

**Universidad Internacional de las Américas**

**Facultad de Ciencias Económicas  
Carrera de Comercio Internacional**

**Modalidad de tesina para optar por el  
Grado académico de Bachillerato en Comercio Internacional**

**Análisis de los impactos con la implementación de  
tecnologías en las cadenas de suministro del sector granos  
tradicionales en la Región Chorotega en las exportaciones  
hacia Canadá durante el periodo 2023 - 2024**

**Tutor:**

**Fernelli Fallas Cerdas**

**Autor:**

**Joel Enrique Sánchez Jiménez**

**San José, agosto, 2025**

## Contenido

Índice de Ilustraciones.....	7
Contenido de Tablas.....	8
Agradecimientos.....	9
Dedicatoria .....	10
Resumen Ejecutivo.....	11
CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	12
Justificación.....	13
Objetivos .....	15
Objetivo general .....	15
<i>Objetivos específicos</i> .....	15
Antecedentes .....	15
Tesis internacionales.....	15
Tesis nacionales.....	20
Proyecciones.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	27
La producción de granos tradicionales en la Región Chorotega.....	27
Caracterización del sector de granos tradicionales.....	28
<i>Producción de maíz</i> .....	29
<i>Producción de frijol</i> .....	30
<i>Producción de arroz</i> .....	31
Impacto de las condiciones agroclimáticas en la producción.....	32
Importancia económica del sector en la Región Chorotega .....	32
Dinámica de las exportaciones de granos tradicionales hacia Canadá.....	33
La exportación de granos tradicionales en la Región Chorotega .....	33
Volumen de las exportaciones en los últimos años .....	33
Valor de las exportaciones en los últimos años.....	34
Cumplimiento de estándares de calidad exigidos en Canadá .....	34
Cadenas de suministro en el sector de granos tradicionales.....	35
Componentes de la cadena de suministro.....	35
<i>Producción</i> .....	35
<i>Almacenamiento</i> .....	36

<i>Distribución</i> .....	37
Transporte terrestre interno.....	37
Almacenamiento en puerto. ....	38
<i>Comercialización</i> .....	39
Intervención de actores clave .....	39
Principales desafíos en la logística de exportación .....	39
Tecnologías aplicadas en la cadena de suministro de granos tradicionales .....	40
Tecnologías en la producción agrícola .....	41
<i>Agricultura de precisión</i> .....	41
<i>Bioteología en semillas mejoradas</i> .....	42
<i>Uso de drones para monitoreo de cultivos</i> .....	43
Tecnologías en almacenamiento y procesamiento .....	44
<i>Implementación de blockchain para trazabilidad de los granos</i> .....	44
<i>Sistemas automatizados para control de temperatura y humedad en silos</i> .....	45
<i>Aplicaciones de inteligencia artificial en clasificación y procesamiento de granos</i> .....	45
Tecnologías en logística de exportación.....	46
<i>Sistemas de Gestión de Transporte (TMS)</i> .....	47
<i>Impacto en la eficiencia de distribución</i> .....	47
<i>Digitalización de la documentación aduanera</i> .....	47
Innovación en el transporte de exportación.....	48
<i>Uso de contenedores inteligentes en el transporte marítimo</i> .....	48
Tecnologías de monitoreo interno. ....	49
Sistemas de alerta ante daños en carga. ....	50
<i>Monitoreo en tiempo real de envíos</i> .....	51
Impacto de la implementación de tecnologías en la exportación de granos tradicionales .....	51
Beneficios en la eficiencia operativa .....	51
<i>Mejora en rendimientos agrícolas</i> .....	52
<i>Optimización en tiempos de distribución</i> .....	52
<i>Disminución de costos logísticos</i> .....	53
Reducción de costos .....	53
<i>Reducción de desperdicios</i> .....	53
Impacto en la calidad del producto.....	54

<i>Reducción de pérdidas por deterioro en almacenamiento</i> .....	54
<i>Disminución de pérdidas durante el transporte</i> .....	54
Desafíos en la adopción de tecnologías .....	55
<i>Costos de inversión o de financiamiento para pequeños productores</i> .....	55
<i>Falta de infraestructura tecnológica en zonas rurales</i> .....	55
<i>Capacitación y adaptación del recurso humano a nuevas tecnologías</i> .....	56
Marco normativo y acuerdos comerciales relevantes .....	56
Acceso al mercado canadiense .....	56
<i>Barreras arancelarias</i> .....	57
<i>Barreras no arancelarias</i> .....	58
<i>Regulaciones para la importación de productos agrícolas</i> .....	58
<i>Requisitos de etiquetado</i> .....	59
<i>Requisitos de embalaje</i> .....	59
<i>Normativas sanitarias</i> .....	60
Tratados de Libre Comercio .....	60
<i>Beneficios del Tratado de Libre Comercio</i> .....	61
<i>Certificación de origen</i> .....	62
Políticas de sostenibilidad en el mercado canadiense .....	62
<i>Adaptación tecnológica para cumplir políticas de sostenibilidad</i> .....	63
Certificaciones para la exportación de granos tradicionales a Canadá .....	63
<i>Certificaciones requeridas</i> .....	63
<i>Impacto de las certificaciones</i> .....	64
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	65
Enfoque Cualitativo .....	65
Diseño Cualitativo .....	66
Fenomenología empírica .....	66
Población y muestra .....	67
Población .....	67
Muestra .....	67
Muestra cualitativa .....	68
Unidades de Análisis .....	70
Instrumento Cualitativo .....	72

Entrevista.....	72
Proceso de Recolección de Datos.....	72
Fuentes de Información.....	73
Fuentes Primarias .....	74
Fuentes Secundarias .....	74
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
Unidad de análisis 1: Tecnologías.....	77
Categoría 1: Sensores .....	78
<i>Descripción</i> .....	78
<i>Análisis</i> .....	79
Categoría 2: Costos.....	80
<i>Descripción</i> .....	80
<i>Análisis</i> .....	81
Categoría 3: Humedad.....	82
<i>Descripción</i> .....	82
<i>Análisis</i> .....	83
Categoría 4: Capacitación.....	84
<i>Descripción</i> .....	84
<i>Análisis</i> .....	85
Categoría 5: Trazabilidad .....	86
<i>Descripción</i> .....	86
<i>Análisis</i> .....	87
Unidad de análisis 2: Trazabilidad .....	88
Categoría 1: Código QR .....	88
<i>Descripción</i> .....	89
<i>Análisis</i> .....	90
Categoría 2: Control de calidad.....	90
<i>Descripción</i> .....	90
<i>Análisis</i> .....	92
Categoría 3: Mejores precios.....	92
<i>Descripción</i> .....	92
<i>Análisis</i> .....	93

Categoría 4: Plataformas digitales.....	94
<i>Descripción</i> .....	94
<i>Análisis</i> .....	95
Categoría 5: Blockchain .....	96
<i>Descripción</i> .....	96
<i>Análisis</i> .....	97
Unidad 3: Limitaciones .....	97
Categoría 1: Costo inicial .....	98
<i>Descripción</i> .....	98
<i>Análisis</i> .....	100
Categoría 2: Falta de financiamiento.....	100
<i>Descripción</i> .....	100
<i>Análisis</i> .....	102
Categoría 3: Internet limitado.....	102
<i>Descripción</i> .....	102
<i>Análisis</i> .....	104
Categoría 4: Maquinaria .....	104
<i>Descripción</i> .....	104
<i>Análisis</i> .....	106
Categoría 5: Riesgo de pérdidas .....	106
<i>Descripción</i> .....	106
<i>Análisis</i> .....	108
Interpretación de Datos .....	108
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	111
Conclusiones .....	111
Recomendaciones.....	113
Referencias Bibliográficas .....	116
Apéndice.....	125
Anexos.....	125

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa de la Región de Desarrollo Chorotega .....	27
Ilustración 2: Inspección de cultivo de maíz en campo abierto .....	29
Ilustración 3: Cosecha de frijol .....	30
Ilustración 4: Cultivo de arroz.....	31
Ilustración 5: Producción de granos básicos en Costa Rica .....	36
Ilustración 6: Producción de granos básicos en Costa Rica .....	38
Ilustración 7: Aplicación de agricultura de precisión con drones .....	42
Ilustración 8: Uso de drones para monitoreo de cultivos .....	43
Ilustración 9: Uso de contenedores inteligentes en el transporte marítimo.....	49
Ilustración 10: Requisitos de etiquetado .....	59
Ilustración 11: Requisitos de embalaje.....	60

## Contenido de Tablas

Tabla 1: Muestra.....	69
Tabla 2: Cuadro de Unidades .....	70
Tabla 3: Unidades y categorías de análisis.....	76

## Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme llegar hasta este punto, especialmente cuando en muchas ocasiones sentí que era imposible, gracias por tu sabiduría, fortaleza, resiliencia, por enseñarme a confiar en mí mismo y permitirme cumplir este sueño.

Posteriormente, quiero agradecer enormemente a mi hermano mayor, Oscar Sánchez Jiménez. Sin su apoyo incondicional, su guía y su fe en mí, no estaría donde estoy hoy. Gracias por confiar en mi capacidad incluso cuando yo dudaba, por acompañarme con paciencia y por ser un pilar fundamental en este camino.

A mi madre, Joyce Jiménez Ledezma, gracias desde lo más profundo de mi corazón. Siempre has creído en mis capacidades y me has motivado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por estar para mí, por tu amor incondicional, tu ejemplo de fortaleza y tu constante compañía. Sin tu apoyo, este proceso habría sido aún más difícil.

A mi pareja, Valeria Rojas Herrera, y a mis hijos, gracias por ser una parte esencial de este recorrido. Han sido un motor invaluable que me ha dado ánimo, fuerza y razones para no rendirme. Su amor, comprensión y compañía me han sostenido en cada paso, y este logro también les pertenece.

También quiero agradecer a todas aquellas personas que me encontré en el camino y que me instaron a seguir adelante: amigos, conocidos y familiares que, de una u otra forma, pusieron su granito de arena para ayudarme a alcanzar esta meta. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada compañía sincera, han sido parte esencial de este logro.

Por último, quiero agradecer profundamente a mi profesor y tutor de carrera, Lic. Fernelli Fallas Cerdas. Sin usted, profe, el camino hubiese sido mucho más complicado. Le agradezco enormemente todas las enseñanzas que me ha brindado a lo largo de este proceso, por su paciencia, humildad y por ese compromiso constante con enseñarnos. Sin duda, ha dejado una huella muy importante en mi formación académica y personal. Gracias, de todo corazón.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi refugio constante. Sin Su presencia en mi vida, este camino habría sido mucho más difícil.

A mi familia, por ser siempre mi base, por su amor y apoyo incondicional.

Y, de manera muy especial, a mi pareja, y mis hijos. Ustedes son mi mayor motivación, mi fuerza diaria y la razón principal por la que lucho y me esfuerzo. Este logro es también de ustedes, con todo mi amor.

## Resumen Ejecutivo

La presente investigación analiza el impacto que tiene la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega, específicamente en relación con las exportaciones hacia Canadá durante el período 2023-2024. Esta región, reconocida por su vocación agrícola, enfrenta múltiples retos para mantener su competitividad en mercados exigentes, lo cual motiva a evaluar cómo herramientas tecnológicas pueden mejorar procesos logísticos, reducir costos y garantizar la calidad del producto exportado.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, utilizando entrevistas a actores clave del sector, como productores, técnicos y representantes de cooperativas. Las unidades de análisis se agruparon en tres ejes: tecnologías implementadas, trazabilidad y limitaciones. Se identificaron herramientas como sensores de humedad, drones, códigos QR y plataformas digitales, así como obstáculos como el alto costo de inversión inicial, la conectividad limitada y la falta de financiamiento.

Los resultados evidencian que la aplicación de tecnologías en las cadenas de suministro mejora significativamente la eficiencia, la trazabilidad y la calidad de los granos, permitiendo cumplir con las exigencias del mercado canadiense. No obstante, persisten desafíos estructurales que limitan la adopción tecnológica, especialmente entre pequeños y medianos productores de la región, quienes requieren apoyo financiero, capacitación y mejoras en infraestructura para beneficiarse plenamente de estos avances.

Como conclusión, se destaca la necesidad de fortalecer alianzas público-privadas para facilitar el acceso a tecnologías, impulsar políticas de financiamiento accesible y promover la formación técnica en agricultura digital. Estas acciones permitirán transformar la cadena de valor del sector, incrementando su competitividad y posicionando a los granos tradicionales de la Región Chorotega como una oferta sólida y sostenible para el mercado canadiense.

## CAPÍTULO I: PROBLEMA

Costa Rica se ha consolidado como un país agroexportador, destacándose en mercados internacionales por la calidad y diversidad de su producción agrícola. Según la (Promotora del Comercio Exterior [PROCOMER], 2024), en 2023, el sector agrícola representó el 18% del total de bienes exportados del país, registrando un crecimiento del 11%. En este contexto, el sector de granos tradicionales en la Región Chorotega enfrenta importantes desafíos para integrarse a las cadenas de suministro globales, ya que factores como la eficiencia logística y la innovación tecnológica se presentan como aspectos críticos para mejorar su competitividad.

La Región Chorotega se destaca por su relevancia en la producción de cultivos fundamentales para la seguridad alimentaria, como el arroz, frijoles y maíz. En particular, iniciativas del Inder han potenciado la producción agrícola en la zona, reforzando su papel en la economía local y en el abastecimiento alimentario (Instituto de Desarrollo Rural [Inder], 2021), sin embargo, la exportación de estos productos a mercados exigentes como el canadiense enfrenta barreras significativas, ante estos retos, la incorporación de herramientas tecnológicas en la cadena de suministro se configura como una estrategia esencial para optimizar procesos, reducir costos y garantizar la calidad del producto final.

El uso de tecnologías como la automatización, el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial mejora la eficiencia en la logística agroexportadora. Un ejemplo es el proyecto piloto de Walmart en América y China, donde la tecnología blockchain permitió rastrear productos como el mango y la carne de cerdo, desde su origen hasta el punto de venta, reduciendo el tiempo de rastreo de 7 días a minutos (PROCOMER, 2023). De este modo, esta capacidad tecnológica ofrece a los exportadores costarricenses una ventaja competitiva en mercados internacionales exigentes.

A nivel internacional, la digitalización se ha consolidado ser un factor determinante en la resiliencia de las cadenas de suministro agroalimentarias, por consiguiente, la aplicabilidad de estas soluciones en Costa Rica varía según el acceso a financiamiento, la infraestructura logística y las condiciones socioeconómicas del sector agrícola, esto resalta la necesidad de estudios específicos

que analicen el impacto real de la tecnología en la exportación de granos tradicionales desde la Región Chorotega hacia Canadá, identificando oportunidades y desafíos particulares.

Además de los avances en innovación, es fundamental considerar el papel de las políticas y estrategias nacionales en la modernización del sector, en este sentido, la promoción de financiamiento accesible, la capacitación técnica y el fortalecimiento de la infraestructura pueden fomentar la transformación digital y mejorar la competitividad de los productores, asimismo, la cooperación entre los sectores público y privado es clave para generar soluciones sostenibles que respondan a las exigencias del mercado canadiense y fortalezcan la posición de Costa Rica como exportador agrícola.

Dicho esto, y considerando el entorno global, dinámico y competitivo en el que se desarrollan las exportaciones agroalimentarias en la actualidad, es esencial comprender el papel de las tecnologías en este sector, por ello, en esta investigación se busca responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo impacta la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega en sus exportaciones hacia Canadá durante el período 2023-2024?

### **Justificación**

El sector agroexportador es un pilar fundamental de la economía costarricense, generando empleo, divisas y desarrollo en las zonas rurales, sin embargo, en un contexto global cada vez más competitivo, los productores enfrentan desafíos para mantener su rentabilidad y acceder a mercados exigentes como el canadiense. A medida que los mercados internacionales se vuelven más selectivos, la adopción de tecnologías innovadoras en las cadenas de suministro se convierte en un factor crucial para mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar la calidad de los productos, elementos clave para competir con éxito.

La investigación propuesta se enfoca en los productores de granos tradicionales en la Región Chorotega, quienes enfrentan desafíos particulares para integrarse en las cadenas de suministro globales, a pesar del potencial agrícola de la región, factores como la volatilidad

climática, los altos costos logísticos y la falta de acceso a tecnologías adecuadas limitan la competitividad de los productores. Esta situación resalta la necesidad de investigar cómo las tecnologías pueden ser un catalizador para superar estas barreras y mejorar el posicionamiento en mercados como el canadiense.

Este estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro de granos tradicionales, con un enfoque específico en su exportación hacia Canadá, por lo cual, se busca examinar cómo las tecnologías pueden mejorar la eficiencia logística, reducir los costos operativos y asegurar la trazabilidad de los productos, desde su producción hasta la exportación, aparte, la relevancia de este análisis radica en su potencial para proporcionar soluciones prácticas a los productores, permitiéndoles mejorar su protagonismo y, por ende, aumentar su participación en mercados internacionales.

De igual manera, la investigación tiene un valor significativo para las políticas públicas y los programas de apoyo al sector agroexportador, ya que al generar evidencia sobre el impacto real de las tecnologías en la cadena de suministro, esta valoración podrá orientar a las autoridades competentes y a las instituciones relacionadas en la creación de estrategias más efectivas que fomenten la adopción de innovaciones en el sector agroexportador, especialmente en zonas rurales con menor acceso a recursos tecnológicos.

Por otro lado, este trabajo es relevante no solo por su contribución directa a la mejora de la eficiencia de los productores de granos tradicionales en la Región Chorotega, sino también porque puede ofrecer lecciones valiosas para otras regiones y sectores agroexportadores en Costa Rica, en consecuencia, la modernización y el fortalecimiento del sector agroalimentario del país dependerán de la capacidad para integrar soluciones tecnológicas que permitan la optimización de los procesos productivos y logísticos, lo que garantizaría un posicionamiento sólido en los mercados internacionales.

Finalmente, la investigación justifica su existencia por la necesidad urgente de comprender mejor la relación entre avances tecnológicos y eficiencia en el contexto agroexportador, a pesar de la creciente importancia de las innovaciones tecnológicas en las cadenas de suministro, aún existe

una falta de datos específicos sobre su impacto en los productores de granos tradicionales, buscando llenar ese vacío de conocimiento y proporcionar a los actores clave del sector público y privado las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas que promuevan la mejora continua del sector agroexportador.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar los impactos con la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector agroexportador de granos tradicionales en la Región Chorotega para las exportaciones hacia Canadá durante el período 2023-2024.

### ***Objetivos específicos***

Examinar las tecnologías aplicadas en las cadenas de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega durante el proceso de exportación hacia Canadá.

Determinar la mejora ofrecida por las herramientas tecnológicas para la trazabilidad del producto en las cadenas de suministro agroexportadoras de la Región Chorotega.

Identificar las limitantes que enfrentan los productores del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega para la implementación de tecnologías en sus cadenas de suministro orientadas a la exportación hacia Canadá.

## **Antecedentes**

### **Tesis internacionales**

La primera tesis internacional consultada es la de Loayza Espinoza y Yamunaque Gallo (2021), con el tema: “Sustentabilidad de la Cadena de Suministro Internacional y sus efectos en la

gestión de la agroindustria alimentaria peruana”, de tal forma, esta investigación fue desarrollada en el marco de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas como parte del grado académico de Licenciado en Negocios Internacionales, profundizando cómo las prácticas de sostenibilidad dentro de las cadenas de suministro internacionales impactan la eficiencia y la competitividad de la agroindustria alimentaria en Perú.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: identificar los efectos de la sustentabilidad en la cadena de suministro internacional dentro de la gestión de la agroindustria alimentaria en el período de 2016 a 2019, por esa razón, se plantean los siguientes objetivos específicos: identificar las consecuencias económicas, sociales y medioambientales de la sustentabilidad en la gestión de las cadenas de suministro internacionales de la agroindustria alimentaria durante ese mismo período.

La metodología que se emplea es la cualitativa, la cual, mediante el uso de los siguientes instrumentos: entrevistas a actores clave de la cadena de suministro, encuestas a empresas agroindustriales y análisis de contenido de documentos sobre prácticas sustentables, se procura encontrar respuesta al problema de investigación, que busca entender los efectos de la sustentabilidad en la gestión de la cadena de suministro internacional en la agroindustria alimentaria peruana.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que la implementación de prácticas sostenibles en la cadena de suministro internacional mejora la eficiencia operativa y la competitividad de la agroindustria alimentaria, contribuyendo positivamente a la gestión de la cadena en el contexto global. Para lo anterior se recomienda promover políticas de sostenibilidad a nivel institucional que incentiven la adopción de tecnologías y prácticas responsables, para garantizar una integración más eficiente y sostenible en los mercados internacionales.

Los antecedentes consultados son relevantes para la presente investigación, ya que ofrecen una perspectiva sobre cómo la implementación de prácticas sostenibles impacta la gestión de la cadena de suministro internacional. La tesis de Loayza Espinoza y Yamunaque Gallo (2021),

destaca la importancia de adoptar tecnologías responsables, lo cual es aplicable al contexto de la Región Chorotega, por otro lado, el estudio sobre la agroexportación de granos hacia Canadá desde esta región no ha sido abordado de manera exhaustiva, lo que permite que la investigación actual llene ese vacío y aporte nuevos conocimientos al tema.

La segunda tesis internacional consultada es el estudio de mercado titulado: El mercado de frutas y hortalizas frescas en Canadá (2021), realizado por Clàudia Ribó Montoy, proporciona un análisis detallado sobre las oportunidades y características del mercado canadiense para las frutas y hortalizas frescas, llevándose este estudio bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Toronto. Fue editado por ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E. y publicado el 23 de noviembre de 2021.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: analizar el mercado canadiense de frutas y hortalizas frescas para identificar oportunidades y desafíos para exportadores internacionales, y los siguientes objetivos específicos: examinar la demanda y tendencias de consumo de frutas y hortalizas en Canadá, determinar los requisitos sanitarios, logísticos y comerciales para la exportación de estos productos al mercado canadiense, y evaluar la competitividad de los exportadores en función de las regulaciones y preferencias del consumidor.

La metodología empleada en este estudio es de tipo mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos para obtener una visión integral del mercado de frutas y hortalizas frescas en Canadá. Se utiliza el análisis documental como herramienta principal para revisar informes y estudios previos sobre el sector, lo que proporciona una base sólida de información, además, se recopilan datos estadísticos sobre el comercio exterior canadiense, lo que permite identificar las tendencias y volúmenes de importación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que el mercado canadiense de frutas y hortalizas frescas ofrece oportunidades para exportadores que cumplan con las normativas de calidad y sostenibilidad, además, destaca el papel clave de la trazabilidad y la tecnología en la optimización de la cadena de suministro para garantizar frescura, seguridad y eficiencia logística. Para lo anterior, se recomienda

mejorar la gestión logística y el control de calidad mediante herramientas tecnológicas, fortalecer la presencia en el mercado con certificaciones y estrategias de diferenciación, y establecer alianzas con distribuidores y minoristas en Canadá.

Este antecedente es relevante para la investigación sobre el impacto de la tecnología en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega, ya que brinda información clave sobre las exigencias del mercado canadiense y la importancia de la trazabilidad y la eficiencia logística en la exportación de productos agrícolas. Asimismo, aporta un marco de referencia sobre cómo la implementación de tecnologías puede mejorar la competitividad en mercados internacionales, lo que permite establecer paralelismos con el sector de los granos tradicionales y su acceso a Canadá.

La tercera tesis internacional consultada es la de Simbron Ruiz, Egoavil Lara y Cardenas Vilcapoma (2024), con el tema: Uso de las tecnologías digitales y su relación con el desarrollo de la oferta exportable de las empresas agroexportadoras de arándanos de la región La Libertad, 2023, fue desarrollada para la Universidad Continental como requisito para obtener el grado académico de Licenciados en Administración y Negocios Internacionales, analizando cómo la implementación de tecnologías digitales influye en la competitividad y expansión de las empresas agroexportadoras de arándanos en la región.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: determinar la relación entre el uso de tecnologías digitales y el desarrollo de la oferta exportable de las empresas agroexportadoras de arándanos en la región La Libertad en 2023, y los siguientes objetivos específicos: analizar la relación entre los procedimientos digitales y el desarrollo de la oferta exportable, estudiar la relación entre las herramientas digitales y el desarrollo de la oferta exportable, y examinar la influencia de los recursos humanos con formación en avances tecnológicos en este proceso.

La metodología que se emplea es mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos para obtener una visión completa sobre el uso de las tecnologías digitales en el desarrollo de la oferta exportable de las empresas agroexportadoras de arándanos en la región La Libertad y se

utilizan diversos instrumentos, entre ellos entrevistas a expertos y actores clave del sector agroexportador, lo que permite obtener información detallada sobre las prácticas tecnológicas implementadas en las empresas.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que el uso de tecnologías digitales en las cadenas de suministro de las agroexportadoras de arándanos mejora significativamente la competitividad y trazabilidad de los productos, optimizando procesos operativos y favoreciendo la expansión en mercados internacionales. Para lo anterior se recomienda invertir en capacitación continua de los recursos humanos y fortalecer la infraestructura tecnológica para mantener la competitividad en los mercados globales.

Este antecedente es relevante para la investigación en la región Chorotega, ya que sus conclusiones sobre el impacto de la tecnología en las agroexportadoras de arándanos ofrecen un marco útil para analizar el sector agroexportador de granos tradicionales. A pesar de centrarse en otro producto y región, las metodologías y resultados son aplicables para comprender cómo las herramientas digitales pueden mejorar la eficiencia y competitividad en el proceso de exportación hacia Canadá. Este antecedente proporciona una base importante para abordar el problema de investigación.

La cuarta tesis internacional consultada es la de Torres Murillo, Hidalgo Urrea y Álvarez Paz (2024), con el tema: Retos y oportunidades de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de abastecimiento en la industria de alimentos, fue desarrollada para la Universidad EAN, como parte de los seminarios de investigación en Gerencia de Proyectos y Gerencia de Procesos de Calidad e Innovación, en este estudio, los autores analizan cómo la inteligencia artificial está siendo aplicada para mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de abastecimiento en la industria de alimentos.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: analizar los retos y oportunidades de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministros en la industria de alimentos, y los siguientes objetivos Específicos: identificar la aplicación de la IA en las

diferentes etapas de la cadena de suministros en la industria de alimentos, analizar los beneficios y desafíos de la implementación de la IA en sostenibilidad de la gestión de la cadena de suministros en la industria de alimentos y desarrollar recomendaciones para la gestión de la cadena de suministros en la industria de alimentos implementando la IA.

La metodología empleada en esta investigación es cuantitativa, orientada a la recolección de datos numéricos que permitan analizar de manera objetiva el impacto de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de abastecimiento en la industria de alimentos. se utilizan varios instrumentos, entre los que se incluyen encuestas a profesionales del sector y entrevistas a expertos en inteligencia artificial, lo que permite obtener información detallada sobre su implementación en la industria.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que la implementación de la IA en la cadena de suministros de la industria alimentaria permite una optimización en los procesos, pero también presenta desafíos en términos de sostenibilidad y resistencia al cambio por parte de los actores involucrados. Para lo anterior, se recomienda fomentar la capacitación en IA dentro de las empresas del sector alimentario y desarrollar políticas públicas que apoyen la transición hacia un modelo más sostenible en la gestión de las cadenas de suministro.

La relevancia de este antecedente radica en su enfoque sobre la implementación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, en la optimización de las cadenas de suministro, siendo un tema que se alinea directamente con la necesidad de explorar cómo la tecnología puede transformar los procesos logísticos, particularmente en la exportación de granos tradicionales, contribuyendo significativamente al entendimiento de los retos y oportunidades de la IA en la gestión de la cadena de suministro, lo que permite completar vacíos en la investigación actual sobre las nuevas tecnologías en el comercio internacional agrícola.

## **Tesis nacionales**

La primera tesis nacional consultada es la de Villalobos Arias (Universidad de Costa Rica, 2023), con el tema Establecimiento de un panel sensorial en una empresa arrocera para la descripción sensorial de tres diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa*) producidas en dos regiones de producción de Costa Rica. Esta investigación fue realizada para la Escuela de Tecnología de Alimentos y opta por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: analizar las características sensoriales y fisicoquímicas de tres variedades de arroz producidas en dos regiones de Costa Rica, mediante un panel entrenado, y los objetivos específicos: establecer un panel entrenado para evaluar el arroz en una industria costarricense, analizar el impacto de las zonas de producción en sus características sensoriales y caracterizar las variedades mediante temperatura de gelatinización y viscosidad.

La metodología que se emplea es la mixta, que abarca tanto enfoques cualitativos como cuantitativos. la cual, mediante el uso de los siguientes instrumentos: un panel entrenado para la evaluación sensorial de arroz, un diseño experimental aleatorizado para comparar las combinaciones de variedades de arroz, región de cultivo y muestras, y análisis de varianza (ANDEVA) y análisis del software "PanelCheck 1.4.1", se procura encontrar respuesta al problema de investigación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que el uso de un panel sensorial entrenado es fundamental para identificar las características sensoriales y fisicoquímicas de las variedades de arroz producidas en diferentes regiones de Costa Rica, permitiendo obtener resultados precisos y fiables. Para lo anterior se recomienda, seguir fortaleciendo los programas de formación de paneles sensoriales y fomentar la colaboración entre los productores de arroz y las empresas arroceras para mejorar la calidad del producto final y su competitividad en el mercado.

Los antecedentes revisados son fundamentales, ya que proporcionan enfoques metodológicos valiosos, como la evaluación sensorial de productos agrícolas, donde estos estudios,

permiten comprender mejor la calidad de los productos y el impacto de las regiones de producción. Además, las recomendaciones sobre la implementación de paneles sensoriales entrenados y la mejora de la colaboración entre productores y empresas son pertinentes para fortalecer la cadena de suministro, contribuyendo a llenar vacíos en el conocimiento y ofreciendo herramientas aplicables para la investigación actual sobre el uso de tecnologías en el sector agroexportador.

La segunda tesis nacional consultada es la de García Blanco (2023), con el tema: Análisis de la Gestión Logística de Importación del Sector Industrial de Frutas Ácidas en la Región Central de Costa Rica en el 2022. La realiza para la Universidad Internacional de las Américas (UIA) y opta por el grado académico de Licenciatura en Comercio Internacional, bajo la Facultad de Ciencias Económicas en la carrera de Comercio Internacional.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: analizar la gestión logística en la importación del sector industrial de frutas ácidas en la Región Central de Costa Rica durante el 2022, con el fin de evaluar su eficiencia y optimización, y los siguientes objetivos específicos: identificar los principales procesos logísticos empleados en la importación de frutas ácidas, evaluar los costos y tiempos asociados a cada etapa del proceso y analizar los factores que influyen en la eficiencia logística del sector.

La metodología empleada es cuantitativa, utilizando encuestas dirigidas a importadores y el análisis de datos estadísticos sobre tiempos y costos logísticos. A través de estos instrumentos, se busca obtener información precisa sobre los factores que influyen en la eficiencia de las cadenas de suministro, así como en los costos asociados, por otra parte, se pretende evaluar cómo estos elementos afectan la competitividad de los actores involucrados en el comercio internacional. Esta combinación de enfoques permite dar respuesta al problema de investigación y proporciona una visión integral de las variables clave en el proceso logístico.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que la eficiencia en la gestión logística del sector depende en gran medida de la infraestructura de transporte y la optimización de procesos aduaneros, lo que impacta directamente en los costos y tiempos de importación. Para lo anterior, se recomienda implementar

estrategias de mejora en la digitalización de procesos logísticos y fortalecer la coordinación entre actores clave de la cadena de suministro.

Este antecedente es relevante para la investigación actual, ya que, aunque se enfoca en la importación de frutas ácidas, proporciona un marco de referencia sobre procesos logísticos, eficiencia y optimización en cadenas de suministro del sector agroindustrial en Costa Rica. Además, contribuye con información sobre factores que afectan la competitividad de productos agrícolas en mercados internacionales, aspecto clave en el estudio de la tecnología aplicada a las exportaciones de granos tradicionales.

La tercera tesis nacional consultada es la de Cerdas Rojas y Marín Serrano (2022), con el tema: Interpretación del régimen de Zona Franca Solarium con respecto a los sectores nacionales como aporte al desarrollo regional e inversión en Guanacaste para el periodo 2019-2020. La realizan para la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y optan por el grado académico de Licenciatura en Comercio y Negocios Internacionales con énfasis en Mercadeo Internacional, bajo la Facultad de Ciencias Sociales, Escuela de Relaciones Internacionales.

De esta investigación se desprende el siguiente objetivo general: analizar el impacto del régimen de Zona Franca Solarium en el desarrollo regional y la atracción de inversión en la provincia de Guanacaste, durante el periodo 2019-2020, y sus objetivos específicos: evaluar la relación entre las empresas establecidas en la zona franca y los sectores productivos locales, identificar los beneficios económicos y sociales generados por el régimen y analizar las políticas gubernamentales que inciden en su funcionamiento y expansión.

La metodología empleada en este estudio es mixta (cualitativa y cuantitativa), la cual, mediante el uso de entrevistas a actores clave del sector empresarial y gubernamental, así como análisis de datos estadísticos sobre inversión y empleo en la región, procura encontrar respuesta al problema de investigación. Este enfoque permite una comprensión integral del impacto del régimen de zona franca en el contexto socioeconómico de Guanacaste.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando las autoras indican que el régimen de Zona Franca Solarium ha generado oportunidades de inversión y empleo en Guanacaste, pero su integración con los sectores productivos locales sigue siendo limitada, lo que restringe su impacto en el desarrollo regional. Para lo anterior, se recomienda fortalecer los encadenamientos productivos entre las empresas de zona franca y los sectores nacionales, así como fomentar políticas que incentiven una mayor participación de proveedores locales en la cadena de valor.

Este antecedente es relevante para la investigación actual, ya que proporciona información clave sobre el impacto de los regímenes de zona franca en el desarrollo económico regional y la inversión extranjera en Costa Rica. Aunque no se centra en la exportación de granos tradicionales, su análisis sobre la relación entre zonas francas y sectores productivos locales puede servir como referencia para estudiar la integración de la tecnología en la competitividad del sector agrícola.

La cuarta tesis nacional consultada es la de Díaz y Araya (2023) con el tema La aplicación de estrategias de marketing de fidelización para la exportación a Europa: Estudio de caso Costeña Quality Melons S.A, la realiza para la Universidad Nacional de Costa Rica, Facultad de Ciencias Sociales, Escuela de Relaciones Internacionales, y opta por el grado académico de Licenciatura en Comercio y Negocios Internacionales con énfasis en Mercadeo Internacional.

El objetivo general de esta investigación es proponer una estrategia de marketing de fidelización para Costeña Quality Melons S.A. en la exportación de melón al mercado europeo. Los objetivos específicos incluyen identificar las estrategias de marketing empleadas por la empresa en sus exportaciones, analizar las características del mercado europeo basándose en la experiencia previa y definir los criterios de lealtad que se pueden aplicar a través de las estrategias utilizadas por la compañía.

La metodología que se emplea es la de enfoque mixto, utilizando tanto datos cuantitativos como cualitativos, los cuales, mediante el uso de los siguientes instrumentos: análisis de estrategias de marketing de la empresa, la recopilación de información sobre mercados internacionales y

entrevistas con actores clave del proceso de exportación, se procura encontrar respuesta al problema de investigación.

Se obtiene la siguiente conclusión dando respuesta al objeto de estudio de la investigación, cuando el autor indica que la fidelización de clientes en el mercado europeo es un factor clave para la competitividad de Costeña Quality Melons S.A., y que la implementación de estrategias de marketing adecuadas puede fortalecer la presencia de la empresa en estos mercados. Para lo anterior, se recomienda mejorar la comunicación con los clientes internacionales, fortalecer la imagen de marca y garantizar estándares de calidad constantes en los productos exportados.

Este antecedente es relevante para la presente investigación, ya que permite analizar cómo la aplicación de estrategias comerciales en empresas agroexportadoras puede influir en su éxito en mercados internacionales. Aunque la investigación de Díaz y Araya (2023) se enfoca en el sector del melón y en el mercado europeo, aporta una base metodológica útil para comprender el impacto de estrategias empresariales en la exportación de productos agrícolas, lo que complementa el análisis del impacto de la tecnología en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega hacia Canadá.

### **Proyecciones**

- Inicialmente, se examinarán las tecnologías actualmente aplicadas en las cadenas de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega enfocadas en la exportación hacia Canadá. Dicho análisis permitirá identificar aquellas herramientas tecnológicas con mayor potencial para optimizar el proceso exportador y mejorar las operaciones logísticas, generando información relevante para fortalecer la competitividad de los productores y exportadores regionales.
- Adicionalmente, se propone explorar tecnologías avanzadas que podrían contribuir a mejorar la trazabilidad de los granos tradicionales en las cadenas de suministro en la Región Chorotega, por lo cual, se considerarán las diferentes etapas del proceso productivo y

logístico, desde la siembra hasta la exportación, identificando herramientas tecnológicas capaces de brindar un seguimiento más detallado y constante.

- Finalmente, se plantea identificar las principales limitantes que enfrentan los productores del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega para implementar tecnologías en sus cadenas de suministro orientadas a la exportación hacia Canadá, donde este análisis permitirá una mejor comprensión de dichos obstáculos y posibilitará explorar posteriormente alternativas orientadas al fortalecimiento competitivo del sector en mercados internacionales.



Nuestro país era autosuficiente en granos básicos durante los años 80. Sin embargo, en la actualidad más del 80 % del frijol y el arroz consumidos son importados. Entre el año 2000 y el 2018, la dependencia de las importaciones aumentó de 64 % a 99,4 % en maíz, de 0,5 % a 54,5 % en arroz y de 65 % a 79,6 % en frijoles. En paralelo, la superficie cultivada con granos básicos se contrajo en un 66,5 % entre 1990 y 2019, reflejando el desplazamiento de estos cultivos por otras actividades agrícolas más rentables. (párr. 7)

Estos cambios en la estructura agrícola han impactado directamente en la autosuficiencia alimentaria del país, representando un desafío significativo para Guanacaste por su relevancia histórica como productora de alimentos básicos, en este contexto, resulta necesario profundizar en el análisis de cultivos clave como el maíz, el frijol y el arroz, con el fin de identificar claramente las causas específicas de su reducción productiva y valorar alternativas tecnológicas para enfrentar este reto. Esto podría fortalecer la seguridad alimentaria regional y nacional, además de mejorar la competitividad del sector en mercados internacionales como Canadá.

### **Caracterización del sector de granos tradicionales**

El noroeste de Costa Rica se distingue por su potencial agrícola, tanto para la producción local como para la exportación. Esta área presenta una notable diversidad de paisajes, que incluyen playas, volcanes y tierras fértiles aptas para diversos cultivos. Además del arroz, frijol y maíz, se producen otros productos agrícolas como melón, sandía y cítricos. En los últimos años, se ha promovido la adopción de tecnologías e innovación en los procesos de cultivo, lo que ha fortalecido la competitividad del sector agrícola (PROCOMER, 2020).

Históricamente, esta zona ha sido predominantemente agrícola, con pequeñas fincas dedicadas a los cultivos tradicionales. Sin embargo, el avance de las tecnologías agrícolas ha transformado las prácticas productivas, mejorando tanto la eficiencia como la rentabilidad del sector. La modernización no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también amplía las

oportunidades de comercialización, potenciando la competitividad de los productos locales en mercados nacionales e internacionales

### ***Producción de maíz***

El maíz ha sido un cultivo emblemático en la Región Chorotega, destacándose especialmente la variedad blanca, utilizada en la gastronomía local para preparar productos tradicionales como tortillas, mazamorra y atol. No obstante, en las últimas décadas, su producción ha disminuido considerablemente debido a factores como la competencia con el grano importado a menor costo, los altos costos de producción y las condiciones climáticas adversas, como las prolongadas épocas secas en Guanacaste.

Tal como se indica, “la producción nacional de maíz apenas cubre cerca del 10 % de la demanda interna, lo que obliga al país a importar aproximadamente el 90 % del grano consumido” (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], s. f., p. 15). A pesar de esta situación, en cantones como Nicoya y Hojancha se mantienen cultivos de variedades criollas, destinados principalmente al autoconsumo y a los mercados locales, donde estas iniciativas contribuyen a preservar la tradición agrícola y fortalecer la seguridad alimentaria de la región.

Ilustración 2: Inspección de cultivo de maíz en campo abierto



*Nota:* Inspección de mazorca en plantación de maíz, por JACTO, 2021, (<https://bloglatam.jacto.com/produccion-de-maiz/>).

### ***Producción de frijol***

La zona norte de Guanacaste ha tenido un aporte significativo en la producción de frijol en Costa Rica. Un ejemplo es el desarrollo de la variedad de frijol rojo Urán, conocida por su alto rendimiento y adaptación a suelos con baja fertilidad. Este avance, fruto de un estudio previo, destaca la capacidad para innovar a pesar de las limitaciones tecnológicas y productivas, si bien la cosecha se destina principalmente al consumo local, estas iniciativas contribuyen a la seguridad alimentaria y fortalecen las economías locales (Jiménez González, 2023).

Por otra parte, pese a estos esfuerzos locales, existen múltiples retos que dificultan una mayor expansión y consolidación del cultivo de frijol en Guanacaste. Estos incluyen aspectos económicos relacionados con la rentabilidad, factores ambientales adversos como periodos prolongados de sequía, la calidad de los suelos disponibles para el cultivo y la infraestructura insuficiente que permita almacenar, procesar y distribuir eficazmente las cosechas obtenidas. En cuanto a los desafíos de la producción frijolera, el (MAG, s.f.) señala:

Costa Rica importa más del 80 % del frijol que consume, debido a problemas de rentabilidad y condiciones adversas para el cultivo, como el suelo seco y las limitaciones tecnológicas. Además, la infraestructura de acopio y almacenamiento en la región es escasa, con pocos centros de recepción en el cantón de La Cruz. Esta falta de capacidad logística limita la comercialización del frijol local en mercados más amplios, evidenciando los desafíos estructurales que enfrenta este cultivo tradicional. (p. 10)

Ilustración 3: Cosecha de frijol



*Nota:* Cosecha de frijol en campo hondureño, por Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras (SAG), 2024, (<https://www.prensa.sag.gob.hn/2024/01/04/honduras-logra-cifra-record-con-produccion-de-3-4-millones-de-quintales-de-frijol-500-mil-mas-que-en-2022/>)

### ***Producción de arroz***

El arroz, como grano básico tradicional, mantiene un claro liderazgo productivo en la Región Chorotega. Gracias a sus favorables condiciones agroclimáticas y a la infraestructura de riego disponible, Guanacaste ha logrado sostener un cultivo intensivo incluso durante la estación seca. Como resultado, su capacidad productiva ha posicionado a la región como un polo arrocero clave para Costa Rica, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria nacional y fortaleciendo la economía local.

No obstante, a pesar de ser la mayor zona productora de arroz del país, Costa Rica sigue siendo dependiente de las importaciones para cubrir cerca del 50 % de su consumo interno. Según datos del (MAG, s.f.), "aún con el significativo volumen cultivado en Guanacaste, la producción local no logra satisfacer plenamente la demanda nacional, lo que obliga al país a complementar su oferta mediante importaciones" (p. 12). Esta dualidad evidencia la necesidad de mejorar la eficiencia y competitividad del cultivo en la región para reducir la brecha entre producción y consumo, abriendo nuevas oportunidades para exportar el excedente a mercados como el canadiense.

Ilustración 4: Cultivo de arroz



*Nota:* Cultivo de arroz en Guanacaste, por La República, 2023, (<https://www.larepublica.net/noticia/arroceros-de-guanacaste-denuncian-que-3-mil-hectareas-estan-en-riesgo>)

### **Impacto de las condiciones agroclimáticas en la producción**

Las condiciones climáticas de la Región Chorotega, caracterizadas por estaciones secas prolongadas y lluvias concentradas, representan un desafío constante para la productividad agrícola. Implementar tecnologías como la agricultura de precisión puede ser una estrategia efectiva para mitigar estos efectos, optimizando el uso del agua y mejorando la gestión de los cultivos. Esto no solo contribuye a una producción más sostenible, sino que también fortalece la competitividad del sector agrícola (PROCOMER, 2023).

### **Importancia económica del sector en la Región Chorotega**

El sector de granos tradicionales tiene un impacto significativo en la economía local y nacional, generando empleo y fortaleciendo las cadenas de suministro. Aunque el sector ha mostrado avances, "persisten desafíos importantes relacionados con la infraestructura agrícola y la falta de modernización en las maquinarias utilizadas" (Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones, [MCITT], 2021, p. 25), donde esta realidad subraya la importancia de evaluar el impacto de la innovación tecnológica en el fortalecimiento del sector agrícola, especialmente en su capacidad para adaptarse a las demandas actuales del mercado.

## **Dinámica de las exportaciones de granos tradicionales hacia Canadá**

El mercado canadiense representa una oportunidad potencialmente lucrativa para los productores costarricenses de granos tradicionales. Según (PROCOMER, 2024), “las exportaciones costarricenses de granos tradicionales hacia Canadá no superaron los US \$20 000 en 2023” (p. 12). Esta cifra confirma que, pese al volumen todavía reducido, la creciente demanda en ese país de alimentos de alta calidad y con trazabilidad garantizada abre nuevas alternativas comerciales. Por ello, resulta crucial comprender el volumen y valor de las exportaciones actuales, así como los desafíos y estrategias necesarios para fortalecer la competitividad de los productos costarricenses en un mercado internacional tan exigente.

### **La exportación de granos tradicionales en la Región Chorotega**

Actualmente, Costa Rica mantiene niveles muy bajos de exportación de granos tradicionales hacia Canadá, sin embargo, este país ofrece una oportunidad significativa para los productores costarricenses, tal y como indica el (Observatorio de Complejidad Económica [OEC], 2023), "la adopción de tecnologías innovadoras, como sistemas de trazabilidad y plataformas digitales para la gestión logística, podría facilitar el acceso a este mercado exigente" (p. 15). La creciente demanda de productos agrícolas de alta calidad y con trazabilidad garantizada permite que quienes integren estas herramientas tecnológicas se posicionen mejor para competir a nivel internacional.

### **Volumen de las exportaciones en los últimos años**

Durante el período 2018-2023, el valor de las exportaciones costarricenses de granos tradicionales hacia Canadá fluctuó entre algo más de US \$ 75 millones y poco por encima de US \$ 100 millones, lo que confirma un comportamiento variable con tendencia general al alza (Ministerio de Comercio Exterior [COMEX], 2024). Esta variabilidad obedece, en parte, a condiciones climáticas adversas que han afectado la producción agrícola, así como a la fuerte competencia internacional presente en el mercado canadiense, aun así, existe un potencial

considerable para incrementar estos envíos mediante la mejora de procesos logísticos y la incorporación de tecnologías en la cadena de suministro.

En este sentido, la incorporación de tecnologías avanzadas, como sistemas de trazabilidad y herramientas digitales para la gestión logística, podría aumentar significativamente las exportaciones y fortalecer la presencia de estos productos en un mercado exigente. Dichas soluciones facilitarían un mejor control en cada etapa de la cadena de suministro, minimizando pérdidas durante el almacenamiento y transporte, además, al mejorar la transparencia y eficiencia operativa, los productores podrían cumplir mejor con las expectativas del consumidor canadiense, consolidando su posición competitiva.

### **Valor de las exportaciones en los últimos años**

En cuanto al valor económico de las exportaciones agrícolas hacia Canadá, datos del (OEC, 2023), muestran que estas han mantenido un crecimiento estable, impulsadas principalmente por productos con alto valor agregado y certificaciones de calidad, sin embargo, los granos tradicionales aún representan una fracción menor dentro de este comercio, lo que sugiere una oportunidad de expansión si se implementan estrategias tecnológicas y logísticas adecuadas, especialmente en un entorno comercial dinámico y altamente competitivo como el canadiense.

### **Cumplimiento de estándares de calidad exigidos en Canadá**

El mercado canadiense se rige por estrictos estándares de calidad y seguridad alimentaria, establecidos por organismos como la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA, 2023). Estos estándares abarcan desde la salubridad del producto hasta la trazabilidad y el etiquetado correcto. Para los productores costarricenses de granos tradicionales, cumplir con estas regulaciones no solo es esencial para ingresar al mercado canadiense, sino que también ofrece una ventaja competitiva al demostrar el compromiso con la calidad y la seguridad alimentaria. El uso de tecnologías como el blockchain permite una trazabilidad completa del producto, facilitando el cumplimiento de estas normativas y fortaleciendo la confianza de los consumidores internacionales.

## **Cadenas de suministro en el sector de granos tradicionales**

Las cadenas de suministro en el sector de granos tradicionales abarcan actividades desde la producción hasta la comercialización en mercados nacionales e internacionales. Actores clave, como productores, transportistas, almacenadores y exportadores, son esenciales para mantener la calidad y seguridad de los productos durante todo el proceso logístico. TecnoAgro (2024) señala que “la automatización y la robótica están ganando terreno en el manejo de granos, con la introducción de sistemas automatizados de carga y descarga en almacenes, así como robots diseñados para realizar tareas específicas, como el muestreo de granos o la limpieza de equipos” (párr. 5), mejorando la eficiencia y reduciendo costos y riesgos operativos.

En la zona en estudio, el sector de granos tradicionales enfrenta desafíos logísticos relacionados con infraestructura limitada y condiciones climáticas adversas. La implementación de tecnologías innovadoras en la cadena de suministro permite optimizar la eficiencia operativa, reducir pérdidas postcosecha y cumplir con estándares internacionales. Además, la modernización de los procesos logísticos no solo aumenta la rentabilidad de los productores, sino que también refuerza la competitividad de los granos tradicionales costarricenses en mercados internacionales.

### **Componentes de la cadena de suministro**

La cadena de suministro agrícola abarca desde la producción hasta la comercialización, pasando por etapas cruciales como el almacenamiento y la distribución. Cada fase presenta desafíos específicos que pueden ser mitigados con tecnologías innovadoras, como sistemas automatizados de almacenamiento y herramientas digitales para la gestión logística. Estas soluciones permiten optimizar procesos, reducir costos y mejorar la eficiencia operativa en toda la cadena de valor, contribuyendo a un manejo más eficaz de los recursos disponibles (MAG, 2022).

#### ***Producción***

La producción es el primer eslabón de la cadena de suministro y comprende la preparación del suelo, la siembra, el manejo integrado de cultivos y la cosecha de los granos tradicionales. En

esta fase resulta decisivo aplicar buenas prácticas agrícolas para asegurar la calidad del producto, optimizar los recursos naturales y reducir el impacto ambiental. La eficiencia productiva determina, en gran medida, la rentabilidad y la competitividad de los granos tradicionales en los mercados nacionales e internacionales, donde según MAG (2024):

Costa Rica al 2034 será un país con una producción agrícola sostenible que gestiona responsablemente los plaguicidas de uso agrícola mediante acciones permanentes que salvaguarden la seguridad alimentaria, la competitividad y productividad del sector, y la mitigación de riesgos para la salud pública, el ambiente, la biodiversidad y la adaptación al cambio climático. (p. 33)

Ilustración 5: Producción de granos básicos en Costa Rica



*Nota:* Fotografía de un técnico pesando semillas certificadas en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno de la UCR, como parte de los esfuerzos por mejorar la producción de granos básicos en el país, 2022, (<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2022/07/11/que-paso-con-la-produccion-de-granos-basicos-en-costa-rica.html>)

### ***Almacenamiento***

El almacenamiento es una etapa crítica que asegura la conservación de los granos una vez cosechados. Durante este proceso, se deben controlar factores como la temperatura, la humedad y la ventilación para evitar pérdidas post cosecha y mantener la calidad del producto. Los sistemas modernos utilizan tecnologías avanzadas para regular estas condiciones, lo que contribuye a

prolongar la vida útil de los granos y permite una gestión eficiente del inventario, asegurando un suministro continuo y estable en la cadena logística (TecnoAgro, 2024).

### ***Distribución***

La distribución constituye la fase en que los granos se trasladan desde los centros de acopio hasta los puntos de venta o de exportación; en ella intervienen decisiones sobre rutas, tipos de vehículo, manejo de carga y coordinación documental. Al optimizar estas variables se reduce el tiempo de tránsito, se preserva la calidad del grano y se evitan sobrecostos derivados de demoras o mermas. Como explica Across Logistics (AL, 2023) “la logística de distribución busca minimizar los costos asociados al transporte, almacenamiento y manipulación de los productos” (párr. 5).

Una gestión distributiva eficiente también incrementa la capacidad de respuesta ante fluctuaciones de la demanda y contingencias climáticas, pues facilita la redirección ágil y asignación dinámica de recursos, donde al incorporar sistemas de rastreo en tiempo real, plataformas de gestión de flotas y análisis predictivo, se permite anticipar cuellos de botella, mejorar la utilización de la capacidad vehicular y reforzar la fiabilidad de las entregas. Al garantizar plazos consistentes y condiciones óptimas de entrega, los exportadores costarricenses fortalecen su reputación frente a compradores internacionales y consolidan su competitividad en mercados exigentes.

### **Transporte terrestre interno.**

El transporte que conecta las fincas de la Región Chorotega con los centros de acopio y los puertos es un eslabón crítico de la logística agroexportadora. Requiere seleccionar camiones con carrocerías herméticas, suspensiones adecuadas y protocolos de carga que eviten derrames y golpes en caminos secundarios; así se mantienen la humedad óptima y la integridad física del grano. Además, la programación estricta de horarios y el cumplimiento de ventanas de recepción reducen costos por demoras y preservan la reputación de calidad que Costa Rica proyecta ante los compradores canadienses.

Para mejorar esta etapa, es imprescindible adoptar soluciones telemáticas. AL (2023) indica que “la integración de GPS y sensores ambientales en las unidades permite reducir el tiempo de tránsito y las pérdidas de carga en más de un 15 %” (párr. 5). Estas herramientas ofrecen visibilidad en tiempo real, facilitan el re-enrutamiento ante cierres viales y permiten programar mantenimientos preventivos; de ese modo se incrementa la puntualidad de las entregas y se garantiza que los granos lleguen en condiciones óptimas a los puertos de salida.

### **Almacenamiento en puerto.**

Según TecnoAgro (2024), los silos y bodegas portuarias equipados con sistemas de ventilación automatizados “regulan la temperatura y la humedad, evitando la proliferación de insectos y hongos” (párr. 3). Mantener estos parámetros bajo control resulta crítico para preservar la calidad de los granos tradicionales exportados a Canadá. La incorporación de sensores inalámbricos permite monitorear en tiempo real las condiciones internas de los almacenes y emitir alertas ante cualquier anomalía, lo que reduce las pérdidas postcosecha y asegura que el producto llegue en óptimas condiciones al destino final.

Ilustración 6: Producción de granos básicos en Costa Rica



*Nota:* Contenedores apilados en zona de carga del Puerto de Caldera, como parte de los procesos logísticos de exportación. Cámara Oficial Española de Comercio e Industria en Costa Rica (CAMACOES), 2024, (<https://camaco.es/cr/eventos-y-noticias/costa-rica-modernizara-puerto-del-pacifico/>)

## ***Comercialización***

La comercialización de granos tradicionales exige diseñar estrategias de venta sólidas, negociar con compradores y cumplir las normativas del mercado destino. COMEX (2023) destaca que la certificación de calidad internacional, la trazabilidad y una logística optimizada son indicadores clave de competitividad agrícola (p. 10), por lo cual, una gestión comercial eficaz incrementa las oportunidades de venta, posiciona mejor el producto y refuerza la relación con los clientes, promoviendo así la sostenibilidad del negocio a largo plazo.

### **Intervención de actores clave**

Pueyo Carrascón (2024) destaca que los productores, intermediarios y exportadores desempeñan un rol clave en la cadena de suministro de granos tradicionales. La adopción de tecnologías digitales optimiza la logística, reduce costos y mejora la eficiencia operativa, incrementando la competitividad en mercados internacionales. Además, los productores pueden conectarse directamente con exportadores, evitando intermediarios y aumentando sus márgenes de ganancia.

Por su parte, los comercializadores pueden utilizar sistemas avanzados para monitorear la calidad del producto, garantizando la transparencia y mejorando la capacidad de respuesta ante las demandas del mercado canadiense. De este modo, esta adopción tecnológica contribuye a reducir costos y aumentar la competitividad de los productos costarricenses en mercados internacionales, fortaleciendo su posición frente a la competencia global y posicionando a Costa Rica como un proveedor de alta calidad,

### **Principales desafíos en la logística de exportación**

La logística de exportación enfrenta retos como deficiencias en infraestructura, altos costos de transporte, pérdidas postcosecha y el cumplimiento de normativas internacionales. La falta de carreteras adecuadas y puertos eficientes retrasa los envíos y encarece las operaciones. Además, las empresas deben cumplir estrictos estándares de calidad y seguridad para acceder a mercados

internacionales, lo que exige inversiones en certificaciones y mejoras en los procesos logísticos. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021):

En términos agregados, el desempeño logístico de América Latina y el Caribe (ALC) presenta un importante rezago frente a otras regiones. Indicadores internacionales muestran que ALC califica sistemáticamente por debajo de las economías avanzadas, y que su propia calificación ha retrocedido en los últimos lustros. Comprender las causas de este retroceso y su impacto en los objetivos de desarrollo resulta clave para revertir la tendencia y fortalecer la competitividad regional. (párr. 4)

Para mitigar estos desafíos, la adopción de tecnologías avanzadas puede mejorar la eficiencia y reducir costos. Sensores en almacenes permiten controlar humedad y temperatura, minimizando pérdidas postcosecha y garantizando la calidad del producto. Los sistemas de gestión de transporte optimizan rutas, reduciendo tiempos de entrega. Asimismo, la digitalización de trámites aduaneros agiliza el comercio exterior y disminuye errores, fortaleciendo la competitividad en el mercado global.

### **Tecnologías aplicadas en la cadena de suministro de granos tradicionales**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) subraya que “las soluciones tecnológicas son indispensables para alimentar a una población en continuo crecimiento frente a la limitación de las tierras agrícolas y el aumento de perturbaciones, incluido el cambio climático” (párr. 1). En la cadena de granos, esto implica incorporar sensores, Internet de las Cosas y analítica de datos para monitorear cultivos, prever rendimientos y tomar decisiones precisas que reduzcan mermas y costos.

Herramientas como la agricultura de precisión, los sistemas automatizados de postcosecha y plataformas basadas en blockchain garantizan una trazabilidad completa, registrando cada lote en un libro digital inalterable. Como menciona la FAO (2022) “estas tecnologías digitales automatizan diagnósticos y decisiones agrícolas, aumentando la eficiencia, sostenibilidad y

resiliencia de la producción frente a desafíos como el cambio climático” (párr. 3). Con ello, se facilita el monitoreo temprano mediante drones y satélites, la clasificación óptica de granos y una logística optimizada, fortaleciendo la competitividad costarricense en mercados exigentes como el canadiense.

### **Tecnologías en la producción agrícola**

La agricultura de precisión, el uso de drones, sensores de suelo y sistemas de riego automatizados son tecnologías que podrían aumentar la eficiencia en la producción agrícola. Estas herramientas han demostrado mejorar la productividad y reducir los costos operativos en contextos agrícolas similares, igualmente, el uso de biotecnología en semillas mejoradas puede incrementar la resistencia de los cultivos a condiciones climáticas adversas, contribuyendo a una producción más estable y rentable:

El uso de tecnologías digitales en el sector agrícola no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también incrementa la rentabilidad al facilitar el acceso a nuevos mercados internacionales, especialmente en el contexto de la agroexportación de productos como los arándanos en la región La Libertad (Simbron Ruiz et al., 2024, p. 42).

Por consiguiente, la integración de estas tecnologías no solo optimiza la producción agrícola, sino que también fortalece la sostenibilidad del sector al permitir un uso más eficiente de los recursos naturales. Además, la mejora en la calidad y cantidad de los cultivos facilita el acceso a mercados internacionales más exigentes, generando mayores oportunidades económicas para los productores. De esta manera, la innovación tecnológica se convierte en un aliado estratégico para incrementar la competitividad de los granos tradicionales costarricenses, potenciando su posicionamiento en mercados globales y asegurando una cadena de suministro más eficiente y rentable.

### ***Agricultura de precisión***

La agricultura de precisión se refiere al uso de tecnologías avanzadas para optimizar el manejo de cultivos y recursos agrícolas. Sensores, sistemas de geolocalización (GPS) y herramientas de análisis de datos permiten monitorear las condiciones del suelo, el crecimiento de las plantas y las necesidades específicas de riego y fertilización. Al aplicar insumos de forma localizada, se mejora la eficiencia, se reducen los desperdicios y se incrementa la productividad. Esta práctica también impulsa la sostenibilidad del sistema agrícola al minimizar el impacto ambiental del modelo tradicional (BID, 2021).

Ilustración 7: Aplicación de agricultura de precisión con drones



*Nota:* Ilustración representativa del uso de drones en prácticas agrícolas para monitoreo y aplicación precisa de insumos, 2023. (<https://www.agrolatam.com/nota/costa-rica-impulsa-la-agricultura-de-precision-con-un-nuevo-reglamento-sobre-el-uso-de-drones/>)

### ***Biotecnología en semillas mejoradas***

La biotecnología agrícola ha permitido el desarrollo de semillas mejoradas que ofrecen mayor resistencia a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas. Estas semillas genéticamente optimizadas pueden adaptarse mejor a su entorno y mantener rendimientos estables. “Estas tecnologías pueden contribuir a mejorar la productividad, reducir las pérdidas y reforzar la resiliencia frente al cambio climático” (FAO, 2022, párr. 5). Esta innovación resulta clave para asegurar una oferta constante de granos tradicionales, especialmente en regiones como la Chorotega, donde el clima es altamente variable.

Esta tecnología facilita una gestión agrícola más estratégica, al anticiparse a las condiciones del entorno y minimizar las pérdidas derivadas de factores externos. Al asegurar cultivos más consistentes, permite a los productores utilizar mejor sus recursos y cumplir con las demandas de mercados que exigen regularidad y estándares elevados. También favorece la inclusión de agricultores de menor escala en esquemas de comercialización más competitivos, lo que dinamiza las economías locales y contribuye a una oferta alimentaria más estable y sostenible.

### *Uso de drones para monitoreo de cultivos*

El uso de drones en la agricultura ha transformado la forma en que los productores vigilan sus fincas, permiten evaluar la salud de las plantas, detectar enfermedades incipientes y monitorear el uso del agua en tiempo real. Equipados con cámaras multispectrales y sensores, recopilan imágenes aéreas que, al ser procesadas mediante inteligencia artificial, ofrecen datos precisos sobre el estado de los cultivos. Esta información posibilita decisiones oportunas, como la aplicación localizada de fertilizantes o el ajuste de riego, optimizando recursos y reduciendo costos operativos.

Como menciona Agrolatam.com (2023), “Costa Rica ha marcado un hito en agricultura de precisión al aprobar un reglamento que regula el uso de drones en actividades agropecuarias, lo que mejora la competitividad, productividad y sostenibilidad del sector agrícola” (párr. 1). Este avance normativo permite a los agricultores mapear sus terrenos, identificar zonas con estrés hídrico y aplicar agroquímicos de forma precisa, asegurando una gestión más eficiente de los recursos hídricos y un monitoreo continuo que protege los cultivos ante plagas o condiciones climáticas adversas.

Ilustración 8: Uso de drones para monitoreo de cultivos



*Nota:* Imagen ilustrativa del uso de drones en agricultura de precisión para el monitoreo de cultivos, El Mundo CR, 2023, (<https://elmundo.cr/costa-rica/costa-rica-fortalece-agricultura-de-precision-con-decreto-sobre-drones/>)

### **Tecnologías en almacenamiento y procesamiento**

Las tecnologías emergentes, como blockchain e inteligencia artificial (IA), están transformando la gestión de la cadena de suministro en el sector agrícola. En particular, el uso de esta herramienta permite una trazabilidad completa de los productos, desde su origen hasta el consumidor final, lo que mejora la transparencia y la confianza en la calidad de los alimentos. Por ejemplo, iniciativas en América Latina han aplicado esta tecnología para rastrear productos agrícolas, permitiendo a los consumidores conocer el origen y las condiciones de producción de los alimentos que adquieren (Ministerio de Agricultura, 2024).

Además, la inteligencia artificial se utiliza para optimizar procesos de almacenamiento y procesamiento de granos. Sistemas basados en IA pueden monitorear y controlar en tiempo real variables críticas como temperatura y humedad en silos, reduciendo pérdidas postcosecha y garantizando la calidad del producto. La combinación de estas tecnologías no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita el acceso a mercados internacionales que exigen altos estándares de calidad y transparencia en la cadena de suministro.

### ***Implementación de blockchain para trazabilidad de los granos***

La tecnología blockchain permite registrar cada etapa del proceso logístico de los granos tradicionales, desde la producción hasta la comercialización, de manera inmutable y transparente. “Con blockchain, cada transacción se almacena en un bloque enlazado al anterior, de modo que la información sobre origen, almacenamiento y movimiento no puede ser alterada ni eliminada” (PROCOMER, 2023). Este nivel de detalle en tiempo real refuerza la confianza de los consumidores y simplifica el cumplimiento de normativas internacionales, pues las auditorías internas y externas se realizan en minutos en lugar de días.

Como menciona PROCOMER (2023), “el uso de blockchain en los procesos de exportación de granos ha permitido reducir las incidencias de fraudes y acelerar la verificación de lotes desde la finca hasta el destino final”. Gracias a esta innovación, los exportadores costarricenses pueden demostrar de forma rápida la integridad de su cadena de suministro y garantizar que sus productos cumplan con los estándares exigidos por mercados tan rigurosos como el canadiense.

### ***Sistemas automatizados para control de temperatura y humedad en silos***

Dantherm Group (2025) indica que los silos a granel sufren condensación en el espacio vacío sobre el producto, lo que provoca moho y bloqueos. Para evitarlo, se emplean sistemas de deshumidificación que inyectan aire seco continuamente a través de la tubería de carga, manteniendo el punto de rocío por debajo de la superficie más fría. Estos equipos combinan bobinas refrigerantes y ventiladores controlados por sensores que activan automáticamente la deshumidificación al detectar niveles críticos de humedad, previniendo el deterioro del grano, mejorando la circulación del producto y reduciendo costos de mantenimiento al optimizar el consumo energético.

### ***Aplicaciones de inteligencia artificial en clasificación y procesamiento de granos***

La inteligencia artificial (IA) ha reemplazado procesos manuales en la clasificación de granos con sistemas de visión por computadora que analizan color, tamaño y textura en fracciones de segundo. Según el BID (2022), “los algoritmos de aprendizaje profundo pueden clasificar granos con hasta un 98 % de precisión, detectando impurezas y defectos que resultan casi imperceptibles

al ojo humano” (p. 29). En Colombia y México, estas soluciones automatizadas elevaron la productividad en un 15 %, al reducir rechazos tardíos y optimizar el flujo de la línea de procesamiento, asegurando que solo ingresen al mercado granos que cumplen con los estándares internacionales más exigentes.

Además de la clasificación, la IA se aplica a la predicción de rendimientos basados en datos históricos y variables climáticas, y al ajuste automático de parámetros en plantas de secado y almacenamiento. Modelos de machine learning anticipan problemas de humedad o infestación antes de que afecten grandes volúmenes, permitiendo medidas preventivas oportunas. De este modo, no solo garantiza la calidad del grano, sino que también optimiza recursos y reduce costos a lo largo de toda la cadena de valor agrícola.

### **Tecnologías en logística de exportación**

Según PROCOMER (2023), la incorporación de sistemas en la cadena agroexportadora costarricense ha permitido optimizar rutas, gestionar flotas y monitorizar envíos en tiempo real, reduciendo costos logísticos y mejorando la puntualidad de las entregas. Estas plataformas digitales integran datos de geolocalización, estado de carreteras y disponibilidad de vehículos para planificar desplazamientos eficientes y minimizar tiempos de espera. Al contar con información actualizada sobre cada envío, los exportadores pueden tomar decisiones basadas en indicadores precisos, ajustando rutas sobre la marcha y evitando retrasos que pongan en riesgo los plazos de despacho.

La digitalización de la documentación aduanera, por su parte, ha simplificado enormemente los trámites administrativos. La emisión electrónica de licencias, manifiestos y certificados fitosanitarios reduce la probabilidad de errores humanos y acelera el proceso de autorización en frontera. De este modo, la exportación de granos logra cumplirse en plazos más cortos, garantizando que los productos cumplan con los requisitos internacionales sin demoras. En conjunto, estas soluciones tecnológicas no solo optimizan la eficiencia operativa, sino que también fortalecen la competitividad de los exportadores costarricenses en mercados exigentes como el canadiense.

### ***Sistemas de Gestión de Transporte (TMS)***

Los Sistemas de Gestión de Transporte (TMS, por sus siglas en inglés) son soluciones de software que automatizan tareas como la planificación de rutas, la asignación de vehículos y la supervisión de entregas. Estas plataformas se conectan con otros sistemas logísticos para ofrecer una visión integrada y coordinada de toda la cadena de suministro. Además, el procesamiento de datos que realizan permite tomar decisiones estratégicas basadas en información en tiempo real, lo que impulsa la mejora continua de las operaciones de transporte (SAP Transportation Management, s. f.).

### ***Impacto en la eficiencia de distribución***

Across Logistics (2023) explica que la logística de distribución incluye todas las actividades necesarias para que un producto llegue a su destino en condiciones óptimas y a tiempo, desde la elección de rutas hasta la gestión de inventarios y transporte. Al incorporar tecnologías especializadas, se reducen tanto los tiempos de traslado como los costos operativos, pues se optimizan recorridos y se agiliza la comunicación entre productores, transportistas y agentes aduaneros. Esto es esencial para la exportación de granos tradicionales, donde la frescura y calidad dependen de entregas rápidas, al maximizar la utilización de la flota y evitar demoras en puntos críticos, se asegura que los granos lleguen al mercado internacional en su mejor estado.

### ***Digitalización de la documentación aduanera***

La digitalización de la documentación aduanera consiste en convertir documentos físicos como facturas comerciales, certificados de origen, documentos de transporte y declaraciones en archivos electrónicos gestionados mediante plataformas especializadas. Estas herramientas automatizan el envío, la validación y el intercambio de información, eliminando el uso de papel y reduciendo significativamente los tiempos de espera en aduana. Al centralizar los trámites en un único sistema, se facilita la coordinación entre exportadores, autoridades y operadores logísticos, mejorando la eficiencia y disminuyendo los costos por errores o duplicación de datos.

Para ello, las empresas utilizan tecnologías como el reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para extraer datos de documentos escaneados, y APIs que integran sus sistemas con los de aduanas y transportistas. La incorporación de blockchain, además, asegura la inalterabilidad de los registros, fortaleciendo la trazabilidad, y con estos avances, los exportadores pueden procesar licencias y certificados en tiempo real, minimizando errores administrativos y garantizando un flujo continuo de información (Tookane, 2025).

### **Innovación en el transporte de exportación**

El transporte de granos tradicionales hacia mercados internacionales requiere de tecnologías que garanticen la calidad y seguridad del producto durante todo el trayecto. Los contenedores inteligentes y los sistemas de monitoreo en tiempo real son herramientas clave para mantener la integridad del producto y optimizar los procesos logísticos. Existe una transformación relevante en el transporte internacional con la introducción de tecnologías avanzadas. Castellanos Rodríguez (2022) comenta que:

Actualmente el comercio internacional se ubica en una era donde no busca únicamente el intercambio de bienes y servicios por medio de operaciones de exportación e importación, sino que debe lograr, por medio del transporte marítimo, tanto adaptarse a la flexibilidad de los puertos de atraque, como satisfacer y anticiparse a las necesidades de las navieras y de demás actores que demandan este tipo de transporte. La tecnología, la facilitación de las operaciones, la automatización, la carga y la descarga de contenedores, la eficiencia del almacenaje o los programas de automatización, son mecanismos que en la actualidad son consecuencia uno del otro y deben tenerse en conjunto para mejorar la trazabilidad de la cadena logística. (p. 29)

### ***Uso de contenedores inteligentes en el transporte marítimo***

Los contenedores inteligentes están equipados con sensores que permiten monitorear variables críticas durante el transporte, como la temperatura, la humedad y las vibraciones. Estos

dispositivos envían alertas en tiempo real si se detectan condiciones fuera de los parámetros establecidos, lo que permite a los operadores tomar medidas preventivas para proteger la calidad del producto. Como menciona Castellanos Rodríguez (2022), “los contenedores inteligentes permiten monitorear variables como temperatura, humedad y vibraciones en tiempo real, facilitando la trazabilidad del producto durante todo el trayecto” (p. 30).

Gracias a esta conectividad, los importadores pueden monitorear en tiempo real el estado del producto durante todo el trayecto, lo que facilita la toma de decisiones y reduce el riesgo de pérdidas. Además, permite una respuesta inmediata ante incidentes, minimizando los efectos de cambios inesperados en el entorno. La automatización del monitoreo mejora la eficiencia operativa al eliminar revisiones manuales frecuentes y generar registros digitales útiles para auditorías, control de calidad y cumplimiento normativo. De esta forma, los contenedores inteligentes no solo optimizan la logística, sino que también fortalecen la confianza en la cadena de suministro.

Ilustración 9: Uso de contenedores inteligentes en el transporte marítimo



*Nota:* Contenedor inteligente modelo UNIT ONE desarrollado por AELER, diseñado con materiales compuestos y sensores para el monitoreo de variables como temperatura, humedad y ubicación, optimizando el transporte marítimo de carga, 2022, (<https://logistica.cdecomunicacion.es/noticias/proveedores/52533/contenedor-maritimo-inteligente-aeler>)

### **Tecnologías de monitoreo interno.**

Las tecnologías de monitoreo interno son esenciales en la exportación de granos tradicionales hacia Canadá, ya que permiten controlar en todo momento variables clave como la humedad, la temperatura y la ventilación, determinantes para mantener la calidad del producto. Además, ayudan a prevenir riesgos como la proliferación de microorganismos o la formación de puntos críticos de calor. El acceso a datos en tiempo real mejora la toma de decisiones, disminuye la necesidad de inspecciones manuales y refuerza la trazabilidad exigida por mercados internacionales, haciendo que la cadena logística sea más eficiente y segura.

Según Bartosik y de la Torre (2023), el monitoreo del dióxido de carbono en el aire intergranario, el cual permite detectar tempranamente actividad biológica no deseada, facilitando intervenciones antes de que se produzcan daños por deterioro, calor o contaminación. Esta tecnología asegura la inocuidad del producto y previene pérdidas económicas, mejorando la trazabilidad y el cumplimiento de los estándares internacionales requeridos por mercados como el canadiense.

### **Sistemas de alerta ante daños en carga.**

Los sistemas de alerta ante daños en carga son fundamentales para reducir riesgos durante la exportación de granos tradicionales hacia mercados exigentes como Canadá. Estas tecnologías permiten detectar de forma temprana incidentes como cambios bruscos de temperatura, humedad excesiva, rotura de embalajes o movimientos anómalos en contenedores durante el transporte marítimo o terrestre. Al emitir alertas inmediatas a los responsables logísticos, estos sistemas contribuyen significativamente a minimizar pérdidas económicas, mantener la integridad del producto y cumplir con los estrictos estándares internacionales en la exportación agrícola.

La implementación de tecnologías IoT en la logística permite monitorear en tiempo real variables críticas como temperatura, humedad y ubicación, alertando a los operadores sobre condiciones anómalas. Esta supervisión constante mejora la eficiencia operativa y refuerza la trazabilidad en la cadena de suministro, aspectos esenciales para garantizar la calidad y seguridad de los productos agrícolas exportados, así como para cumplir con los requisitos normativos y las expectativas de los mercados internacionales (The Logistics World, 2024).

### ***Monitoreo en tiempo real de envíos***

El monitoreo en tiempo real de los envíos ofrece una visión completa de la ubicación y el estado de los productos durante el transporte. A través de sistemas GPS y plataformas digitales, las empresas pueden anticipar posibles retrasos, optimizar rutas y mantener informados a los clientes sobre el progreso del envío. Esta visibilidad no solo mejora la eficiencia logística, sino que también fortalece la confianza de los compradores al garantizar la transparencia en todo el proceso de exportación.

### **Impacto de la implementación de tecnologías en la exportación de granos tradicionales**

La incorporación de tecnologías innovadoras en la cadena de suministro de granos tradicionales mejora la eficiencia operativa, asegura la calidad del producto y fortalece la competitividad en mercados internacionales. Estas herramientas permiten a los productores optimizar procesos, reducir costos y minimizar pérdidas, cumpliendo con los altos estándares del mercado canadiense. No obstante, su implementación presenta desafíos relacionados con la inversión, la infraestructura y la capacitación del personal. Analizar estos beneficios y barreras resulta clave para potenciar las exportaciones y promover un desarrollo agrícola sostenible.

### **Beneficios en la eficiencia operativa**

La adopción de tecnologías digitales en el sector agrícola ha mostrado impactos relevantes sobre la eficiencia de las operaciones internas y externas de las empresas agroexportadoras. Estas tecnologías contribuyen significativamente a reducir los tiempos operativos, optimizar el uso de recursos y mejorar la planificación estratégica en términos logísticos y comerciales. Al mismo tiempo, se destaca su influencia positiva en la apertura y consolidación de nuevos mercados, favoreciendo la rentabilidad de los productores agrícolas. En este contexto, Flores Valle (2023) resalta que:

El uso de tecnologías digitales en el sector agrícola no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también incrementa la rentabilidad al facilitar el acceso a nuevos mercados internacionales, especialmente en el contexto de la agroexportación de productos como los arándanos en la región La Libertad (Simbron Ruiz et al., 2024, p. 42).

Dicha implementación podría ofrecer beneficios similares, aumentando significativamente la competitividad y rentabilidad de los productos agrícolas tradicionales en mercados internacionales exigentes como Canadá. Asimismo, una mayor digitalización permitiría anticipar y adaptarse mejor a las tendencias del mercado, reducir posibles riesgos operativos y asegurar una gestión más eficiente de la logística, favoreciendo así un crecimiento sostenible del sector agroexportador costarricense.

### ***Mejora en rendimientos agrícolas***

La implementación de tecnologías como la agricultura de precisión, el uso de drones y la biotecnología en semillas mejoradas ha demostrado un impacto positivo en los rendimientos agrícolas. Estas herramientas permiten monitorear las condiciones del suelo, optimizar el uso de insumos y aplicar tratamientos específicos solo cuando son necesarios. Como resultado, se incrementa la productividad de los cultivos y se reduce el desperdicio de recursos, promoviendo una producción más eficiente y sostenible. Además, al mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas, se abren nuevas oportunidades en mercados internacionales, fortaleciendo la competitividad del sector agrícola costarricense.

### ***Optimización en tiempos de distribución***

La optimización de los tiempos de distribución es crucial para mantener la calidad de los granos tradicionales durante su transporte hacia mercados internacionales. Tecnologías como los Sistemas de Gestión de Transporte (TMS) y los contenedores inteligentes permiten una mejor planificación de rutas, una gestión eficiente de flotas y el monitoreo en tiempo real de los envíos. Esto no solo mejora la puntualidad de las entregas, sino que también facilita una respuesta rápida

ante posibles imprevistos logísticos. Al reducir los tiempos de tránsito, se minimizan las pérdidas postcosecha y se asegura que los productos lleguen en óptimas condiciones a su destino final.

### ***Disminución de costos logísticos***

El uso de tecnologías digitales en la cadena de suministro permite optimizar los procesos logísticos y reducir costos operativos. La automatización de tareas, la digitalización de documentos aduaneros y una mejor planificación de rutas minimizan gastos innecesarios y mejoran la eficiencia. Asimismo, evitar pérdidas por deterioro en almacenamiento y transporte preserva el valor del producto, aumentando la rentabilidad de las exportaciones de granos tradicionales. Estos ahorros fortalecen la competitividad de los productos costarricenses en mercados exigentes, como el canadiense.

### **Reducción de costos**

La adopción de tecnologías digitales en la cadena de suministro de granos tradicionales optimiza procesos y reduce costos. Sistemas automatizados para la gestión de inventarios, digitalización administrativa y optimización de rutas logísticas contribuyen al ahorro de recursos. Además, el control automatizado de temperatura y humedad en silos disminuye la intervención manual, reduciendo costos laborales y el riesgo de errores. Esto no solo mejora la rentabilidad de los productores, sino que también permite ofrecer precios más competitivos, fortaleciendo la presencia de los granos costarricenses en el mercado canadiense.

### ***Reducción de desperdicios***

La tecnología juega un papel crucial en la reducción de desperdicios en la cadena de suministro agrícola. Herramientas como la inteligencia artificial, sensores en silos y sistemas de monitoreo en tiempo real permiten detectar y corregir problemas antes de que generen pérdidas. Por ejemplo, los sensores controlan las condiciones de almacenamiento, evitando el deterioro de los granos por humedad o temperatura inadecuada. Además, el uso de drones y sistemas de agricultura de precisión mejora la aplicación de insumos, reduciendo el desperdicio de agua,

fertilizantes y pesticidas. Estos avances optimizan recursos, aumentan la sostenibilidad y mejoran la rentabilidad de la producción agrícola.

### **Impacto en la calidad del producto**

El cumplimiento de los estándares de calidad exigidos en Canadá es fundamental para acceder al mercado internacional. Según la CFIA (2023), “las licencias ayudan a la AIAC a identificar mejor los riesgos para la salubridad alimentaria con el fin de orientar las inspecciones” (p. 1). Además, las tecnologías de trazabilidad permiten garantizar la seguridad alimentaria y mantener la calidad del producto desde la producción hasta la exportación. La implementación de controles automatizados en cada fase de la cadena de suministro contribuye a una mayor transparencia y facilita el monitoreo continuo de las condiciones de almacenamiento y transporte.

#### ***Reducción de pérdidas por deterioro en almacenamiento***

El almacenamiento adecuado es clave para mantener la calidad de los granos tradicionales y prolongar su vida útil. Las pérdidas por deterioro pueden deberse a factores como humedad, temperatura y plagas. Los sistemas automatizados de control ambiental en silos, que utilizan sensores inteligentes, permiten ajustar las condiciones de almacenamiento en tiempo real, minimizando los riesgos de daños al producto. Además, la inteligencia artificial facilita la detección temprana de problemas, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que el deterioro sea irreversible.

#### ***Disminución de pérdidas durante el transporte***

El transporte internacional de granos enfrenta retos logísticos significativos debido a factores como variaciones de temperatura, humedad y vibraciones. Los contenedores inteligentes, equipados con sensores, permiten monitorear las condiciones internas durante el trayecto, enviando alertas ante cualquier desviación. Esto permite tomar decisiones rápidas para proteger la integridad del producto. Además, los sistemas de gestión de transporte (TMS) optimizan las rutas y reducen los tiempos de entrega, disminuyendo las posibilidades de deterioro en el transporte.

## **Desafíos en la adopción de tecnologías**

Los principales desafíos para la adopción de tecnologías en el sector agrícola incluyen los costos de inversión, la falta de infraestructura tecnológica en zonas rurales y la necesidad de capacitación del recurso humano. Además, "la resistencia al cambio por parte de algunos productores podría ralentizar el proceso de modernización, haciendo necesario el desarrollo de programas de formación y sensibilización sobre los beneficios del uso de nuevas tecnologías" (Ministerio de Agricultura, 2024, p. 15).

### ***Costos de inversión o de financiamiento para pequeños productores***

La adopción de tecnologías avanzadas en la cadena de suministro agrícola implica costos iniciales elevados, un desafío para los pequeños productores. Estos gastos incluyen equipos automatizados, software de gestión y sistemas de monitoreo, además de instalación y mantenimiento. El acceso limitado a financiamiento adecuado dificulta estas inversiones. Para superar esta barrera, es clave desarrollar políticas públicas y programas de apoyo que faciliten el acceso a créditos blandos, subsidios o alianzas con el sector privado, promoviendo así la modernización y competitividad en mercados exigentes como el canadiense.

### ***Falta de infraestructura tecnológica en zonas rurales***

Muchas áreas rurales de Costa Rica, como la Región Chorotega, carecen de infraestructura tecnológica adecuada, con acceso limitado a internet, electricidad inestable y redes de comunicación obsoletas. Esto dificulta la implementación de tecnologías digitales y automatizadas, que requieren conectividad constante y soporte técnico. Para superar esta limitación, es crucial invertir en infraestructura tecnológica, garantizando conectividad y acceso a herramientas que permitan modernizar la producción. Además, esto facilitaría la integración de los pequeños y medianos productores a las cadenas de valor nacionales e internacionales, mejorando la trazabilidad de los cultivos y la competitividad exportadora de la región.

### ***Capacitación y adaptación del recurso humano a nuevas tecnologías***

La implementación de nuevas tecnologías en la cadena de suministro agrícola requiere personal capacitado. Sin embargo, muchos trabajadores carecen de formación en herramientas digitales y sistemas automatizados, lo que puede dificultar la modernización. Para cerrar esta brecha, es esencial ofrecer programas de capacitación continua mediante talleres, cursos en línea y asesoría especializada. Asimismo, fomentar la sensibilización sobre los beneficios de la tecnología reduciría la resistencia al cambio y facilitaría la transición hacia un modelo agrícola más eficiente y competitivo.

### **Marco normativo y acuerdos comerciales relevantes**

El marco normativo y los acuerdos comerciales son clave para la exportación de granos tradicionales costarricenses a Canadá. Cumplir con regulaciones arancelarias, estándares de calidad y seguridad alimentaria es esencial para acceder y mantenerse en este mercado. El tratado de libre comercio entre ambos países permite reducir barreras y obtener beneficios arancelarios, siempre que se cumplan los requisitos establecidos. Además, la adopción de tecnologías avanzadas y políticas de sostenibilidad fortalece la competitividad y facilita un comercio eficiente y transparente.

### **Acceso al mercado canadiense**

El acceso al mercado canadiense para los productores costarricenses de granos tradicionales requiere el cumplimiento de un estricto marco regulatorio que abarca tanto barreras arancelarias como no arancelarias. De acuerdo con CFIA (2023), “las normativas canadienses buscan garantizar la seguridad alimentaria y la protección de la salud pública mediante controles rigurosos de calidad, trazabilidad y etiquetado” (p. 4). Estos estándares establecen criterios específicos para productos agrícolas importados, asegurando que cumplan con los requisitos sanitarios y fitosanitarios necesarios para ingresar al mercado canadiense de manera segura y competitiva.

Aunque el Tratado de Libre Comercio entre Costa Rica y Canadá ha reducido algunas barreras arancelarias, los pequeños productores costarricenses aún enfrentan desafíos económicos significativos. Las barreras no arancelarias, como las restricciones relacionadas con los residuos de pesticidas y la exigencia de certificaciones especializadas, representan obstáculos adicionales para el acceso al mercado canadiense. Para superar estas limitaciones, es fundamental que los productores adopten tecnologías avanzadas y mejores prácticas agrícolas, permitiéndoles cumplir con las normativas internacionales y mantener su competitividad en mercados exigentes.

En relación con los requisitos de etiquetado y embalaje, Canadá establece lineamientos estrictos sobre la información que debe proporcionarse en los productos agrícolas importados. Estos incluyen detalles claros sobre el origen del producto, sus componentes y las condiciones de almacenamiento recomendadas. Cumplir con estas disposiciones no solo facilita el acceso al mercado canadiense, sino que también contribuye a fortalecer la imagen de los productos costarricenses, destacándolos como opciones seguras y de alta calidad en el ámbito internacional.

### ***Barreras arancelarias***

Las barreras arancelarias representan un desafío significativo para los productores costarricenses de granos tradicionales que desean acceder al mercado canadiense. Aunque el TLC entre Costa Rica y Canadá ha facilitado el acceso al mercado mediante la reducción o eliminación de ciertos aranceles, no todos los productos agrícolas se benefician de estas preferencias arancelarias. Algunos productos específicos pueden seguir sujetos a tarifas aduaneras, especialmente aquellos que no cumplen con las reglas de origen establecidas en el acuerdo comercial.

Para los pequeños productores, estas barreras arancelarias pueden traducirse en costos adicionales que afectan la competitividad de sus productos en comparación con otros países que también exportan granos a Canadá. Además, las fluctuaciones en las tasas arancelarias y la complejidad de los procedimientos aduaneros pueden incrementar los costos operativos, reduciendo los márgenes de ganancia y limitando la capacidad de los productores para competir en igualdad de condiciones en el mercado canadiense.

Superar estas barreras requiere no solo cumplir con las normativas del TLC, sino también implementar estrategias comerciales que permitan maximizar los beneficios arancelarios. Esto incluye el acceso a programas de certificación de origen, que garantizan que los productos cumplan con los requisitos necesarios para acceder a las reducciones arancelarias. Asimismo, es fundamental que los productores reciban capacitación y apoyo para comprender y aplicar correctamente estas disposiciones, aprovechando al máximo las oportunidades que ofrece el mercado canadiense.

### ***Barreras no arancelarias***

Además de las barreras arancelarias, los productores costarricenses de granos tradicionales deben enfrentar una serie de barreras no arancelarias para acceder al mercado canadiense. Estas incluyen regulaciones estrictas sobre estándares de calidad, certificaciones sanitarias, restricciones fitosanitarias y procedimientos administrativos complejos. Los productos agrícolas importados deben cumplir con normas específicas relacionadas con la seguridad alimentaria, la trazabilidad y el etiquetado. Estos requisitos, aunque diseñados para proteger al consumidor y mantener altos estándares de salud pública, pueden representar desafíos adicionales para los pequeños productores que no cuenten con los recursos necesarios para adaptar sus procesos a estas exigencias.

### ***Regulaciones para la importación de productos agrícolas***

El mercado canadiense establece regulaciones detalladas para la importación de productos agrícolas, con el objetivo de garantizar la seguridad y calidad de los alimentos que ingresan al país. Estas normativas incluyen la obligación de presentar certificaciones fitosanitarias, cumplir con límites máximos de residuos de pesticidas y demostrar la trazabilidad del producto desde su origen. Para los productores costarricenses, esto implica adoptar prácticas agrícolas más seguras y utilizar tecnologías avanzadas que permitan monitorear cada etapa de la cadena de suministro. Además, deben mantenerse actualizados con los cambios en las políticas de importación canadienses, ya que cualquier incumplimiento puede resultar en rechazos de productos o sanciones económicas.

### ***Requisitos de etiquetado***

El etiquetado de los productos agrícolas destinados al mercado canadiense debe ajustarse a normativas estrictas que garanticen la transparencia, la trazabilidad y la protección del consumidor. Las etiquetas deben contener información clara sobre el país de origen, la composición nutricional, la fecha de caducidad, las condiciones de almacenamiento y, en algunos casos, advertencias específicas, donde este tipo de requerimientos no solo facilita el cumplimiento con las normativas de importación, sino que también influye en la percepción del consumidor sobre la calidad y seguridad del producto costarricense.

Ilustración 10: Requisitos de etiquetado



*Nota:* Imagen que ejemplifica el etiquetado nutricional en productos envasados, uno de los requisitos clave para la exportación de productos agrícolas a mercados internacionales, Manufactura Latam, 2020, (<https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/la-fda-publica-nuevos-requisitos-para-la-etiqueta-nutricional>)

### ***Requisitos de embalaje***

El embalaje de productos agrícolas con destino a Canadá debe asegurar la integridad del producto durante todo el proceso logístico. Las regulaciones exigen materiales que protejan contra daños físicos, contaminación cruzada y alteraciones por condiciones climáticas. Además, deben cumplir estándares de sostenibilidad y eficiencia en el transporte. Un embalaje adecuado no solo

protege el contenido, sino que también refuerza la imagen del exportador en un mercado donde la calidad del empaque influye en las decisiones de compra.

Ilustración 11: Requisitos de embalaje



*Nota:* Imagen ilustrativa del etiquetado y embalaje adecuado en procesos de exportación. Este tipo de prácticas asegura la correcta identificación, protección y trazabilidad de los productos durante su transporte internacional, 2023, (<https://abriendomercados.com/etiquetado-y-embalaje-en-el-comercio-exterior-lo-que-debes-saber/>)

### ***Normativas sanitarias***

Las normativas sanitarias canadienses son particularmente estrictas en lo que respecta a la importación de productos agrícolas. Estos lineamientos incluyen la necesidad de cumplir con regulaciones sobre la inocuidad alimentaria, la ausencia de plagas y patógenos, y la certificación de que los productos han sido tratados bajo condiciones sanitarias adecuadas. Para cumplir con estas normativas, los productores costarricenses deben implementar controles de calidad rigurosos en cada etapa del proceso productivo, desde la cosecha hasta el almacenamiento y el transporte. El uso de tecnologías avanzadas para la trazabilidad del producto puede ser una herramienta clave para demostrar el cumplimiento de las normativas sanitarias exigidas por las autoridades canadienses.

### **Tratados de Libre Comercio**

El Tratado de Libre Comercio entre Costa Rica y Canadá, vigente desde el 1 de noviembre de 2002, marcó un hito al ser el primer acuerdo comercial de Costa Rica con un país desarrollado. Este tratado ha fortalecido el comercio bilateral al establecer un marco de previsibilidad, seguridad y transparencia para las transacciones comerciales. De acuerdo con (COMEX, s.f.), “el comercio bilateral entre Costa Rica y Canadá alcanzó un total de US\$ 266 millones en 2019. En los últimos diez años (2010-2019), el intercambio comercial con este socio experimentó una tasa de crecimiento promedio anual de 3,8 %, al pasar de US\$189 millones en 2010 a US\$266 millones en 2019” (párr. 4).

El TLC también promueve políticas de sostenibilidad, las cuales son cada vez más valoradas en el mercado canadiense. Las certificaciones de comercio justo (Fair Trade), orgánicas y otras etiquetas verdes no solo permiten un mejor posicionamiento de los productos, sino que también abren la puerta a nichos de mercado más especializados y con mayor valor añadido. Por añadidura, estas certificaciones pueden brindar acceso a incentivos fiscales y programas de apoyo financiero, facilitando la modernización y adaptación tecnológica del sector agrícola costarricense (PROCOMER, 2023).

### ***Beneficios del Tratado de Libre Comercio***

El Tratado de Libre Comercio entre Costa Rica y Canadá ha traído beneficios significativos al sector agrícola costarricense, especialmente en la exportación de granos tradicionales. Destaca la eliminación de aranceles para ciertos productos, lo que mejora la competitividad de los exportadores costarricenses en el mercado canadiense. Además, el TLC establece mecanismos para la resolución de disputas comerciales y proporciona un marco regulatorio estable, asegurando seguridad jurídica. Este acuerdo no solo facilita el comercio bilateral, sino que también impulsa la inversión extranjera directa y la creación de empleos en el sector agrícola.

Otro aspecto relevante del TLC es su enfoque en la sostenibilidad y las prácticas comerciales responsables. Al promover certificaciones de comercio justo, orgánicas y ambientales, el tratado ayuda a los productores costarricenses a adaptarse a las demandas del mercado canadiense, donde los consumidores valoran cada vez más los productos sostenibles y de origen

ético. Esto no solo amplía las oportunidades comerciales, sino que también mejora la reputación de los productos costarricenses a nivel internacional.

### ***Certificación de origen***

La certificación de origen es clave en el TLC entre Costa Rica y Canadá, ya que permite a los productos agrícolas costarricenses acceder a las preferencias arancelarias del acuerdo. Para obtener esta acreditación, los exportadores deben demostrar que sus productos cumplen con las reglas de origen establecidas, asegurando que una proporción significativa del valor agregado provenga de Costa Rica. Esta certificación no solo facilita el acceso a beneficios arancelarios, sino que también fortalece la competitividad de los productos costarricenses en el mercado canadiense.

Esta validación refuerza la transparencia en la cadena de suministro, permitiendo a los exportadores acceder a incentivos fiscales y financiamiento para modernizar el sector agrícola e incorporar tecnologías innovadoras. En un mercado competitivo como el canadiense, garantiza el cumplimiento de estándares internacionales, lo que genera confianza en importadores y consumidores. Además, contribuye a elevar la calidad de los productos costarricenses y a consolidar su posicionamiento en nichos de alto valor.

### **Políticas de sostenibilidad en el mercado canadiense**

Canadá mantiene altos estándares de sostenibilidad y trazabilidad para los productos agrícolas importados. Las políticas canadienses enfatizan la reducción del impacto ambiental y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Esto se traduce en una necesidad para los productores costarricenses de adaptarse a estas normativas mediante el uso de tecnologías que aseguren la trazabilidad del producto desde la producción hasta el consumidor final, procurando promover un comercio más justo y responsable.

Además, las certificaciones exigidas por el mercado canadiense pueden representar un reto en términos de costos y procesos para los pequeños productores de la Región Chorotega. Sin embargo, el uso de tecnologías como el blockchain para la trazabilidad y la digitalización de

procesos logísticos facilita el cumplimiento de estos estándares de manera más eficiente y efectiva. Estas herramientas permiten reducir el margen de error humano y optimizar los procesos administrativos (Ministerio de Agricultura, 2022).

### ***Adaptación tecnológica para cumplir políticas de sostenibilidad***

La adopción de tecnologías avanzadas es clave para cumplir con las políticas de sostenibilidad del mercado canadiense. Herramientas como blockchain, sistemas de monitoreo ambiental y plataformas de trazabilidad garantizan calidad y seguridad en la cadena de suministro. La agricultura de precisión y la gestión inteligente de recursos reducen el impacto ambiental y cumplen con regulaciones que promueven un comercio responsable, mejorando la competitividad de los granos costarricenses.

### **Certificaciones para la exportación de granos tradicionales a Canadá**

El mercado canadiense exige diversas certificaciones para permitir la importación de productos agrícolas. Entre las más relevantes se encuentran las certificaciones de comercio justo (Fair Trade), orgánicas y las relacionadas con la sostenibilidad, como las etiquetas verdes. Estas certificaciones no solo garantizan que los productos cumplen con los estándares de calidad y seguridad alimentaria, sino que también demuestran el compromiso de los productores con prácticas agrícolas sostenibles y socialmente responsables. Para obtener estas certificaciones, es necesario cumplir con procesos rigurosos de evaluación y auditoría, lo que representa un desafío para los pequeños productores. Sin embargo, estas certificaciones pueden abrir la puerta a nichos de mercado especializados y brindar acceso a incentivos fiscales y programas de apoyo financiero.

### ***Certificaciones requeridas***

Para exportar granos tradicionales a Canadá, se requieren certificaciones como Orgánica, Comercio Justo (Fair Trade), Trazabilidad (blockchain) y Buenas Prácticas Agrícolas (GAP). La Certificación Orgánica garantiza cultivos sin pesticidas ni fertilizantes sintéticos, cumpliendo con las normativas de seguridad alimentaria. La de Comercio Justo asegura condiciones laborales

dignas y producción sostenible. La de Trazabilidad permite rastrear el producto desde su origen hasta el consumidor, garantizando transparencia y seguridad. Finalmente, la GAP certifica que el cultivo y la cosecha cumplen con estándares internacionales de calidad. Estas certificaciones no solo abren puertas al mercado canadiense, sino que también refuerzan la reputación de los productos costarricenses.

### ***Impacto de las certificaciones***

Las certificaciones diferencian los productos en un mercado exigente, agregando valor y facilitando mejores negociaciones. Refuerzan la reputación del sector agrícola costarricense, fomentan la lealtad del consumidor y garantizan una cadena de suministro eficiente. Además, permiten acceder a incentivos económicos y cumplir con estándares internacionales de calidad. Aunque obtenerlas representa un reto para pequeños productores, el apoyo institucional y la adopción de tecnología pueden facilitar el proceso. Esto no solo mejora la competitividad, sino que también abre oportunidades en nichos de mercado especializados, fortaleciendo el comercio con Canadá.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### Enfoque Cualitativo

Este estudio adopta un enfoque cualitativo, ya que busca comprender en profundidad el impacto de la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega, específicamente en las exportaciones hacia Canadá durante el período 2023-2024. Este enfoque permite explorar las percepciones y experiencias de actores clave del sector, como productores, intermediarios, exportadores y autoridades comerciales, con relación a cómo estas tecnologías han influido en los procesos de producción, almacenamiento, transporte y comercialización. Al respecto, Hernández et al. (2018) indican que la investigación cualitativa estudia:

Los 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)

Este tipo de investigación parte de un problema inicial que se va definiendo a medida que avanza el estudio, lo cual permite adaptar el proceso metodológico según el contexto y los eventos que surjan. Esta flexibilidad es clave para comprender fenómenos complejos y dinámicos. Además, el enfoque cualitativo facilita la formulación de nuevas preguntas durante la recolección y análisis de datos, lo que enriquece la interpretación y favorece una comprensión más profunda del objeto de estudio.

De manera que, este enfoque es ideal para entender las dinámicas que no pueden ser fácilmente cuantificadas, como las estrategias de adaptación, los desafíos enfrentados por los productores en la adopción de tecnologías, y las oportunidades que han surgido con la mejora en la eficiencia de la cadena de suministro. A través de entrevistas en profundidad y análisis de

contexto, se podrá comprender cómo estas tecnologías están impactando la competitividad de las exportaciones de granos tradicionales hacia Canadá, dentro del marco de las regulaciones y exigencias del mercado canadiense.

### **Diseño Cualitativo**

Compilatio (2024) señala que la investigación cualitativa privilegia la calidad sobre la cantidad de los datos, ya que busca comprender en profundidad los hechos, comportamientos y fenómenos desde la perspectiva de quienes los experimentan. Este diseño adopta una lógica flexible y emergente, lo que permite al investigador ajustar preguntas, técnicas y muestra conforme avanza el estudio. Tal adaptabilidad facilita la exploración de significados y matices que a menudo se pierden en enfoques más estructurados. El contacto directo con los participantes y el análisis iterativo refuerzan la validez de las interpretaciones, al contrastar continuamente las observaciones con los relatos de los actores, convirtiendo el proceso en una reflexión constante.

### **Fenomenología empírica**

Primeramente, el diseño de la investigación cualitativa es fundamental para guiar el proceso metodológico, proporcionando un enfoque claro y estructurado que permita alcanzar los objetivos planteados. Según Hernández et al. (2018), “En la ruta cualitativa es el abordaje general que se utilizará en el proceso de investigación.” (p.524). Este diseño establece el camino a seguir para la recolección y análisis de los datos, asegurando que cada paso contribuya de manera efectiva a la construcción del conocimiento y a la validación de las hipótesis de estudio.

En esta investigación, se adoptará un diseño fenomenológico empírico, ya que se centra en comprender las experiencias y perspectivas de los actores involucrados en la gestión logística y la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la región Chorotega. Esta metodología facilita la recopilación y el análisis de las vivencias de productores, exportadores y otros actores logísticos, permitiendo evaluar cómo las innovaciones tecnológicas han impactado la eficiencia y resiliencia de estas cadenas de suministro.

El propósito de este diseño, tal como lo explican Hernández et al. (2018), es “explorar, describir y comprender las experiencias de las personas respecto a un fenómeno y descubrir los elementos en común de tales vivencias.” (p.548). En este contexto, se espera identificar patrones comunes en las experiencias de los participantes y comprobar cómo la adopción de tecnologías logísticas mejora la eficiencia operativa y la competitividad. Además, el análisis permitirá proponer recomendaciones prácticas para optimizar las estrategias logísticas del sector de granos tradicionales, promoviendo su sostenibilidad y expansión en mercados internacionales.

## **Población y muestra**

### **Población**

En la presente investigación, se trabajará con una población finita, conformada por personas involucradas en la gestión logística y en la implementación de tecnologías dentro de las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega. Esta población está integrada por productores, exportadores, asesores logísticos, encargados de almacenes y personal técnico que desempeña funciones clave en las operaciones agrícolas, tanto a nivel productivo como tecnológico. La selección de esta población responde a la necesidad de recopilar información desde una perspectiva amplia y representativa del sector, considerando los distintos niveles de intervención que influyen en la eficiencia del proceso exportador.

También se entrevistará a personas clave que, por su experiencia y conocimiento, puedan aportar insumos relevantes sobre el impacto que tiene la implementación tecnológica en la eficiencia operativa de la cadena de suministro. Este criterio permitirá obtener datos cualitativos útiles para el análisis, así como insumos prácticos que ayuden a formular recomendaciones aplicables en el corto y mediano plazo. De esta forma, se busca que la información recopilada no solo describa la situación actual, sino que también contribuya a orientar posibles acciones de mejora en el sector agroexportador regional.

### **Muestra**

La selección de la muestra en estudios cualitativos se basa en criterios intencionados que responden a los objetivos del estudio y a las particularidades del fenómeno en análisis. En lugar de representar estadísticamente a la población, se prioriza la participación de personas con experiencias o conocimientos significativos que permitan un abordaje profundo del tema. En esta investigación, el propósito es entender el impacto de la tecnología en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales, por lo que se recurre a un muestreo deliberado. Según Bailey (citado en Hernández y Mendoza, 2018):

Los tipos de muestras que suelen utilizarse en las investigaciones cualitativas son las no probabilísticas o dirigidas, cuya finalidad no es la generalización en términos de probabilidad. También se les conoce como propositivas (guiadas por uno o varios propósitos), pues la elección de los elementos depende de razones relacionadas con las características de la investigación." (p.429).

### **Muestra cualitativa**

La muestra estará conformada por personas con experiencia y conocimiento relevante sobre el tema, seleccionadas mediante un muestreo por conveniencia, acorde con el enfoque cualitativo de la investigación. Este tipo de selección permite incluir participantes cuya trayectoria profesional, funciones en el sector o vinculación con los procesos logísticos y tecnológicos les brindan una perspectiva significativa. Hernández y Mendoza (citando a Battaglia, 2018) señalan que las muestras de participantes voluntarios son frecuentes en estudios cualitativos, ya que permiten obtener información rica y contextualizada. Además, esta estrategia resulta pertinente cuando la elección de los elementos se basa en características particulares del estudio.

En este trabajo se procuró integrar perfiles diversos del sector agroexportador, con experiencia directa o indirecta en las cadenas de suministro de granos tradicionales. El objetivo fue incluir voces representativas que aportaran desde distintos niveles del proceso: desde la producción primaria hasta el análisis logístico y la visión comercial de la exportación. Esta diversidad en los perfiles seleccionados permite construir una visión más completa sobre la implementación

tecnológica en la Región Chorotega. A continuación, se presenta la tabla con el detalle de los entrevistados, su posición laboral y el motivo de su participación en la investigación:

**Tabla 1: Muestra**

Número de entrevistado	Puesto	Motivo
Entrevistado #1	Gerente de Logística	Experiencia en gestión de la cadena de suministro agrícola
Entrevistado #2	Productor de Granos Tradicionales	Conocimiento práctico sobre la adopción de tecnologías
Entrevistado #3	Asesor Logístico	Especialista en optimización de procesos logísticos
Entrevistado #4	Encargado de Almacén	Manejo de tecnologías de almacenamiento y trazabilidad
Entrevistado #5	Exportador	Perspectiva sobre la competitividad en el mercado canadiense
Entrevistado #6	Analista de Transporte	Experiencia en rutas de exportación y manejo de tecnologías
Entrevistado #7	Jefe de Operaciones	Optimización de procesos productivos con tecnología
Entrevistado #8	Especialista en Comercio Internacional	Conocimiento sobre normativas y requisitos del mercado canadiense

Entrevistado #9	Representante Institucional (Ministerio de Agricultura)	Aporte sobre políticas públicas y programas de apoyo tecnológico
Entrevistado #10	Técnico de Campo (Entidad cooperativa)	Acompañamiento a productores en procesos de modernización y uso de tecnología

*Nota:* Elaboración propia (2025)

### Unidades de Análisis

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), “Cuando el investigador recolectó los datos y los revisó a fondo, este tiene en mente cuál puede ser la unidad o unidades de análisis (porque puede haber varias, más si se utilizaron diferentes instrumentos de recolección de datos)” (p.471-472). En esta investigación, las unidades de análisis se centran en los procesos logísticos, las barreras tecnológicas y los impactos de las innovaciones en la eficiencia de las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales.

**Tabla 2: Cuadro de Unidades**

<b>OBJETIVO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>DEF. CONCEPTUAL</b>	<b>INSTRUMENTALIZACIÓN</b>
Examinar las tecnologías aplicadas en las cadenas de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega durante el proceso de exportación hacia Canadá	Tecnologías	Sensores. Costos. Humedad. Capacitación. Trazabilidad.	"La tecnología se refiere al conjunto de conocimientos, técnicas y procesos que, aplicados de manera lógica y ordenada, permiten al ser humano diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio y la satisfacción de sus	De la pregunta número 1 al número 5.

			necesidades" (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).	
Determinar la mejora ofrecida por las herramientas tecnológicas para la trazabilidad del producto en las cadenas de suministro agroexportadoras de la Región Chorotega	Trazabilidad	Código QR.  Control de calidad.  Mejores precios.  Plataformas digitales.  Blockchain.	De acuerdo con Flores Valle (2023), "la trazabilidad se define como la capacidad de seguir el recorrido de un producto a lo largo de toda la cadena de suministro, garantizando transparencia y control en cada etapa del proceso" (p. 47).	De la pregunta número 6 al número 10.
Identificar las limitantes de los productores del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega para la implementación de tecnologías en sus cadenas de suministro orientadas a la exportación hacia Canadá	Limitaciones	Costo inicial.  Falta de financiamiento.  Internet limitado.  Maquinaria.  Riesgo de pérdidas.	Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, s.f.), las limitaciones en el acceso a tecnologías en el ámbito rural incluyen barreras económicas, falta de infraestructura, escasa capacitación técnica y brechas de conectividad, lo cual dificulta la adopción de innovaciones tecnológicas en la agricultura.	De la pregunta número 11 al número 15.

*Nota:* Elaboración propia (2025)

## **Instrumento Cualitativo**

En la presente investigación, el instrumento seleccionado para la recolección de datos es la entrevista semiestructurada, ya que permite una interacción directa y flexible con los participantes clave, tales como productores, exportadores y especialistas en logística del sector de granos tradicionales en la Región Chorotega. Según Hernández y Mendoza (2018), “el instrumento de recolección de los datos cualitativos es el investigador, auxiliándose de diversas herramientas como las entrevistas, la observación y las sesiones grupales” (p. 443). Esto resalta la importancia del papel activo del investigador en la obtención de datos valiosos.

### **Entrevista**

Se ha seleccionado la entrevista semiestructurada específicamente por su capacidad para adaptar las preguntas al contexto y permitir una mayor profundización en las respuestas. Esta técnica ofrece la posibilidad de ajustar las preguntas en función de las respuestas obtenidas, lo cual es fundamental para captar las experiencias subjetivas y las percepciones personales de los participantes. Además, facilita la exploración de temas sensibles y complejos, como las barreras tecnológicas y los desafíos logísticos en la exportación de productos agrícolas.

### **Proceso de Recolección de Datos**

El proceso de recolección de datos se llevará a cabo en distintas etapas planificadas cuidadosamente para garantizar la validez del estudio. En primer lugar, se identificarán y seleccionarán participantes clave mediante un muestreo no probabilístico intencional, asegurando que los entrevistados posean experiencia directa con el uso de tecnologías en las cadenas de suministro. Posteriormente, se coordinarán las entrevistas, las cuales podrán realizarse de forma presencial o virtual, de acuerdo con la disponibilidad, ubicación y conveniencia de los participantes seleccionados.

Este proceso busca no solo obtener información descriptiva, sino también captar en profundidad las experiencias y percepciones de los actores involucrados en el sector. A través del

contacto directo con los entrevistados, se podrán abordar aspectos clave del fenómeno investigado, como la implementación tecnológica, los desafíos en logística y las oportunidades de mejora. Esta fase del trabajo de campo es esencial para construir una visión amplia y representativa de la realidad estudiada. Según Hernández y Mendoza (2018) la recolección de datos es importante porque:

Para el enfoque cualitativo, al igual que para el cuantitativo, la recolección de datos resulta fundamental, solamente que su propósito no es medir variables para llevar a cabo inferencias y análisis estadístico. Lo que se busca en un estudio cualitativo es obtener datos (que se convertirán en información) de personas, otros seres vivos, comunidades, situaciones o procesos en profundidad; en las propias “formas de expresión” de cada unidad de muestreo. (p.443)

Durante las entrevistas, se utilizará una guía semiestructurada basada en los objetivos específicos de la investigación, que permita mantener el enfoque sin restringir las respuestas. Esto brindará la flexibilidad necesaria para profundizar en temas como trazabilidad, eficiencia logística o barreras tecnológicas, de acuerdo con la experiencia de cada entrevistado. Las sesiones serán grabadas, previo consentimiento informado, y posteriormente transcritas con fines analíticos, respetando en todo momento los principios éticos del proceso investigativo.

Finalmente, los datos obtenidos serán analizados mediante técnicas de codificación cualitativa, permitiendo organizar la información en categorías y temas emergentes. Este análisis facilitará la identificación de patrones, similitudes y contrastes entre las distintas perspectivas recogidas. De esta manera, se garantizará que las conclusiones del estudio estén fundamentadas en evidencia contextualizada, reflejando fielmente las voces de quienes viven y enfrentan los procesos de transformación tecnológica en el sector de granos tradicionales de la Región Chorotega.

### **Fuentes de Información**

Las fuentes de información son esenciales para sustentar la presente investigación, ya que permiten recopilar datos valiosos y diversas perspectivas sobre el impacto de la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector de granos tradicionales en la región

Chorotega. Según Hernández y Mendoza (2018), “En la indagación cualitativa se puede acceder a un espectro más amplio y profundo de información al utilizar múltiples fuentes, lo que facilita una visión holística del fenómeno estudiado” (p.464). Por ello, se emplearán fuentes primarias y secundarias para obtener una base sólida y fundamentada.

### **Fuentes Primarias**

Las fuentes primarias se refieren a aquellos documentos, datos o materiales que proporcionan información directa y original sobre un tema o fenómeno en particular. Estas pueden obtenerse a través de libros, revistas científicas y de entretenimiento, documentos oficiales de instituciones públicas, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, patentes, normas técnicas, tesis y entrevistas. Hernández y Mendoza (2018) mencionan al respecto:

En todas las áreas de conocimiento, las fuentes primarias más utilizadas para elaborar marcos teóricos son libros, artículos de revistas científicas y ponencias o trabajos presentados en congresos, simposios y eventos similares, entre otras razones porque son las que sistematizan en mayor medida la información, profundizan más en el tema que desarrollan, son examinadas y arbitradas por investigadores o profesionales experimentados. (p.76)

En esta investigación, las fuentes primarias incluyen entrevistas semiestructuradas a actores clave como productores, exportadores y especialistas en logística agrícola, quienes brindarán información directa sobre experiencias y desafíos tecnológicos. Además, se emplearán observaciones en visitas a centros logísticos y agrícolas para complementar y validar los datos obtenidos. Las fuentes secundarias contemplan documentos académicos, informes institucionales, tesis, libros especializados y reportes técnicos de entidades oficiales, lo que proporcionará contexto y sustento teórico para el análisis de resultados.

### **Fuentes Secundarias**

Por otro lado, las fuentes secundarias constituyen un recurso fundamental en la investigación, ya que recopilan, analizan, interpretan o sintetizan información derivada de fuentes primarias. En este sentido, se emplean materiales como enciclopedias, antologías, directorios, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones. Al respecto, Coll (2021) resalta que la finalidad de este recurso es: “indicar la fuente o el lugar en el que podemos extraer la información de la fuente primaria.” (párr.3).

Las fuentes secundarias que se utilizarán abarcan una amplia variedad de documentos académicos y técnicos, tales como artículos científicos, informes institucionales, tesis, libros y documentos oficiales de organizaciones relevantes como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER) y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). También se consultarán bases de datos académicas como Scielo, Redalyc y Google Scholar para acceder a estudios previos y literatura especializada que aporte contexto y apoyo teórico al desarrollo de la investigación.

Estas Estas fuentes secundarias permitirán analizar información previamente publicada sobre la adopción de tecnologías logísticas en el sector agrícola, identificando tendencias, casos de éxito y mejores prácticas que puedan ser aplicables al contexto de la región Chorotega. Asimismo, facilitarán la comparación de diferentes marcos conceptuales y metodológicos provenientes de diversos entornos agrícolas, enriqueciendo el análisis crítico de la evidencia existente. La combinación de fuentes primarias y secundarias contribuirá a obtener un enfoque integral, fortaleciendo la validez y fiabilidad de los hallazgos de esta investigación.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se presentan los principales hallazgos obtenidos a través de las entrevistas realizadas a productores, exportadores y especialistas en logística vinculados a las cadenas de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega, orientadas a la exportación hacia Canadá en el periodo 2023-2024. Para iniciar, se muestra la Tabla N.º 3, donde se organizan las categorías emergentes según las unidades relacionadas con los tres objetivos del estudio sobre la incorporación de tecnologías.

Posteriormente, se describe y analiza cada categoría identificada, contrastando las percepciones de los participantes con la información recopilada en la revisión documental. Finalmente, se incluye un apartado de interpretación que responde al problema de investigación y vincula los hallazgos con la eficiencia y competitividad de las exportaciones de granos tradicionales. A continuación, se detallan las unidades y categorías de análisis que servirán de base para este estudio.

**Tabla 3: Unidades y categorías de análisis**

<b>Unidades</b>	<b>Categorías</b>
Tecnologías.	Sensores. Costos. Humedad. Capacitación. Trazabilidad.
Trazabilidad.	Código QR. Control de calidad. Mejores precios. Plataformas digitales. Blockchain.

Limitaciones.	Costo inicial. Falta de financiamiento. Internet limitado. Maquinaria. Riesgo de pérdidas.
---------------	--

*Nota:* Elaboración Propia, 2025.

### **Unidad de análisis 1: Tecnologías**

Esta unidad examina las tecnologías incorporadas por los actores de la cadena de granos tradicionales en la Región Chorotega durante 2023-2024 con destino al mercado canadiense, en cumplimiento del Objetivo 1 de la presente investigación. El análisis se centra en cómo dichas herramientas digitales inciden en la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización, así como en el valor añadido que generan en los productos exportados. Según la FAO (2025), las innovaciones digitales están transformando la logística agroexportadora:

Las iniciativas de digitalización de la cadena de suministro y de trazabilidad mediante blockchain, impulsadas tanto por grandes empresas alimentarias como por pymes, están mejorando la gestión de riesgos, reduciendo las pérdidas y ampliando el acceso al mercado para los pequeños productores. Las plataformas digitales permiten el monitoreo en tiempo real de la producción, el procesamiento, el almacenamiento y el transporte... (p. 113)

Con base en lo expuesto, la adopción de tecnologías digitales se vuelve ineludible para productores y empresas pequeñas, medianas o grandes que participan en la cadena de granos tradicionales de la Región Chorotega. Más allá de optimizar procesos y reducir pérdidas, estas herramientas permiten cumplir los estándares de inocuidad y trazabilidad exigidos por el mercado canadiense, elevan la calidad percibida del producto y fortalecen la competitividad regional. Las categorías mencionadas por los entrevistados fueron las siguientes:

1. Sensores.
2. Costos.
3. Humedad.
4. Capacitación.
5. Trazabilidad.

## **Categoría 1: Sensores**

### ***Descripción***

Esta categoría se construyó a partir de la pregunta dirigida a los especialistas: ¿Qué tecnologías se utilizan actualmente en las diferentes etapas de la cadena de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega? Las respuestas fueron diversas; no obstante, este análisis permite identificar las tecnologías digitales que generan valor agregado en la producción y exportación de granos tradicionales, fortaleciendo la competitividad y la trazabilidad del producto. A continuación, se exponen los testimonios más relevantes de los entrevistados:

*“Usamos drones y satimetría para mapear el suelo y vigilar el estado del cultivo; estaciones meteorológicas IoT ligadas a la app Agroclima CR que envían alertas de riego y plagas; GPS para monitorear la siembra; sensores que ajustan la fertilización.” (Entrevistado 1)*

*“Se utilizan sistemas de riego tecnificado, sensores de humedad y estaciones meteorológicas para optimizar el cultivo. En la cosecha, se emplea maquinaria con sensores para determinar el momento ideal de recolección.” (Entrevistado 3)*

*“Una vez cosechado, el grano entra a silos con sensores de temperatura y humedad que nos avisan si algo se sale de rango.” (Entrevistado 4)*

*“Siembra asistida por GPS y nivelación láser; estaciones agroclimáticas que regulan riego; secadora de flujo intermitente con control digital; sensores de humedad y temperatura en silos.” (Entrevistado 6)*

*“En campo empleamos pivotes con telemetría, nivelación láser y siembra guiada por GPS; después de cosecha, el arroz pasa por secadoras continuas multietapa con control digital y a silos metálicos sensorizados (temperatura + humedad).” (Entrevistado 7)*

*“En la producción usamos sensores de humedad y pequeñas estaciones climáticas; después de cosechar contamos con una máquina de limpieza de frijol, una cámara fría y silos metálicos. Para el transporte llevamos un GPS en el camión y registramos las entregas en una aplicación sencilla de celular.” (Entrevistado 8)*

*“Por ejemplo, usamos sensores de suelo y apps climáticas para programar riego y para exportar usamos GPS en los camiones y un sistema de gestión de almacén que genera la guía electrónica.” (Entrevistado 9)*

### **Análisis**

La evidencia recogida confirma que los sensores inteligentes constituyen el corazón de la digitalización de la cadena de granos tradicionales en la Región Chorotega. En campo, los productores usan sondas de humedad y conductividad, GPS y satimetría para mapear la variabilidad de nutrientes; así aplican agua y fertilizante solo donde se necesita, bajan el gasto de insumos y suben el rendimiento. Las estaciones climáticas enlazadas al celular alertan sobre riego y plagas con horas de anticipación, lo que mitiga los efectos de las sequías recurrentes y reduce el riesgo de pérdidas.

En la cosecha y el acondicionamiento, la maquinaria con sensores de humedad indica el punto óptimo de corte y ajusta de forma automática la temperatura de secado, evitando granos partidos o contaminados por hongos. Una vez almacenado, el grano entra en silos monitorizados que registran temperatura y ventilación minuto a minuto; si algo se sale de rango se activa una alarma, se corrige y queda todo documentado en la plataforma de calidad. Este control continuo no solo baja las mermas: genera los reportes que exigen los compradores internacionales para garantizar inocuidad y consistencia.

De acuerdo con la FAO, “la digitalización de la cadena y la trazabilidad en tiempo real mejoran la gestión de riesgos y abren mercados de mayor valor” (FAO, 2025, p. 113). Los hallazgos coinciden la telemetría de los sensores permite decisiones predictivas y registros verificables, elementos que los clientes canadienses consideran clave para pagar un precio superior. De este modo, la adopción de sensores cumple el Objetivo 1 de la investigación al demostrar cómo la tecnología eleva competitividad y reputación de los productores chorotegas.

## **Categoría 2: Costos**

### ***Descripción***

Derivada de la pregunta ¿Qué factores han influido en la selección dentro de la cadena de suministro de granos tradicionales?, esta categoría reúne las variables económicas que condicionan cada decisión a lo largo de la cadena, desde la elección de insumos y tecnologías hasta la definición de rutas logísticas, modalidades de financiamiento y estrategias de cobertura cambiaria, siendo factores que determinan la competitividad del grano proveniente de la Región Chorotega en el mercado canadiense. Como menciona el BID (2024), “los costos logísticos pueden absorber hasta un 25 % del valor FOB de una agroexportación, por lo que reducirlos resulta clave para sostener márgenes y acceder a mercados exigentes” (p. 22).

*“La elección de tecnologías la han marcado, ante todo, las exigencias de trazabilidad y calidad de los diferentes compradores y la necesidad de bajar costos logísticos y mermas.”*  
(Entrevistado 1)

*“Principalmente la necesidad de mantener altos estándares de calidad, cumplir con requisitos de nuestros compradores y reducir costos por pérdidas. También ha influido la variabilidad climática, especialmente la sequía, lo que nos llevó a adoptar tecnologías que optimicen el uso del agua y mejoren la planificación agrícola.”* (Entrevistado 3)

*“Escogemos equipos capaces de asegurar al menos 98 % de grano entero y sostener nuestra certificación “Libre de pesticidas”. Además, deben funcionar en el clima seco de Guanacaste para mitigar mermas por sequía y mostrar un retorno claro.” (Entrevistado 5)*

*“Buscamos tecnologías que reduzcan costos operativos electricidad, agua y diésel, mitiguen pérdidas por sequía y cumplan metas ambientales nacionales.” (Entrevistado 6)*

*“Priorizamos soluciones que recorten costos energéticos, funcionen bien bajo el clima seco de Cañas Bagaces y se alineen con la estrategia corporativa de descarbonización.” (Entrevistado 7)*

*“Elegimos la tecnología según cuánto vale frente al beneficio, lo que exigen nuestros compradores y la necesidad de reducir pérdidas por la sequía que afecta la zona.” (Entrevistado 8)*

*“Antes de comprar cada equipo comparamos el costo de la inversión con lo que nos ahorra en fletes, merma y mano de obra.” (Entrevistado 9)*

### **Análisis**

Los hallazgos evidencian que las decisiones tecnológicas en la cadena de suministro de granos tradicionales están profundamente influenciadas por criterios económicos. Lejos de basarse en la innovación por sí misma, los productores priorizan tecnologías que aseguren rentabilidad al reducir mermas, ahorrar recursos y mantener estándares de calidad exigidos por mercados como el canadiense. Herramientas como sensores de humedad, estaciones climáticas y maquinaria con control digital permiten optimizar el uso de agua, diésel y electricidad, a la vez que aumentan el porcentaje de grano entero, lo que se traduce en un mayor valor por tonelada

A este criterio económico se suma la presión de la variabilidad climática, particularmente la sequía, que obliga a adoptar soluciones resilientes en zonas como Cañas y Bagaces. Las decisiones también están marcadas por variables estructurales como el costo del transporte y la

energía. Como advierte el BID (2024), pueden representar hasta un 25 % del valor FOB de una agroexportación (p. 22), afectando directamente la competitividad frente a otros países. Por eso, los entrevistados destacan que toda inversión debe ofrecer un retorno claro y adaptarse a las condiciones ambientales locales, como el clima seco de zonas como Cañas o Bagaces.

Finalmente, el concepto de costo se amplía hacia una lógica integral que combina sostenibilidad ambiental, rentabilidad y cumplimiento normativo. Tecnologías que ayudan a sostener certificaciones, o que se alinean con metas de descarbonización y eficiencia energética, son vistas como inversiones estratégicas, más que como simples gastos. De esta manera, el manejo de los costos se presenta como una herramienta clave para mantener la competitividad del grano de la Región Chorotega en el mercado canadiense, alineándose con el Objetivo 1 de esta investigación.

### **Categoría 3: Humedad**

#### ***Descripción***

A partir del análisis de las respuestas a la pregunta ¿Cómo ha impactado el uso de tecnologías en la reducción de costos logísticos?, se identificó esta categoría, que destaca la importancia del control de la humedad como un factor clave para minimizar pérdidas postcosecha, evitar rechazos en destino y reducir costos asociados a reprocesos o penalizaciones. Tecnologías como sensores integrados en maquinaria, sistemas automatizados de secado y monitoreo continuo en silos han permitido mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos y asegurar el cumplimiento de los estándares internacionales, favoreciendo una logística más rentable y ajustada a los requisitos del comercio exterior.

*“Al digitalizar rutas y usar sensores IoT en silos hemos bajado un 12 % los kilómetros en vacío y un 8 % las mermas por humedad, lo que se traduce en una reducción global cercana al 15 % del costo logístico por tonelada exportada.” (Entrevistado 1)*

*“Al tener un mejor control sobre la humedad del grano y los tiempos de secado, reducimos pérdidas por producto dañado.” (Entrevistado 3)*

*“El control de humedad al 13 % y la clasificación óptica redujeron devoluciones internas y fletes adicionales; medido en nuestros estados de costo, el gasto logístico total cayó alrededor de 6 % anual al disminuir penalizaciones por calidad y viajes innecesarios.” (Entrevistado 5)*

*“El secado preciso controla la humedad al 13 %, baja ~20 % la merma por grano quebrado y evita sobrepeso en flete, recortando el costo logístico.” (Entrevistado 6)*

*“El secado uniforme mantuvo la humedad objetivo (13 %), lo que redujo mermas y eliminó un 8 % de fletes internos por reprocesos.” (Entrevistado 7)*

*“El secador deja el grano con la humedad justa; si queda muy húmedo se pudre y si queda muy seco se parte. Con el punto correcto evitamos que se pierda peso y el cliente recibe un producto sano” (Entrevistado 9)*

### **Análisis**

El control de la humedad representa una estrategia determinante para reducir pérdidas, optimizar la logística y garantizar la calidad del grano exportado desde la Región Chorotega. Según relatan los entrevistados, tecnologías como sensores en silos, secadores automáticos y monitoreo digital permiten mantener el grano en condiciones óptimas, evitando tanto el sobresecado como el exceso de humedad, lo que reduce mermas por quiebre, pérdidas de peso y deterioro durante el transporte

Este manejo técnico de la humedad tiene un impacto directo en los costos logísticos. Eliminar reprocesos, reducir viajes internos y evitar devoluciones disminuye los gastos por tonelada y mejora la rentabilidad global. En línea con estos hallazgos, el IICA destaca que “las pérdidas postcosecha en granos por manejo inadecuado de la humedad pueden superar el 15 % del

volumen total, generando impactos negativos en la logística, la inocuidad y la competitividad de la exportación” (IICA, 2022, p. 41).

En este sentido, la tecnología de control de humedad deja de ser únicamente un criterio de calidad para consolidarse como una herramienta de gestión integral. Al reducir riesgos operativos y financieros, brinda a los productores la capacidad de cumplir con las exigencias del mercado canadiense de forma más eficiente y sostenible, al tiempo que fortalece su competitividad en mercados altamente exigentes y contribuye de manera directa y medible al cumplimiento del Objetivo 1 de esta investigación.

#### **Categoría 4: Capacitación**

##### ***Descripción***

A partir del análisis de las respuestas a la pregunta ‘¿Qué tipo de capacitación ha recibido para utilizar estas tecnologías de manera efectiva?’, la capacitación emerge como pilar de la transformación tecnológica en la cadena de granos: refuerza competencias en trazabilidad, mantenimiento predictivo y buenas prácticas agrícolas, reduciendo errores y facilitando el cumplimiento normativo que exige el mercado canadiense. Además, se ha comprobado que los programas formativos disminuyen entre 10 % y 15 % las pérdidas por humedad postcosecha, demostrando la rentabilidad de invertir en capital humano (Fundación para el Desarrollo Empresarial y Agrícola [FUNDEBASE], 2022).

*“Participé en talleres presenciales del MAG y PROCOMER sobre trazabilidad digital, completé un curso en línea de la plataforma FieldView para interpretación de mapas NDVI, y recibí capacitación en sitio por el proveedor de sensores IoT para calibrar las estaciones meteorológicas y el software de alertas.” (Entrevistado 1)*

*“Hemos recibido formación especializada en operación de maquinaria automatizada, mantenimiento de sistemas solares, empaque al vacío y procedimientos de inocuidad y calidad en planta industrial.” (Entrevistado 2)*

*“Nuestro equipo técnico ha participado en capacitaciones del MAG e INA, así como entrenamientos directos de los proveedores de maquinaria y sistemas de control. También hemos recibido asesoría para la implementación de la norma ISO 50001 en gestión energética y procesos industriales.” (Entrevistado 3)*

*“No basta con comprar la máquina: el operador la tiene que entender. Por eso enviamos cuadrillas al INA para cursos de agricultura de precisión al mismo tiempo recibimos capacitaciones in-house de John Deere y Satake. A nivel de planta, todo el equipo pasa por nuestro programa HACCP e ISO 22000. (Entrevistado 4)*

*“Nuestro personal ha cursado talleres del INA en secado, HACCP e ISO 22000; y el MAG brinda formación sobre estaciones meteorológicas y gestión de riego.” (Entrevistado 5)*

*“Talleres MAG/INA sobre secadoras y estaciones meteorológicas, asesoría Conarroz en eficiencia y cursos internos de inocuidad.” (Entrevistado 6)*

*“El equipo agrícola cursó módulos de agricultura de precisión (INA) y sesiones in-house con los fabricantes de secadoras; planta completó certificación FSSC-22000 para inocuidad digitalizada.” (Entrevistado 7)*

*“Recibimos un taller del Ministerio de Agricultura sobre manejo de equipos; además, el proveedor de la máquina vino dos veces a enseñarnos cómo operarla.” (Entrevistado 8)*

### **Análisis**

Los testimonios muestran que la capacitación es el enlace decisivo entre la inversión tecnológica y las mejoras reales en productividad y calidad. El personal se forma en tres frentes complementarios: extensión agrícola pública, que cubre operación básica de equipos y manejo postcosecha; talleres de proveedores, orientados a la calibración de sensores, maquinaria automatizada y software; y certificaciones internacionales, que abarcan gestión energética,

inocuidad y trazabilidad. Esta combinación diversifica el conocimiento, evita depender de un solo actor y mantiene al equipo actualizado.

Operativamente, la formación reduce errores y rechazos al permitir ajustes precisos, por ejemplo, en parámetros de secado y una documentación correcta de la trazabilidad, lo que disminuye penalizaciones y reprocesos. Estratégicamente, capacitar a todo el personal crea una cultura de mejora continua que facilita la adaptación a nuevas demandas regulatorias y tecnológicas, condición indispensable para sostener contratos con compradores de alto valor.

A nivel estratégico, capacitar a todo el personal genera una cultura de mejora continua que facilita la adaptación a nuevas exigencias regulatorias y tecnológicas, indispensable para conservar contratos con compradores de alto valor. La literatura respalda este efecto: los programas formativos pueden recortar entre 10 % y 15 % las pérdidas asociadas al manejo de la humedad, demostrando la rentabilidad de invertir en capital humano (FUNDEBASE, 2022). En consecuencia, la capacitación se reafirma como factor clave para aprovechar la tecnología y mantener la competitividad de la cadena de granos tradicionales en mercados exigentes.

## **Categoría 5: Trazabilidad**

### ***Descripción***

Hallak y Tacsir (2021) sostienen que las prácticas y herramientas de trazabilidad, al registrar y seguir el grano en cada etapa de la cadena, incrementan la eficiencia del proceso exportador hacia destinos exigentes como el canadiense. A partir de las respuestas a la pregunta “¿Cómo han influido estas tecnologías en la eficiencia general del proceso de exportación hacia mercados como el canadiense?”, esta categoría reúne precisamente dichas prácticas y las percepciones de los actores sobre el aporte de estas tecnologías a la competitividad exportadora.

*“Con la trazabilidad QR, los sensores IoT y la facturación electrónica integrada, pasamos de 7 a 3 días en armar lotes y tramitar documentos, eliminamos rechazos fitosanitarios en puerto*

*y elevamos la puntualidad de embarque al 98 %, agilizando notablemente los flujos de exportación.” (Entrevistado 1)*

*“Gracias a la automatización en planta y la trazabilidad por lote, podemos cumplir con los estándares de calidad exigidos por mercados internacionales. Tener control de temperatura y humedad en silos, así como registros de procesos, ha reducido rechazos y mejorado nuestros tiempos de respuesta ante inspecciones o auditorías externas.” (Entrevistado 3)*

*“En el programa piloto, la trazabilidad por lote y el sello ecológico redujeron el tiempo de aprobación de muestras de 30 a 18 días y eliminaron rechazos sanitarios, agilizando la concreción de pedidos y fortaleciendo la reputación ante importadores canadienses.” (Entrevistado 5)*

*“La trazabilidad con QR redujo en 3 días el armado de lotes y prácticamente eliminó rechazos, agilizando los embarques.” (Entrevistado 5)*

*“Con el QR por lote surtimos expedientes digitales en un día (antes tres) y evitamos rechazos de calidad, agilizando cualquier envío piloto a Norteamérica.” (Entrevistado 7)*

*“Cada paso queda registrado: cuándo se cosechó, cuándo se secó, cuándo se empaquetó y quién lo cargó. Eso nos permite demostrarle al comprador el camino completo del grano.” (Entrevistado 9)*

## **Análisis**

La evidencia empírica señala que la trazabilidad digital se ha convertido en un factor decisivo de eficiencia. La integración de códigos QR, sensores IoT y facturación electrónica agiliza la consolidación de lotes y la gestión documental, reduciendo tiempos operativos y costos portuarios. Este progreso respalda el Objetivo 1, pues muestra cómo la tecnología optimiza el flujo logístico y libera capital de trabajo, en línea con lo planteado por Hallak y Tacsir (2021) acerca de la ventaja competitiva que aporta la trazabilidad.

Al mismo tiempo, el sistema actúa como mecanismo preventivo de calidad y riesgo. El monitoreo continuo de las condiciones de almacenamiento y el registro detallado de cada etapa han eliminado rechazos sanitarios y garantizado el cumplimiento de la normativa internacional. De este modo se alcanza el Objetivo 2: el seguimiento integral no solo certifica el origen del grano, sino que protege la rentabilidad del exportador y refuerza su reputación en mercados altamente exigentes.

## **Unidad de análisis 2: Trazabilidad**

Esta segunda unidad se orienta a identificar cómo la incorporación de sistemas de trazabilidad digital ha incidido, durante el periodo 2023-2024, en la exportación de granos tradicionales de la Región Chorotega hacia Canadá. Las respuestas de productores, exportadores y operadores logísticos revelan que la trazabilidad no solo asegura el origen y la calidad del producto, sino que también fortalece la confianza con los compradores, agiliza procesos aduaneros y mejora la gestión de riesgos a lo largo de la cadena de suministro.

A partir del análisis de las entrevistas, se identificaron diversas formas en que la trazabilidad digital se ha integrado en la cadena de suministro, tanto en el ámbito productivo como logístico y comercial. Además de facilitar el cumplimiento normativo, estas prácticas han reforzado la reputación del producto costarricense en mercados internacionales exigentes. De este análisis emergieron cinco categorías que permiten comprender su alcance e impacto en el proceso exportador:

1. Código QR.
2. Control de calidad.
3. Mejores precios.
4. Plataformas digitales.
5. Blockchain.

### **Categoría 1: Código QR**

## **Descripción**

Derivada de la pregunta “¿De qué manera las tecnologías utilizadas permiten dar seguimiento al producto desde su producción hasta la exportación?”, esta categoría se centra en el uso del código QR como herramienta clave de trazabilidad aplicada a los granos tradicionales. Según los testimonios, su implementación vincula cada lote con datos sobre origen, tratamiento, transporte y destino; este acceso inmediato en finca, planta o puerto fortalece la transparencia, la confianza comercial y el cumplimiento de estándares internacionales que exige el mercado canadiense (Nove, 2025).

*“Cada lote recibe un código QR generado por el ERP; ese QR está enlazado a los datos del sensor IoT del silo, al registro de campo (drones + estaciones meteorológicas) y a los certificados fitosanitarios subidos al sistema TICA. Así, el comprador escanea el QR y ve la trazabilidad completa ‘de la parcela al contenedor’ en un solo dashboard.” (Entrevistado 1)*

*“El lote se identifica desde su entrada a planta y se le asigna un código que nos permite rastrear desde qué finca proviene, cuándo se cosechó, qué procesos ha seguido y en qué condiciones se ha almacenado.” (Entrevistado 3)*

*“Los lotes reciben un código al momento de cosecha. Ese identificador vive en nuestra base de datos y acompaña al grano mientras se mueve por el silo, el molino, el empaque y, por último, el contenedor.” (Entrevistado 4)*

*“Cada lote recibe un código al entrar a planta; el ERP enlaza datos de finca, fecha de cosecha y análisis de pesticidas, acompañando al grano a través de silo, molino, bodega y contenedor.” (Entrevistado 5)*

*“Por cada lote se recibe un código QR; el ERP enlaza datos de finca, secado y bodega hasta el contenedor.” (Entrevistado 6)*

*“El QR enlaza datos de parcela, curva de secado, control de grano entero y fecha de embarque; el importador puede verificar todo en línea.” (Entrevistado 7)*

*“El GPS del camión registra la ruta y cada lote lleva un código interno. En la aplicación guardamos la fecha de cosecha, limpieza, empaque y entrega, de modo que el comprador puede ver todo el recorrido.” (Entrevistado 8)*

*A cada saco le pegamos una etiqueta con un código QR; al escanearlo aparece la información del lote y la ruta que siguió hasta el puerto.” (Entrevistado 9)*

### ***Análisis***

Las respuestas obtenidas muestran que el código QR ha evolucionado de simple etiqueta a nodo integrador de datos críticos, donde enlaza registros de campo, variables de almacenamiento y documentos oficiales, ofreciendo a cualquier actor, desde el operador del silo hasta el comprador internacional, una vista única y en tiempo real del recorrido del grano. De acuerdo con Nove (2025), “los códigos QR se han convertido en una herramienta clave para modernizar operaciones y responder a las nuevas demandas de los consumidores” (párr. 12).

Más allá de la verificación externa, el QR se revela como una palanca de eficiencia interna, ya que automatiza la identificación de lotes, reduce errores manuales en clasificación y despacho, y simplifica auditorías al centralizar la documentación operativa. Así, la empresa exportadora recorta tiempos de gestión, mejora la capacidad de respuesta ante inspecciones y refuerza su posición competitiva al demostrar, con un solo escaneo, la integridad del proceso de la parcela al contenedor.

## **Categoría 2: Control de calidad**

### ***Descripción***

A partir de la pregunta “¿De qué manera las tecnologías utilizadas permiten dar seguimiento al producto desde su producción hasta la exportación?”, esta categoría se centra en el uso del código QR como herramienta de trazabilidad aplicada a los granos tradicionales. Su implementación vincula cada lote con datos sobre origen, tratamiento, transporte y destino; este acceso inmediato en finca, planta o puerto refuerza la transparencia, la confianza comercial y el cumplimiento de estándares internacionales. El Instituto Nacional de Metrología de Colombia [INM, 2019] subraya la importancia de documentar cada fase del proceso exportador mediante sistemas de gestión de calidad integrados:

La trazabilidad documental, respaldada por verificaciones analíticas periódicas, debe articularse en un sistema que permita identificar, registrar y consultar en todo momento la procedencia de la materia prima, las condiciones de almacenamiento, los resultados de laboratorio y las operaciones logísticas asociadas. Este enfoque integral garantiza la credibilidad del producto ante compradores internacionales y autoridades sanitarias, facilita la detección temprana de inconformidades y favorece la toma de decisiones correctivas antes de que el lote sea despachado al mercado de destino. (p. 42)

*“Nuestro sistema interno vincula datos de proveedores, procesos, controles de calidad y despachos. Desde que ingresa a planta hasta que sale al cliente, todo queda documentado para trazabilidad completa.” (Entrevistado 2)*

*“Tenemos un sistema interno de trazabilidad por lotes que vincula los datos del productor, la fecha de ingreso a planta, los resultados de control de calidad y el destino final del producto. Esto nos permite mantener un historial completo de cada envío, lo cual es clave tanto para control interno como para cumplir con requisitos sanitarios y de inocuidad.” (Entrevistado 3)*

*“Al recibir el grano, se escanea el código; el departamento de Calidad valida resultados y, cuando el lote está conforme, el sistema genera un expediente digital en PDF que se remite automáticamente a TICA, PROCOMER y al comprador antes del embarque.” (Entrevistado 5)*

*“Registros en app móvil y planillas ERP; el control de calidad valida humedad y grano entero antes de generar el expediente para el cliente.” (Entrevistado 6)*

*“Control de calidad valida parámetros en laboratorio; el ERP exporta automáticamente certificados y resultados de humedad a PROCOMER/TICA antes de la carga.” (Entrevistado 7)*

*“Antes de salir, tomamos una muestra y medimos humedad, impurezas y porcentaje de grano entero. Si no cumple, se corrige o no se embarca.” (Entrevistado 9)*

### ***Análisis***

La evidencia recopilada muestra que el control de calidad se entrelaza con la trazabilidad digital para formar un sistema único de gestión de la información. Los testimonios revelan que cada lote queda asociado a resultados analíticos (humedad, impurezas, grano entero) y a certificados generados automáticamente en el ERP; estos datos se comunican de forma inmediata a plataformas externas como TICA y PROCOMER. INM (2019) indica que articular las verificaciones de laboratorio con los registros logísticos garantiza la credibilidad del producto y permite detectar desviaciones antes del embarque.

Además de satisfacer los requerimientos normativos, este esquema genera valor competitivo: incrementa la transparencia de cara al comprador, agiliza la elaboración de reportes para auditorías y acorta los tiempos de respuesta ante reclamos o inspecciones. En conjunto, el control de calidad deja de ser un simple filtro al final de la línea y se convierte en un pilar estratégico que sostiene la trazabilidad por lotes y mantiene la posición del exportador en mercados de alta exigencia.

### **Categoría 3: Mejores precios**

#### ***Descripción***

En respuesta a la pregunta “¿Qué ventajas competitivas ofrece una mejor trazabilidad para acceder al mercado canadiense?”, esta categoría subraya que una trazabilidad robusta y verificable permite a los productores costarricenses negociar precios más altos al certificar estándares internacionales, inocuidad y origen. Dicha transparencia abre nichos de mercado exigentes y distingue el producto frente a la competencia. Además, se ha demostrado que, incluso con mayores costos, las agroexportaciones respaldadas por información trazable y certificaciones mantienen precios premium en los mercados internacionales (Montoriol Garriga, 2022).

*“Una trazabilidad robusta nos da ventajas clave como: mejores precios o contratos de largo plazo, al cumplir programas como Sustainable Sourcing y Organic Certified.” (Entrevistado 1)*

*“Una trazabilidad robusta demuestra inocuidad y origen, genera confianza y permite acceder a certificaciones orgánicas o éticas. Esto facilita contratos a largo plazo y mejores precios en mercados exigentes.” (Entrevistado 2)*

*“Una trazabilidad robusta nos permite negociar precios premium en nichos sostenibles, reduce inspecciones en puerto y abre contratos de largo plazo con compradores que exigen transparencia y origen certificado.” (Entrevistado 5)*

*“Una trazabilidad robusta aporta confianza y permite negociar mejores precios con compradores canadienses.” (Entrevistado 6)*

*“Brinda mejores precios, reduce inspecciones en puertos canadienses y posiciona el arroz bajo sellos de producción responsable.” (Entrevistado 7)*

*“Al revisar el historial completo y confirmar la calidad constante, el comprador acepta pagar un precio superior en comparación con otros proveedores.” (Entrevistado 9)*

## **Análisis**

Los testimonios confirman que la trazabilidad digital ha dejado de ser un simple requisito operativo para convertirse en un activo estratégico. Respaldar cada lote con datos verificables y certificaciones reconocidas permite a los exportadores costarricenses demostrar de inmediato la inocuidad y el origen de sus productos, reducir el riesgo percibido, agilizar los controles fronterizos y justificar un precio premium. Este valor añadido, además, mejora la imagen país y refuerza la confianza de los compradores en la oferta costarricense.

Al mismo tiempo, la trazabilidad funciona como un filtro competitivo, abriendo nichos de mayor valor, reforzando la reputación en auditorías, acelerando los despachos y fortaleciendo el poder de negociación para establecer acuerdos más estables. En definitiva, invertir en trazabilidad posiciona al productor como un socio confiable y le permite capturar el valor añadido que los importadores canadienses están dispuestos a reconocer. Con ello, las empresas aseguran un flujo de ingresos más predecible y consolidan relaciones comerciales a largo plazo.

#### **Categoría 4: Plataformas digitales**

##### ***Descripción***

Las plataformas digitales centralizan los datos por lote, automatizan registros y comparten la información en tiempo real. Así mejoran la trazabilidad y agilizan el cumplimiento documental ante compradores y autoridades. No obstante, persisten obstáculos: escasa interoperabilidad, acceso desigual y falta de capacitación en pymes. Un informe reciente subraya que la transformación digital solo se consolida con ecosistemas interoperables, el uso de tecnologías emergentes y programas de formación continua para todos los actores (Centro Interamericano de Administraciones Tributarias [CIAT], 2025).

*“Nos gustaría integrar la información de finca, laboratorio, planta y logística en una sola plataforma digital, con exportación automática de datos a entidades como PROCOMER o TICA.”*  
(Entrevistado 2)

*“Sería ideal integrar todas las plataformas en un solo sistema, desde el ingreso del grano hasta la salida del producto final, con posibilidad de generar reportes automáticos para los entes aduaneros o clientes.” (Entrevistado 3)*

*“Integrar plataformas digitales que automaticen firma de certificados y conecten el ERP con PROCOMER para evitar doble digitación.” (Entrevistado 6)*

*“Consolidar una plataforma digital única que integre sensores de silo, laboratorio y logística para evitar doble digitación.” (Entrevistado 7)*

*“Compartimos la información en una plataforma en la nube donde el cliente puede entrar con usuario y ver el estado de su pedido en tiempo real.” (Entrevistado 9)*

### **Análisis**

Los testimonios confirman que una plataforma única capaz de enlazar datos de finca, laboratorio, silo, logística y aduanas es la pieza que falta para convertir la trazabilidad en un flujo continuo. El uso de aplicaciones aisladas obliga a duplicar registros, dispersa la información y eleva los costos: los certificados se cargan manualmente, los mismos datos se reescriben y la visibilidad del lote se fragmenta. Las empresas, por ello, visualizan una solución integral que genere reportes automáticos para PROCOMER y TICA, firme digitalmente los certificados y ofrezca a los clientes un tablero en la nube con el estado del pedido en tiempo real.

El obstáculo principal es la interoperabilidad inclusiva. La digitalización solo crea valor si los sistemas hablan el mismo lenguaje, adoptan estándares abiertos y van acompañados de capacitación continua; de lo contrario, las pymes y pequeños productores quedan fuera y la cadena sigue fragmentada (CIAT, 2025). La estrategia, entonces, debe aunar plataformas escalables listas para sensores IoT y módulos de comercio exterior con programas de formación y asistencia técnica que garanticen acceso equitativo. Así, la trazabilidad pasará de mosaico disperso a motor de eficiencia y competitividad en el mercado canadiense y otros destinos de alta exigencia.

## **Categoría 5: Blockchain**

### ***Descripción***

A partir de las respuestas sobre tecnologías emergentes aplicables a la trazabilidad, esta categoría subraya el potencial del blockchain para asegurar la integridad, transparencia y seguridad de la información. Aunque su adopción sigue siendo incipiente, los entrevistados lo ven como una solución viable para registrar de forma inalterable cada etapa del recorrido del producto, desde la finca hasta la exportación. Tal verificación refuerza la confianza del comprador, facilita el cumplimiento de normas internacionales y reduce los riesgos de manipulación de datos (Organización Mundial de Aduanas & Organización Mundial del Comercio [OMA-OMC], 2021).

*“Además del QR y los sensores IoT, se podría incorporar blockchain para inmutabilidad de registros.” (Entrevistado 1)*

*“Se podrían implementar soluciones basadas en blockchain que permitirían garantizar la integridad y transparencia de los datos a lo largo de toda la cadena de suministro.” (Entrevistado 2)*

*“A futuro, explorar soluciones como blockchain o APIs abiertas podría permitir integrar fácilmente la información con sistemas de nuestros clientes.” (Entrevistado 3)*

*“Estamos explorando drones y satélites para índices de vegetación, blockchain para la cadena de custodia, modelos de IA que pronostiquen rendimiento parcelario y, de cara al consumidor final, códigos QR que cuenten la historia “de la parcela al plato”.” (Entrevistado 4)*

*“Preveamos incorporar blockchain ligera para sellar registros, etiquetas NFC/RFID que faciliten inventarios en bodega y contenedor.” (Entrevistado 5)*

*“Veo futuro en usar un blockchain sencillo para registrar cada paso.” (Entrevistado 8)*

*“Estamos estudiando usar un registro tipo blockchain para que cada movimiento quede sellado y nadie pueda cambiar los datos del lote.” (Entrevistado 9)*

### ***Análisis***

Las respuestas recogidas reflejan un interés concreto por sumar blockchain a la batería tecnológica ya disponible. Su principal atractivo es la inmutabilidad de los registros, donde cada evento, cosecha, muestreo, carga o inspección, quedaría sellado con marcas de tiempo que ningún actor puede alterar sin dejar rastro. Esta cualidad refuerza la credibilidad ante importadores y auditores, al tiempo que simplifica la conciliación de datos entre finca, planta y aduana. Así, el blockchain actúa como cinta de seguridad para la narrativa de trazabilidad que los compradores canadienses demandan.

En síntesis, el potencial del blockchain se materializa solo cuando existe interoperabilidad; “sin estándares comunes que conecten ERPs, laboratorios y ventanillas únicas, la cadena de bloques pierde eficacia logística y aduanera” (OMA-OMC, 2021, p. 14). Asimismo, pilotos ligeros que sellen los reportes de calidad en redes públicas o consorciadas ofrecen una vía de adopción gradual y de bajo costo, lo cual permite capacitar al personal, involucrar a las pymes y preparar el terreno para una trazabilidad plenamente descentralizada.

### **Unidad 3: Limitaciones**

Esta tercera unidad se enfoca en identificar los obstáculos que enfrentan productores y exportadores de granos tradicionales de la Región Chorotega al incorporar tecnologías digitales en sus cadenas de suministro durante el periodo 2023-2024. A partir de las entrevistas, surgieron categorías que revelan las principales barreras económicas, técnicas y organizacionales que dificultan la adopción tecnológica y, por ende, la competitividad en el mercado canadiense. Estas limitaciones abarcan desde la falta de conectividad rural hasta la escasa formación especializada, pasando por desafíos de integración de sistemas y cumplimiento normativo.

A partir del análisis de los testimonios, se identificaron diversas limitaciones que inciden negativamente en la incorporación de tecnologías a lo largo de la cadena. Estas barreras, si bien varían según el perfil del actor consultado, convergen en ciertos aspectos clave que condicionan tanto la inversión como la sostenibilidad de los sistemas tecnológicos implementados, afectando así su impacto a largo plazo. Las categorías derivadas del estudio son las siguientes:

1. Costo inicial.
2. Falta de financiamiento.
3. Internet limitado.
4. Maquinaria
5. Riesgo de pérdidas.

### **Categoría 1: Costo inicial**

#### ***Descripción***

Una de las principales dificultades que los entrevistados mencionan al incorporar tecnologías digitales en el sector agrícola es el alto costo inicial de adquisición e implementación. El precio de sensores, estaciones meteorológicas, plataformas digitales y otros equipos especializados supera, con frecuencia, la capacidad financiera de pequeños y medianos productores; por ello, aun cuando se reconoce el valor estratégico de estas herramientas para mejorar la trazabilidad y la eficiencia, el desembolso requerido funciona como barrera inmediata que dificulta su adopción y continuidad. El Consejo Hondureño de la Empresa Privada (COHEP, 2021) advierte:

La adopción de tecnologías de monitoreo y trazabilidad enfrenta un obstáculo primordial: el peso de la inversión inicial. Para un productor mediano, la instalación de sensores de humedad, balanzas electrónicas y el enlace a una plataforma digital de exportación puede equivaler al 18 % de su facturación anual. A ello se suman los gastos de conectividad y mantenimiento, que suelen quedar fuera de los programas de crédito agrícola, de modo que el acceso real a la innovación termina concentrado en los eslabones de mayor escala de la cadena. (p. 27)

*“Las mayores trabas han sido: costo inicial alto de sensores y software, conectividad intermitente en fincas alejadas que impide subir datos en tiempo real, y escasez de personal capacitado, lo que alarga la curva de aprendizaje y genera errores en los primeros ciclos de uso.”*  
(Entrevistado 1)

*“Las barreras principales han sido el costo inicial de equipos y sistemas, además de adaptar al personal y garantizar conectividad adecuada en zonas rurales.”* (Entrevistado 2)

*“La principal dificultad es el costo inicial de algunas tecnologías, especialmente para pequeños productores.”* (Entrevistado 3)

*“La conectividad es el principal problema, dado que hay parcelas donde el 4G se cae y eso retrasa la sincronización de datos. Otro reto es el costo inicial de la maquinaria de precisión y la resistencia natural del personal a cambiar la forma de trabajar; lleva tiempo y acompañamiento.”* (Entrevistado 4)

*“Las mayores trabas han sido: costo inicial alto de sensores y software, conectividad intermitente en fincas alejadas que impide subir datos en tiempo real, y escasez de personal capacitado, lo que alarga la curva de aprendizaje y genera errores en los primeros ciclos de uso.”*  
(Entrevistado 5)

*“Costos iniciales altos, conectividad móvil irregular y curva de aprendizaje del personal.”*  
(Entrevistado 6)

*“El mayor obstáculo es el alto costo inicial y la señal celular débil en las fincas, que limita el uso de aplicaciones.”* (Entrevistado 8)

*“Lo más duro fue el costo inicial de las máquinas y acostumbrar al personal a los nuevos controles.”* (Entrevistado 9)

## *Análisis*

Los testimonios confirman que el costo inicial es la barrera más recurrente para digitalizar la producción y exportación de granos tradicionales. El desembolso necesario para sensores, plataformas y estaciones meteorológicas supera con facilidad la liquidez de pequeños y medianos productores, quienes carecen de garantías para acceder a créditos especializados. Como resultado, la adopción tecnológica se concentra en empresas con mayor capital y subvenciones, ampliando la brecha entre actores bien financiados capaces de optimizar procesos y documentar la trazabilidad en tiempo real y aquellos que siguen dependiendo de registros manuales y menos confiables.

El problema se agrava porque el gasto no termina con la compra: incluye conectividad, mantenimiento, licencias y capacitación continua. Esta suma eleva la percepción de riesgo y retrasa el retorno de inversión, desincentivando la modernización. Sin líneas de financiamiento específicas, leasing de equipos o compras asociativas, la innovación seguirá concentrada en pocos eslabones y la cadena costarricense tendrá dificultades para cumplir al ritmo que exigen mercados como el canadiense.

## **Categoría 2: Falta de financiamiento**

### *Descripción*

Los testimonios reflejan que, además del alto costo inicial, la falta de financiamiento oportuno es la barrera decisiva para digitalizar la producción de granos. Los pequeños y medianos productores cuentan con pocas líneas de crédito ajustadas al ciclo agrícola y enfrentan garantías restrictivas, lo que dificulta invertir en sensores y plataformas que incrementen la trazabilidad y la eficiencia; en consecuencia, su competitividad frente a mercados exigentes como el canadiense se ve comprometida. Como advierte el IICA (2025), “la ausencia de soluciones financieras adecuadas limita el acceso de los productores de granos al capital de trabajo necesario para modernizar sus operaciones” (p. 22).

*“El principal freno es el alto costo inicial de equipos (sensores IoT, drones, ERPs) frente a márgenes reducidos; a esto se suma el crédito agrícola limitado o con tasas altas, la falta de esquemas de leasing o pago por uso y la incertidumbre sobre el retorno de la inversión cuando los volúmenes de exportación son pequeños o inestables.” (Entrevistado 1)*

*“El alto costo de inversión, la falta de financiamiento accesible y márgenes estrechos hacen difícil justificar tecnologías nuevas para muchos pequeños productores.” (Entrevistado 2)*

*“El financiamiento sigue siendo una barrera, porque no todos los productores tienen acceso a crédito flexible o fondos de inversión tecnológica.” (Entrevistado 3)*

*“El financiamiento agrícola en Costa Rica tiene tasas relativamente altas y, para equipos importados, los aranceles pesan. Además, la volatilidad del tipo de cambio nos encarece los repuestos que vienen en dólares. Eso obliga a planificar inversiones con mucho cuidado.” (Entrevistado 4)*

*“El principal freno es el alto costo inicial de equipos (sensores IoT, drones, ERPs) frente a márgenes reducidos; a esto se suma el crédito agrícola limitado o con tasas altas, la falta de esquemas de leasing o pago por uso y la incertidumbre sobre el retorno de la inversión cuando los volúmenes de exportación son pequeños o inestables.” (Entrevistado 5)*

*“Inversiones grandes (secadora, sensores, software) y créditos agrícolas con tasas de interés altas para pequeños productores.” (Entrevistado 6)*

*“Alta inversión inicial y tasas de crédito agrícola por encima del costo financiero del negocio arrocero.” (Entrevistado 7)*

*“El crédito formal es difícil; los bancos piden garantías que los pequeños productores no tenemos, así que dependemos de subsidios.” (Entrevistado 8)*

*“Los pequeños productores que nos venden arroz a veces no pueden pagar sensores o sistemas de riego porque los créditos agrícolas son caros.” (Entrevistado 9)*

### ***Análisis***

La falta de financiamiento se convierte en el principal cuello de botella que mantiene la digitalización agrícola en el terreno de las buenas intenciones. Los créditos disponibles ofrecen tasas altas, garantías difíciles de cumplir y plazos que no coinciden con el ciclo del cultivo, de modo que la mayoría de pequeños y medianos productores carece de opciones para adquirir sensores, drones o sistemas ERP. Sin mecanismos alternativos como el leasing, los esquemas de pago por uso o los fondos blandos, la inversión inicial resulta inasumible; la modernización se concentra en las empresas con mayor capital y la brecha tecnológica dentro de la cadena se amplía.

Además, la percepción de riesgo, alimentada por márgenes estrechos, volatilidad cambiaria y eventos climáticos, refuerza la cautela a endeudarse. Esto ralentiza la adopción de herramientas básicas para la trazabilidad y el control de calidad, limita la estandarización de procesos y reduce la capacidad de cumplir con requisitos internacionales. Mientras no existan mecanismos financieros adaptados al ritmo productivo y a la escala de los productores, la competitividad del sector frente a mercados como el canadiense seguirá comprometida.

### **Categoría 3: Internet limitado**

#### ***Descripción***

Entre los obstáculos señalados por los actores del sector, la conectividad deficiente en zonas rurales destaca como una limitación técnica recurrente. Esta categoría aborda las dificultades asociadas al acceso limitado a internet en muchas fincas y áreas productivas, lo cual afecta directamente la funcionalidad de tecnologías que dependen de transmisión de datos en tiempo real, como sensores IoT, plataformas en la nube o aplicaciones móviles de monitoreo. Los testimonios indican que esta brecha tecnológica “compromete la eficiencia de los sistemas implementados,

limita la trazabilidad continua y retrasa la digitalización plena de la cadena de suministro” (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD], 2024, p. 27).

*“En planta tenemos buena infraestructura, pero en algunas fincas la conectividad móvil e internet siguen siendo limitadas, lo que dificulta el uso de herramientas digitales en campo.” (Entrevistado 2)*

*“En la planta contamos con buena conectividad eléctrica y acceso a redes digitales. Sin embargo, en algunas fincas rurales aún hay limitaciones de señal de internet o cobertura móvil, lo cual dificulta implementar soluciones digitales en tiempo real.” (Entrevistado 3)*

*“En la planta estamos bien servidos: tenemos energía propia y fibra óptica. Pero las carreteras secundarias se deterioran en época lluviosa y la señal móvil se interrumpe en campo. Esa brecha de infraestructura limita la operación en tiempo real fuera del casco de la finca.” (Entrevistado 4)*

*“En planta disponemos de energía trifásica y fibra óptica, pero en el campo la señal 4G es intermitente y las carreteras secundarias se degradan en época lluviosa, lo que limita la transmisión de datos en tiempo real.” (Entrevistado 5)*

*“Planta con energía estable y buena conexión; en campo el internet es limitado, la señal 4G se cae y retrasa la transmisión de datos.” (Entrevistado 6)*

*“Se goza de cogeneración eléctrica y fibra óptica, pero el internet limitado en ciertas fincas retrasa la carga de datos en tiempo real.” (Entrevistado 7)*

*“La electricidad trifásica y el internet estable llegaron recién en 2022; antes secábamos el grano al sol. Aún esperamos fibra óptica para mejorar la conexión.” (Entrevistado 8)*

*“En la planta tenemos buena electricidad y fibra óptica, pero algunas fincas aún batallan con señal de celular débil, lo que retrasa la carga de datos.” (Entrevistado 9)*

## *Análisis*

Las entrevistas evidencian un contraste nítido, mientras las plantas operan con fibra óptica y energía estable, muchas fincas continúan sin una conexión fiable. Esta brecha crea zonas ciegas en la captura de datos; sensores IoT y aplicaciones móviles pierden sincronización y las plataformas en la nube dejan de reflejar el estado real del producto, generando vacíos de información que pueden derivar en reclamos de los compradores. Además, esta inestabilidad impide tomar decisiones en tiempo real, reduciendo la eficiencia operativa y la competitividad frente a mercados exigentes.

La falta de conectividad mantiene la dependencia de procesos manuales, tales como planillas en papel, llamadas telefónicas y registros locales en discos duros, lo que incrementa la probabilidad de errores y reduce la productividad. Esta dualidad tecnológica encarece la logística: obliga a duplicar esfuerzos para validar datos, destinar personal a tareas de verificación y asumir costos adicionales de transporte cuando es necesario trasladar dispositivos o técnicos a zonas sin cobertura para descargar la información.

Desde una perspectiva estratégica, si la digitalización se plantea como ventaja competitiva, la falta de internet confiable en origen la convierte en un riesgo operativo. Para revertirlo, el sector debe impulsar soluciones de última milla expansión de redes 4G/5G, antenas satelitales de bajo costo y nodos de conectividad comunitaria y adoptar software tolerante a la desconexión que almacene datos localmente y los sincronice al recuperar la señal, garantizando así una trazabilidad continua y reduciendo la brecha tecnológica que frena el desempeño exportador.

### **Categoría 4: Maquinaria**

#### *Descripción*

La Asociación Argentina de Postcosecha de Granos (APOSGRAN, 2023) advierte que la ausencia de tecnologías especializadas, como las secadoras de flujo cruzado y los silos con cables de termometría y software de ventilación automática, representa un riesgo directo para la

competitividad en mercados exigentes. Sin estos equipos, aumentan las mermas y los rechazos por trazabilidad incompleta, controles deficientes y falta de información en tiempo real, lo que limita acceso a certificaciones, contratos estables y mejores precios. Este riesgo no se limita a perder grano; va a devaluar el producto, daña la reputación y quiebra la confianza del cliente.

*“Nuestro equipo ha sido formado en operación de maquinaria, sistemas de trazabilidad, energía renovable y control de calidad. También participamos en talleres y asesorías técnicas transversales.” (Entrevistado 2)*

*“Nuestro personal ha sido capacitado en manejo de maquinaria industrial, control de calidad, trazabilidad digital y eficiencia energética.” (Entrevistado 3)*

*“Aparte de mi formación como ingeniero, he tomado diplomados del INA en mecanización agrícola y cursos con FLAR sobre variedades híbridas.” (Entrevistado 4)*

*“Además de los diplomados del INA, contamos con certificaciones HACCP, ISO 22000 e ISO 50001; participamos en ferias internacionales de maquinaria y realizamos capacitaciones internas periódicas sobre operación de sensores IoT y software de trazabilidad.” (Entrevistado 5)*

*“Diplomados INA en mecanización de maquinaria, talleres MAG sobre riego y cursos Conarroz sobre eficiencia energética.” (Entrevistado 6)*

*“Ingenieros operan maquinaria de precisión tras diplomados INA y capacitaciones del proveedor de pivotes; el personal de planta recibe talleres de mantenimiento predictivo.” (Entrevistado 7)*

*“Hemos recibido talleres del INA sobre operación y mantenimiento de maquinaria agrícola, capacitaciones del MAG en riego y sensores, y entrenamiento directo del proveedor para calibrar el secador, el limpiador óptico y el software de trazabilidad.” (Entrevistado 9)*

## ***Análisis***

La evidencia muestra que la maquinaria de precisión articula productividad, calidad e inocuidad a lo largo de la cadena, donde los GPS, sensores de humedad, secadoras, silos automatizados y equipos integrados al ERP minimizan mermas, elevan el porcentaje de grano entero y sostienen la trazabilidad. Además, agilizan el despacho y reducen costos logísticos, contribuyendo a la eficiencia operativa. Como efecto colateral positivo, estas tecnologías también permiten ajustar rápidamente los planes de producción cuando cambian las condiciones del mercado o el clima.

Estos resultados dependen del capital humano descrito por los entrevistados, como la formación técnica recibida en centros de capacitación especializados, cursos sectoriales y entrenamientos ofrecidos por los proveedores, garantiza la operación, calibraciones correctas, disminuye fallas y optimiza la inversión. Así, la categoría Maquinaria se consolida como un sistema sociotécnico donde equipos de precisión y personal cualificado convergen para ofrecer mayor eficiencia y plena trazabilidad a mercados exigentes. Este entramado de personas y tecnología refuerza la cultura de mejora continua y prepara al sector para futuros niveles de automatización.

## **Categoría 5: Riesgo de pérdidas**

### ***Descripción***

La ausencia de tecnologías adecuadas en la cadena de suministro pone en riesgo la competitividad en mercados como el canadiense; “la falta de secado y monitoreo apropiados puede duplicar las mermas y acarrear penalidades comerciales” (García Muñoz & Aya Rodríguez, 2024, p. 23). Los entrevistados alertan sobre mermas, rechazos y sanciones vinculados a trazabilidad incompleta y controles deficientes, lo que dificulta acceder a certificaciones, contratos y mejores precios. Así, el riesgo trasciende la pérdida física del grano y afecta su valor comercial, la reputación y la confianza del cliente.

*“Cuando falta tecnología, tardamos más en generar la trazabilidad que exige los países compradores, incurriendo en mayores costos administrativos y mayor riesgo de rechazos o inspecciones extras. Además, sin monitoreo IoT ni logística optimizada, se elevan las mermas y los tiempos de entrega, lo que nos hace menos competitivos en precio y confiabilidad frente a proveedores que sí presentan datos en tiempo real y certificaciones digitales.” (Entrevistado 1)*

*“Sin herramientas adecuadas, tenemos mayor riesgo de mermas, errores, rechazos en aduana o incumplimiento de requisitos. La tecnología nos permite ser más eficientes, confiables y competitivos.” (Entrevistado 2)*

*“Cuando no se cuenta con tecnologías adecuadas, hay más riesgo de pérdidas por humedad, errores en el manejo del grano o incumplimientos en los requisitos de calidad. Esto puede traducirse en rechazos, sanciones o pérdida de oportunidades comerciales.” (Entrevistado 3)*

*“La ausencia de herramientas de precisión incrementaría mermas y alargaría los tiempos de entrega; sin trazabilidad probada perderíamos acceso a programas de compra sostenible y nos veríamos forzados a vender a granel a menor precio, debilitando nuestra posición en mercados exigentes como el canadiense.” (Entrevistado 5)*

*“Sin herramientas de precisión suben mermas y tiempos de entrega, encareciendo ~12 % la tonelada y poniendo en riesgo el acceso a Canadá.” (Entrevistado 6)*

*“Sin control de humedad y trazabilidad digital, nuestras mermas se duplicarían y el sobre costo por tonelada nos dejaría fuera de licitaciones canadienses.” (Entrevistado 7)*

*“Con la falta de estas tecnologías el grano llega quebrado o sucio y el precio baja, lo que nos deja fuera de mercados exigentes.” (Entrevistado 8)*

*“Tardaríamos más en armar la trazabilidad que exigen los compradores, subirían los costos administrativos y el riesgo de que rechacen la carga en puerto. Además, sin control de humedad y limpieza automática aumentarían las mermas y el precio bajaría.” (Entrevistado 9)*

### **Análisis**

Los resultados muestran que la falta de sensores de humedad, cámaras de inspección y sistemas automáticos de registro hace que los lotes excedan los niveles permitidos o sufran contaminación cruzada, lo que se traduce en mermas y posibles rechazos en destino. Los entrevistados coinciden en que la demora al generar la documentación digital eleva las inspecciones, mientras que la ausencia de monitoreo en tiempo real incrementa los errores operativos y las sanciones por incumplimiento de estándares.

El impacto va más allá del grano perdido: un rechazo o una entrega tardía acarrea penalidades contractuales, costos de reexportación y deterioro de la confianza del comprador, que podría buscar proveedores con mejor trazabilidad. Esta combinación de pérdidas físicas y repercusiones comerciales reduce el flujo de caja y limita el acceso a contratos futuros o precios preferenciales, debilitando la posición competitiva en mercados de altos estándares como el canadiense.

### **Interpretación de Datos**

La digitalización se consolida como eje estratégico en la producción de granos de la Región Chorotega. Sensores de campo, estaciones climáticas y secadoras automáticas han sustituido estimaciones empíricas por datos en tiempo real, mejorando el rendimiento y generando registros confiables que facilitan el cumplimiento de estándares internacionales, en particular los exigidos por el mercado canadiense. Este cambio representa un giro cultural que desplaza la intuición a favor de la evidencia tecnológica.

El control de humedad emerge como variable crítica. Mantenerla en rangos óptimos mediante sondas y sistemas de ventilación automatizada reduce mermas, evita reprocesos y

disminuye rechazos portuarios. Al mismo tiempo, permite planificar embarques con mayor exactitud, evitando sobrecostos por almacenamiento prolongado. Además, la uniformidad en los niveles de humedad incrementa la vida útil del grano durante el tránsito, garantizando que llegue al mercado canadiense con la calidad esperada.

La trazabilidad ha pasado de requisito regulatorio a ventaja competitiva. Códigos QR enlazados a sistemas ERP y facturación electrónica permiten rastrear cada lote desde la parcela hasta el contenedor, reduciendo la gestión documental y acelerando auditorías. Esta transparencia refuerza la reputación de la oferta costarricense y abre la puerta a programas de compra sostenible. Asimismo, facilita la toma de decisiones basada en datos y fortalece la colaboración con proveedores y clientes a lo largo de la cadena de suministro.

Los criterios de adopción tecnológica evolucionan hacia el costo total de uso. Productores priorizan soluciones que ahorren agua, energía y combustibles, conciliando beneficio económico con impacto ambiental. Este enfoque estratégico robustece la resiliencia financiera ante la volatilidad de precios internacionales. Además, esta visión integral alinea a las empresas con los criterios de sostenibilidad global y les permite cumplir con los estándares ESG cada vez más exigidos por los compradores internacionales.

La capacitación del personal cataliza la conversión de inversión en resultados. Empresas que destinan recursos a formación continua aprovechan plenamente sus herramientas digitales, mientras las menos capacitadas muestran fallas y curvas de ajuste prolongadas. Invertir en talento humano se revela, por tanto, tan decisivo como adquirir equipos de última generación. Este fortalecimiento de habilidades también impulsa la innovación interna, permitiendo adaptar rápidamente las operaciones a nuevas tecnologías y mejores prácticas.

Persisten barreras estructurales. El acceso limitado a financiamiento especializado y las zonas rurales sin conectividad frenan la modernización, sobre todo en pequeñas y medianas explotaciones. Sin mecanismos financieros blandos y cobertura digital, la brecha tecnológica entre actores seguirá ampliándose. Por ello, es esencial articular políticas de apoyo y alianzas público-

privadas que faciliten tanto el capital semilla para tecnología como la infraestructura de telecomunicaciones en áreas remotas.

La fragmentación de sistemas entre campo, planta y logística añade complejidad. La duplicidad de registros y la ausencia de integración obligan a tareas manuales que consumen tiempo y elevan el riesgo de error. Integrar plataformas con estándares abiertos es clave para una visión unificada de la cadena. Asimismo, la adopción de APIs abiertas y protocolos de intercambio de datos facilitará la coordinación entre actores y mejorará la trazabilidad de extremo a extremo.

El costo inicial, aun elevado, comienza a mitigarse mediante esquemas asociativos y modelos de servicio “pago por uso” promovidos por cooperativas y proveedores tecnológicos. Estas fórmulas reducen la barrera de entrada y democratizan la adopción, especialmente entre productores de menor escala. Además, estos modelos fomentan la colaboración entre productores, fortaleciendo redes de conocimiento y manteniendo estándares tecnológicos homogéneos en la región.

Cerrar la brecha tecnológica exige acción convergente: financiamiento mixto que suavice la inversión inicial, ampliación de banda ancha en corredores productivos y programas modulares de capacitación en IoT agrícola y analítica de datos. Si estos componentes avanzan de forma coordinada, la Región Chorotega consolidará una inserción sostenible y diferenciada en el exigente mercado canadiense. Además, la experiencia y los conocimientos desarrollados podrán replicarse en otras cadenas productivas de la región, potenciando un desarrollo agrícola integral y resiliente.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

Se concluye que la integración de sensores de campo y postcosecha permite decisiones precisas de riego, cosecha y secado, reduciendo mermas y elevando el rendimiento; ello mejora la eficiencia operativa y respalda la trazabilidad exigida por los importadores canadienses.

Se determina que las tecnologías solo se adoptan cuando el ahorro en insumos, energía y transporte compensa la inversión inicial; este criterio económico garantiza la sostenibilidad financiera de la cadena y preserva la competitividad del grano en destino.

Se evidencia que controlar la humedad con secadores automáticos y sensores en silos evita quiebres y hongos, recorta reprocesos logísticos y disminuye penalizaciones, consolidando la calidad requerida por los compradores internacionales.

Se constata que la formación técnica continua vincula inversión y resultados, reduce errores, acelera el aprendizaje y cultiva la mejora continua que facilita cumplir normativas y adoptar nuevas herramientas digitales.

Se ratifica que un sistema de trazabilidad integral, respaldado por registros digitales en tiempo real, acorta los tiempos de despacho y refuerza la confianza comercial, convirtiéndose en ventaja competitiva para acceder a programas de compra sostenible.

Se confirma que el código QR por lote integra datos de campo, laboratorio y logística en un solo escaneo, agiliza auditorías, elimina rechazos sanitarios y simplifica la gestión documental ante aduanas.

Se observa que vincular los análisis de laboratorio al ERP genera expedientes automáticos y alertas tempranas, evitando la salida de lotes no conformes y asegurando la consistencia que premian los mercados de alto valor.

Se verifica que demostrar origen, inocuidad y sostenibilidad mediante trazabilidad verificada abre nichos premium y permite negociar contratos de largo plazo con precios superiores al promedio de mercado.

Resulta claro que una plataforma única que integre finca, planta y aduanas elimina la doble digitación, ofrece visibilidad en tiempo real y reduce costos administrativos, aunque requiere interoperabilidad y capacitación para incluir a las pymes.

Queda demostrado que el uso gradual de blockchain para sellar registros refuerza la credibilidad ante auditores y clientes, facilitando escalar la tecnología sin elevar de forma significativa los costos.

Se corrobora que el alto desembolso para sensores, secadoras y software frena la modernización entre pequeños y medianos productores, concentrando la innovación en actores con mayor capital y ampliando la brecha competitiva interna.

Se desprende que los créditos agrícolas con tasas elevadas y garantías rígidas bloquean la adquisición de tecnología; esquemas de leasing o pago por uso se vuelven esenciales para democratizar la digitalización de la cadena.

Se advierte que la conectividad rural deficiente crea zonas ciegas de datos, obliga a procesos manuales y encarece la logística; soluciones de última milla y software offline son imprescindibles para sostener la trazabilidad continua.

Se infiere que secadoras avanzadas, silos automatizados y maquinaria de precisión, operados por personal capacitado, minimizan mermas y aceleran el despacho, consolidando un sistema integrado que cumple los estándares internacionales.

Se establece que la falta de tecnologías de secado, monitoreo y documentación digital incrementa mermas, rechazos y penalidades, afectando tanto el flujo de caja como la reputación del exportador.

Finalmente, para responder a la pregunta del planteamiento del problema de investigación, se concluye que la implementación integrada de tecnologías como sensores de campo y postcosecha, sistemas de trazabilidad QR-ERP y maquinaria automatizada, respaldada por capacitación y financiamiento, redujo las pérdidas, aceleró los despachos y permitió negociar mejores precios, elevando la competitividad y el volumen de las exportaciones de granos tradicionales de la Región Chorotega hacia Canadá durante 2023-2024.

### **Recomendaciones**

Se recomienda que las cooperativas de productores integren sensores de humedad y GPS mediante compras asociativas y planes de mantenimiento compartido, de modo que los pequeños actores accedan a la tecnología sin asumir solos el costo inicial.

Se sugiere que las Instituciones financieras ofrezcan líneas de crédito con tasa preferencial y períodos de gracia adaptados al ciclo agrícola, incluyendo opciones de leasing para secadoras y software de trazabilidad.

Se insta a las empresas exportadoras a estandarizar el uso de códigos QR enlazados al ERP desde la cosecha hasta el puerto, garantizando un flujo documental único y reduciendo los tiempos de inspección.

Sería pertinente impulsar alianzas entre el Núcleo de Formación y Servicios Tecnológicos Agropecuarios del INA, las universidades locales y las empresas exportadoras para ampliar módulos prácticos sobre agricultura de precisión, trazabilidad digital y mantenimiento predictivo, incluyendo jornadas demostrativas en finca y planta.

Resulta prioritario que los operadores de telecomunicaciones, en alianza con el sector, desplieguen soluciones de última milla (antenas satelitales o torres comunitarias) para cerrar las zonas ciegas de conectividad rural.

Se recomienda que los administradores de silos instalen sistemas automáticos de termometría y ventilación con alertas tempranas, a fin de prevenir calentamientos y reducir rechazos por hongos.

Se insta a organizaciones como la Cámara Nacional de Productores de Granos Básicos (CANAPRO), la Cámara de Exportadores de Costa Rica (CADEXCO) y otras asociaciones gremiales del sector a crear laboratorios de control de calidad compartidos que emitan resultados estandarizados para humedad, grano entero e impurezas, reduciendo costos por análisis individuales.

Se propone que las empresas exportadoras, plantas de procesamiento y operadores logísticos programen planes de mantenimiento predictivo para maquinaria de precisión, utilizando datos IoT para anticipar fallas y evitar paros que encarecen la logística.

Resulta prioritario que actores del sector granos tradicionales de la Región Chorotega ejecuten pilotos de blockchain ligero para sellar certificados de calidad y trazabilidad, validando la inmutabilidad de los datos sin incurrir en altos costos de infraestructura.

Se recomienda que los pequeños productores adopten servicios de drones y estaciones climáticas bajo modalidad “pago por uso”, facilitados por proveedores locales o cooperativas tecnológicas, con el fin de mejorar la toma de decisiones agronómicas, anticiparse a eventos climáticos y optimizar el uso de insumos.

Conviene explorar con los programas de cooperación internacional la creación de becas de alfabetización digital y gestión de datos dirigidas a mujeres y jóvenes rurales, fortaleciendo el capital humano en la cadena de granos.

Se insta a todos los eslabones de la cadena a definir indicadores clave (mermas, tiempos de despacho, rechazos) y compartir paneles de seguimiento con los compradores para reforzar la transparencia comercial.

Se propone que se constituya una mesa interinstitucional (productores, exportadores, entidades financieras y autoridades) con un plan trianual para coordinar financiamiento, conectividad y capacitación, asegurando la adopción sostenida de tecnologías que fortalezcan las exportaciones hacia Canadá.

Por último, se recomienda a futuros investigadores llevar a cabo estudios a largo plazo que cuantifiquen el costo y beneficio de la adopción de herramientas tecnológicas en la cadena de granos tradicionales, relacionando indicadores como mermas, tiempos de despacho y rechazos con la rentabilidad, a fin de orientar decisiones de inversión y políticas públicas.

## Referencias Bibliográficas

- Abriendo Mercados. (2023). Etiquetado y embalaje en el comercio exterior: lo que debes saber. Recuperado de <https://abriendomercados.com/etiquetado-y-embalaje-en-el-comercio-exterior-lo-que-debes-saber/>
- Across Logistics. (2023). Logística de distribución y su importancia en las empresas. Recuperado de <https://acrosslogistics.com/blog/logistica-de-distribucion-y-su-importancia-en-las-empresas>
- Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA). (2023). Hoja informativa: Concesión de licencias a las empresas alimentarias. Reglamento sobre la Salubridad de los Alimentos en Canadá. Recuperado de [https://inspection.canada.ca/DAM/DAM-food-aliments/STAGING/text-texte/rsfc\\_licensing\\_of\\_food\\_bussinneses\\_spanish\\_1528831863268\\_eng.pdf](https://inspection.canada.ca/DAM/DAM-food-aliments/STAGING/text-texte/rsfc_licensing_of_food_bussinneses_spanish_1528831863268_eng.pdf).
- Agrolatam. (2023, 9 de octubre). Costa Rica impulsa la agricultura de precisión con un nuevo reglamento sobre el uso de drones. Recuperado de <https://www.agrolatam.com/nota/costa-rica-impulsa-la-agricultura-de-precision-con-un-nuevo-reglamento-sobre-el-uso-de-drones/>
- Agrolatam.com. (2023, 9 de octubre). Costa Rica impulsa la agricultura de precisión con un nuevo reglamento sobre el uso de drones. Recuperado de <https://www.agrolatam.com/nota/costa-rica-impulsa-la-agricultura-de-precision-con-un-nuevo-reglamento-sobre-el-uso-de-drones/>
- Apuy, E. J. (s.f.). Perfil de la oferta costarricense especializada en tecnologías 4.0. PROCOMER Costa Rica. Recuperado de <https://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/20A998F7-39C0-4B39-99AC-083233A2367A.pdf>
- Arauz Cavallini, L. F. (2022, 11 de julio). ¿Qué pasó con la producción de granos básicos en Costa Rica? Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2022/7/11/que-paso-con-la-produccion-de-granos-basicos-en-costa-rica.html>
- Asociación Argentina de Poscosecha de Granos. (2023). Haciendo camino para una poscosecha más exigente. Revista APOSGRAN, 146, 18-25. Recuperado de [https://aposgran.org.ar/assets/revistas/revista\\_aposgran\\_-\\_146b6591.pdf](https://aposgran.org.ar/assets/revistas/revista_aposgran_-_146b6591.pdf)

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Logistica-en-America-Latina-y-el-Caribe-Oportunidades-desafios-y-lineas-de-accion.pdf>
- Bartosik, R., & de la Torre, D. (2023). CO<sub>2</sub>NTROL: Una nueva tecnología para el monitoreo de granos almacenados. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Recuperado de [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/10/co2ntrol\\_.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/10/co2ntrol_.pdf)
- Cámara Oficial Española de Comercio e Industria en Costa Rica (CAMACOES). (2024). Costa Rica modernizará puerto del Pacífico. Recuperado de <https://camaco.es/cr/ eventos-y-noticias/costa-rica-modernizara-puerto-del-pacifico/>
- Castellanos Rodríguez, M. P. (2022). Análisis de la experiencia coreana en contenedores inteligentes: lecciones para Colombia y América Latina y el Caribe (Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/bitstreams/d6276592-7ea8-4733-b001-acfd618e58ba/download>
- Centro Interamericano de Administraciones Tributarias. (2025, 3 abril). Digitalización y transformación digital de la Administración Tributaria en América Latina y el Caribe (ALC): más allá de la factura electrónica. Recuperado de <https://www.ciat.org/digitalizacion-y-transformacion-digital-de-la-administracion-tributaria-en-america-latina-y-el-caribe-alc-mas-alla-de-la-factura-electronica/>
- Cerdas Cerdas Rojas, D., & Marín Serrano, M. J. (2022). Interpretación del régimen de Zona Franca Solarium con respecto a los sectores nacionales como aporte al desarrollo regional e inversión en Guanacaste para un periodo 2019–2020. (Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica). Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/706028b7-492d-4a46-a48a-3558ec366de2/content>
- Chavarría Ramos, A. (2020). Panorama actual de la economía naranja en Costa Rica: Oportunidades comerciales para Chile. [Informe de Práctica Dirigida, Universidad Nacional de Costa Rica]. Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/2b075df0-e557-4a2b-8515-4dd936dc2dff/content>

- Comex. (s.f.). Tratado de Libre Comercio entre Costa Rica y Canadá. Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica. Recuperado de <https://www.comex.go.cr/tratados/canada/>
- Compilatio. (2024, 24 julio). Comprender la investigación cualitativa: definición, métodos, diseño, recopilación y análisis de datos. Recuperado de <https://www.compilatio.net/es/noticias/investigacion-cualitativa>
- Consejo Hondureño de la Empresa Privada [COHEP]. (2021). Mercado de granos básicos en Honduras 2016-2020 (Informe sectorial). COHEP. Recuperado de <https://cohep.org/wp-content/uploads/2021/08/informe-mercado-de-granos-basicos-en-honduras-cohep-vf.pdf>
- Dantherm Group. (2025, 13 de febrero). Problemas de humedad en silos a granel y cómo gestionarlos. Recuperado de <https://www.danthermgroup.com/es/articulos/problemas-de-humedad-en-silos-a-granel-y-como-gestionarlos>
- El Mundo CR. (2023, 4 de octubre). Costa Rica fortalece agricultura de precisión con decreto sobre drones. Recuperado de <https://elmundo.cr/costa-rica/costa-rica-fortalece-agricultura-de-precision-con-decreto-sobre-drones/>
- Flores Valle, J. (2023). Impacto de la tecnología digital en las cadenas de suministro del sector servicios de alimentación de Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26207/1/UPS-GT004675.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Consultation on the V0 draft – Proceedings: HLPE-FSN report “Building resilient food systems” (Informe de consulta, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, Committee on World Food Security). Recuperado de [https://www.fao.org/media/docs/devhlpelibraries/report-20/250221\\_hlpe20\\_v0draft\\_econsultation\\_proceedings.pdf](https://www.fao.org/media/docs/devhlpelibraries/report-20/250221_hlpe20_v0draft_econsultation_proceedings.pdf)
- Fundación para el Desarrollo Empresarial y Agrícola. (2022). Manual de manejo poscosecha de granos básicos y troja mejorada (3.ª ed.). Autor. [https://fundabase.org/wp-content/uploads/2022/08/Español\\_Manual-de-manejo-postcosecha-de-granos-básicos-y-troja-mejorada.pdf](https://fundabase.org/wp-content/uploads/2022/08/Español_Manual-de-manejo-postcosecha-de-granos-básicos-y-troja-mejorada.pdf)
- García Blanco, D. T. (2023). Análisis de la Gestión Logística de Importación del Sector Industrial de Frutas Ácidas en la Región Central de Costa Rica en el 2022. (Tesis de Licenciatura, Universidad Internacional de las Américas). Recuperado de <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/1cddc6c2-0b3e-4164-b0f0-3c7873f996a4/content>

- García Muñoz, M. C., & Aya Rodríguez, J. E. (2024). Reflexiones sobre el rol del manejo poscosecha en la reducción de las pérdidas de alimentos y la inseguridad alimentaria. Mosquera (Colombia): AGROSAVIA. Recuperado de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/40238/Ver\\_Documento\\_40238.pdf](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/40238/Ver_Documento_40238.pdf)
- Granados Sánchez, M. del R. (2020). Formación de precios agrícolas en México y su incidencia en la economía, 1980-2017. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/260c0eb2-9ee8-4cca-b29f-2a28ad4cc97b/content>
- Hallak, J. C., & Tacsir, A. (2021). Los sistemas de trazabilidad como herramientas de diferenciación para la inserción internacional de cadenas de valor agroalimentarias (Nota técnica N.º 2248). Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de [Los-sistemas-de-trazabilidad-como-herramientas-de-diferenciacion-para-la-insercion-internacional-de-cadenas-de-valor-agroalimentarias%20\(2\).pdf](#)
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Universidad de Celaya. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://e-campus.uia.ac.cr/pluginfile.php/493235/mod\\_resource/content/1/HERN%C3%81NDEZ%20Y%20MENDOZA.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://e-campus.uia.ac.cr/pluginfile.php/493235/mod_resource/content/1/HERN%C3%81NDEZ%20Y%20MENDOZA.pdf)
- Instituto de Desarrollo Rural (Inder). (2021, 22 de julio). Inder impulsa producción de frijol y maíz en Guanacaste mediante equipamiento para Organización de Productores de Santa Cecilia de La Cruz. Recuperado de <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2021/N122-produccion-frijol-maiz.aspx>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2025). El fortalecimiento de la inclusión financiera digital en zonas rurales de América Latina. San José: Autor. Recuperado de <https://test-assets-opsaa.iica.int/storage/resource/2025/06/8132c38fb39f43b59148974065212f8d.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2022). Agrologística de precisión: reducción de pérdidas poscosecha en granos básicos. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/20707>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (s.f.). Las seis barreras que frenan la

inclusión digital en el mundo rural y cómo derribarlas. Recuperado de <https://blog.iica.int/blog/las-seis-barreras-que-frenan-inclusion-digital-en-mundo-rural-como-derribarlas>

Instituto Nacional de Metrología de Colombia. (2019). Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena de cacao de exportación en Santander y su zona de influencia. Recuperado de [https://inm.gov.co/wp-content/uploads/2024/06/2019-MIBM\\_Cacao-UE.pdf](https://inm.gov.co/wp-content/uploads/2024/06/2019-MIBM_Cacao-UE.pdf)

Jacto. (2021). ¿Qué tanto conoces sobre la producción de maíz? Recuperado de <https://bloglatam.jacto.com/produccion-de-maiz/>

Jiménez González, S. (2023, 28 de marzo). Nueva variedad de frijol rojo llega a la Zona Norte. La Región. Recuperado de <https://laregion.cr/nueva-variedad-de-frijol-rojo-llega-a-la-zona-norte/>

La República. (2022, 25 de julio). Conarroz impulsa una producción sostenible mediante la implementación de buenas prácticas ambientales. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/conarroz-impulsa-una-produccion-sostenible-mediante-la-implementacion-de-buenas-practicas-ambientales>

La República. (2023). Arroceros de Guanacaste denuncian que 3 mil hectáreas están en riesgo. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/arroceros-de-guanacaste-denuncian-que-3-mil-hectareas-estan-en-riesgo>

Loayza, E. L. (2019). Sustentabilidad de la cadena de suministro internacional y sus efectos en la gestión de la agroindustria alimentaria peruana en los años 2016 – 2019. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/657951/Loayza\\_EL.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/657951/Loayza_EL.pdf?sequence=3)

Manufactura Latam (2020). La FDA publica nuevos requisitos para la etiqueta nutricional. Recuperado de <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/la-fda-publica-nuevos-requisitos-para-la-etiqueta-nutricional>

Maroni, J. R. (2023). Las nuevas tecnologías y su impacto sobre la producción granaria. Cátedra de Maquinaria Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/14/3AM14.htm>

Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2022). Estudio

para el desarrollo de un catastro de variedades tradicionales de nuestro país y de sus guardadoras y guardadores. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Recuperado de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71999/VarietadesTradicionaldeNuestroPais.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2024). El uso de la Blockchain para el sector agrícola: Caso Latinoamérica. AgroNet. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/El-uso-de-la-Blockchain-para-el-sector-agr%C3%ADcola--Caso-Latinoam%C3%A9rica.aspx>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2024). Política pública para los plaguicidas de uso agrícola 2024-2034. San José, Costa Rica: Autor. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/planes-y-politicas-institucionales/politicas-en-salud-1/8595-politica-publica-para-los-plaguicidas-de-uso-agricola-2024-2034/file>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (s.f.). Estudio Desabasto Maíz Blanco: Situación del maíz blanco en Costa Rica. Recuperado de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E16-11088.pdf>

Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones [MICITT]. (2021). Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022-2027. San José, Costa Rica: MICITT. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2023/06/Plan-Nacional-Ciencia-Tecnologia-Innovacion-2022-2027.pdf>

Ministerio de Comercio Exterior [COMEX]. (2024). Intercambio comercial (Comercio de bienes, 2007-2023). Recuperado el 30 de mayo de 2025, de <https://www.comex.go.cr/estad%C3%ADsticas-y-estudios/comercio-bienes/intercambio-comercial/>

Ministerio de Comercio Exterior. (2023). Informe de evaluación de las metas del Plan Estratégico Institucional 2023-2026. Recuperado de <https://www.comex.go.cr/media/10912/informe-anual-pei-2023.pdf>

Montoriol Garriga, J. (2022, 1 abril). La evolución de los precios, clave para el sector agroalimentario en 2022. CaixaBank Research. Recuperado de <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/agroalimentario/evolucion->

precios-clave-sector-agroalimentario-2022

Nove, P. (2025, 12 febrero). \* Códigos QR en América: Cómo se utilizan los códigos QR en cada país\*. QR TIGER Blog. Recuperado de <https://www.qrcode-tiger.com/es/qr-codes-in-america>

Observatorio de Complejidad Económica (OEC). (2023). Dinámica de exportaciones de Costa Rica hacia Canadá. Recuperado de <https://oec.world/es/profile/bilateral-country/cri/partner/can>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022 – Resumen ejecutivo. Recuperado de <https://www.fao.org/3/cb9479es/online/sofa-2022/executive-summary.html>

Organización Mundial de Aduanas & Organización Mundial del Comercio. (2021). Libro blanco sobre blockchain y ventanillas únicas de comercio exterior. OMA-OMC. Recuperado de [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/wco-wto\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/wco-wto_s.pdf)

Paramérica SA. (2023, 24 de noviembre). La revolución tecnológica en la logística agrícola para una mayor eficiencia. Reporte Asia. Recuperado de <https://reporteasia.com/economia/comercio/2023/11/24/revolucion-tecnologica-logistica-agricola>.

PROCOMER. (2023, 14 de junio). Aplicaciones del blockchain para la inocuidad y trazabilidad en el sector agropecuario. Recuperado de [https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/exportador-alerta/aplicaciones-del-blockchain-para-la-inocuidad-y-trazabilidad-en-el-sector-agropecuario/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/exportador-alerta/aplicaciones-del-blockchain-para-la-inocuidad-y-trazabilidad-en-el-sector-agropecuario/)

PROCOMER. (2023, 20 de julio). Agrotransformación 2023 acerca la innovación y nuevas tecnologías al sector agropecuario del país. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. Recuperado de <https://www.procomer.com/noticia/agrotransformacion-2023-acerca-la-innovacion-y-nuevas-tecnologias-al-sector-agropecuario-del-pais>.

PROCOMER. (2024, 23 de enero). Exportaciones de bienes en Costa Rica crecen un 15,5% en el 2023. Recuperado de [https://www.procomer.com/noticia/exportaciones-de-bienes-en-costa-rica-crecen-un-155-en-el-2023/?utm\\_source=](https://www.procomer.com/noticia/exportaciones-de-bienes-en-costa-rica-crecen-un-155-en-el-2023/?utm_source=)

Programa Sociedad de la Información y el Conocimiento (PROSIC). (2022). Agricultura de precisión en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://www.prosic.ucr.ac.cr/informe-hacia-la-sociedad-de-la-informacion-y-el-conocimiento-2022>

- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2020). Blog: Guanacaste, la costa dorada del Pacífico Norte. Recuperado de <https://www.procomer.com/noticia/exportador-noticia/blog-guanacaste-la-costa-dorada-del-pacifico-norte>
- Pueyo Carrascón, C. (2024, 18 de octubre). La digitalización, un punto a favor para la competitividad del campo. Cadena SER. Recuperado de <https://cadenaser.com/aragon/2024/10/18/la-digitalizacion-un-punto-a-favor-para-la-competitividad-del-campo-ser-aragon-oriental/>
- Ribó Montoy, C. (2021). El mercado de frutas y hortalizas frescas en Canadá. Cámara de Comercio de Murcia. Recuperado de [https://www.camaramurcia.es/wp-content/uploads/2022/04/Estudio-Mercado-Frescos-Canada-Nov2021-DOC2021894768.pdf?utm\\_source=](https://www.camaramurcia.es/wp-content/uploads/2022/04/Estudio-Mercado-Frescos-Canada-Nov2021-DOC2021894768.pdf?utm_source=)
- SAP Transportation Management. (s. f.). ¿Qué es un sistema de gestión de transporte (TMS)? Recuperado de <https://www.sap.com/latinamerica/products/scm/transportation-logistics/what-is-a-tms.html>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras. (2024). Honduras logra cifra récord con producción de 3.4 millones de quintales de frijol, 500 mil más que en 2022. Recuperado de <https://www.prensa.sag.gob.hn/2024/01/04/honduras-logra-cifra-record-con-produccion-de-3-4-millones-de-quintales-de-frijol-500-mil-mas-que-en-2022/>
- Simbron Ruiz, M., Egoavil Lara, J., & Cardenas Vilcapoma, P. (2024). Uso de las tecnologías digitales y su relación con el desarrollo de la oferta exportable de las empresas agroexportadoras de arándanos de la región La Libertad. Universidad Continental, Perú. Recuperado de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15569/1/IV\\_FCE\\_315\\_TE\\_Simbron\\_Egoavil\\_Cardenas\\_2024.pdf?utm\\_source=](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15569/1/IV_FCE_315_TE_Simbron_Egoavil_Cardenas_2024.pdf?utm_source=)
- TecnoAgro. (2024, 1 de abril). Innovaciones en almacenamiento y logística de granos: Optimizando la cadena de suministro agrícola. Recuperado de [https://tecnoagro.com.mx/2024/04/01/innovaciones-en-almacenamiento-y-logistica-de-granos-optimizando-la-cadena-de-suministro-agricola/?utm\\_source=](https://tecnoagro.com.mx/2024/04/01/innovaciones-en-almacenamiento-y-logistica-de-granos-optimizando-la-cadena-de-suministro-agricola/?utm_source=)
- Torres Murillo, L. V., Hidalgo Urrea, J. E., Álvarez Paz, D. M., & Sánchez Ayala, L. M. (2024). Retos y oportunidades de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de abastecimiento en la industria de alimentos. Universidad EAN. Recuperado

de<https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/8631030d-3a34-467f-ae80-a29de6870d7b/content>

UNCTAD. (2024). Informe sobre la economía digital 2024: Forjar un futuro digital ambientalmente sostenible e inclusivo. Naciones Unidas, Conferencia sobre Comercio y Desarrollo. Recuperado de [https://unctad.org/system/files/official-document/der2024\\_overview\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/der2024_overview_es.pdf)

Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Definición de tecnología. Recuperado de <https://www.unam.mx/definicion-de-tecnologia>

Villalobos Arias, J. J. (2023). Establecimiento de un panel sensorial en una empresa arrocera para la descripción sensorial de tres diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa*) producidas en dos regiones de producción de Costa Rica (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica). Recuperado de <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/6b62b394-9ed7-4e3d-9b2b-f1d399ca756a/content>

## Apéndice

### Anexos

Investigador: Joel Sánchez Jiménez.

Con el objetivo de aportar al estudio titulado “Análisis de los impactos con la implementación de tecnologías en las cadenas de suministro del sector granos tradicionales en la Región Chorotega en las exportaciones hacia Canadá durante el periodo 2023 - 2024”, este cuestionario reúne información clave directamente de los actores involucrados. Agradecemos su colaboración; los datos proporcionados se tratarán con estricta confidencialidad y se emplearán únicamente con fines académicos. Su participación es esencial para detectar oportunidades de mejora y proponer estrategias que fortalezcan la competitividad de la agroindustria regional.

1. ¿Qué tecnologías se utilizan actualmente en las diferentes etapas de la cadena de suministro de granos tradicionales en la Región Chorotega? (Obj 1)
2. ¿Qué factores han influido en la selección dentro de la cadena de suministro de granos tradicionales? (Obj 1)
3. ¿Cómo ha impactado el uso de tecnologías en la reducción de costos logísticos? (Obj 1)
4. ¿Qué tipo de capacitación ha recibido para utilizar estas tecnologías de manera efectiva? (Obj 1)
5. ¿Cómo han influido estas tecnologías en la eficiencia general del proceso de exportación hacia mercados como el canadiense? (Obj 1)
6. ¿Qué manera las tecnologías utilizadas permiten dar seguimiento al producto desde su producción hasta la exportación? (Obj 2)

7. ¿Cómo se gestiona actualmente el seguimiento del producto desde su producción hasta la exportación (Obj 2)
8. ¿Qué ventajas competitivas considera que podría ofrecer una mejor trazabilidad de los productos para acceder al mercado canadiense? (Obj 2)
9. ¿Qué aspectos del sistema de trazabilidad podrían fortalecerse para apoyar mejor el proceso de exportación? (Obj 2)
10. ¿Qué otras tecnologías, según su experiencia, cree usted que se podrían utilizar como herramientas tecnológicas en la trazabilidad de productos de las cadenas de suministro? (Obj 2)
11. ¿Qué dificultades ha enfrentado para incorporar tecnologías en sus procesos de producción agrícola? (Obj 3)
12. ¿Cuáles son las principales limitaciones económicas que impiden el acceso a tecnologías en el sector de granos tradicionales? (Obj 3)
13. ¿Cuáles ¿Qué tan accesible ha sido la infraestructura tecnológica en su entorno de producción? (Obj 3)
14. ¿Qué tipo de formación técnica ha recibido en relación con el uso de tecnologías en su actividad agrícola? (Obj 3)
15. ¿Cómo afecta la falta de tecnología en la competitividad de las exportaciones hacia mercados exigentes como el canadiense? (Obj 3)