un conjunto de herramientas que nos permiten tener el conocimiento del histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto en cualquier momento de su ciclo de vida. (párr. 1) (Couth, 2024)	Pregunta 1 – 4 del cuestionario.
Determinar los beneficios y desafíos del <i>blockchain</i> como una herramienta innovadora para garantizar la transparencia y la confianza en la cadena de suministro de banano.	Beneficios y desafíos	Beneficios de la aplicación del <i>blockchain</i> . Desafíos de la aplicación del <i>blockchain</i> .	Beneficio: “Bien que se hace o se recibe.” (párr. 1). (RAE, 2024) Desafío: “Acción y efecto de desafiar.” (párr. 1). (RAE, 2024)	Pregunta 5 – 7 del cuestionario.
Explicar las tecnologías de <i>blockchain</i> disponibles para la trazabilidad agrícola, sus	Tecnologías	Plataformas actuales Características de la tecnología <i>blockchain</i> . Modelos de <i>blockchain</i> .	La tecnología desde algunos escenarios se ha asumido como un campo transversal, donde el sujeto es capaz	Pregunta 8 – 11 del cuestionario.

características y su viabilidad.		Viabilidad del <i>blockchain</i> en la trazabilidad de las exportaciones de banano.	de materializar una idea que nace a partir de la identificación un problema, cuya intención de su solución es suplir una necesidad contextual. (p. 119) (Saavedra, Figueroa, y Sánchez 2020)	
----------------------------------	--	---	--	--

### Instrumentos Cualitativos Utilizados en la Investigación

Con el propósito de obtener información valiosa de los expertos en el tema de investigación, se utiliza como instrumento la entrevista. De acuerdo con Hernández et al. (2018), la entrevista se define como “una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona (el entrevistador) y otra (el entrevistado) u otras (entrevistados)”. (p. 449). Se caracteriza como un instrumento flexible e íntimo, al conversar de manera directa con la otra parte. En ella, por medio de preguntas abiertas y las respuestas recibidas de los participantes, es posible construir significados y conclusiones importantes relacionadas a un tema específico.

La entrevista es el instrumento que facilita la recolección de los datos cualitativos para esta investigación. El propósito de esta es lograr conversar con personas que tengan conocimiento sobre las exportaciones de banano en la zona Huetar Atlántico o que conozcan del *blockchain* para ayudar a descubrir realmente el análisis del uso potencial del *blockchain* en este tipo de exportaciones y responder de forma satisfactoria los objetivos de este estudio.

Para lograr concretar las entrevistas de forma exitosa, eficiente y obtener la información necesaria de los entrevistados, se utiliza un cuestionario conformado por once preguntas importantes sobre el tema. Cada pregunta fue formulada tomando en consideración los objetivos específicos de la investigación y buscan explorar el estado de los sistemas de trazabilidad en las exportaciones de banano en la zona Huetar Atlántico, así como lograr conocer la percepción, viabilidad, beneficios y desafíos del uso de la tecnología *blockchain* en dicho contexto.

## Proceso de Recolección de Datos

El proceso de recolección de datos para la investigación presente inicia en el capítulo dos, donde se indaga información por medio de artículos y otras fuentes con el fin de poder definir de forma clara conceptos relevantes relacionados con el tema de investigación. Este proceso sienta las bases para comprender el resto del documento, Hernández et al. (2018) lo describen de la siguiente manera: “En toda investigación siempre es necesario desarrollar un marco teórico para saber dónde se sitúa el planteamiento propuesto dentro del campo de conocimiento en el cual nos moveremos en la ruta cuantitativa”. (p. 98).

Se continúa identificando la población de la investigación, tomando en consideración a las personas que son afectadas por el fenómeno presente. Se procede a definir según la conveniencia, el alcance y las limitaciones del estudio la muestra de la investigación, se seleccionan empresas nacionales con comprensión de las exportaciones de banano y del funcionamiento del *blockchain* y exportadores de este bien para obtener la información necesaria. Luego, se realiza el cuestionario con preguntas que logran dar respuesta a los objetivos establecidos al principio del documento.

Posteriormente, se aplica el cuestionario a la muestra seleccionada, durante la entrevista, y se efectúa un análisis de los datos recolectados, dividiéndolos por categorías según sus semejanzas. Se explican los resultados obtenidos resaltando la información más importante para la investigación. Este análisis permite interpretar las percepciones de los participantes para poder llevar a cabo la elaboración de conclusiones fundamentadas que responden a los objetivos formulados.

## Fuentes de Información

Las fuentes de información se pueden definir como los recursos que proveen los datos relevantes para poder profundizar la investigación. Según Maranto y González (2015), “Una fuente de información es todo aquello que nos proporciona datos para reconstruir hechos y las bases del conocimiento”. (p.2). Estas son de suma importancia ya que permiten respaldar el enfoque teórico y metodológico de la investigación.

## **Fuentes Primarias**

Las fuentes de información primaria se definen, según Hernández y Mendoza (2018) como “Las referencias o fuentes primarias proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes”. (p. 72). Estos documentos pueden ser libros, revistas científicas y de entretenimiento, periódicos, diarios, documentos oficiales de instituciones públicas, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, patentes, normas técnicas.

Además de los documentos mencionados en el párrafo anterior, con el propósito de complementar los datos obtenidos, también se toma en consideración a los entrevistados como parte de las fuentes primarias. Obtener respuestas amplias de personas expertas en el tema le añade el factor de la confianza a la información recolectada por medio de las entrevistas, otorgándole más sustento y valor a la investigación.

Por otro lado, es importante resaltar que las fuentes de información primarias se caracterizan por el hecho de que todos los datos obtenidos son de primera mano, esto significa que son recolectados por aquellos que los efectúan y que no han sido interpretados o evaluados por otras personas. Finalmente, se conoce que estas fuentes fueron escritas o producidas en un momento cercano al suceso de investigación, lo que garantiza que la información es actual y relevante en la sociedad presente.

## **Fuente Secundaria**

Las fuentes secundarias son definidas por la Universidad de Connecticut (2024) de la siguiente manera: “Las fuentes secundarias ofrecen comentarios, interpretaciones o análisis de las fuentes primarias. Las contextualizan. Dado que suelen redactarse con mucha posterioridad a los acontecimientos por personas no directamente implicadas, pero con experiencia específica, pueden aportar contexto histórico o perspectivas críticas”. (párr. 4).

Esto significa que este tipo de fuentes están compuestas por material que ya ha sido elaborado o interpretado por otras personas y son utilizadas para darle más comprensión al tema de la investigación. Además, se caracterizan por ser documentos redactados en un tiempo previo al momento de la investigación presente, usualmente posterior a otro acontecimiento o fenómeno social. Algunos ejemplos de fuentes secundarias son: enciclopedias, antologías, directorios, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a través del principal instrumento utilizado para concretar esta investigación, la entrevista realizada a expertos tanto en el ámbito de la exportación bananera en el sector Huetar Atlántico como los expertos en el *blockchain*. Este segmento está organizado de la siguiente manera: primeramente, se presenta una tabla con la información correspondiente a las unidades de análisis derivadas de los objetivos específicos de la investigación y a las categorías elegidas considerando tanto las unidades como las respuestas otorgadas por los entrevistados.

Posteriormente, en la segunda parte del capítulo, se procede a describir y analizar cada una de las categorías, esta sección es complementada con información de fuentes primarias y secundarias y teoría fundamentada en bases científicas. Por último, se interpretan los datos recolectados al interrelacionar las categorías de análisis, con el propósito de establecer una respuesta clara al problema de la investigación presente.

**Tabla 5**

*Unidades y categorías de análisis*

Unidades	Categorías
<b>1. Sistemas de Trazabilidad</b>	1. Tipos de sistemas de trazabilidad. 2. Nivel de integración de los sistemas actuales. 3. Limitaciones de los sistemas actuales. 4. Requerimientos específicos de la trazabilidad.
<b>2. Beneficios y Desafíos</b>	1. Beneficios de la aplicación del <i>blockchain</i> . 2. Desafíos de la aplicación del <i>blockchain</i> .
<b>3. Tecnologías</b>	1. Tipos de sistemas de trazabilidad. 2. Nivel de integración de los sistemas actuales.

	<p>3. Limitaciones de los sistemas actuales.</p> <p>4. Requerimientos específicos de la trazabilidad.</p>
--	---

Fuente: Elaboración Propia, 2025

### **Unidad de Análisis 1: Sistemas de Trazabilidad**

La primera unidad de análisis pretende obtener información sobre los sistemas actuales que utilizan las empresas para registrar la información de sus productos y su logística de exportación. Permite conocer la diversidad de sistemas que existen actualmente en la trazabilidad exportaciones de banano y ver cómo estos se relacionan al tamaño de la empresa y la infraestructura tecnológica disponible, especialmente en las empresas exportadoras de banano en la región Huetar Atlántico. Adicionalmente, se identifican los niveles de integración que manejan con las demás partes involucradas, y qué tan transparente y eficiente es el flujo de información.

Por otro lado, esta unidad de análisis presenta la posibilidad de analizar los beneficios y desventajas que perciben los entrevistados de los sistemas utilizados actualmente. Estas respuestas funcionan como una base para mostrar las brechas que el *blockchain* podría resolver y contemplar si los desafíos de los sistemas actuales justificarían la implementación de esta herramienta, considerando si la cadena de bloques elimina o reduce las desventajas y presenta beneficios innovadores que serían de utilidad para las empresas del sector.

Mediante el proceso de recolección de datos y los importantes aportes obtenidos a partir de la muestra de investigación, se logra el desarrollo de esta unidad. Se analizan factores importantes como el tipo de sistema utilizado, el alcance tecnológico del mismo, la visualización de la información recolectada y la eficiencia del instrumento. Con base en estos puntos clave, se derivan las siguientes categorías expuestas en el apartado previo:

1. Tipos de sistemas de trazabilidad
2. Nivel de integración de los sistemas actuales
3. Limitaciones de los sistemas actuales
4. Requerimientos específicos de la trazabilidad

## Categoría 1: Tipos de Sistemas de Trazabilidad

### *Descripción*

Esta categoría fue diseñada con el propósito de analizar los sistemas de trazabilidad utilizados en el ámbito de la exportación de banano y comparar estos con el uso del *blockchain*. Se le consultó a los entrevistados sobre el tipo de sistema de trazabilidad que ellos utilizaban actualmente o cuál es el más común para este tipo de actividad según su experiencia. Entre la información otorgada por la muestra de investigación, destaca lo siguiente:

- *“...En nuestra experiencia hemos trabajado con marchamos electrónicos, como los que usa la empresa Del Monte. Estos marchamos se combinan con aplicaciones en puntos de control que capturan los datos en tiempo real y los envían a una plataforma centralizada, donde se puede visualizar toda la información recolectada. La ventaja de esto es que... bueno... no se pierde nada en el camino, porque la información se genera en el mismo momento en que ocurre el evento. Entonces, si un contenedor pasa por un punto de control, automáticamente queda registrado en el sistema y eso da trazabilidad completa.” (Entrevistado 1)*
- *“En nuestra empresa ahorita manejamos un sistema de trazabilidad que se basa en la asignación de un código de seguridad a cada producto, utilizando códigos de barra 2D digamos tipo los stickers que vienen en la mayoría de productos. Este código nos permite registrar, en cada etapa de la cadena desde la producción hasta el almacenamiento y el transporte, datos relevantes sobre el estado del producto. Toda esa información se almacena en bases de datos centralizadas, lo que le facilita a uno el seguimiento. Además, en cada contenedor instalamos dispositivos Ryan, que son muy importantes porque registran la temperatura del banano desde el momento en que se carga hasta que se desembarca en puerto. Esto nos da la seguridad de que el producto mantiene la calidad adecuada durante todo el trayecto y que podemos demostrarles a los clientes que el manejo se hizo correctamente.” (Entrevistado 2)*

- *En Fyffes utilizamos un sistema interno de trazabilidad que está integrado con nuestro ERP, SAP que son otros dos sistemas muy populares no sé si los has escuchado. Este esquema concentra la información clave desde la finca hasta la exportación y nos permite rastrear cada unidad, ya sea caja o pallet, respondiendo rápidamente a requerimientos comerciales, legales, sanitarios y de certificación.*

*Para explicarlo mejor, usamos varios identificadores. En las cajas, sellos de tinta y stickers y en los pallets, códigos de barras y SSCC, que facilitan el escaneo y la identificación en la empacadora, almacenamiento, cámara fría y despacho. Además, se gestionan equipos de calidad, gerentes de finca, empacadoras, centros de acopio, puertos, centros de distribución y maduración.*

*En cuanto a la captura de datos, se hace en cada etapa, desde la finca, con fecha, productor y certificaciones; en el empaque, con controles de calidad, registros y palletización, en el área de calidad, con inspecciones, no conformidades, acciones correctivas y certificados, luego en la cámara fría y el pre-embarque, registrando temperatura, humedad, ingresos y salidas; y finalmente en la logística de exportación, donde se asignan pallets a contenedores, con número y sello, set points del reefer, lecturas de temperatura, naviera, booking y el BL.*

*Todo esto se integra en SAP, que actúa como “la fuente de la verdad” para productos, clientes, ubicaciones y documentos comerciales. Además, permite hacer consultas de “one step back / one step forward”, ejecutar alertas y retiros, y en el caso del banano orgánico, mantener trazabilidad segregada con conciliación de volúmenes cosechados, empacados y embarcados.*

*A esto se suman tecnologías de apoyo como escaneo móvil en finca, empacadora y puerto, lecturas del reefer integradas al expediente del contenedor, y el intercambio electrónico con socios logísticos. En resumen, es un sistema bastante sólido, soportado en SAP y complementado con controles adicionales, que asegura trazabilidad de extremo a extremo. (Entrevistado 3)*

- *Bueno... el proceso es un poco extenso, actualmente el proceso empieza directamente en el campo, cuando se cosechan los racimos según su edad y la calibración que ya está programada con base en la estimación de producción. De ahí se llevan a la planta empacadora, donde en el recibo se pesan todos los racimos y se hace una calibración de muestra, más o menos 25 frutas por equipo. Ahí se registra el origen: cable, torre, y todos esos detalles. Después, en el patio de fruta, se hace un análisis de calidad y defectos y se aparta la fruta que no cumple con los estándares de calidad que se tienen establecidos. Una vez que se revisa la fruta, se selecciona y se acomoda en gajos para que puedan ser empacados según las especificaciones de calidad. Cada caja empacada lleva un código del empacador, y cuando ya se arma la paleta, se incluye la fecha del empaque, el código de la finca y otras indicaciones que pide el comprador y el destino. Es un sistema que, aunque funciona, depende mucho del registro manual y de cada etapa de la cadena. (Entrevistado 4)*
- *Ok, en Chiquita nosotros utilizamos un sistema desarrollado inhouse, propio de la compañía. Principalmente funciona con códigos de barra, lo que nos permite dar trazabilidad a nivel de tarima. O sea, cada tarima se escanea y se mantiene registrada en el sistema. La ventaja de que sea in-house es que, bueno, podemos ajustarlo a la realidad de la operación. Si mañana aparece un nuevo flujo o una excepción, el equipo lo puede parametrizar. Y lo importante es que el seguimiento por tarima nos permite reconstruir el recorrido completo cuando hay que atender un reclamo o validar condiciones de transporte. (Entrevistado 5)*
- *Sí, claro. En mi experiencia lo que más se utiliza es la trazabilidad unidireccional. Digamos que este sistema permite seguir el recorrido de un producto tanto hacia adelante como hacia atrás en la cadena.*

*... La ventaja de este tipo de sistema es que uno puede reconstruir el trayecto del producto desde su origen hasta el consumidor final, o al revés en el caso de que se necesitara identificar un lote con problemas. Es un esquema bastante práctico porque*

*brinda esa seguridad de poder rastrear el producto en cualquier punto de la cadena. (Entrevistado 6)*

- *En nuestro caso trabajamos con sistemas de trazabilidad centralizados en bases de datos del cliente. Ahí lo que hacemos es dejar pistas de auditoría para verificar situaciones que pasan dentro del sistema según cada usuario. Por ejemplo, si alguien hace una modificación, queda registrado. Además, en mi experiencia previa, cuando trabajaba en otra empresa llevábamos todo un proceso con pedidos de clientes en Estados Unidos. Primero entraban los pedidos, luego se revisaba todo el tema del producto disponible en los invernaderos eran como veinte invernaderos con unas 140 categorías de plantas. Después venía la parte de cosecha, que estaba bastante automatizada, y eso permitía controlar en tiempo real lo cosechado versus lo pedido. Luego se hacía el packing, se leían las cajitas que entraban, salían y se empacaban, entonces yo podía trazar la cosecha, y finalmente la exportación, que se hacía vía avión. Ese era un sistema centralizado, y claro, ahí pienso que con blockchain se podría mejorar muchísimo, porque uno le podría certificar al cliente cada etapa: desde el pedido, la distribución, la cosecha, el empaque, la exportación y hasta la entrega. (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

Las respuestas de los entrevistados permiten observar una gran diversidad en los sistemas de trazabilidad utilizados, desde sistemas manuales y tradicionales hasta sistemas más robustos y cargados de tecnología, por lo que se puede deducir que, a nivel de las tecnologías utilizadas para la trazabilidad de estas exportaciones, existe un amplio rango de madurez tecnológica.

Se señala el uso de marchamos electrónicos, combinados con aplicaciones de control en puntos específicos y el uso de código de barras 2D. Estos sistemas son eficientes para registrar información en tiempo real garantizando un control más preciso del estado de la fruta, en especial al combinarlo con los *Ryan Recorders*, que son dispositivos que ayudan a verificar los niveles de temperatura y humedad de la fruta en el contenedor. Esta es una característica que comparte este sistema con el *blockchain*.

Sin embargo, ambas herramientas son centralizadas, al igual que el sistema que menciona el entrevistado 7, esto significa que dependen de uno o varios usuarios con autoridad total sobre la plataforma. Esto hace que la red no sea transparente al estar sujeta a manipulaciones y que se presente cierta incertidumbre, dependiendo de la confianza que tengan el resto de las partes involucradas en el usuario principal de la red. Además de que, si el sistema como empresa les falla, se pierde toda la información al no existir otra parte con acceso. Debido a lo anterior, estos sistemas no son ideales para la trazabilidad de las exportaciones de banano.

El sistema de código de barras descrito por varios de los entrevistados es uno de los más comunes en la trazabilidad de las exportaciones de banano, sobre todo por el acceso a datos en tiempo real sobre el origen, el transporte o la temperatura del producto. Sin embargo, cuando se utiliza como una herramienta *in house* que significa que es un sistema interno de la empresa, pierde la capacidad de integrarse con las otras partes involucradas en el proceso de exportación. Esto conduce a un mayor nivel de desconfianza entre las partes y reduce la eficiencia para compartir información valiosa y urgente en caso de que se presente un suceso con la mercancía.

El entrevistado 3 explica un sistema tecnológico robusto que opera a través de SAP ERP que es un software que centraliza todas las áreas de negocio de la empresa en una sola plataforma. Este sistema es sumamente sofisticado y práctico para una empresa exportadora de banano al incorporar ámbitos como las ventas con la logística, además de integrarlo con otras herramientas como el identificador SSCC, sellos y stickers en las cajas. SAP Concur Team (2023) describe esta herramienta de la siguiente manera:

Este software permite ejecutar procesos en un único sistema para distintos departamentos de su organización. Las soluciones de SAP ERP, se apoyan en la tecnología para ayudar a transformar los procesos de misión crítica de su organización y adaptarla rápidamente y de la mejor forma al cambio sin importar el tamaño de su compañía. (párr. 3)

En este caso específico, el *blockchain*, en lugar de ser un reemplazo para la herramienta de trazabilidad actual, podría ser implementado como un complemento que brinde respaldo en áreas débiles de la plataforma como la obtención de datos en tiempo real, esto fortalecería el nivel de confianza con los mercados internacionales.

Sistemas tradicionales como el que expone el Entrevistado 4 son comunes en empresas más pequeñas y en zonas rurales del país. Estos sistemas son capaces de cumplir con los requisitos básicos de la trazabilidad por medio de códigos de barra, no obstante, tienen una mayor dependencia de los registros manuales en el campo y en la planta empackadora. Esto puede generar retrasos en la disponibilidad de la información y mayor vulnerabilidad frente a errores humanos. Es probable que este tipo de sistema de trazabilidad no sea lo suficientemente eficiente y transparente para los compradores internacionales exigentes.

Los expertos en softwares han tenido experiencias con sistemas como el de la trazabilidad unidireccional. Este sistema es útil porque permite observar el recorrido de un producto en una sola dirección a la vez, o sea para adelante o para atrás cuando ya este fue distribuido. Suele funcionar por medio de un código de identificación como código de barras, QR o número de lote que acompaña a la mercancía durante toda la cadena de suministros.

Los tipos de trazabilidad actuales como el código de barras, SSCC, dispositivos *Ryan*, los marchamos electrónicos, ERP SAP, los registros manuales y los sistemas *in house* permiten a las exportadoras de banano en la zona Huetar Atlántico cumplir con los requisitos básicos de trazabilidad. Sin embargo, el uso del *blockchain* podría elevar lo que estas empresas les ofrecen actualmente a los compradores internacionales, incrementando la transparencia y la seguridad en cada paso de su cadena de suministros.

Esto es posible debido a que el *blockchain* autoriza que productores, exportadores y otras autoridades involucradas en el proceso de exportación compartan información rápidamente en tiempo real sin depender de una administración centralizada. Por otro lado, este sistema garantiza

que los datos registrados no puedan ser manipulados o alterados, lo que reduce el riesgo de fraude y ayuda a responder con rapidez a auditorías o alertas sanitarias.

## **Categoría 2: Nivel de Integración de los Sistemas Actuales**

### *Descripción*

La segunda categoría de la primera unidad de análisis se basa en la segunda pregunta del cuestionario utilizado durante las entrevistas, en la cual se les consulta a los entrevistados sobre el nivel de integración de sus sistemas de trazabilidad actuales con las demás partes involucradas en el proceso de la exportación, con el propósito de conocer si su sistema actual permite facilitar el flujo de información entre los demás actores de la cadena de suministros. Las respuestas fueron las siguientes:

- *“Bueno... ahí el nivel de integración es bastante alto, porque los controles aduanales exigen que se declaren todos los contenedores. Entonces la empresa necesita producir información muy detallada para el puerto: quién envía, quién recibe, qué pasó en el camino... todo eso debe quedar registrado en bitácoras.*

*Además, por ejemplo, en la industria cárnica donde también hemos trabajado desarrollando software de etiquetas se pide declarar una cantidad de datos enorme, le estoy hablando que se declara desde el lote de origen hasta la composición de la carne. Eso obliga a que todos los actores estén muy coordinados. Así que diría que sí, el nivel de integración es alto y hasta inevitable si uno quiere cumplir.” (Entrevistado 1)*

- *“Yo diría que la integración del sistema que usamos es bastante sólida porque si nos coordina el proceso desde el inicio. Desde la siembra en las fincas, ya trabajamos bajo controles establecidos por certificaciones internacionales, lo que garantiza el uso de productos amigables con el medio ambiente y seguros para la salud que es algo a lo que siempre le hemos puesto mucha atención.*

*Posteriormente, colaboramos con empacadoras que también cuentan con certificaciones, y gracias a eso considero yo que nuestros clientes reciben la seguridad de que el producto cumple con los estándares internacionales de calidad. O sea, creo que es un trabajo conjunto que involucra a todos los actores de la cadena y que... además, genera confianza de cara al consumidor final.” (Entrevistado 2)*

- *“Bueno, ahí depende. Con los exportadores tenemos un nivel de integración alto, porque los procesos están estandarizados y conectados directamente al sistema central, con registros digitales desde finca hasta embarque. Con los productores y sus empacadoras, en cambio, la integración es más limitada. Muchos todavía trabajan con registros manuales o sistemas sencillos, y esa información debe cargarse después en la plataforma. Eso hace que dependamos de la digitación y que la información no siempre sea inmediata o precisa.*

*Entonces para resumirte la información, el sistema nos garantiza trazabilidad confiable para los clientes y autoridades, pero todavía tenemos el reto de integrar a los productores en línea y de compartir datos en tiempo real con todos los actores de la cadena.” (Entrevistado 3)*

- *“En realidad, la integración de este sistema se tiene principalmente con el comprador de la fruta. Lo que logramos es que se pueda trazar hacia atrás toda la fruta que viene de la finca analizada, incluso hasta determinar la fecha, la hora y el lugar donde se cosechó. Esa parte está bastante clara, pero lo que falta es que todos los actores estén integrados de la misma manera para que la trazabilidad sea más fluida y en tiempo real.” (Entrevistado 4)*

- *“Diría que es completa en el tramo que nos toca: desde la planta empacadora hasta el cliente. O sea, si el cliente nos reporta algo, nosotros podemos ir hacia atrás y ver de qué planta salió, qué tarima, en qué contenedor viajó, en qué fechas se movió, qué lecturas de escaneo tenemos en cada hito y así. Obviamente hay actores con sistemas distintos,*

*pero en lo que compete al flujo de Chiquita, sí, el encadenamiento de eventos está cubierto de punta a punta.” (Entrevista 5)*

- *“Yo le diría que la clave está en la integración digital. Lo ideal es que los sistemas de cada actor estén interconectados mediante APIs, lo que permite que el flujo de datos sea continuo y en tiempo real. Eso significa que, desde la materia prima hasta que el producto llega al consumidor, la información circula sin interrupciones. Claro, en la práctica todavía no siempre es así, pero ese sería el escenario ideal que es el más robusto y transparente.” (Entrevistado 6)*
- *“Pues, en realidad... la trazabilidad era bastante local. Se manejaba dentro de la finca, pero no había forma de que el cliente pudiera revisar directamente cómo iba su pedido. O sea, internamente sí teníamos control, pero no existía esa ventana abierta hacia los demás actores o el comprador final por decirlo así.” (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

Aunque los niveles de integración presentados por los entrevistados varían, se evidencia que los utilizados actualmente no son tan elevados como los que se logran obtener con una herramienta como el *blockchain* cuando todos los actores están involucrados en este sistema. Gran cantidad de la muestra de investigación establece que tiene un buen nivel de integración interno con las empacadoras o inclusive los exportadores y esto no es necesariamente algo malo; sin embargo, otras partes importantes, como los productores de las fincas, están quedando por fuera del seguimiento de la trazabilidad.

Esto significa que el cliente final tiene que confiar en los datos que provee la empresa exportadora a la que le están comprando el producto a ciegas, sin tener evidencia concreta de que lo que ellos establecen fueron los hechos que realmente ocurrieron al no tener un registro verídico de la fuente directa. La empresa Tracextech (2024) explica este problema de una integración fraccionada de la siguiente manera:

Uno de los mayores obstáculos para los exportadores de alimentos es la falta de trazabilidad integral. Esto ocurre cuando la información sobre un producto está fragmentada en las diferentes etapas de la cadena de suministro, lo que significa que una parte del proceso puede contar con datos detallados, pero otra no.

Por ejemplo, una granja podría tener registros de los cultivos que produce, pero esa información no siempre llega a la planta de procesamiento y, de allí, podría no llegar al distribuidor. Esto genera datos incompletos o faltantes, lo que dificulta el seguimiento del recorrido del producto en caso de un retiro del mercado o un problema de calidad.

Tener datos fragmentados también dificulta mucho más responder con rapidez a las preguntas de los consumidores o de las autoridades regulatorias sobre el origen, la manipulación o la seguridad de un producto. Cuanto más desconectada esté la cadena de suministro, mayor será el riesgo de una empresa de incumplir las normas y sufrir ineficiencias operativas. (párr. 15 - 17).

Como lo expone el Entrevistado 1 al describir la integración del sistema *blockchain* creado para la empresa cárnica, indicando que permite que todos los actores de la cadena de suministros puedan registrar sus datos y que estos sean inmutables y compartidos con el comprador del banano. Esto le permite al comprador tener acceso a la información publicada en la cadena de bloques de una forma transparente y en tiempo real, lo que le da más seguridad del producto que están comprando al tener información inédita completa de cada etapa que atravesó la mercancía desde el inicio de su producción hasta que llega al destino final.

El entrevistado 6 menciona una herramienta importante para la integración de los actores de la cadena de suministros en la trazabilidad, los APIs (*Application Programming Interface*), que permiten que los sistemas de distintos actores de la cadena, como productores, emparadoras,

y exportadores, se conecten y compartan información en tiempo real, independientemente si usan plataformas diferentes. Al aplicar este instrumento, se pueden integrar los datos de las etapas realizadas por diferentes partes, por lo que la información fluye sin interrupciones desde la finca hasta el consumidor final.

Esta categoría permite observar que, aunque la integración de los sistemas actuales es bastante fuerte en ciertas partes internas de la cadena de suministros, en especial en empresas más grandes como Fyffes, por ejemplo, todavía existen algunas limitaciones que son consecuencia de la dependencia de los registros manuales, las brechas tecnológicas y la fragmentación de la integración entre diferentes actores.

Basado en lo anterior, el *blockchain* presenta una alternativa para estas empresas que, combinado con APIs que funcionen como puentes de información entre los diferentes softwares de cada participante de la cadena, permite cerrar las brechas al ofrecer un sistema compartido, automatizado y transparente que permite acceder a los datos en tiempo real, fortaleciendo la competitividad del banano costarricense en los mercados internacionales.

### **Categoría 3: Limitaciones de los Sistemas Actuales**

#### ***Descripción***

La categoría de análisis que se presenta a continuación expone los obstáculos que experimenta la muestra de la investigación con los sistemas que utilizan actualmente, permitiendo conocer aún más de los sistemas actuales y observar si el *blockchain* podría ser presentado como una solución ante los desafíos. De acuerdo con los datos obtenidos a través del cuestionario aplicado, se procede a detallar las respuestas de la muestra de investigación.

- *“Bueno, mmm... nosotros como empresa no exportamos bienes directamente, pero sí desarrollamos software para exportadores, como una compañía de piña y otra de carne. Y lo que hemos visto es que los retos suelen ser tecnológicos: conectar sistemas viejos con nuevos, manejar bases de datos enormes, asegurar que la información sea confiable...”*

*Pero al final, con inversión se resuelve. Eso sí, a veces la inversión puede ser considerable, porque no es solo el software, sino también es capacitar al personal, cambiar procesos internos, y bueno... eso siempre genera resistencia obviamente.”*  
(Entrevistado 1)

- *“Vieras que, en realidad, yo creo que no hemos tenido problemas relacionados con la trazabilidad. El sistema que te comentaba anteriormente en serio que nos ha funcionado de forma muy eficiente y nos ha permitido cumplir con los requerimientos internacionales sin mayores complicaciones. Claro... siempre hay espacio para mejorar, por ejemplo, en temas de digitalización más avanzada o en integrar mejor algunos reportes, pero considerando que somos una empresa relativamente pequeña, hasta ahora no hemos enfrentado limitaciones graves gracias a Dios.”* (Entrevistado 2)
- *“Si, como te mencionaba, aunque el sistema es bastante sólido, aparte de no poder compartir los datos en tiempo real, la mayor limitación está en el campo. Actualmente no hay un registro detallado por lote y, en la práctica, la fruta de distintos lotes se mezcla en la tina de la empacadora. Eso dificulta mantener una trazabilidad precisa hasta el origen.*

*A eso también se le suman limitaciones como la interoperabilidad, que no siempre existe con actores externos, la dependencia de registros humanos que pueden retrasar la información o generar errores, como ya se conoce eso del “factor humano”, la visibilidad parcial en tiempo real, ya que no siempre está disponible para todos los socios; y la trazabilidad documental externa, porque a veces certificados de terceros quedan fuera del sistema central. El sistema cumple con lo que piden compradores y autoridades, pero la falta de granularidad en campo es la debilidad principal para avanzar hacia un modelo más automatizado y transparente.”* (Entrevistado 3)

- *“Mmm, el problema es que no está integrado en un solo proceso. Más bien son diferentes eslabones que se van uniando y luego deben analizarse para llegar a un resultado final.*

*Eso hace que la información tarde más en estar disponible y que a veces se complique precisar rápidamente el origen de la fruta. Si se puede lograr, pero no siempre con la velocidad y precisión que uno quisiera.” (Entrevistado 4)*

- *“Sí, tal cual, es un sistema vivo. Al ser in-house está en mejora constante. Eso es bueno, pero requiere mucho seguimiento de varias áreas como operaciones, logística, calidad y, sobre todo, IT que es la parte que trabaja más enfocada en esta tecnología que usamos. A veces surgen escenarios no previstos ¿qué le puedo decir? Cosas como un desvío por clima, una ventana de puerto que se movió, un transbordo adicional... y hay que ajustar reglas o reportes. Entonces digamos que, el reto no es la trazabilidad en sí, sino sostenerla cuando el mundo real se sale del guion. Ahí el trabajo coordinado entre áreas es clave para que el dato no se rompa.” (Entrevistado 5)*
- *“Bueno, hay varios retos diría yo. El primero es la falta de integración total: muchos sistemas siguen trabajando de manera aislada y eso crea “puntos ciegos” en la cadena. Segundo, la vulnerabilidad a errores o incluso en algunas ocasiones manipulaciones de datos, porque cuando hay demasiada intervención manual se corre ese riesgo, ya se ha visto en otras ocasiones. Y, quizá el más fuerte, los costos de implementación. Montar una solución completa de trazabilidad no es barato, y más en sectores agrícolas donde los márgenes son reducidos.” (Entrevistado 6)*
- *“Mire, yo le diría que la mayor limitación es la dependencia de un servidor central. La información la teníamos dentro del sistema entonces, si a uno se le jodía la computadora, no pasaba nada, si no hubiéramos contado con ese sistema que permitía que todos accediéramos, hubiéramos perdido toda la información. Sin embargo, si ese servidor falla, pues... toda la información se puede perder, y ahí la trazabilidad ya no tiene sentido porque se rompe la continuidad de la data y del historial. Además, esa centralización le resta confiabilidad, porque depende de un único punto, lo que puede hacer que sea ser vulnerable.” (Entrevistado 7)*

## *Análisis*

Como fue comentado por los expertos, los sistemas de trazabilidad actuales, aunque funcionan, presentan algunos desafíos para los exportadores que pueden comprometer la eficiencia, precisión y confiabilidad de la cadena de suministros. Las limitaciones mencionadas por la muestra de investigación presentan algunos puntos de mejora que pueden ser atendidos por una herramienta como el *blockchain*.

Gran cantidad de los entrevistados mencionan problemas relacionados a los aspectos tecnológicos de su sistema de trazabilidad actual, como problemas de integración de diferentes sistemas, mejoras en los reportes, no poder compartir datos en tiempo real, y manipulaciones de datos. Estos obstáculos pueden provocar ineficiencias o la presentación de datos incorrectos o desactualizados al consumidor final, lo que, a su vez, genera el riesgo de crear desconfianza y limitar el establecimiento de futuras relaciones comerciales.

El *blockchain* presenta una solución para conseguir realizar publicaciones a la red en tiempo real e impedir manipulaciones de los datos, al ser una red inmutable que encripta la información. Además, logra que el cliente tenga acceso a toda la información relacionada al manejo del cultivo en un mismo lugar. Sin embargo, no es una solución perfecta para todos los problemas tecnológicos que presentan los entrevistados, ya que aún requiere integrarse con los sistemas ya utilizados, inversión en capacitación y actualización tecnológica.

Entre las respuestas de los entrevistados, también se menciona con frecuencia desafíos en la integración de los datos. Existen problemas con la trazabilidad de documentos externos para unir diferentes eslabones del proceso y para coordinar los datos con otras áreas importantes, principalmente si se trata de un sistema que es solo interno y se debe recolectar la información de las fuentes externas manualmente, como en el caso que presenta el Entrevistado 5.

Estos factores pueden generar que la información tarde más tiempo en estar disponible, lo que puede ser frustrante para el receptor de esta y lo más probable es que requiera de cierto conocimiento o documento urgentemente para realizar los trámites de la importación. Por otro

lado, se corre el riesgo de perder los datos si el sistema falla. Además, la ausencia de una integración automatizada implica un mayor esfuerzo humano y esto no solo significa una mayor inversión, sino que también expone la trazabilidad a errores asociados con el manejo manual de la información.

Por otro lado, como lo menciona el Entrevistado 6, los sistemas que trabajan de manera aislada crean puntos ciegos en la cadena, lo que puede dificultar la visibilidad completa del proceso productivo. Dichos vacíos de información resultan especialmente problemáticos en un sector como el bananero, donde la calidad y la inocuidad del producto deben estar garantizadas, de lo contrario, se podría comprometer la calidad de la fruta y la reputación de la empresa exportadora.

Ante este problema de integración, el *blockchain* se presenta como una solución que permite integrar a los diferentes actores de la cadena de suministros a una misma red, en la cual cada participante registra y accede a la información en tiempo real sin necesidad de intermediarios. Esta conexión entre las partes reduce los vacíos en la comunicación que presentan los sistemas actuales. Hualpa y Rangel (2022) en su revisión bibliográfica establecen lo siguiente al respecto:

Los autores que abordaron los procesos de trazabilidad agrícola con esta tecnología, coincidieron en sustentar las razones de utilizar *Blockchain* debido a sus bondades en el manejo de altos volúmenes de datos (Chen et al., 2020; Leng et al., 2018; Patel & Shrimali, 2021). Una característica importante de esta integración ha sido la transparencia y libertad de la información, que ha dado acceso y participación a diferentes actores del sector agrícola. Los alcances comunes de medición con esta tecnología se relacionan con el control de pesticidas, fertilizantes y demás insumos utilizados en cultivos que son de interés para el consumidor de acuerdo con las nuevas tendencias de compra. (pp. 4 - 5)

Las limitaciones expuestas por los entrevistados permiten deducir que, por más que los sistemas actuales son útiles para presentar una trazabilidad básica, el *blockchain* representa una oportunidad de evolución, al darle solución a una gran cantidad de los problemas experimentados por el sector bananero de la zona Huetar Atlántico actualmente. Este instrumento ofrece un registro compartido por todos los actores que participen, único e inmutable, que documenta la información desde la cosecha hasta el destino final en tiempo real, reduciendo los errores humanos y eliminando los puntos ciegos derivados de sistemas aislados, lo que brinda una trazabilidad continua y verificable.

#### **Categoría 4: Requerimientos Específicos de la Trazabilidad**

##### ***Descripción***

La última categoría de la primera unidad de análisis se basa en la exigencia de los mercados actuales. Actualmente se conoce que, al haber tanta oferta en el mercado internacional, los importadores eligen sus compras de manera selectiva, por lo que se les preguntó a los entrevistados si han recibido requerimientos específicos sobre trazabilidad por parte de los compradores, sus respuestas fueron las siguientes:

- *“En general, lo que piden es cumplimiento con las regulaciones de cada país. Por ejemplo, cuando trabajamos el software para la carne se solicita información muy detallada, como el nivel de grasa o la procedencia exacta del animal. Y en el caso de la piña, hemos visto que se enfocan más en temas de seguridad alimentaria y en demostrar que se cumplen los estándares de exportación, supongo que por ahí va más el tema de la exportación de banano.*

*Entonces... bueno, cada tipo de alimento tiene sus propias reglas de ingreso. No es lo mismo enviar carne a Europa que fruta a Estados Unidos. Eso hace que las empresas tengan que ser muy flexibles con su sistema de trazabilidad.” (Entrevistado 1)*

- *“Ok... vamos a ver. Lo que más suelen pedir son códigos de barras claros y confiables, que les permitan verificar rápidamente el origen y el estado del producto. Ese es el requisito que creo que más tenemos porque pienso yo que les da confianza al momento de ellos de manejar la información. También nos ha tocado que solicitan informes más detallados del recorrido y las condiciones del envío, aunque he visto que eso depende mucho del mercado de destino, hay gente un poco más dolor por decirlo así con esas cosas.” (Entrevistado 2)*
- *“Lo que más destacan es la necesidad de que cada embarque pueda trazarse hasta su origen de forma clara y verificable. Eso incluye la identificación de la finca y el lote, respaldada con certificaciones como Orgánico, GlobalG.A.P. o Rainforest Alliance. También nos han exigido registros de empaque e inocuidad, condiciones de transporte y cadena de frío con monitoreo de temperatura de contenedores durante todo el trayecto, y documentación digital respaldada: packing list, fitosanitarios, certificados socioambientales. Básicamente te puedo decir que buscan todo para tener transparencia, confiabilidad y cumplimiento normativo, con la capacidad de responder rápidamente en auditorías, alertas o retiros de producto.” (Entrevistado 3)*
- *“Básicamente, lo que nos solicitan es lo que pide directamente la empresa compradora de fruta, y eso normalmente es el uso de códigos de barras. Con eso pueden dar seguimiento a la fruta desde que sale de la finca hasta que llega al destino final. No es que sea muy complejo, pero sí es un requisito indispensable para cumplir con sus estándares.” (Entrevistado 4)*
- *“Yo no llevo directamente esa relación, pero hasta donde entiendo lo que se exige de nuestra parte es trazabilidad completa desde planta de empaque hasta cliente final. Digamos que se pueda demostrar el camino de la tarima y del contenedor inclusive con evidencia consistente que al cliente le haga sentido: fechas, lugares, movimientos y, cuando aplica, condiciones de cadena de frío.” (Entrevistado 5)*

- *“Lo que más he visto es que piden cumplimiento con normativas y estándares internacionales, sobre todo en inocuidad y certificaciones. También valoran mucho la transparencia, quieren tener claro de dónde viene el producto, bajo qué condiciones se produjo, y cada vez más incluyen requisitos de sostenibilidad, que son clave para ciertos mercados como los europeos y norteamericanos.” (Entrevistado 6)*
- *Sobre todo, piden inmediatez, seguridad y veracidad de la información. Quieren datos en tiempo real, que sean confiables y que les permitan tomar decisiones rápidas de compra, para ellos el tiempo es dinero. Además, cada vez más compradores internacionales esperan tener acceso a reportes completos que incluyan no solo la trazabilidad básica del producto, sino también aspectos relacionados con sostenibilidad, condiciones de producción y cumplimiento de normativas. Eso les da la tranquilidad de que están adquiriendo un producto que cumple con estándares de calidad y responsabilidad social, algo que es muy valorado en mercados exigentes como el europeo y el norteamericano. (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

Al observar las respuestas de los entrevistados es evidente que entre los requerimientos de los compradores internacionales resalta la importancia de cumplir con normativas, certificaciones y estándares de calidad. Esto refleja que la trazabilidad de las exportaciones no solo es un requisito que tiene funcionalidad a nivel interno, sino que también se ha convertido en un factor esencial para convertirse en una empresa más competitiva en el mercado externo que logra generar confianza y diferenciar su producto de los demás.

El principal requisito que se presenta es el cumplimiento con las regulaciones, las normativas y los estándares de calidad. Estos varían según el país de exportación, por lo que es importante conocer el mercado objetivo de ingreso y lograr recolectar diferentes documentos para diferentes destinos. El *blockchain* permitiría automatizar este proceso al programarse para que distintos actores o clientes accedan a los datos que les interesan, sin necesidad de duplicar esfuerzos, todo está en una misma plataforma, simplemente se modifican los accesos para cada usuario dependiendo de país con la programación de condicionales.

Entre las respuestas también se menciona el requerimiento de sistemas que identifiquen el producto como los códigos de barra. Esta petición es crítica, ya que le habilita al comprador la posibilidad de realizar verificaciones rápidas sobre el origen, la condición y el recorrido del producto, motivo por el cual el cliente generaría confianza en el bien adquirido. Entre más moderna y actualizada esté la herramienta utilizada para la trazabilidad, la confianza aumenta al tener una mayor precisión y transparencia en los datos proporcionados.

Tener verificaciones y reportes del recorrido es otro factor importante para los compradores internacionales. La trazabilidad completa les asegura la manipulación correcta del producto, en especial con un cultivo como el banano, que requiere ser transportado a una temperatura específica y ser manejado con cuidados especiales para evitar la maduración excesiva de la fruta y asegurar que esta mantenga su calidad durante el transporte. El *blockchain* registra en tiempo real estas condiciones y mantiene estos datos inmutables para garantizar un monitoreo confiable y seguro.

Por último, entre las respuestas resalta la demanda por la documentación digital respaldada, incluyendo requisitos importantes para la exportación como el *packing list*, la factura comercial y el conocimiento de embarque, además de certificaciones como Orgánico, GlobalG.A.P. o Rainforest Alliance. Esta petición es sumamente conveniente para los compradores internacionales al facilitarles el acceso y la transferencia de esta documentación a las autoridades y a las demás partes interesadas. Por otro lado, asegura que el producto cumple estándares ambientales, sociales y de inocuidad, lo cual es particularmente relevante en mercados exigentes como los europeos y norteamericanos.

El *blockchain* permite centralizar la información en una red inmutable, tanto las certificaciones como los documentos de exportación pueden subirse al sistema y quedar registrados de manera transparente y accesible para todos los integrantes. En caso de requerir los documentos por una auditoría o verificación normativa, se tiene un acceso ordenado, seguro y confiable a los datos, con la conveniencia de tenerlos todos en la misma plataforma, haciendo estos procesos más eficientes y sencillos para los exportadores.

Los resultados de esta última categoría de la primera unidad de análisis muestran que los requerimientos específicos de trazabilidad por parte de los compradores internacionales buscan garantizar la calidad del producto que están adquiriendo y reforzar la confianza, la transparencia y la sostenibilidad en toda la cadena de suministro. Esto permite que el *blockchain* se posicione como una solución eficiente ante las exigencias de los mercados foráneos al ofrecer registros inmutables, seguros y de fácil acceso en tiempo real para todos los involucrados en el proceso de la exportación.

### **Unidad de Análisis 2: Beneficios y Desafíos**

Esta unidad de análisis fue diseñada con el objetivo de poder otorgarle información valiosa a las empresas que estén considerando aplicar el *blockchain* en la trazabilidad de sus exportaciones de banano. Tomar una decisión consciente e informada es la mayor diferencia entre el éxito y el fracaso en la implementación de herramientas en la cadena de suministros. La incorporación de un nuevo sistema incluye cambios significativos en la capacitación de personal, la gestión y el acceso a la información y el proceso de control, por lo que resulta esencial tener datos claros y estructurados.

Los datos que se presentan a continuación permiten poner en una balanza los beneficios y los obstáculos que las empresas exportadoras pueden experimentar, esto en combinación con un análisis interno de la empresa teniendo en cuenta sus fortalezas y sus debilidades debería de ser un buen indicador para decidir si aplicar el *blockchain* en su trazabilidad o no. Con base en la relevancia de esta unidad, se presentan las siguientes categorías, que recopilan los beneficios y desafíos principales de la aplicación de *blockchain* para las empresas exportadoras de banano de la región Huetar Atlántico.

1. Beneficios de la aplicación del *blockchain*
2. Desafíos de la aplicación del *blockchain*

## Categoría 1: Beneficios de la Aplicación del *Blockchain*

### *Descripción*

Esta categoría de análisis se enfoca en dar visibilidad a las ventajas que ofrece el *blockchain* como un sistema de trazabilidad. Se plantean dos preguntas relacionadas con esta categoría. Primeramente, se le consulta a los entrevistados por los motivos por los cuales consideran que el *blockchain* mejoraría la trazabilidad del banano. A continuación, se presentan las respuestas de la muestra de investigación.

- *“Bueno como yo lo vería, teóricamente puede mejorarla, sí. Porque blockchain ofrece una sola “fuente de la verdad”, como se dice, y eso evitaría duplicidad de datos o información contradictoria entre actores. Pero... también tiene retos importantes, la industria debe adoptarla, y eso implica inversión.*

*Además, hay un tema delicado: quién administra la red y quién asume la responsabilidad de lo que está ahí. O sea, si todos confían en la información, también alguien debe responder si ocurre un problema. Pero bueno, en beneficios, al centralizar la información de muchos actores, sería más rápido rastrear la mercancía, identificar un lote defectuoso y hasta reducir tiempos en procesos de auditoría.”* (Entrevistado 1)

- *“Bueno, yo no sé mucho de eso en realidad, pero creo que tal vez porque el blockchain ofrece como me decía usted al principio un nivel de información mucho más confiable y transparente. En los sistemas más tradicionales, la información depende de una base centralizada, con el blockchain se reduce ese riesgo de depender solo de alguien a ciegas, que ayuda a evitar errores o desconfianzas, más si el cliente no lo conoce a uno.”* (Entrevistado 2)
- *“Ok, Blockchain puede mejorar mucho porque permite que toda la información clave quede registrada en una red segura, inalterable y accesible en tiempo real para todos los actores. A diferencia de si hablamos de un sistema actual, donde hay dependencias de*

*registros manuales o integraciones parciales, blockchain haría que productores, exportadores, navieras, autoridades y compradores trabajen con la misma información al mismo tiempo. Esto genera mayor confianza en el consumidor, reduce riesgos de fraude y facilita cumplir con normativas internacionales. Y lo importante es entenderlo como un complemento al sistema que ya tenemos, no necesariamente como un reemplazo.” (Entrevistado 3)*

- *“Bueno porque el blockchain puede integrar digitalmente todas las partes del proceso, desde la cosecha hasta el empaque, en un solo sistema que sea visible y seguro para todos. Hoy todo está más fragmentado como le explicaba con la pregunta anterior, y el blockchain daría la oportunidad de unificarlo. Eso, en teoría, haría que la información estuviera más ordenada y disponible al instante para cada actor.” (Entrevistado 4)*
- *“A ver... la logística del banano es larga y sensible. Puede haber cambios de barco, transbordos, esperas en puerto, las navieras son bastante inestables, y en cada evento se desconecta y reconecta la refrigeración del contenedor. Eso tiene repercusiones directas en la calidad si no se controla el tiempo. Con el blockchain, uno podría registrar cada hito en una sola capa compartida: quién, cuándo, dónde y cómo. El cliente vería como un historial transparente de la carga por decirlo así: origen, puntos de control, tiempos de puerta a puerta, y potencialmente lecturas clave, por ejemplo, el estado del reefer. Eso ordena la conversación con certificaciones, clientes exigentes y también con reclamos: todo queda bien trazado y verificable.” (Entrevistado 5)*
- *“Blockchain es muy potente porque funciona como un libro contable distribuido e inmutable. Cada vez que ocurre un evento, se registra en un bloque que queda ligado criptográficamente al anterior. ¿Qué significa esto? que una vez que se guarda la información, ya no se puede alterar sin modificar toda la cadena. Y eso brinda un nivel de confianza que los sistemas tradicionales no pueden ofrecer, sobre todo porque elimina la posibilidad de que alguien manipule los datos a conveniencia de ellos.” (Entrevistado 6)*

- “Bueno, *blockchain* cambia totalmente el panorama porque descentraliza la trazabilidad. En vez de depender de un solo servidor, como en el caso que le comentaba ahorita, la información se distribuye en muchos nodos de la red. Entonces, cada punto importante de la cadena queda certificado y registrado de manera inmutable. Eso garantiza que los datos sean veraces, rápidos de consultar y, lo más importante, que no se pierdan ni se puedan modificar a conveniencia de alguien.”(Entrevistado 7)

### **Análisis**

Los entrevistados consideran que la tecnología *blockchain* puede mejorar significativamente la trazabilidad del banano, principalmente porque permite unificar los datos del proceso de exportación en una sola red digital, accesible y verificable por todas las partes involucradas. Esta herramienta se establece como una fuente única de la verdad, gracias a su característica de inmutabilidad, que impide modificar la información, ya que alteraría toda la cadena por la interconexión que tienen todos los bloques al tener el hash del bloque anterior.

El *blockchain* también facilita el seguimiento de la mercancía, el cumplimiento de las normas internacionales y la reducción de tiempos en procesos de auditoría o reclamos al centralizar toda la información en una misma plataforma. Otros sistemas de trazabilidad dependen de múltiples bases de datos, registros manuales o procesos fragmentados que pueden retrasar la disponibilidad de la información, mientras que el *blockchain* ofrece la posibilidad de integrar en la misma red el historial completo de cada lote, incluyendo datos sobre su origen, condiciones de transporte, certificaciones y destino final.

Otro factor de la cadena de bloques que mejoraría la trazabilidad del banano y aumentaría la confianza es el hecho de que es un sistema descentralizado, lo que significa que no depende de un solo servidor que podría manipular la información. En su lugar, la información de la red suele ser distribuida en múltiples nodos que validan las transacciones, lo que garantiza mayor transparencia y seguridad para todos los actores involucrados.

Otra gran ventaja de este sistema es que aumenta la eficiencia en los procesos al proveerle a las partes accesibilidad a los datos subidos a la red en tiempo real, dándoles la posibilidad de trabajar con la misma información al mismo tiempo. Esto es crucial en este ámbito que es tan vulnerable a factores variantes como el clima, la humedad, y las demoras portuarias. Tener acceso a los datos más actualizados genera coherencia, facilita la resolución de conflictos y mitiga el riesgo de daños en la calidad de la fruta debido a una pobre manipulación por falta de información. Los autores Raja y Muthuswamy (2022) lo explican de la siguiente manera:

En una cadena de suministro de manufactura, la información o los datos de los diversos participantes, como proveedores, fabricantes, proveedores de logística, distribuidores, mayoristas y minoristas, se recopilan mediante diversas tecnologías avanzadas de recopilación de datos, como sensores IoT, GPS, RFID, códigos QR y API. En cada etapa, los datos en tiempo real se introducen en forma de bloques en una red *blockchain*. Dado que un sistema *blockchain* actúa como una única fuente de datos que almacena toda la información en un libro de contabilidad inmutable y distribuido digitalmente, es visible para todos los participantes de la red. (p. 10).

La segunda pregunta de esta categoría hace referencia a los beneficios que el *blockchain* puede brindarle a la cadena de suministros según la percepción de los entrevistados. Esto con el propósito de conocer puntualmente y con mayor detalle lo que le ofrece la herramienta de la cadena de bloques a la trazabilidad de las exportaciones de banano. A continuación, se presentan las respuestas obtenidas:

- *...Transparencia, por un lado, porque todos los que participan pueden ver lo que pasa. Y también mejor acceso a la información, porque no habría que depender de que “alguien mande un correo” o de revisar diez sistemas diferentes en lo que se desperdicia el tiempo. Todo estaría en un mismo lugar, actualizado y disponible.” (Entrevistado 1)*

- *El principal beneficio diría yo es la transparencia, ya que todos los datos quedan registrados y no se pueden modificar, eso es algo con lo que tal vez no cuenta nuestro sistema actual... También es importante la seguridad, que la información esté protegida por decirlo así.” (Entrevistado 2)*
- *Pues hay varios. Primero, transparencia: todos acceden a la misma información. Segundo, seguridad: los registros son inalterables y auditables. Tercero, reducción de fraude: se vuelve mucho más difícil falsificar datos o certificados. También está la confianza del consumidor, a lo que me refiero es el hecho de que puede verificar atributos como “orgánico” o “sostenible”. Además, se gana eficiencia en las auditorías, porque el historial de cada lote y sus certificados está disponible al instante. Y en caso de un retiro, blockchain permite actuar rápido y con precisión.” (Entrevistado 3)*
- *...Los principales serían seguridad, transparencia, certeza y orden. Es decir, que la información esté bien organizada, sea confiable y que no se pueda manipular fácilmente. También le daría más confianza a los compradores y a los consumidores finales, porque todo estaría documentado de manera clara.” (Entrevistado 4)*
- *Sí sería esa seguridad diría yo al tener un registro inmutable, transparencia obviamente al tener una sola versión del evento, certeza en auditorías y orden en la información. Al final el punto y lo que hace que el blockchain resalte es ganar confianza y reducir ambigüedades: si ocurrió, quedó; si no está, no ocurrió. Y como mencioné, impacta en certificaciones, programas con clientes especiales y mejora continua.” (Entrevistado 5)*
- *Son bastantes. Uno de los más claros e importantes en mi opinión es la respuesta rápida a incidentes. Imagínese que se detecta una enfermedad en una finca o un problema en un lote, con blockchain se puede identificar de inmediato los lotes afectados, hacia dónde se enviaron y qué consumidores podrían estar en riesgo. Además, le da seguridad, transparencia y orden a la información, lo que reduce fraudes y aumenta la confianza del cliente.” (Entrevistado 6)*

- *Yo diría que los beneficios principales son la seguridad y la transparencia. Cuando la información se maneja de forma centralizada, siempre existe el riesgo de manipulación o pérdida. En un ambiente de blockchain, en cambio, la información se certifica como real y no puede alterarse. Eso aumenta la confianza tanto interna como externa, porque el cliente puede estar seguro de que lo que ve es lo que realmente ocurrió en el proceso. (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

En cuanto a los beneficios percibidos, los entrevistados mencionan que el *blockchain* proporciona transparencia y confianza en la información compartida, al garantizar que los datos almacenados en la red sean auténticos y verificables. Debido a su diseño inmutable, se minimiza el riesgo de falsificación de registros o certificados, reduciendo la posibilidad de fraudes durante el proceso de exportación.

Por otro lado, la herramienta de la cadena de bloques contribuye al cumplimiento de normas y regulaciones internacionales, la reducción de tiempos en auditorías y la mejora del seguimiento del producto, al concentrar toda la información en una sola plataforma digital, lo que se traduce en un ahorro de tiempo y dinero para los exportadores al lograr que estos procesos sean más eficientes.

Un beneficio adicional del *blockchain* es su capacidad de generar valor agregado a la empresa exportadora de banano y mejorar su competitividad. Al contar con un sistema que permite que el consumidor final acceda a la historia y la trazabilidad del producto que están comiendo mediante, por ejemplo, un código QR en la etiqueta, se ofrece una experiencia de transparencia única. Lo que hace que el *blockchain* además de ser una herramienta operacional, se convierta en una estrategia de *marketing* que diferencie el producto en los mercados foráneos.

Finalmente, se puede concluir que los entrevistados consideran que la implementación del *blockchain* en la cadena de suministros ofrece varios beneficios que se resumen en cinco puntos clave: la transparencia, la integración, el acceso a los datos en tiempo real, la seguridad y

la confianza. Además del valor agregado que se adquiere al utilizar un sistema tan actualizado. Por lo que se concluye que el *blockchain* cuenta con varias características llamativas para mejorar la trazabilidad de las exportaciones de banano. Warscher (2023) evidencia este mismo punto aplicado en un ámbito comercial distinto:

Se puede considerar que la empresa cuenta con una sólida ventaja competitiva al momento de implementar el plan estratégico propuesto, lo que redundara en un aumento de rentabilidad, ya sea por clientes existentes que compraran productos con mayor valor agregado, como por nuevos clientes. Ambos se verán atraídos por un producto que, vía *Blockchain*, dará certeza de estar consumiendo carnes producidas en estancias amigables con el medio ambiente. (p. 23).

## **Categoría 2: Desafíos de la Aplicación del *Blockchain***

### ***Descripción***

La segunda categoría de esta unidad de análisis complementa la información de la categoría anterior, ya que brinda la posibilidad de poder analizar esta herramienta por completo, considerando tanto los aspectos positivos como los negativos. Se les preguntó a los entrevistados sobre los desafíos, resistencias o barreras que enfrenta la implementación del *blockchain* en el contexto agrícola costarricense. Las respuestas de la muestra de investigación fueron las siguientes:

- *Sí, bueno... yo diría que eso no es solo un tema local, es más bien un asunto mundial. Para que blockchain funcione de verdad, se necesita un ente que lleve el control, que sea aceptado por todos los actores y que genere confianza en la información. Porque si cada quien arma su propia red, la verdad no tendría mucho sentido. Además, siempre hay resistencia natural al cambio, ¿verdad? sobre todo en el sector agrícola, donde muchos productores pequeños no están acostumbrados a manejar tanta*

*tecnología. La capacitación, la inversión inicial y el marco regulatorio son factores que hacen que la adopción sea más lenta. (Entrevistado 1)*

- *Yo diría que los principales retos son el manejo de la información y la adaptación al proceso. A nosotros nos cuesta muchísimo capacitar a todas las personas que nos ayudan entonces creo que, al momento de hacer correcciones, que siempre son necesarias, en ese sistema puede resultar complejo, sobre todo si no hay suficiente capacitación.*

*También está el hecho de que no todas las empresas agrícolas están familiarizadas con este tipo de tecnología, lo que puede causar cierta resistencia inicial. Y claro que la inversión tecnológica que se requiere puede ser una barrera para productores más pequeños como nosotros. (Entrevistado 2)*

- *Desde mi experiencia el principal desafío es el económico y el tecnológico. Mirá, te explico, en muchos cultivos de la región Huetar Atlántico que es la que tocas en tu tema, los productores son pequeños y trabajan con procesos muy básicos. Implementar blockchain requiere inversión en equipos, conectividad y capacitación, lo cual puede generar resistencia. También hay una brecha digital importante, porque no todos los productores tienen acceso a herramientas o la formación para usarlas. A eso se suma cierta desconfianza hacia tecnologías nuevas, sobre todo cuando no se traducen en beneficios inmediatos como un mejor precio o acceso a mercados. Entonces yo diría que la barrera es tanto tecnológica como cultural y económica. La adopción dependerá de que sea fácil de usar, accesible y que sea respaldada por compradores o instituciones que den razones claras para implementarla. (Entrevistado 3)*

- *El más grande en mi opinión es el desconocimiento. Todavía hay una falta de capacitación en estas tecnologías, tanto a nivel técnico como en su aplicación práctica en el campo. Muchos productores no saben cómo funcionaría toda su aplicación y el proceso como tal y eso genera resistencia. Además, implementar algo nuevo siempre requiere tiempo y recursos. (Entrevistado 4)*

- *La realidad operativa es que hay muchos escenarios en tránsito. Clima, fuerza mayor, huelgas, ventanas de ataque que se mueven, revisiones extraordinarias... de todo. Si el sistema no contempla o no sabe mapear esas excepciones, se pierde el hilo. Entonces el desafío es doble en este caso: que la herramienta logre capturar lo estándar y que tenga la flexibilidad necesaria para incorporar lo que se sale del molde, sin romper la trazabilidad. Y, claro, capacitación: que las personas sepan qué registrar y cómo. (Entrevistado 5)*
- *Pues el costo inicial, sin duda alguna. Implementar blockchain requiere inversión en software, hardware e integración con los sistemas actuales. Para un pequeño o mediano agricultor en Costa Rica, eso es casi imposible de asumir solo. También está el tema del desconocimiento, porque mucha gente aún no entiende cómo funcionaría en la práctica, y sin capacitación va a ser muy difícil adoptarlo. (Entrevistado 6)*
- *“Yo creo que los desafíos son varios en realidad. El primero es cultural, la gente muchas veces tiene miedo de lo nuevo, y el blockchain todavía se percibe como algo muy lejano o solo para bancos y finanzas. La curva de aprendizaje también es un reto, porque requiere capacitación. Además, está la percepción de que no aplica a todos los negocios, cuando en realidad, si se analiza bien, puede encajar en muchos procesos. También hace falta romper ese paradigma y mostrar con ejemplos concretos dónde sí funciona.” (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

La preocupación más mencionada por la muestra de investigación es la falta de capacitación y conocimiento. Se reconoce el hecho de que siempre existe una resistencia a los cambios, aún más cuando esos cambios significan una gran inversión y no presentan tantos beneficios inmediatos. En su lugar, las primeras etapas de aplicar el *blockchain* a la cadena de suministros de las exportaciones de banano representan confusión y una inversión de tiempo para capacitarse y lograr comprender e integrar el sistema, para que este sea lo más eficiente posible.

Además, actualmente se tiene mucho desconocimiento acerca de esta tecnología y su funcionamiento, ya que el *blockchain* todavía se visualiza como algo futurista, al ser tan nuevo y complejo, o es visto solo para bancos y finanzas, ya que la mayoría de personas que han escuchado de este concepto lo han hecho por medio de información relacionada con las criptomonedas, lo que los lleva a asumir que este es el único ámbito en el que se utiliza.

La falta de conocimiento puede crear escepticismo y frenar o desacelerar la adopción, ya que, cuando los colaboradores están cerrados a la idea, la capacitación se vuelve aún más complicada. En especial en un sector agrícola que se caracteriza por productores pequeños, con recursos limitados. Sin duda se puede deducir que este es un reto de largo plazo que necesita el apoyo de campañas de sensibilización que introduzcan el tema de forma atractiva para estos actores y la participación de compradores o instituciones que respalden el sistema para fomentar el interés.

Por otro lado, se reconocen las limitaciones económicas y la falta de infraestructura tecnológica. El *blockchain* requiere una inversión inicial en software, hardware y capacitación, debido a las complejidades de la herramienta y la integración con los sistemas de trazabilidad actuales. Esto es un gran obstáculo, especialmente para pequeños y medianos productores de la región Huetar Atlántico que quizás no cuentan con una gran cantidad de recursos para invertir en sus sistemas de trazabilidad. Sin embargo, esta inversión les puede permitir a las empresas ahorrar dinero a largo plazo, como lo expone Singh (2024):

La tecnología *blockchain* puede reducir significativamente los costos asociados con los procesos de transacción tradicionales, como las tarifas cobradas por los intermediarios y la necesidad de conciliación manual. Al facilitar las transacciones directas entre pares y automatizar las tareas administrativas, *blockchain* permite a las empresas optimizar las operaciones y lograr ahorros de costos en varios sectores, incluidos los financieros, inmobiliarios y de servicios legales. (párr. 7).

La brecha digital es un factor tecnológico adicional relevante cuando se trata de los desafíos de la aplicación del *blockchain* en este sector. El acceso desigual a conectividad, equipos tecnológicos y habilidades digitales pone en desventaja a aquellos exportadores con menos oportunidades y recursos, lo que puede hacer que terminen siendo obsoletos en un mercado competitivo. La implementación del *blockchain* corre el riesgo de aumentar la disparidad dentro del sector, ya que es una opción viable solo para aquellas empresas que pueden asumir el costo.

El entrevistado 5 comenta un punto clave que podría convertirse en un desafío y es que el *blockchain* logre ser lo suficientemente flexible para adaptarse a las condiciones imprevistas que se presentan a lo largo de la logística de la exportación de banano. Variables como el clima o retrasos en los puertos pueden alterar la trazabilidad si el sistema no está diseñado para registrar estos sucesos. Estas eventualidades pueden registrarse en el sistema de la cadena de bloques, la dificultad principal con este tema es que los usuarios deben tener la capacitación necesaria para poder registrar hechos no estandarizados.

Las respuestas de los entrevistados reflejan la realidad transparente de la aplicación del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano, exponiendo diferentes desafíos a los que se pueden enfrentar las empresas si deciden utilizar un sistema tan robusto y sofisticado en la trazabilidad de sus exportaciones de banano. Los desafíos de la aplicación del *blockchain* no están relacionados solamente a dificultades tecnológicas, sino que también hay obstáculos de carácter económico y cultural.

Definitivamente, se puede concluir que la implementación de este sistema requiere de una capacitación extensa, las empresas deben tomarse el tiempo para educar a las partes involucradas sobre el sistema, cómo funciona y los beneficios que ofrece. También se necesita tener la posibilidad de realizar una inversión inicial significativa en software, hardware y mantenimientos. Por último, es fundamental destinar el tiempo necesario para lograr una transición ordenada del sistema actual hacia el *blockchain* o integrar ambos, con el objetivo de superar progresivamente estos desafíos.

### Unidad de Análisis 3: Tecnologías

La última unidad de análisis de esta investigación se enfoca en conocer el potencial de la tecnología *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano. Para esto, se espera comprender sus características, el tipo apropiado para esta tarea y la realidad costarricense con respecto al *blockchain*, conociendo sus limitaciones en el proceso. Adicionalmente, esta sección de la investigación también tiene como propósito evaluar aspectos más técnicos como la seguridad, la transparencia, y la interoperabilidad del sistema para brindar una mayor comprensión de este.

Con las respuestas de los expertos en el área, se identifican las plataformas de *blockchain* que actualmente se utilizan en el sector agrícola y observar si estas pudieran ser adaptadas e integradas al *blockchain*, de acuerdo con la realidad nacional. Finalmente, se espera conocer, basado en los factores anteriores, la viabilidad de esta herramienta en el contexto actual del ámbito de exportaciones de banano en la zona Huetar Atlántico. Comprendiendo la importancia de esta unidad de análisis, se recolectaron datos relevantes sobre el tema por medio del cuestionario aplicado a la muestra de investigación, de esta información se desprenden las siguientes categorías:

1. Plataformas actuales
2. Características de la tecnología *blockchain*
3. Modelos de *blockchain*
4. Viabilidad del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano

#### **Categoría 1: Plataformas Actuales**

##### ***Descripción***

Esta primera categoría está basada en la octava pregunta realizada a la muestra de la investigación durante la entrevista. Se les consulta si las plataformas actuales son aptas o no para el desarrollo en el sector de la trazabilidad de las exportaciones de banano, con el objetivo de conocer las plataformas actuales más a fondo. A continuación, se presentan las opiniones y

observaciones de los entrevistados que respaldan esta unidad de análisis.

- *Diría que son aptas en cierta medida. Hoy en día se puede saber dónde está el contenedor, las temperaturas a las que viaja y en general se maneja bastante información. Entonces sí, son útiles para cumplir con lo básico.*

*Pero... en realidad pueden ser mejores. Es decir, desde la perspectiva del cliente y de la transparencia siempre hay espacio para mejorar. La pregunta clave es: ¿quieren todos ser transparentes? Porque la tecnología puede estar lista, pero si los actores no están dispuestos a compartir toda la información, ahí es donde el sistema se queda corto. (Entrevistado 1)*

- *Sí claro, estas plataformas permiten establecer controles básicos que son funcionales, aunque no son perfectas verdad, todavía hay bastante espacio para mejorar. Actualmente sirven como una base, pero con el blockchain creo yo que se podría dar un salto hacia un sistema mucho más completo, que permita una mayor integración y confianza entre todos. (Entrevistado 2)*
- *Hoy las plataformas como SAP son aptas para garantizar la trazabilidad básica y cumplir con clientes y autoridades. Permiten gestionar lotes, dar respuestas rápidas en auditorías y sostener la operación. Pero todavía dependen de integraciones parciales, o sea, estas no siempre ofrecen visibilidad en tiempo real a todos y siguen requiriendo registros manuales, que era lo que te decía. Por eso, tecnologías como IoT son clave. Con sensores en finca, cámaras de frío y contenedores podemos capturar automáticamente datos de temperatura, humedad y ubicación, y transmitirlos en línea. Eso hace que la información que tengamos sea más continua, más precisa y menos dependiente de registros humanos. Lo actual funciona, pero su verdadero potencial aparece al integrarse con IoT y blockchain, que aportan transparencia, automatización y confianza compartida. (Entrevistado 3)*

- *Yo creo que ese es un tema más técnico, que deberían evaluar las unidades de TI. Desde el área de producción podemos dar información y datos, pero la evaluación de si estas plataformas tienen la capacidad suficiente para soportar blockchain corresponde más a quienes manejan los sistemas de información y yo no tengo tanto conocimiento sobre esa área. (Entrevistado 4)*
- *Vieras que, para ser sincero, no tengo datos concretos para evaluar. Eso lo ven más las áreas de tecnología. Desde logística lo único que podemos hacer es describir los flujos y las excepciones y ya la validación de plataforma la hace TI. (Entrevistado 5)*
- *Digamos que cumplen, pero a medias. La mayoría son sistemas aislados, cada empresa tiene el suyo y no siempre se comunican entre sí. Eso genera vacíos de información cuando el producto cambia de manos. No es que sean inútiles, pero todavía falta mucho para que haya una trazabilidad completa y continua. (Entrevistado 6)*
- *Pues... cumplen, pero a un nivel básico. En exportaciones es clave que el cliente pueda certificar desde el origen del producto hasta su entrega, incluyendo fechas de cosecha, envío, tránsito y recepción. Las plataformas actuales logran una parte de eso, pero no de forma completa ni con la transparencia que el cliente internacional realmente demanda, si alguien más tiene un sistema más avanzado, puede ser que prefieran cambiar de proveedor. (Entrevista 7)*

### **Análisis**

Esta categoría de investigación demuestra que las plataformas actuales no satisfacen por completo las necesidades de trazabilidad de las empresas exportadoras, ya que cuentan con limitaciones como el aislamiento de los datos, que dejan vacíos de conocimiento y la dependencia de registros manuales. Estos sistemas cumplen con funciones básicas, como localizar la ubicación de los contenedores y conocer las condiciones de transporte, pero excluyen otros factores importantes como la integración entre las partes, la automatización, la transparencia y la confianza compartida.

Por los motivos presentados en el párrafo anterior, integrar el *blockchain* a los sistemas de trazabilidad actuales puede ayudarles a los exportadores a complementar sus sistemas, al agregarle puntos clave como un registro inmutable, acceso a la información de forma inmediata y una mayor transparencia, permitiéndoles tener una trazabilidad completa y continua, como lo menciona el entrevistado 6.

En la actualidad, existen diferentes sistemas de *blockchain* que se han aplicado a la trazabilidad agrícola que las empresas exportadoras de banano de la zona Huetar Atlántico podrían aplicar a su cadena de suministro para poder obtener los beneficios de esta tecnología inteligente. Pancari et al. (2023) mencionan dos de las más utilizadas en este ámbito: “Dos de las plataformas *blockchain* de código abierto más utilizadas son Ethereum y Hyperledger Fabric. Estas plataformas ofrecen un método seguro para implementar una red descentralizada de forma transparente y programable”. (párr. 7)

El tipo de plataforma que se implemente dependerá del modelo de *blockchain* que las empresas quieran, su presupuesto y las principales funciones que valoran. Entre las demás plataformas de *blockchain* exitosas para la trazabilidad de distintos alimentos también se encuentra IBM Food Trust, utilizada por grandes empresas como Walmart y Nestlé; aplicaciones exitosas como estas reflejan la utilidad de integrar el *blockchain* en la trazabilidad de productos alimenticios como el banano. Rejeb A., Keogh, Zailani, Treibmaier y Rejeb K. (2020) redactan lo siguiente acerca de esta herramienta:

Por ejemplo, IBM lanzó su plataforma IBM Food Trust, que representa una solución *blockchain* basada en la nube y con permisos para garantizar un método confiable para que los participantes compartan datos relacionados con los alimentos, extraigan valor de las contribuciones de otros y desarrollen un ecosistema alimentario más seguro, inteligente, eficiente y sostenible. (p. 11).

Aunque las plataformas de *blockchain* para la trazabilidad de las exportaciones de alimentos como el banano ya son una realidad, el entrevistado 1 plantea una interrogante controversial que es de suma relevancia: “¿quieren todos ser transparentes?”. Para que un sistema como este funcione, es necesario que los participantes de la red estén dispuestos a compartir información de manera abierta, con la intención de beneficiar a toda la cadena de suministros. Lo anterior expone el hecho de que la viabilidad del *blockchain* en el sector agrícola, aparte de depender del potencial técnico, también depende de la ética y el compromiso de las partes.

Las repuesta de los entrevistados evidencia que las plataformas actuales, aunque son útiles y prácticas, no son tan eficientes como los exportadores desearían que fueran. Las plataformas de *blockchain* se presentan como una solución que podría integrarse con las herramientas ya en uso, aportando mayor confianza, continuidad y eficiencia en la trazabilidad de las exportaciones de banano. Sin embargo, antes de aplicar una herramienta como esta se debe de reflexionar si todos los participantes de la cadena están comprometidos a ser transparentes con la información que registran.

## **Categoría 2: Características de la Tecnología *Blockchain***

### ***Descripción***

La segunda categoría de la última unidad de análisis se enfoca en los factores del *blockchain* que resaltan en su aplicación específicamente en la trazabilidad de exportaciones de alimentos como el banano. Se les consulta a los entrevistados las características que consideran esenciales en una solución de *blockchain* para el sector bananero. Las opiniones de los entrevistados fueron las siguientes según su experiencia en el área:

- *“Lo primero sería un compromiso real de la industria, porque sin eso no va a funcionar. Luego, definir claramente el modelo de datos para que todas las empresas puedan interoperar; establecer niveles de confidencialidad, porque no toda la información debe ser pública; contar con un marco regulatorio que respalde la implementación; y muy*

*importante, disponer de APIs abiertos que permitan a las diferentes compañías integrarse de forma sencilla al sistema.” (Entrevistado 1)*

- *“Sí, sí, sí, creo que lo más importante sería poder contar con periodos de inducción adecuados y un buen manejo de la información. El personal necesita una buena capacitación para comprender cómo funciona la tecnología y cómo aplicarla en el día a día.*

*Si no se garantiza ese conocimiento, la herramienta no la lograríamos aprovechar al máximo y sería un desperdicio para el nivel que tiene esa tecnología. También para mí sería esencial que exista un marco regulatorio claro y que las plataformas tengan interoperabilidad para que todas las empresas que forman parte de la compra puedan conectarse fácilmente entre ellas.” (Entrevistado 2)*

- *“Lo fundamental es que sea interoperable con ERP y plataformas de certificación y logística; que sea accesible y fácil de usar, con interfaces pensadas también para pequeños productores como te decía, que sin importar la zona sea fácil para ellos, que cada evento quede registrado de forma inalterable y auditable; que soporte IoT para integrar sensores; y que pueda escalar sin perder eficiencia.*

*Además, debe tener seguridad y permisos por rol, transparencia para consumidores a través de herramientas como un QR, y ser económicamente sostenible para que la adopción no sea una barrera. O sea, debe ser segura, práctica, interoperable y viable financieramente.” (Entrevistado 3)*

- *“Bueno... la verdad es que, siendo sincero, ese es un tema muy técnico que yo desconozco. Podría decirle que debería ser algo práctico, accesible y confiable, pero ya los detalles más finos deberían definirlos los expertos en sistemas.” (Entrevistado 4)*
- *“Ok... diría primero que la flexibilidad. La logística del banano es volátil y frágil; como te decía anteriormente con los cambios de las navieras y todo eso, nos cambian los*

*planes de un momento a otro. Segundo, capacidad de registrar excepciones sin frenar la operación si no, el sistema se vuelve el cuello de botella de la operación y más bien nos complicaría el sistema. Y tercero, diría yo emmm... interoperabilidad con lo que ya existe como ERPs, TMS, sistemas de puerto/ y de reefer, para no duplicar captura de datos. Si falla cualquiera de esas, se generan demoras o “huecos” por decirlo así en el rastro.” (Entrevistado 5)*

- *“Yo diría que tiene que ser algo eficiente, seguro, flexible y, sobre todo, integrable. Si no se logra que converse con los sistemas ya existentes, no sería algo viable. Aparte, debe ser sencillo para el usuario final, porque muchos de los productores no tienen experiencia técnica.” (Entrevistado 6)*
- *Ahí yo creo que lo esencial es definir el tipo de red: privada, pública o híbrida. También se necesita infraestructura sólida, el desarrollo de contratos inteligentes y, muy importante, que tenga una integración fuerte con los sistemas que ya existen. Si no conversa con lo que las empresas ya usan, no va a ser viable, no sé si me explico. (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

La característica más mencionada entre las respuestas de los entrevistados es la interoperabilidad, este término se refiere a la capacidad que tiene el *blockchain* para integrarse con otros sistemas como Enterprise Resource Planning (ERP) que sean utilizados por las demás partes involucradas en el proceso de exportación como plataformas de certificación, de logística o sistemas portuarios. Esto es un punto clave para ahorrar tiempo en la búsqueda de información en diferentes sistemas y evitar duplicidad de registros o vacíos de información, al integrar toda la información crucial en un solo sistema.

El *blockchain* integra a los diferentes participantes de la cadena de suministros, ya que, al tener todos acceso a una misma red, pueden subir y registrar cada evento en bloques

inmutables y accesibles para todos los participantes autorizados, logrando una integración completa.

Además, si se aplica junto con dispositivos IoT, como sensores temperatura y de humedad, los datos se suben automáticamente a la red sin intervención humana. Otro sistema que contribuye a integrar automáticamente los datos que están en distintas plataformas son los API. Roldán (2024) explica cómo funciona su unión con el *blockchain* de la siguiente manera:

La integración de *blockchain* y APIs aborda diversas necesidades críticas en los sistemas de software modernos. El control de acceso mediante APIs proporciona una sofisticada capa de seguridad y gestión para las interacciones en *blockchain*. Las APIs pueden implementar diversos esquemas de autenticación, desde claves API sencillas hasta flujos OAuth complejos, garantizando que solo las partes autorizadas puedan interactuar con la red *blockchain*.

La transformación de datos es una función crucial de la integración entre *blockchain* y API. Las estructuras de datos de *blockchain* y los formatos de datos de las aplicaciones tradicionales suelen diferir significativamente. Las API pueden gestionar la compleja tarea de transformar datos entre estos formatos, facilitando la interacción de las aplicaciones tradicionales con los sistemas *blockchain*. Esto incluye la conversión de direcciones de *blockchain*, la gestión de firmas criptográficas y el formateo de datos de transacciones.

Las actualizaciones en tiempo real son posibles gracias a la integración de API con eventos de *blockchain*. Cuando se crean nuevos bloques o los contratos inteligentes emiten eventos, las API pueden capturar estos cambios y propagarlos inmediatamente a las aplicaciones interesadas. Esta capacidad es esencial para las aplicaciones que

necesitan reaccionar rápidamente a los cambios en el estado de la *blockchain*. (párr. 11 – 13).

Otra característica importante resaltada por los entrevistados es tener la capacidad de establecer niveles de confidencialidad para mantener la seguridad y tener permisos por rol para proteger la información confidencial de la empresa, mientras se mantiene apertura y transparencia con la información que es relevante para actores externos a ella. Esto es posible si se establece un modelo de *blockchain* híbrido, ya que, gracias a sus propiedades, combina apertura y confidencialidad.

También se destaca la necesidad de que un sistema de cadena de bloques para la trazabilidad de las exportaciones de banano de la zona Huetar Atlántico sea económicamente sostenible, con el propósito de que sea factible para pequeños y medianos productores. Los sistemas *blockchain* varían su precio según su plataforma, sus características, su complejidad, el tamaño y modelo de la red escogida. Por lo que existe una amplia gama de precios dependiendo del presupuesto y las necesidades de los exportadores.

La facilidad de uso del sistema fue mencionada como otro elemento central de una solución *blockchain* para este ámbito, debido a que una gran parte de los productores en la región no son expertos en tecnología. Por eso, este sistema debe contar con interfaces simples, prácticas y accesibles para poder integrar a la mayor cantidad de participantes de la cadena de suministro, además de cerrar las brechas digitales que existen.

Aunque el *blockchain* como tal es complejo a nivel de software, muchas plataformas actuales ya ofrecen aplicaciones diseñadas para usuarios no técnicos. Los sistemas muestran interfaces sencillas con paneles intuitivos para los consumidores, complementadas con aplicaciones móviles y escaneo de códigos QR que facilitan el manejo de la red para los usuarios, sin importar su nivel de conocimiento tecnológico.

Dos de los entrevistados comentaron que un sistema de cadena de bloques debe ser flexible, teniendo la capacidad de adaptarse y registrar excepciones que se salen del proceso estándar de la logística de exportación de banano, como, por ejemplo, retrasos en la salida de barcos o cambios en un proceso operacional. Por medio de contratos inteligentes, el *blockchain* puede programarse para registrar no solo los eventos esperados, sino también los imprevistos de la logística agrícola.

Sobre la misma línea, los contratos inteligentes fueron establecidos como otra característica importante que el *blockchain* debe ofrecerle a las empresas exportadoras. Este es un programa informático que se ejecuta automáticamente dentro de la red cuando se cumplen ciertas condiciones establecidas anteriormente por las partes del contrato. Estos permiten automatizar los procesos de la cadena de suministro, reduciendo la necesidad de intermediarios y garantizando que las condiciones pactadas se cumplan de manera automática.

Finalmente, los entrevistados recalcan la importancia de que exista un compromiso real de la industria para capacitarse en el uso y los beneficios del *blockchain*; también para poder mantener la información del sistema verídica y transparente, al ser esta la única manera de que el sistema sea funcional y eficiente. Por otro lado, se debe contar con un marco regulatorio claro que respalde su implementación, establezca responsabilidades y asegure la protección de los datos compartidos, garantizando la seguridad de las partes involucradas.

Al analizar las respuestas de la muestra de investigación, es evidente que ellos consideran que una solución *blockchain* para la trazabilidad de las exportaciones de banano debe satisfacer diferentes funciones como la interoperabilidad, la facilidad de uso, la flexibilidad y, sobre todo, la seguridad. El *blockchain* responde a estas demandas al ofrecer un sistema descentralizado, adaptable e inmutable, con diferentes plataformas *user friendly* que permiten mejorar la eficiencia técnica de la trazabilidad y la confianza con los clientes internacionales.

### Categoría 3: Modelos de *Blockchain*

#### *Descripción*

Esta categoría se basa en conocer el modelo de *blockchain* más apropiado para la trazabilidad de las exportaciones de banano en la zona Huetar Atlántico según las características de cada uno de ellos. Para esto, se le preguntó a la muestra de la investigación sobre el modelo que consideran más viable para implementar *blockchain* en la trazabilidad del banano. Las respuestas de los entrevistados fueron las siguientes:

- *“Yo diría que debe ser una combinación. Público para establecer las normas, porque hay temas que son de interés general como lo relacionado con aduanas o autoridades gubernamentales. Y privado para implementar esas normas en las empresas, porque son ellas las que al final tienen que ponerlo en práctica en su operación.*

*No le veo mucho sentido a que unos pocos actores privados monten su propia red si al final la trazabilidad involucra a instituciones públicas también. Entonces, híbrido en el sentido de que se definen reglas públicas y cada empresa las aplica en su capa privada.”*  
(Entrevistado 1)

- *“...ok si yo creo que el modelo híbrido sería el más adecuado porque permite que parte de la información sea accesible para todos los usuarios, generando esa transparencia que hablábamos antes, que es bien importante, y al mismo tiempo, que otra parte esté restringida a usuarios autorizados, esto daría da un nivel de control y seguridad adicional esto hace que sea un balance que se ajusta bien a las necesidades del sector porque mezcla la confianza con eficiencia.”* (Entrevistado 2)
- *“Tranquila, yo conozco un poco sobre eso. El híbrido. En la parte privada se protege información sensible como costos o contratos, asegurando rapidez y control. En la parte pública, se abre información clave como origen, certificaciones y condiciones de transporte. Ese equilibrio del híbrido da transparencia y eficiencia, protege lo*

*estratégico y, a la vez facilita verificación independiente. Es lo más realista en el sector, donde conviven pequeños productores y grandes exportadores.” (Entrevistado 3)*

- *“Para mí, pensando en lo que usted acaba de decir, un modelo privado, o digamos una red rápida con solo usuarios autorizados, es lo más viable. Eso garantiza que la información circule de forma más controlada y que solo tengan acceso quienes realmente lo necesitan. Evita riesgos innecesarios y mantiene la seguridad que eso es lo que más les importa a todas las partes al final del día.” (Entrevistado 4)*
- *“Mmmm... según lo que me acabas de explicar diría que privada, o sea con algunos usuarios autorizados, con perfiles y límites de consulta según el rol siento que esto sería lo mejor, más que estamos hablando de datos sensibles: rutas, fechas, identificadores de contenedor... Si esa información se maneja mal, puede convertirse en un tema de seguridad de la carga. Prefiero control granular de accesos y auditoría de quién vio qué.” (Entrevistado 5)*
- *“Yo optaría por un modelo privado. Eso permite que un consorcio de actores seleccionados maneje la red, manteniendo información sensible como costos y contratos dentro de un círculo de confianza. Si bien el modelo híbrido es atractivo, pienso que en un inicio lo más realista es empezar con un privado para asegurar control y confianza.” (Entrevistado 6)*
- *“Para mí lo ideal es el modelo híbrido. ¿Por qué? Porque en un proceso siempre hay información que necesitan tanto actores internos como externos. Si se trabaja solo con un modelo privado, se limita demasiado; y si es público, puede haber datos sensibles que no conviene abrir. Entonces, lo más realista es combinar: parte de la información accesible para todos, y otra reservada solo a los autorizados.” (Entrevistado 7)*

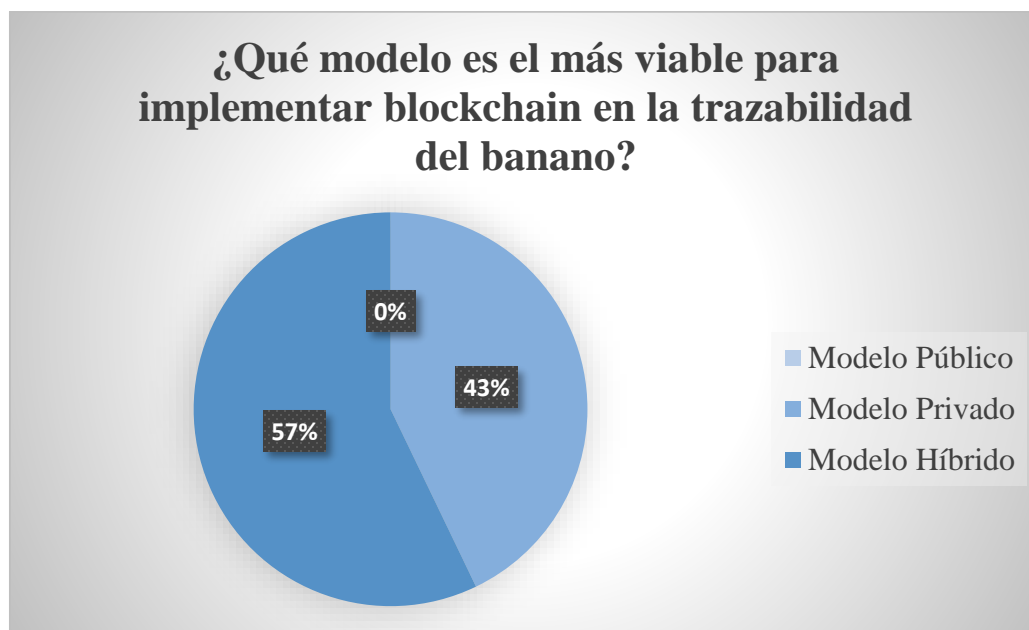
### **Análisis**

Las respuestas de los entrevistados se pueden visualizar en el gráfico que se presenta a continuación. La mayoría de la muestra de la investigación coincide en que el tipo de modelo de

*blockchain* que mejor se adapta a las necesidades de la trazabilidad de las exportaciones de las empresas exportadoras de banano de la región Huetar Atlántico es el *blockchain* híbrido, mientras que la minoría considera de sería mejor un *blockchain* privado.

## Figura 2

*Modelos más viables para la trazabilidad de las exportaciones de banano.*



La inclinación de la muestra de investigación hacia este tipo de *blockchain* se debe a que ofrece un equilibrio óptimo entre transparencia y control, brindando la posibilidad de publicar la información que es de interés público y que respalda la calidad de la fruta adquirida según su buen manejo, como certificaciones, prácticas agrícolas utilizadas y condiciones de transporte, pero, al mismo tiempo, se pueden mantener privados y seguros los datos confidenciales como contratos y costos. Este sistema funciona por capas, como lo explican los autores Martínez y Marcos (2022) a continuación:

Las redes híbridas combinan un sistema *permissioned* junto con un sistema público *permissionless*. De esta forma, en esencia, un *Blockchain* híbrido cuenta con dos

interfaces: un *Blockchain* público sirve para verificar los datos almacenados dentro de un *Blockchain* privado.

Aunque las transacciones dentro de una red híbrida no se hacen públicas, aún son verificables cuando sea necesario. Los individuos que controlan la red no son capaces de alterar la inmutabilidad de los datos y la seguridad de las transacciones, solo pudiendo controlar qué transacciones se hacen públicas y cuáles no. Una vez que a un usuario se le permite el acceso para participar dentro de un *Blockchain* híbrido, puede formar parte plenamente de las actividades en la red: comparte los mismos derechos para realizar y visualizar transacciones con el resto de los actores. (p. 27).

El *blockchain* híbrido entonces es una combinación más realista y funcional en un contexto donde conviven múltiples partes interesadas, ya que permite integrar a diferentes actores de la cadena de suministro de la exportación de banano como productores, navieras, exportadores, certificadores, consumidores y autoridades, con diferentes niveles de acceso para mantener protegida la información sensible de la empresa exportadora, pero también poder compartir información verídica con los actores externos que la requieren.

Otra parte de la muestra de investigación consideró que el *blockchain* privado sería la mejor alternativa para esta red de trazabilidad de exportaciones de banano, al menos en la primera etapa de implementación, como lo menciona el entrevistado 6. Este tipo de *blockchain* se caracteriza por garantizar un mayor control sobre los datos y los usuarios que tienen acceso a los mismos, además reduce el riesgo de que se publique información sensible y confidencial que pueda comprometer a la empresa, por lo que este modelo facilita la curva de aprendizaje de un sistema novedoso como este en un entorno seguro.

El modelo de una cadena de bloques pública queda descartado por los entrevistados, ya que una red pública está abierta a cualquier persona con acceso a internet y permite que estas

personas se unan al sistema como nodos que verifican la información compartida en la red. Esto significa que este tipo de sistema puede exponer información sensible de la empresa que puede comprometer la seguridad de la cadena de suministros o su competitividad.

Según las respuestas recibidas y la información recolectada de fuentes de apoyo, se puede concluir que el modelo de *blockchain* más viable para la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico es el híbrido, debido a que este combina la transparencia y la confianza hacia las partes externas y mantiene la privacidad y confidencialidad de los datos sensibles para la empresa. El *blockchain* privado se posiciona como una segunda opción viable al tener más control y seguridad sobre los datos, aunque se pierde un poco de la transparencia que representa este sistema.

#### **Categoría 4: Viabilidad del *Blockchain* en la Trazabilidad de las Exportaciones de Banano**

##### ***Descripción***

La última categoría de esta unidad está fundada por la última pregunta que se le realizó a los entrevistados, donde estos mencionan si consideran que la aplicación del *blockchain* sería viable para su empresa o para una empresa exportadora de banano. Las respuestas presentadas a continuación permiten observar la tendencia del potencial que ven estos especialistas en la aplicación del *blockchain* como sistema de trazabilidad para sus exportaciones.

- *“Solamente si se convierte en un estándar. O sea, si es algo que toda la industria adopta de manera coordinada, ahí sí le vería sentido, porque todos estaríamos jugando bajo las mismas reglas. Si se implementa solo en unas pocas empresas, no sería sostenible ni tendría el impacto que se espera.” (Entrevistado 1)*
- *“Sí, definitivamente lo veo viable. La principal razón es que el *blockchain* permitiría establecer controles mucho más confiables, lo cual beneficiaría tanto a la empresa como a los clientes.”*

*Aunque la implementación requiere un esfuerzo inicial en temas de capacitación e inversión, los beneficios a largo plazo lo justifican, en especial si estamos hablando de una bananera más grande, nosotros es que tal vez no lo requerimos tanto ahorita. Pero... sí creo, puede ser un diferenciador importante en un mercado tan competitivo como el de la exportación de banano.” (Entrevistado 2)*

- *“Sí, lo veo viable, sobre todo como complemento al sistema que ya tenemos. Hoy cumplimos con SAP, pero blockchain añadiría transparencia, seguridad e interoperabilidad externa con productores, navieras, certificadoras y clientes. Eso sí, tiene que implementarse de forma práctica, accesible y gradual, apoyándose en tecnologías como IoT para la captura de datos. De esa manera se eleva la confianza, se reduce el riesgo de fraude y se refuerza la competitividad.” (Entrevistado 3)*
- *Sí, creo que sí sería viable. Como dije antes, la clave está en que puede integrar los procesos con seguridad, transparencia y certeza, de manera oportuna y confiable. Eso sería un avance importante, siempre que se haga con la capacitación y el apoyo adecuados para quienes participamos en la cadena. (Entrevistado 4)*
- *Sí, yo diría que sería viable, eso sí con dos condiciones: seguimiento correcto e implementación por etapas que considere todos los escenarios de la cadena de abastecimiento. Empezar con rutas controladas, medir, ajustar y escalar. Hecho así, sería una herramienta muy útil: mejoraría la visibilidad, ordenaría la conversación técnica con el cliente y aceleraría la respuesta a incidentes.*

*... En realidad la trazabilidad no es solo “tener datos”, es tener los datos correctos en el momento correcto. Y eso depende tanto de la tecnología como de la disciplina operativa. Un blockchain brillante sin buenos hábitos en campo y puerto... no alcanza. La combinación de proceso, cultura, y sistema es lo que marca la diferencia. (Entrevistado 5)*

- *Sí, totalmente. Tal vez no en mi empresa porque trabajamos más en software, pero para una exportadora de banano la aplicación es muy viable. Ofrece beneficios en confianza, eficiencia y gestión de riesgos. Claro, requiere muchísima planificación y superar barreras de costo y adopción, pero si se logra, la cadena de suministro sería mucho más transparente, robusta y competitiva en el mercado global. (Entrevistado 6)*
- *Sí, definitivamente. Blockchain puede encajar en muchos procesos, no solo en exportación. Garantiza seguridad, descentralización, inmutabilidad de los datos y transparencia. Eso ayuda a evitar fraudes y, al mismo tiempo, le da al cliente la confianza de que el producto es genuino y el proceso confiable. En un mercado tan competitivo, esa confianza es vital. (Entrevistado 7)*

### **Análisis**

Los entrevistados coinciden de manera unánime en el hecho de que el *blockchain* es un sistema de trazabilidad viable para las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico. Este pensamiento conjunto se debe a las características de este sistema como su transparencia, seguridad, descentralización e inmutabilidad que lo hacen innegablemente eficiente en el ámbito en el que se centra esta investigación.

El *blockchain* puede ser un diferenciador competitivo en un mercado tan exigente como el de la exportación de banano, esto debido a que es un sistema que cuenta con controles más confiables que los sistemas actuales, facilita la realización de trámites rigurosos como auditorías o reclamos y destaca su interoperabilidad con otros sistemas utilizados en la cadena de suministros e incluso por actores externos. Basado en lo anterior, se presenta como una opción óptima para empresas bananeras que buscan innovar y posicionarse en el mercado extranjero por su calidad y sostenibilidad.

Sin embargo, la mayoría de la muestra de investigación presenta ciertas condiciones que facilitarían la implementación del sistema y harían que este fuera aprovechado al máximo de sus capacidades. El primer condicional que se menciona es que el sistema sea aplicado por un amplio sector de la industria, ya que de esta manera se generaría un mayor impacto y habría confianza y

apoyo compartido entre el gremio bananero. Para cumplir esto, es necesaria la coordinación entre productores, exportadores, autoridades y clientes para que la red sea más verídica y sostenible en el tiempo.

Adicionalmente, se establece el tiempo como otro factor crítico para una aplicación del *blockchain* exitosa. Los entrevistados resaltan la necesidad de desarrollar el sistema en etapas organizadas correctamente, contando con la capacitación correspondiente para cada una de ellas. De esta manera, se adopta la cadena de bloques de forma planificada, gradual y segura, mitigando riesgos que pueden comprometer desde el presupuesto hasta la información sensible de la empresa.

La viabilidad de la cadena de bloques también se relaciona con el respaldo institucional y normativo que exista para su implementación. Si se cuenta con un marco regulatorio, programas de apoyo y visibilidad de parte de organizaciones como Procomer, Corbana, y COMEX, esto facilitaría el hecho de que tanto grandes como pequeñas empresas exportadoras estén informadas sobre esta tecnología y hasta planifiquen implementarla a largo o mediano plazo. De esta forma, no solo se garantiza el cumplimiento de estándares internacionales de trazabilidad, sino que también aumentaría la participación.

Como fue comentado por el entrevistado 5, la trazabilidad no se trata solamente de contar con los datos, sino de tener acceso a los datos correctos en el momento correcto. El *blockchain* es una buena herramienta para esto ya que cuenta con la capacidad de subir datos a la red en tiempo real, sin embargo, la actualización de estos datos depende de la disciplina de las personas que están detrás de los procesos. Por lo que una última condición adicional que es relevante mencionar es combinar el sistema con una operación eficiente y compromiso de todos los involucrados.

### **Interpretación de los Datos**

Los datos recolectados y su posterior análisis revelan varios aspectos que deben ser resaltados. En la actualidad, las empresas exportadoras de banano utilizan una gran diversidad de

sistemas para realizar la trazabilidad de sus mercancías. Entre ellos se encuentran sistemas más tradicionales como los registros manuales hasta unos más robustos y tecnológicos como SAP/ERP integrados con identificadores SSCC. Esto demuestra que el sector no opera bajo estándares únicos, sino que su trazabilidad varía según el tamaño de la empresa, el presupuesto de inversión y el conocimiento de TI.

La mayoría de los sistemas actuales comparten una característica, son sistemas centralizados, esto significa que carecen de integración con otros actores de la cadena de suministros y de transparencia, por lo que no les transmiten seguridad y confianza a los compradores internacionales. Por otro lado, debido a las características de estos sistemas, también se observan riesgos de punto único de fallo, asimetrías de acceso y gobernanza concentrada.

Los datos obtenidos permiten establecer el hecho de que el *blockchain* se muestra como un complemento a los sistemas de trazabilidad actuales, no necesariamente como un sustituto, en especial en los casos en los que ya se cuenta con sistemas robustos y eficientes. Este sistema descentralizado e inmutable reduce la dependencia de un autor con única autoridad en el registro de los datos, disminuyendo las posibilidades de la manipulación de estos y de fraudes, y facilitando la respuesta ante reclamos o auditorías.

Por otro lado, el *blockchain* también fomenta la interoperabilidad y la integración con otros actores de la cadena de suministros, ya que la red puede contar con varios usuarios y todos pueden subir información en tiempo real y tener un mismo nivel de autoridad si es necesario. Además, con otras herramientas como APIs, y smart contracts se puede automatizar la integración de forma segura y controlada, lo que vuelve al sistema aún más eficiente y ayuda a mitigar los errores humanos.

En síntesis, el *blockchain*, particularmente una cadena de bloques híbrida, le agrega velocidad, transparencia, verificabilidad y confianza a la trazabilidad actual que ofrecen las empresas exportadoras de banano de la zona Huetar Atlántico, mientras que les permite mantener la privacidad y seguridad de sus datos sensibles. Esto les ayudaría con su posicionamiento y

diferenciación en el mercado internacional, haciéndolas más competitivas ante los clientes exigentes.

No obstante, durante el proceso de aplicación del *blockchain* se pueden experimentar diferentes desafíos como el elevado costo de implementación, la necesidad de contar con infraestructura tecnológica moderna y el esfuerzo y tiempo que implica capacitar al personal para adoptar esta herramienta. Adicionalmente, las empresas pueden enfrentarse con la resistencia al cambio de productores y otros actores, y la falta de un marco regulatorio que puede generar un mayor escepticismo alrededor de la herramienta.

Es necesario que si las empresas exportadoras de banano planean implementar el *blockchain* en su trazabilidad, se tomen el tiempo de capacitarse y realmente conocer a fondo la herramienta y cada una de sus funciones, para poder tomar decisiones inteligentes con el plazo necesario. Además, deben enfocarse en darle el entrenamiento adecuado a sus colaboradores y a las demás partes que vayan a tener acceso a la red, para que puedan manejarla eficientemente, tener una ejecución estructurada y generar la menor cantidad de errores posible.

Entre otras condiciones que los usuarios consideran necesarias para la aplicación de este sistema en su ámbito, se encuentra una adopción amplia por un gran sector de la industria, para poder tener el impacto deseado y apoyo entre las partes, visibilidad por parte de organizaciones como Procomer y Corbana que pueden dar apoyo y capacitaciones relevantes, y el compromiso de todos los usuarios para aprovechar al máximo la eficiencia del sistema.

En relación con la cadena de bloques y sus características, es necesario que sea híbrida, para tener niveles de autoridad que permitan proteger la información sensible y también que esté integrada con los sistemas de otros actores para contar con una interoperabilidad que evite vacíos de conocimiento. Finalmente, se requiere que el sistema sea lo suficientemente flexible como para que logre capturar las excepciones que se presenten en los datos que se relacionan con la volatilidad del sector logístico.

Tomando en cuenta todos los factores esenciales mencionados en este apartado de la investigación, el *blockchain* se presenta como una opción fuerte y viable para ser implementado en la trazabilidad de las exportaciones de banano del sector Huetar Atlántico y hacer que estas empresas destaquen en el mercado internacional competitivo, que se caracteriza por su exigencia y selectividad, en especial cuando se trata de una fruta como el banano, que es susceptible a diferentes plagas y enfermedades que pueden afectar su calidad.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Los sistemas actuales utilizados en la trazabilidad de banano en la zona Huetar Atlántico varían en sus niveles de tecnología y eficiencia. Existen sistemas modernos entre los que destacan los sistemas ERP/SAP y los marchamos electrónicos y herramientas más tradicionales como el registro manual del origen de la fruta.

La mayoría de las formas de trazabilidad presentes son centralizadas. Esto les permite registrar datos importantes recolectados propiamente por los colaboradores de la empresa exportadora, lo que los hace eficientes e integrados a nivel interno, pero no con actores externos a la empresa, como productores, navieras o agentes aduaneros.

Los sistemas actuales presentan vacíos en la información por la falta de integración con actores externos, lo que impide una trazabilidad completa. Además, al depender de una única base de datos, son más vulnerables ante fallos técnicos. Tampoco comparten datos en tiempo real ni tienen mecanismos sólidos de verificación, lo que limita la confianza en la información.

La trazabilidad actual cumple con los requisitos básicos de exportación, sin embargo, no responde de forma óptima a los requisitos de los compradores internacionales, ya que demandan documentación digital y certificaciones respaldadas, además del seguimiento de las normativas internacionales y estándares de calidad que el *blockchain* permite verificar de manera inédita.

El *blockchain*, debido a su transparencia e inmutabilidad, aumenta la confianza entre las partes, lo que puede facilitar los trámites de comercialización. Al ser una red descentralizada, reduce el riesgo de manipulación o pérdida de los datos. Además, permite que diferentes actores intercambien información en tiempo real, mejorando la capacidad de respuesta ante un suceso.

El principal obstáculo en la implementación del *blockchain* es el alto costo de implementación y la falta de infraestructura tecnológica. La capacitación de los colaboradores y

la cultura de la resistencia al cambio también representan desafíos significativos. La necesidad de un marco regulatorio es otra barrera importante, ya que eliminaría parte del escepticismo actual.

Las plataformas de cadenas de bloque plataformas integran los datos desde la cosecha hasta la entrega final. Actualmente, existe una variedad de plataformas de *blockchain* aplicadas a la trazabilidad alimentaria, como IBM Food Trust, TE-FOOD, Ambrosus, y Hyperledger Fabric que han demostrado por medio de casos exitosos su eficiencia en cadenas agrícolas internacionales.

Entre las características atractivas del *blockchain* para la trazabilidad se encuentra su interoperabilidad, que permite conectar este sistema con otros. También puede establecer niveles de confidencialidad para proteger la información sensible. Para la conveniencia de los usuarios, la red puede programarse para ser fácil de manejar.

El modelo híbrido de *blockchain* es el más viable para el sector bananero, ya que permite la transparencia del sistema público y, al mismo tiempo, tener el control de acceso del sistema privado. Los actores pueden clasificarse en diferentes niveles de autoridad según su rol para regular el acceso a la información.

El *blockchain* sí es viable para la trazabilidad agrícola costarricense, siempre que su implementación se realice de manera progresiva, estructurada, inclusiva y sostenible. Se debe tomar en cuenta que las plataformas deben ser accesibles y sencillas para los usuarios, y que debe existir visibilidad y apoyo de instituciones nacionales.

Se concluye que el uso del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico es ofrecer transparencia, seguridad y eficiencia al permitir registrar cada etapa de la cadena de suministros desde la cosecha hasta la entrega al comprador de manera inmutable y verificable. Su estructura descentralizada permite la integración entre productores, exportadores e instituciones, garantizando información confiable en tiempo real. Esto se convierte en un punto decisivo para los compradores, ya que les genera confianza al poder

confirmar la calidad de la fruta, lo que promueve la competitividad y la diferenciación del banano costarricense.

### **Recomendaciones**

Se les recomienda a las empresas exportadoras de banano de la zona Huetar Atlántico que realicen un estudio sobre su trazabilidad actual, identificando el tipo, las características y los desafíos que enfrentan en el presente. Esto con el propósito de conocer cómo pueden mejorar su trazabilidad y los servicios que ofrecen a sus clientes internacionales, y buscar perfeccionarlos para aumentar su competitividad, considerando los avances tecnológicos que están implementando otros exportadores a nivel internacional.

También, se le recomienda a este mismo sector aumentar sus niveles de integración con otros actores de su cadena de suministros. Esto puede conseguirse a través de la implementación de APIs, sistemas como el *blockchain* y otras tecnologías de la información. Así podrán asegurarse de ofrecerle a sus compradores una trazabilidad más completa que respalde su calidad y sus procesos de manipulación y producción a lo largo de toda la cadena de suministros.

Con el objetivo de solucionar las limitaciones experimentadas por las empresas exportadoras de banano de la zona Huetar Atlántico en su trazabilidad actual, se les recomienda implementar el *blockchain*, no sin antes capacitarse con expertos en el área y elaborar un estudio que relacione los beneficios y desafíos generales de esta herramienta con sus características como empresa. Lo anterior les permitirá conocer cómo este cambio resuelve sus limitaciones y prepararse para conseguir mitigar los riesgos que puedan surgir en el proceso.

Se recomienda al Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica (COMEX) y a las empresas exportadoras de banano fortalecer su trazabilidad mediante la incorporación progresiva del *blockchain*, ya que esta herramienta les otorga la posibilidad de digitalizar la documentación y validar las certificaciones de calidad de forma automática. Esto puede lograrse por medio de capacitaciones y la integración de plataformas. De esta manera se garantiza el cumplimiento de los estándares y requisitos de los compradores internacionales.

Con el propósito de que las empresas exportadoras de la industria alimenticia puedan aprovechar los beneficios del *blockchain*, se les sugiere a los expertos en *blockchain* abrir sus horizontes laborales, al no enfocarse sólo en el área financiera o de criptomonedas, sino darle más visibilidad al uso de sus servicios para la trazabilidad, esto permitiría expandir aún más el conocimiento sobre este tema. Para atraer a las empresas exportadoras de banano, es necesario que modifiquen la manera en la que explican las metas y los objetivos de esta herramienta y adoptarla a los términos mencionados durante esta investigación.

Se les sugiere a las exportadoras de banano de la región Huetar Atlántico, en especial a las pequeñas y medianas empresas, gestionar alianzas estratégicas comunicándose entre ellas con el objetivo de poder compartir no sólo el conocimiento adquirido sobre este sistema, sino también los costos iniciales de adopción del *blockchain*. Estas alianzas podrían recibir apoyo de Procomer, incubadoras de empresas o fondos internacionales. Lo anterior pretende reducir la brecha digital y la barrera económica, permitiendo que más empresas se unan a esta revolución digital de los procesos de trazabilidad.

Adicionalmente, con el mismo enfoque de cerrar la brecha digital y beneficiar a las comunidades productoras con acceso tecnológico limitado, se recomienda al Gobierno de Costa Rica, específicamente a entidades como el Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MITT) y el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), incentivar la inversión en infraestructura tecnológica rural, aumentando la conectividad en las zonas agrícolas de la región Huetar Atlántico.

Sobre la misma línea, se recomienda a las organizaciones que promueven el comercio de esta mercancía, como Procomer, Corbana e inclusive el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), que realicen talleres sobre el uso de la cadena de bloques en el ámbito de la trazabilidad agrícola para darle más visibilidad al tema, investigando sobre el tema para luego educar a los exportadores de banano sobre las características del *blockchain* y establecer estándares unificados que generen más confianza en la aplicación de esta herramienta.

Para fortalecer la seguridad de los datos y formalizar la implementación de este sistema, también se recomienda a instituciones nacionales como Cadexco, Corbana y el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) que elaboren un marco regulatorio específico para el uso del *blockchain* en procesos de exportación agrícola. El documento debe contener lineamientos legales, las responsabilidades de cada uno de los actores y una guía estándar de los procesos necesarios.

Se recomienda a las empresas exportadoras de banano de la región Huetar Atlántico adoptar un modelo de *blockchain* híbrido para fortalecer la trazabilidad de sus exportaciones, por medio del establecimiento de alianzas con expertos en *blockchain* que las guíen durante el proceso de implementación y adaptación del sistema a sus operaciones, integrando a los demás actores de la cadena de suministros con distintos niveles de acceso según su rol. De esta manera, habrá una mayor transparencia ante los compradores internacionales y se garantizará la protección de los datos sensibles.

En el caso de que las empresas exportadoras de banano toman la decisión de aplicar el *blockchain* en su trazabilidad, se les sugiere realizarlo de forma progresiva, iniciando con fases internas de registro y validación de datos dentro de sus fincas productoras y plantas empacadoras, asegurándose de evaluar y monitorear los resultados de cada una de estas etapas. Además, se les recomienda tener un control cercano del costo-beneficio para garantizar su sostenibilidad. De esta manera, se aseguran de aprovechar al máximo los beneficios que esta herramienta tiene para ofrecer sin comprometer sus operaciones diarias.

Finalmente, se sugiere a estudiantes, académicos y centros de investigación profundizar en estudios relacionados al uso del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones agrícolas, enfocados la viabilidad económica de un plan de implementación del sistema, el impacto ambiental y energético de estas tecnologías. También es importante expandir el área de estudio a otros cultivos y herramientas tecnológicas complementarias como la inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT). Estas investigaciones permitirán fortalecer el conocimiento académico y práctico, y contribuir al desarrollo sostenible y competitivo del sector.

## CAPÍTULO VI: PROPUESTA

La evolución del uso de la tecnología ha transformado las exportaciones, permitiendo que sean cada vez más eficientes, seguras y competitivas. El comercio internacional actual ha avanzado y la adopción de herramientas digitales ya no es solo una ventaja, sino que es algo esencial para poder cumplir con los estándares globales y las expectativas de transparencia y trazabilidad del mercado. Las tecnologías como el *blockchain* brindan la posibilidad de mejorar los flujos de información y aumentar la confianza entre las partes, marcando un cambio en la gestión de la cadena de suministros agrícola.

La información recolectada durante la investigación evidencia una carencia de conocimiento sobre la aplicación del *blockchain* dentro del sector exportador bananero costarricense de la zona Huetar Atlántico. Considerando que Costa Rica es uno de los líderes mundiales en la exportación de esta fruta, es fundamental que se impulse la modernización tecnológica del sector, por medio de la integración de sistemas para asegurar la calidad y trazabilidad del producto. El primer paso para conseguir esto es concientizar a las empresas exportadoras sobre el potencial de estas tecnologías y reducir el escepticismo existente, promoviendo una apertura hacia la innovación digital.

### Objetivos

#### Objetivo General

Diseñar una propuesta de creación de una página web que promueva el conocimiento y la visibilidad del uso de la tecnología *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones de banano de la región Huetar Atlántico.

#### Objetivos Específicos

Desarrollar contenidos educativos que expliquen de manera sencilla y accesible las funciones, beneficios e implementación del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones agrícolas.

Implementar un espacio digital en la página web que fomente la comunicación y el intercambio de información entre las empresas exportadoras de banano, promoviendo la colaboración en la adopción del *blockchain*.

### **Propuesta**

Mediante esta investigación se identificó que, a pesar de haber suficiente información que afirme los beneficios de la implementación del *blockchain* para la trazabilidad de alimentos, aún existe bastante desconocimiento y una gran cantidad de escepticismo alrededor del tema. Esta carencia de información evita el progreso hacia la aplicación de esta herramienta en el ámbito de la exportación bananera, ya que la cultura de la sociedad representa una parte importante para las empresas al momento de tomar decisiones.

Por este motivo, se busca exponer a los actores involucrados a información clave para que conozcan más acerca de la implementación de la cadena de bloques en su trazabilidad, logrando que puedan familiarizarse con este proceso y que se despierte su curiosidad sobre la optimización tecnológica de la cadena de suministros para mejorar su competitividad y mantenerse actualizados con el resto de los exportadores a nivel mundial.

En este contexto, la presente propuesta plantea una página web informativa que funcione como un espacio de aprendizaje y conexión entre los distintos actores del sector exportador bananero. De esta forma, se presentan conceptos básicos del *blockchain*, sus beneficios y su uso para la trazabilidad agrícola. Esto pretende reducir las barreras de desconocimiento y promover una cultura de innovación tecnológica con el objetivo de que se presenten futuras propuestas colaborativas en este sector.

### **Factibilidad**

La factibilidad de esta propuesta se justifica con diferentes factores que ayudan a garantizar que sea un proyecto exitoso. Desde el ámbito técnico, la creación de la página web es posible gracias a la variedad de herramientas digitales y profesionales capacitados en el diseño

de este tipo de plataformas. En el plano económico, su desarrollo requiere una inversión relativamente baja y sostenible, para poder mantener la página actualizada, promocionar la página en diferentes plataformas sociales y revisar los requisitos de integración al grupo de información.

En el ámbito de la factibilidad legal, el proyecto se alinea con las políticas nacionales que impulsan la transformación digital y la transparencia comercial. Finalmente, desde el sector social, la propuesta es una solución a la necesidad de educar y darle visibilidad al sector exportador sobre el uso del *blockchain* en su trazabilidad, y se espera promocionar de una forma atractiva para cumplir el objetivo de llamar la atención de las empresas exportadoras de banano y que decidan aprender más del tema.

### **Pasos para el Cumplimiento**

La creación de la página web deberá estar enfocada en los dos objetivos específicos para que sea lo más detallada posible, a saber:

1. Desarrollar contenidos educativos que expliquen de manera sencilla y accesible las funciones, beneficios e implementación del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones agrícolas.
2. Implementar un espacio digital en de la página web que fomente la comunicación y el intercambio de información entre las empresas exportadoras de banano, promoviendo la colaboración en la adopción del *blockchain*.

Para cumplir el primer objetivo se tiene que equipar la página web con diferentes pestañas que contengan información relevante para los exportadores de banano sobre el *blockchain*. La primera pestaña será la página de inicio, que tendrá una descripción y un ejemplo general de cómo funciona el *blockchain* para la trazabilidad de las exportaciones, explicando los pasos a seguir y las herramientas necesarias para lograr que tanto los compradores internacionales como los consumidores finales tengan acceso a la información, lo que fortalecerá su confianza en el producto adquirido.

La segunda página responderá la pregunta: *¿Qué es el blockchain?*, presentando una descripción clara y accesible de esta tecnología, incluyendo cómo los bloques de información se enlazan para ser inmutables, una infografía ilustrativa y su uso en el comercio internacional, permitiendo eliminar el concepto erróneo de que el término tiene relación únicamente con las criptomonedas o entidades bancarias.

### Figura 3

Pestaña 2: *¿Qué es el blockchain?*

The image shows a screenshot of a website page with a light green header containing a navigation menu: Inicio, ¿Qué es el Blockchain?, Beneficios para la Trazabilidad, Noticias y Actualidad, and Contáctenos. The main content area features an infographic titled 'QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?' with four sections:
 

- QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?**: El blockchain o cadena de bloques es una tecnología de registro descentralizado que asegura la transparencia y la seguridad de información. (Accompanied by an illustration of orange blocks and a Bitcoin symbol).
- ORIGEN Y FUNCIONAMIENTO**: El blockchain fue creado en 2008 para ser utilizado en transacciones de criptomonedas. Su estructura consiste en una serie de bloques enlazados que conforman una base de datos compartida, en la cual la información se almacena de forma segura y permanente. (Accompanied by an illustration of orange blocks connected by lines).
- RELEVANCIA EN EL COMERCIO INTERNACIONAL**: El blockchain permite rastrear un producto a través de todas las etapas de la cadena de suministro, facilitando las auditorías y el cumplimiento de las normativas. (Accompanied by an illustration of a clipboard and a globe).
- EJEMPLO EN LA AGRICULTURA**: En Costa Rica, el blockchain puede aplicarse para seguir el recorrido de las exportaciones de banano, desde la plantación hasta el destino. (Accompanied by an illustration of bananas).

 To the right of the infographic is a text box stating: 'Muchas veces se cree que el blockchain solo es utilizado para las transacciones de criptomonedas o en ámbitos financieros, sin embargo, el blockchain es simplemente un sistema de registro que puede ser utilizado en diferentes sectores, como la trazabilidad de exportaciones agrícolas y otros productos de la industria alimenticia.'

Después, se presentará la tercera pestaña, con información relacionada a los beneficios del uso de la cadena de bloques para la trazabilidad de las exportaciones de banano. La mayoría de las personas suelen preguntarse cómo un tema particular los afecta y desde ahí nace su interés en este, por eso la anterior pestaña pretende responder lo anterior y motivar la participación e interés de los exportadores en la aplicación del *blockchain*.

El segundo objetivo enfocado en la comunicación y el intercambio de conocimiento sobre el tema se ve reflejado en las pestañas 4 y 5 de la página web. La cuarta pestaña del *website*, tiene como objetivo compartir fuentes de información actualizadas y confiables relacionadas con la aplicación del *blockchain* en la trazabilidad de las exportaciones agrícolas. Se brindará acceso

a noticias, artículos, otras tesis y videos que le den a los interesados la posibilidad de ampliar su comprensión sobre el tema y discutir el conocimiento con otros actores, expandiendo la visibilidad de la innovación digital en el comercio bananero.

## Figura 4

### *Pestaña 4: Noticias y Actualidad*



La última pestaña de la página web, contiene un formulario básico para las personas vinculadas al sector exportador bananero interesadas en el uso del *blockchain* para la trazabilidad. Con la información de los participantes se puede formar un espacio colaborativo en WhatsApp para facilitar la difusión de experiencias, noticias y oportunidades de cooperación relacionadas con el tema.

El diseño de cada uno de estos sectores de la página será diseñado por medio de un creador de páginas web, el cual incluye todas las herramientas necesarias como plantillas, fondos coloridos, tipos de letra y otras maneras de personalizar e incluir toda la información necesaria. La página web incluirá los datos más relevantes de esta investigación, presentados de forma clara y visualmente atractiva, con el apoyo de imágenes e infografías que faciliten la comprensión del

contenido por parte de los interesados. Se presenta el enlace de un borrador inicial de la web a continuación: <https://neotechser.wixsite.com/bananatrack>

## Recursos

Para garantizar la ejecución exitosa de esta propuesta, es indispensable disponer de una variedad de recursos humanos, tecnológicos y de información, que contribuyan a la configuración adecuada y al mantenimiento del sitio web. Esto no sólo asegurará la calidad y la actualización frecuente de la información compartida, sino que también sustentará la funcionalidad y eficiencia operativa de la página.

En el ámbito técnico, es necesario una plataforma en la que se pueda realizar la creación y el diseño del *website*. Esta debe ser capaz de integrar pestañas, formularios de registro y enlaces a otros materiales informativos. Para monitorear diferentes factores del tránsito de la página como la cantidad de visitantes o de *clicks* en cada enlace, se propone utilizar Google Analytics, que permite conocer el impacto, la interacción y el alcance de la web.

Por otro lado, entre los recursos relacionados con el talento humano, se requiere una persona, inicialmente, que se encargue del manejo de la página web, actualizar los enlaces con noticias relevantes, verificar las peticiones e incluir a los interesados en el grupo privado para intercambiar información importante con otros participantes. Este colaborador garantizaría que la información difundida sea clara, confiable y actual, y que la integración de los usuarios al grupo sea eficiente. Conforme el tráfico de la web aumente, es probable que sea necesario aumentar la cantidad de colaboradores.

El sitio web necesita apoyarse de recursos informativos para mantenerse al día con las innovaciones que pueden presentarse en el ámbito de la aplicación del *blockchain* en el sector agrícola, en especial considerando que este es un concepto reciente y que la tecnología evoluciona rápidamente. Por este motivo, es necesario el uso de información de otras páginas verificables y organizaciones como la FAO, Procomer y el Banco Interamericano de Desarrollo, además de la información contenida en este documento, que es el fundamento de la página web.

## Cronograma de Aplicación

El cronograma consiste en cinco fases clave, con una duración total de siete meses, el cual se muestra a continuación

**Tabla 6**

*Cronograma de Aplicación*

Fase	Periodo	Funciones
1. Planificación y recolección de contenido.	1 mes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir la estructura del sitio web.</li> <li>• Seleccionar la información del documento presente que será utilizada.</li> <li>• Buscar noticias recientes y relevantes relacionadas a la aplicación del <i>blockchain</i> para la trazabilidad.</li> <li>• Diseñar y descargar imágenes.</li> <li>• Seleccionar la plataforma y las herramientas tecnológicas necesarias.</li> </ul>
2. Desarrollo de la página web.	1 mes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurar el dominio y hosting.</li> <li>• Diseñar la interfaz gráfica del sitio, incluyendo las pestañas y los aspectos visuales.</li> <li>• Integrar cada sector informativo de la web, el formulario de registro y los enlaces de recursos externos.</li> </ul>
3. Pruebas y ajustes internos.	1 mes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar internamente las correcciones</li> </ul>

		<p>necesarias para la plataforma.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar los aspectos visuales y de facilidad de acceso para los visitantes.</li> <li>• Validar la coherencia y relevancia de la información.</li> </ul>
4. Lanzamiento y promoción.	1 mes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compartir la página web con interesados e instituciones como PROCOMER y CORBANA.</li> <li>• Promocionar la página web por diferentes medios publicitarios como redes sociales y prensa.</li> <li>• Activar el grupo de comunicación.</li> </ul>
5. Seguimiento y monitoreo.	3 meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las métricas del tránsito de la web.</li> <li>• Corrección de desviaciones.</li> <li>• Obtener retroalimentación de los usuarios.</li> <li>• Continuar promoviendo la página y actualizando el contenido.</li> </ul>

### **Evaluación de Resultados**

Para evaluar la efectividad de la página web, la utilidad de la información compartida y medir el éxito de la implementación de la propuesta presentada, se llevarán a cabo las actividades mencionadas a continuación, las cuales permitirán valorar el grado de cumplimiento de los objetivos planteados.

### ***Etapa 1: Monitoreo de las Métricas Analíticas del Tránsito de la Red***

Primeramente, se realizarán análisis de la información utilizando herramientas como Google Analytics para medir el tránsito de la red, considerando el número de visitas en un plazo determinado, los *clicks* en los materiales de fuentes externas, interacciones en la comunidad en línea y la cantidad de nuevos registros en la red de exportadores y expertos para formar parte del grupo de intercambio de información.

### ***Etapa 2: Aplicación de Encuestas***

Adicionalmente, se evaluará la claridad y utilidad del contenido presentado por medio de encuestas de retroalimentación aplicadas a los usuarios de la web. Esta herramienta cumple el objetivo de verificar nivel de comprensión del tema y la calidad del contenido educativo por medio de preguntas sencillas sobre el tema. Para facilitar la respuesta de la encuesta se piensa utilizar un Google Forms con preguntas de evaluación en una escala del 1 al 5, con un espacio para desarrollar y justificar la respuesta, en caso de que existan comentarios adicionales.

Ambos métodos de evaluación permiten valorar el uso de contenido al otorgar la posibilidad de medir el grado de satisfacción y la percepción de utilidad del material según los resultados obtenidos. Por otro lado, también ayudará a detectar áreas de mejora en la información proporcionada y a refinar estrategias, tomando en consideración los sectores más populares y efectivos de la web.

Lo anterior se realiza con el propósito de actualizar los recursos informativos y asegurar la relevancia del sitio frente a las tendencias tecnológicas globales. Se espera que la plataforma contribuya al aumento del conocimiento del tema en el sector bananero y fomente la adopción progresiva del *blockchain* para la trazabilidad de las exportaciones agrícolas.

## Referencias

- Aliaga F. (2023). Simulación de protocolos para la optimización del tiempo de propagación de mensajes en redes P2P *Blockchain*. *repositorio.uchile.cl*. <https://doi.org/10.58011/y8d6-ry89>
- Alvarado, E. (2024, 26 junio). *Flujos de comunicación: qué son y cómo funcionan*. Zenvia. <https://www.zenvia.com/es/blog/flujos-de-comunicacion/>
- Araya, L. D. (2021). *Propuesta de mejora en los procedimientos poscosecha del banano de exportación en el grupo San Alberto, Siquirres, Costa Rica* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica]. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/eba63511-7b48-4ff0-a90e-889cb2e59581/content>
- Arce, E. (2023). *CORBANA pide precio justo del banano en el mercado europeo*. Corbana. <https://www.corbana.co.cr/5219-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-4-2-2-2-3/>
- Avesani, C., Kobuta, I. y Mukhtar, A. 2021. *Aumentar la transparencia en el comercio agroalimentario. Notas de orientación sobre política comercial*. No. 45. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7210es>
- BananaExport. (2025). *Banano en la mira de la trazabilidad de los mercados - Banana Export*. Banana Export. <https://bananaexport.com/2025/04/07/banano-en-la-mira-de-la-trazabilidad-de-los-mercados/>
- Barrantes, A. (2024, 1 julio). *Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas - TSI Group - Tecnosoluciones integrales*. TSI Group - Tecnosoluciones Integrales. <https://www.tecnosolucionescr.net/blog/888-riesgos-ambientales-y-sanitarios-de-los-plaguicidas>

- Becerra, J. (2022, 29 abril). *La minería en la blockchain - Hacer Empresa*. Hacer Empresa.  
<https://www.hacerempresa.uy/edicion-blockchain-la-mineria-en-la-blockchain/>
- Bijker, W. E. (2005). *¿Cómo y por qué es importante la tecnología?*  
<https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/578/02-R2005v11n21.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bravo, A. C. (2024). CONTROL FITOSANITARIO EN LA PRODUCCIÓN DE FRUTALES Y OLIVO 2da edición. *Unsa-pe*.  
[https://www.academia.edu/123759742/CONTROL\\_FITOSANITARIO\\_EN\\_LA\\_PRODUCCI%C3%93N\\_DE\\_FRUTALES\\_Y\\_OLIVO\\_2da\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/123759742/CONTROL_FITOSANITARIO_EN_LA_PRODUCCI%C3%93N_DE_FRUTALES_Y_OLIVO_2da_edici%C3%B3n)
- Bubenko, A. (2024, 11 enero). *Centralización contra descentralización en la era digital: Comprenda su impacto en la tecnología y la sociedad*. morpher.com.  
<https://www.morpher.com/es/blog/centralization-vs-decentralization>
- Cabezas, F., & Pérez, P. (2023). *Blockchain e inteligencia artificial: modelo para la trazabilidad de productos en la cadena de suministro* [Tesis, Universidad del Desarrollo].  
<https://repositorio.udd.cl/server/api/core/bitstreams/40b4e158-ac40-41e1-bae6-ba837c23ac73/content>
- Campbell, C. (2025, 31 marzo). *What are the 4 different types of blockchain technology?* Search CIO. <https://www.techtarget.com/searchcio/feature/What-are-the-4-different-types-of-blockchain-technology>
- Cherlinka, V. (2025, 19 septiembre). Cultivo de plátano: requisitos básicos y cuidados. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-platano/>
- Corbana (2025, 20 febrero). *Producción y exportación de Banano en Costa Rica*.  
<https://www.linkedin.com/pulse/producci%C3%B3n-y-exportaci%C3%B3n-de-banano-feqae/?originalSubdomain=es>

- Cordero, S., & López, R. (2022). *La tecnología blockchain y su impacto en los procesos de exportación en el Ecuador* [Tesis de Licenciatura, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4899/1/T-ULVR-3944.pdf>
- Couth. (2024). *Sistemas de Trazabilidad*. <https://www.couth.com/sistemas-de-trazabilidad/>
- Cruz, C., Pérez, J., Sánchez, Y., Medina, Y., & Sangroni, N. (2021). *Retos actuales de la logística y la cadena de suministro*. Scielo. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1815-59362021000100169&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1815-59362021000100169&script=sci_arttext)
- Cubillo, R. (2023). *Aplicaciones de la tecnología blockchain en las cadenas de suministro en la industria alimentaria costarricense durante el período 2021-2022*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Internacional de las Américas]. <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/fa5614b3-39e6-4172-804c-58356feaf85b/content>
- Ding, H.; Tian, J.; Yu, W.; Wilson, D.I.; Young, B.R.; Cui, X.; Xin, X.; Wang, Z.; Li, W. (2023) The Application of Artificial Intelligence and Big Data in the Food Industry. *Foods* 2023, 12, 4511. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/24/4511>
- European Commission. (2020). *Ambrosus*. Knowledge for Policy. [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/tool/dlt4good/ambrosus\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/tool/dlt4good/ambrosus_en)
- Financial Crime Academy. (2025, 13 junio). *Tecnología Blockchain: un examen en profundidad de su evolución, aplicaciones, seguridad y tipos*. *Financial Crime Academy*. <https://financialcrimeacademy.org/es/tecnologia-blockchain-un-examen-en-profundidad-de-su-evolucion-aplicaciones-seguridad-y-tipos/>
- Flores, M. F. (2020). *Posibles afectaciones en la producción del banano y plátano costarricense debido a la plaga Fusarium raza tropical 4 para la exportación al mercado 2020* [Tesis de Bachillerato, Universidad Internacional de las Américas].

<http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/a8e45fda-70ed-4496-8edd-7b1be0cdf804/content>

García, N., Panizo, C., & Sánchez, J. (2022). *Generalidades del comercio internacional y la logística en las cadenas de suministro*. Ediciones Nueva Jurídica.

<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6517>

Giraldo, M., & Uribe, M. (2022). *Tecnología “block-chain” para la trazabilidad de la cadena logística de exportación de frutas* [UNIVERSIDAD EIA].

<https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/de0c3fa4-e440-4b02-8574-ebabe4972d58/content>

Grasso, D. (2022). *Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Casos-de-uso-de-blockchain-en-las-cadenas-de-valor-agropecuarias-America-Latina-y-el-Caribe-.pdf>

Guaña-Moya, J. *et al* (2022). *Tecnología Blockchain, qué es y cómo funciona - ProQuest*.

<https://www.proquest.com/openview/d55842644b3b1dcaed9b8cb573bbcf08/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

Hallak, J., & Tacsir, A. (2021, noviembre). *Los sistemas de trazabilidad como herramientas de diferenciación para la inserción internacional de cadenas de valor agroalimentarias*.

<https://test-assets-opsaa.iica.int/storage/resource/2024/11/8411372b397ff919ff6788465ec760cd.pdf>

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. [https://e-](https://e-campus.uia.ac.cr/pluginfile.php/601096/mod_resource/content/1/HERN%C3%81NDEZ%20Y%20MENDOZA.pdf)

[campus.uia.ac.cr/pluginfile.php/601096/mod\\_resource/content/1/HERN%C3%81NDEZ%20Y%20MENDOZA.pdf](https://e-campus.uia.ac.cr/pluginfile.php/601096/mod_resource/content/1/HERN%C3%81NDEZ%20Y%20MENDOZA.pdf)

- Herrera, M., Maya, T., & Orjuela, J. (2021). Retos en el modelado de la trazabilidad en las cadenas de suministro de alimentos. *Scielo*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-750X2021000200143&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-750X2021000200143&script=sci_arttext)
- Hualpa, A., & Rangel, J. (2022). *Trazabilidad en el sector agrícola: una revisión para el periodo 2017 – 2022*. [https://www.mag.go.cr/rev\\_mesos/v34n2-28.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_mesos/v34n2-28.pdf)
- Lima, A. (2024). *Protocolo de inmutabilidad y trazabilidad en datos de seguimiento y monitoreo de activos* [Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica].  
[https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/2563/1/LIMACA\\_MCTS.pdf](https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/2563/1/LIMACA_MCTS.pdf)
- Lozano, A. (2022, 25 octubre). *El banano de Costa Rica busca aumentar su presencia en Europa*. Revista Mercados. <https://revistamercados.com/el-banano-de-costa-rica-busca-aumentar-su-presencia-en-europa/>
- Maldonado, J. (2023, 21 abril). *¿Qué es un bloque en blockchain?* Bit2Me Academy.  
<https://academy.bit2me.com/que-es-un-bloque-dentro-de-la-blockchain/>
- Marín, C. (2022). *TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN: ORIGEN, FUNCIONAMIENTO Y USOS*.  
<https://zagan.unizar.es/record/111139#>
- Martínez, M. (2024, 15 febrero). *Noticia de EUDE Business School para la fecha 14/02/2024*. Eude Business School. <https://www.eude.es/blog/la-importancia-de-la-innovacion-y-la-competitividad-en-el-comercio-global/#:~:text=Por%20otro%20lado%2C%20la%20competitividad,%C3%A9xito%20en%20el%20comercio%20global.>
- Martínez, S., & Marcos, N. (2022). *Uso de la tecnología Blockchain en procesos de trazabilidad de productos alimenticios* [Tesis de maestría].  
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/61408/TFM-E-197.pdf?sequence=1>

Mata, D., & Díaz, R. (2023). *Elementos de crecimiento socioeconómico inclusivo y sostenible en la exportación de banano en Costa Rica del 2000 al 2018*.

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/6196/6517>

Mata, F. (2021). *El encadenamiento productivo desarrollado por las empresas bananeras en la zona Huetar Caribe de Costa Rica: Estudio de caso sobre upgrading social y económico*.

<https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/9d8bd632-edec-43d2-b1c9-37a828a26e2b/content>

Mena, J. (2024). *Criptografía Aplicada a la Blockchain*.

<https://uisil.net/repositorio/files/52/MENA%20MARIN%20JEISON%20EDUARDO.pdf>

Minondo, A. (2022, 30 mayo). *¿Por qué son importantes las empresas exportadoras?* ALdE | Asociación Libre de Economía. <https://alde.es/blog/por-que-son-importantes-las-empresas-exportadoras/>

Montes De Oca, J. (2024, 31 marzo). *¿Qué son las exportaciones y por qué son tan importantes?* Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/exportacion.html>

Mosquera, N. (2023). *Manejo de agroquímicos y su post uso en plantaciones bananeras comerciales en San Juan, Los Ríos*.

<https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14890/PI-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ñañez, A., & Ballona, W. (2024). *La gestión de la trazabilidad alimentaria y su relación con la cadena de suministro de empresas peruanas exportadoras de mango durante el periodo 2016-2022* [Tesis de Bachillerato, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS].

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/673765/Ballona\\_IW.pdf?sequence=18&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/673765/Ballona_IW.pdf?sequence=18&isAllowed=y)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *BANANO Análisis del Mercado 2023*.  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/318cda0c-dae9-4c24-a8cb-44afd40b90c3/content>
- Pacheco-Bermeo, L., Ruiz-Solano, J., & Guzmán-Arias, R. de L. (2023). *Guía de trazabilidad en los procesos logísticos de las pequeñas empresas exportadoras de banano*.  
[https://www.593dp.com/index.php/593\\_Digital\\_Publisher/article/view/1709/1500](https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/article/view/1709/1500)
- Padilla, J. A. (2020). *Blockchain y contratos inteligentes: aproximación a sus problemáticas y retos jurídicos*. *Revista de Derecho Privado*, 39, 175-201.  
<https://doi.org/10.18601/01234366.n39.08>
- Preukschat, A. (2017). *BLOCKCHAIN: LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DE INTERNET*.  
[https://www.planetadelibros.cl/libros\\_contenido\\_extra/36/35615\\_Blockchain.pdf](https://www.planetadelibros.cl/libros_contenido_extra/36/35615_Blockchain.pdf)
- Procomer. (2022, 7 noviembre). *Aplicación de tecnología inteligente en la agricultura - Exportar desde Costa Rica*. Exportar Desde Costa Rica. <https://procomer.com/aplicacion-de-tecnologia-inteligente-en-la-agricultura/>
- Procomer. (2025, 21 marzo). *Costa Rica cierra el 2024 con un crecimiento de 9% en las exportaciones de bienes - Exportar desde Costa Rica*. Exportar Desde Costa Rica. [https://procomer.com/costa-rica-cierra-el-2024-con-un-crecimiento-de-9-en-las-exportaciones-de-bienes/#:~:text=En%20el%202024%2C%20los%20principales,y%20materiales%20el%203%A9ctricos%20\(1%25\)](https://procomer.com/costa-rica-cierra-el-2024-con-un-crecimiento-de-9-en-las-exportaciones-de-bienes/#:~:text=En%20el%202024%2C%20los%20principales,y%20materiales%20el%203%A9ctricos%20(1%25).).
- Procomer (2020, 27 enero). *La tecnología «blockchain» gana importancia para el sector hortofrutícola - Exportar Desde Costa Rica*. <https://procomer.com/la-tecnologia-blockchain-gana-importancia-para-el-sector-hortofruticola/>

- Puesta en Marcha (2024, 29 julio). *Blockchain's Impact on Food Safety & Traceability*. Eatable Adventures. <https://eatableadventures.com/news/blockchains-impact-on-food-safety-traceability/>
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of *blockchain* technology in manufacturing supply chain and logistics. *Logistics*, 6(1), 15. <https://www.mdpi.com/2305-6290/6/1/15>
- Real Academia Española. (2024). *Beneficio*. Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/beneficio>
- Real Academia Española. (2024). *Desafío*. Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/desaf%C3%ADo?m=form>
- Rios, L., & Vera, A. (2021). *Tecnología Blockchain y la logística internacional en el sector agrícola de Latinoamérica*. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88957/Rios\\_ALN-Vera\\_ZAL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88957/Rios_ALN-Vera_ZAL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rivera, C. (2021). *Importaciones*. <https://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/11506/1665/LEC%20FIN%200005%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, W. (2024). *La industria bananera: Pilar económico y social en el Caribe*. Mercados y Tendencias. <https://www.myt.connectab2b.com/post/la-industria-bananera-pilar-econ%C3%B3mico-y-social-en-el-caribe#:~:text=La%20industria%20bananera%20en%20Costa,7%25%20de%20las%20exportaciones%20nacionales.>
- Rojas, L. (2021). *ESTRATEGIA DE MERCADEO PARA EL LANZAMIENTO DEL FUNGICIDA BELANTY® PARA EL COMBATE DE PSEUDOCERCOSPORA FIJIENSIS EN EL*

*CULTIVO DE BANANO EN COSTA RICA.*

<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/f9b17a1b-9b01-4736-b26b-37991361c645/content>

Roldán, D. (2024). *Unlocking Business Advantages with APIs*. API Conference.

<https://apiconference.net/blog-en/blockchain-api-integration-guide/#:~:text=Conclusi%C3%B3n,La%20intersecci%C3%B3n%20de%20blockchain%20y%20las%20API%20representa%20una%20poderosa,de%20forma%20innovadora%20y%20responsable.>

Román D. (2025). *¿Qué es el Comercio Internacional?* ENAE Business School.

<https://www.enaes.es/blog/que-es-el-comercio-internacional>

Saavedra, Figueroa, & Sánchez. (2021). *ACERCAMIENTO TEÓRICO AL CONCEPTO DE TECNOLOGÍA DESDE LA EDUCACIÓN EN TECNOLOGÍA.*

<https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1288>

Sajami, D. (2025). *Costa Rica está saliendo de un período de baja exportación de banana.*

<https://www.freshplaza.es/article/9738257/costa-rica-esta-saliendo-de-un-periodo-de-baja-exportacion-de-banana/>

SAP Concur Team. (2023). *SAP ERP: Todo lo que necesitas saber sobre este software*. SAP

Concur CL. <https://www.concur.cl/blog/article/sap-erp-software>

Señor, J. (2023). *Implementacion de blockchain en redes internet of Things* [Universidad Politécnica de Madrid].

[https://oa.upm.es/75857/1/TFG\\_JORGE\\_SE%91OR\\_SANCHEZ.pdf](https://oa.upm.es/75857/1/TFG_JORGE_SE%91OR_SANCHEZ.pdf)

Singh, R. P. (2024, 16 octubre). *¿Cuánto costará el desarrollo de Blockchain en 2024?*

Richestsoft. <https://richestsoft.com/es/blog/blockchain-development-cost/>

- Torres, S. (2024, 28 noviembre). IBM Food Trust: Aprende qué es y su funcionamiento. *KeepCoding Bootcamps*. <https://keepcoding.io/blog/que-es-ibm-food-trust-guia-para-principiantes/>
- Tracex tech (2024). Overcome Traceability Challenges in Food Export with *Blockchain*. *Blockchain for Food Safety, Traceability and Supplychain Transparency*. <https://tracex tech.com/traceability-challenges-in-the-food-export-market/>
- Universidad de Connecticut. (2024). *Fuentes primarias y secundarias - Humanidades y Ciencias sociales*. [https://guides.lib.uconn.edu/exploreinfo/humanities\\_primarysecondary](https://guides.lib.uconn.edu/exploreinfo/humanities_primarysecondary)
- Valencia-Ramírez, J. (2020). *Derecho, tecnología e innovación: blockchain y contratos inteligentes*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7576622>
- Vallejos, J. (2023). *Transformación digital como facilitación aduanera de Costa Rica para el año 2022: caso blockchain* [Tesis de Licenciatura, Universidad Internacional de las Américas]. <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/0611c7aa-b844-4662-b8bd-f7b3c868fed1/content>
- Warscher, M. D. (2023). Planificación Estratégica Para Incrementar La Rentabilidad A Través De La Implementación De Un Modelo De Trazabilidad Por *Blockchain* Para Trazabilidad De Carnes Producidas En Estancias Amigables Con El Ambiente. <https://repositorio.21.edu.ar/items/1faa67d3-f2a9-42c7-bacd-ef4b87f08672>

## ANEXO

### Cuestionario

Universidad Internacional de las Américas

Investigadora: Nicole Sanabria Sandí

Introducción: El presente cuestionario tiene como finalidad la recolección de datos relevantes para la resolución del proyecto de investigación titulado Uso del *blockchain* para la mejora en la trazabilidad de las exportaciones de banano en la región Huetar Atlántico durante el periodo 2023-2024. Por lo tanto, se le agradece por su colaboración al realizar el siguiente cuestionario, además, cabe recalcar que todos los datos brindados serán utilizados de manera anónima y profesional, muchas gracias.

1. Explique de forma detallada qué tipo de sistema de trazabilidad utiliza su empresa actualmente o qué sistema de trazabilidad es el más común en su experiencia.
2. ¿Cuál es o suele ser el nivel de integración del sistema de trazabilidad con otros actores de la cadena (productores, emparadoras, exportadores)?
3. ¿Cuáles considera que son las principales limitaciones o problemas del sistema actual de trazabilidad en una/su empresa?
4. ¿Cuáles requerimientos específicos sobre trazabilidad por parte de los compradores internacionales conoce usted?
5. ¿Por qué considera que la tecnología *blockchain* puede mejorar la trazabilidad del banano?
6. ¿Qué beneficios percibe en la implementación del *blockchain* en la cadena de suministro del banano?

7. Desde su experiencia, ¿cuáles desafíos, resistencias o barreras enfrenta la implementación del *blockchain* en el contexto agrícola costarricense?
8. ¿De qué manera usted que las plataformas actuales son aptas o no para el desarrollo en el sector de la trazabilidad de las exportaciones de banano?
9. ¿Cuáles características técnicas considera esenciales en una solución de *blockchain* para el sector bananero?
10. ¿Cuál considera que sería el modelo más viable para implementar *blockchain* en la trazabilidad del banano: privado, público o híbrido y por qué?
11. ¿Considera que la aplicación del *blockchain* sería viable para su empresa o para una empresa exportadora de banano? ¿Por qué?