

Artículo Original/ Original Article

Trazabilidad y análisis de datos para el mercado frutihortícola: una propuesta tecnológica

*Traceability and data analysis for the fruit and vegetable market:
a technological proposal*

*Diego Liebel¹ 

¹Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias y Tecnologías. Encarnación, Paraguay.
Correspondiente*: diegoliebel@facyt.uni.edu.py

Para citar este artículo:

Liebel, D. (2026). Trazabilidad y análisis de datos para el mercado frutihortícola: una propuesta tecnológica. *UCOM Scientia*, 4(1), 69-90.

Fecha de recepción: 12/02/2026

Fecha de aceptación: 23/02/2026

Resumen

La trazabilidad de alimentos frutihortícolas constituye un componente esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la calidad de los productos y la transparencia de las cadenas agroalimentarias, especialmente en regiones donde la producción se caracteriza por sistemas heterogéneos y alta participación de pequeños productores. En Paraguay, la implementación obligatoria de normativas por parte del SENAVE ha impulsado la digitalización de procesos; sin embargo, persisten desafíos en la cobertura integral de la cadena y en la minimización de las fugas de valor en los procesos. Este documento tiene como objetivo proponer una arquitectura de sistema orientada a cubrir toda la cadena de valor, desde la producción primaria hasta el punto de venta. Basándose en una revisión sistematizada y un diseño técnico modular, la propuesta introduce componentes de ciencia de datos para la planificación estratégica y soluciones pragmáticas para la adopción en el retail, como el etiquetado por lotes de exhibición. Los resultados evidencian que una arquitectura fundamentada en la interoperabilidad y la inmutabilidad no sólo fortalece la confianza del consumidor y el cumplimiento normativo, sino que actúa como un activo financiero al reducir pérdidas post-cosecha y optimizar la coordinación entre la oferta y la demanda.

Palabras clave: Trazabilidad; frutihorticultura; cadena de valor; arquitectura de software; seguridad alimentaria.

Abstract

The traceability of fruit and vegetable products is an essential component for ensuring food safety, product quality, and transparency in agri-food supply chains, especially in regions where production is characterized by heterogeneous systems and a high participation of small producers. In Paraguay, the mandatory implementation of regulations by SENAVE has promoted the digitalization of processes; however, challenges persist in achieving comprehensive coverage of the entire chain and in minimizing value losses within processes. This paper aims to propose a system architecture oriented toward covering the entire value chain, from primary production to the point of sale. Based on a systematized review and a modular technical design, the proposal introduces data science components for strategic planning and pragmatic solutions for adoption at the retail level, such as labeling based on display batches. The results show that an architecture based on interoperability and immutability not only strengthens consumer trust and regulatory compliance but also acts as a financial asset by reducing post-harvest losses and optimizing coordination between supply and demand.

Keywords: Traceability; fruit and vegetable production; value chain; software architecture; food safety.

1. Introducción

La trazabilidad en alimentos frescos define la capacidad de identificar el origen de un producto y reconstruir su recorrido a lo largo de toda la cadena de suministro, desde la producción hasta el consumidor final (Online Browsing Platform, 2007). En el caso de las frutas, hortalizas y vegetales frescos en general, regionalmente son considerados como productos frutihortícolas, esta característica “fresca” resulta crítica debido a su alta perecibilidad, sensibilidad a las condiciones ambientales y riesgos sanitarios asociados a prácticas inadecuadas del manejo, transporte o almacenamiento.

A nivel internacional, los sistemas de trazabilidad se han consolidado como un requisito regulatorio y comercial. La Unión Europea, mediante el Reglamento (CE) N.º 178/2002 (European Union, 2002), exige que los operadores alimentarios puedan identificar el origen y destino inmediato de los alimentos, habilitando la retirada rápida de productos ante alertas sanitarias (European Commission, 2002). En Estados Unidos, la Food Safety Modernization Act (FSMA) incorpora reglas específicas de trazabilidad para alimentos frescos, promoviendo el uso de registros electrónicos (U. S. Food & Drug, 2022). Estas exigencias han impulsado el desarrollo de soluciones digitales que integran bases de datos, tecnologías web, sensores IoT y, más recientemente, blockchain.

En América Latina, diversos países (Chile - SAG, Colombia- IICA, Perú- SENASA y México - SENASICA) han avanzado en la adopción de sistemas nacionales de trazabilidad vegetal, se observan proyectos piloto y marcos regulatorios en evolución, con énfasis en exportación, inocuidad alimentaria y adopción gradual de soluciones digitales. Argentina implementó el



Documento de Tránsito Vegetal Electrónico (DTV-e), mientras que Brasil ha desarrollado plataformas basadas en blockchain como SIBRAAR, orientadas a mejorar la transparencia y competitividad de los productos agrícolas en mercados internacionales (Sibraar, 2023). En Paraguay, la trazabilidad frutihortícola se volvió obligatoria para varios rubros mediante resoluciones del SENAVE, que establecen el registro de productores, lotes y movimientos a través de aplicaciones digitales oficiales (Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas [SENAVE], 2023). Sin embargo, los estudios y reportes institucionales coinciden en que el enfoque actual está centrado principalmente en el cumplimiento normativo y en el control fitosanitario, con limitada integración de datos logísticos, control de calidad postcosecha y acceso a la información por parte del consumidor final.

Si bien estas iniciativas representan avances significativos, la literatura reciente señala limitaciones recurrentes: cobertura parcial de la cadena de valor, dependencia de soluciones cerradas, escasa interoperabilidad entre sistemas y dificultades para integrar datos de calidad, logística y certificaciones en un único modelo coherente (Morais et al., 2024). En este contexto, el diseño de una arquitectura de software que contemple actores, roles, gestión entidades multitenant, módulos estándares, y el ciclo de vida del dato se presenta como un desafío relevante tanto desde el punto de vista tecnológico como organizacional.

El presente trabajo se enfoca en productos frutihortícolas producidos y comercializados en Paraguay, tiene como objetivo general analizar el estado del arte en trazabilidad frutihortícola y, a partir de ello, proponer un marco arquitectónico para un sistema con un enfoque tecnológico que pueda ser implementado en software que cubra toda la cadena de valor, destacando el origen del producto, la logística, la seguridad alimentaria y el control de calidad. Con este enfoque, establecer una estructura para el análisis de datos a través de algoritmos de Ciencias de Datos.

2. Materiales y métodos

2.1 Diseño del estudio

El estudio se desarrolló como una investigación aplicada bajo un enfoque descriptivo propositivo, basado en una revisión bibliográfica sistematizada de literatura científica, documentos normativos y reportes técnicos relacionados con la trazabilidad de alimentos frutihortícolas. La revisión se complementa con el análisis de casos de estudio relevantes y marcos regulatorios vigentes, con el fin de identificar patrones, buenas prácticas y elementos comunes aplicables al diseño de una arquitectura de sistema, para una propuesta tecnológica (Cegarra Sánchez, 2004).

2.2 Estrategia de búsqueda y criterios de selección

La búsqueda bibliográfica se realizó considerando publicaciones de los últimos cinco años (2019–2024), priorizando artículos indexados en bases de datos científicas como Scopus, ScienceDirect,



MDPI, Web of Science e IEEE, así como documentos oficiales de organismos regulatorios y de cooperación internacional. Se utilizaron palabras clave en español e inglés, entre ellas: traceability, fresh produce, fruit and vegetables, blockchain, IoT, food safety, traceability system, multitenant architecture.

Los criterios de inclusión fueron: (a) estudios centrados en trazabilidad de frutas, hortalizas o vegetales frescos; (b) trabajos que abordan toda la cadena de valor o múltiples eslabones; (c) investigaciones que incluyeran componentes tecnológicos, normativos o estudios de caso; y (d) documentos relevantes para el contexto latinoamericano o paraguayo. Se excluyeron publicaciones anteriores al período definido y aquellas enfocadas en productos de origen animal o productos frescos procesados, también se excluyeron estudios centrados exclusivamente en criptomonedas sin aplicación logística.

Proceso de filtrado y análisis, aplicando estas tres fases:

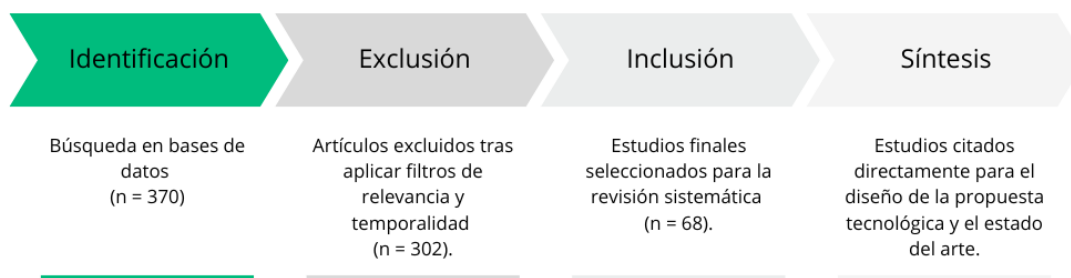
- Identificación: Localización de registros mediante las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos mencionadas. Las ecuaciones de búsquedas aplicadas fueron: ("*traceability*" OR "*track and trace*") AND "*data science*" AND ("*supply chain*" OR "*logistics*") AND ("*fresh produce*" OR "*fruits*" OR "*vegetables*") y ("*traceability system*" OR "*traceability*") AND ("*blockchain*" OR "*IoT*") AND "*multitenant architecture*" AND "*food safety*"
- Evaluación de relevancia: Evaluación de títulos y resúmenes para descartar estudios no relacionados con el desarrollo de software o el sector agrícola.
- Inclusión: Lectura crítica de los artículos seleccionados para extraer parámetros técnicos sobre usabilidad, accesibilidad para actores de la cadena de valor y modelos arquitectónicos o predictivos de datos.

2.3 Análisis de la información

La búsqueda inicial en las bases de datos (MDPI, IEEE, ScienceDirect y Scopus/WoS) arrojó un total de 370 registros. Tras un proceso de filtrado preliminar basado en la lectura de títulos y resúmenes, se excluyeron progresivamente 302 documentos debido a razones como el enfoque en productos de origen animal, investigaciones centradas exclusivamente en criptomonedas sin aplicación logística, la ausencia de relación con la trazabilidad en alguna de sus fases, o el hecho de encontrarse fuera del rango temporal establecido (2019-2024).

Tras la evaluación a texto completo, el proceso resultó en la selección de 68 estudios finales que cumplieran con los criterios de inclusión (ver Figura 1)

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de documentos



Fuente: Elaboración Propia (2025)

Los documentos seleccionados fueron analizados mediante una lectura sistemática, identificando categorías clave como: objetivos del sistema de trazabilidad, actores involucrados, tecnologías utilizadas, estándares aplicados, beneficios reportados y limitaciones identificadas. De este conjunto documental, un subgrupo de referencias representativas se utilizó para establecer el estado del arte y el contexto existente, mientras que los estudios centrados en IoT, Blockchain y desarrollo de software sirvieron como marco teórico directo para fundamentar el diseño de la arquitectura multitenant propuesta.

2.4 Síntesis de la revisión bibliográfica

2.4.1. Parámetro de usabilidad: simplificación de la complejidad

Uno de los modelos que ha cobrado relevancia últimamente en los sistemas modernos de trazabilidad es el uso de cadenas de blockchain, que son subyacentes, muchos de ellos ocultan la complejidad. Otro uso también es la aplicación de contratos inteligentes que permite una usabilidad por automatización, donde las reglas de negocios se ejecutan sin intervención humana, reduciendo así el error manual. Una plataforma interesante es METRIQA (Bacco et al., 2024), que incorpora capas de aplicación con interfaces de usuario, sumado a un sistema de decisión basados en análisis visual, facilitando así a los gerentes u operarios de los actores tomen decisiones informadas rápidamente.

Por otro lado, estudios como el del BID en 2022 *“Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias: América Latina y el Caribe”* (Latina et al., 2022) analizan casos de uso blockchain en agricultura, confirmando su potencial para la trazabilidad y resaltando retos de adopción. Proyectos de I+D (p. ej. redes CYTED) trabajan en sistemas integrales de mejora de calidad y trazabilidad post-cosecha. El GIZ ha catalogado herramientas digitales regionales (software de trazabilidad, apps móviles) y recomienda interfaces amigables (uso de QR/RFID) que permitan cumplir normas como la EUDR (Rivera Baez, 2025).

2.4.2. Parámetro de accesibilidad rural: soluciones de bajo coste

En cuanto a la recolección de datos de forma automatizada en ambientes de IoT, tecnologías de radio frecuencia de bajo consumo energético como LPWAN son muy valoradas en estos ambientes. La implementación de protocolos ligeros como MQTT asegura que la transmisión de datos sea eficiente incluso en redes con ancho de banda limitado (Farina et al., 2025).

2.4.3. Parámetro de modelos predictivos: hacia la trazabilidad prescriptiva

La ciencia de datos ha evolucionado desde la trazabilidad descriptiva (qué pasó) hacia la prescriptiva (qué debería hacerse)(Ikram et al., 2024). Los modelos de aprendizaje automático no sólo alertan sobre una ruptura en la cadena de frío, sino que analizan tendencias históricas para predecir cuándo es probable que ocurra una falla en un equipo de refrigeración, permitiendo el mantenimiento preventivo (Ahmed et al., 2024). El análisis de datos masivos (Big Data) (Sharma et al., 2021) permite identificar patrones de riesgo en regiones geográficas específicas, facilitando a las agencias de seguridad alimentaria una supervisión dirigida y más eficiente.

2.4.4. Discusión sobre el impacto en la sostenibilidad y la salud pública

La implementación de sistemas avanzados de trazabilidad (Tabla 1) no sólo responde a necesidades comerciales, sino que es un pilar de la sostenibilidad ambiental y social. Al optimizar la logística y reducir el desperdicio de alimentos (que alcanza el 30% en frutas y vegetales) (Nie et al., 2025), se disminuye la presión sobre los recursos naturales y se mejora la seguridad alimentaria (Ellahi et al., 2024).

Tabla 1. Comparación de normativas de trazabilidad frutihortícola

País / Región	Marco normativo principal	Alcance	Enfoque predominante
Paraguay	Resoluciones SENAVE (DTV)	Producción y transporte	Control fitosanitario y origen
Argentina	DTV-e – SENASA	Cadena nacional	Inocuidad y logística
Brasil	MAPA – SIBRAAR	Cadena completa	Transparencia y exportación
Unión Europea	Reglamento (CE) 178/2002	Cadena completa	Seguridad alimentaria
Estados Unidos	FSMA (Regla 204)	Alimentos frescos	Gestión de riesgos

Fuente: Elaboración propia (2025)



En el marco de la Industria 5.0, se observa una tendencia hacia la "human-centricity", donde la tecnología de trazabilidad se utiliza para fortalecer a los trabajadores y asegurar condiciones laborales justas (Tabla 2), además de la calidad del producto (Nie et al., 2025). La transparencia generada por el blockchain permite a los consumidores recompensar a los productores que adoptan prácticas sostenibles, creando un círculo íntegro que beneficia tanto al medio ambiente como a la economía rural (Lv et al., 2023).

Tabla 2. Estándares tecnológicos relevantes

Estándar	Aplicación	Aporte a la trazabilidad
ISO 22005	Sistemas de trazabilidad	Principios y diseño
GS1 (GTIN, GLN, QR)	Identificación	Interoperabilidad
EPCIS	Intercambio de eventos	Visibilidad de la cadena
Blockchain	Registro inmutable	Confianza e integridad

Fuente: Elaboración propia (2025)

3. Resultados

3.2 La Propuesta Tecnológica

A continuación, se detalla una arquitectura de software que podrían aplicarse a la región, la misma establece características mínimas esenciales, describe actores y su relación en la cadena de suministro en las diferentes situaciones de las actividades que estuvieran involucrados.

3.2.1. Arquitectura del sistema: modelo multi-tenant

Para garantizar la viabilidad económica en el sector frutihortícola paraguayo, se propone una arquitectura de software basada en el modelo SaaS (Software as a Service) con multitenencia (Multi-tenancy). Una única instancia de la aplicación con una base de datos compartida sirve a múltiples organizaciones (cooperativas, asociaciones, comité de productores, centros de acopio, transportistas, comerciantes y consumidores finales).

Mediante un identificador único de "Tenant" se consigue un aislamiento de datos, esto asegura que la información de una organización sea visible para los usuarios de la misma, garantizando la privacidad comercial, estableciendo así un contexto, datos y configuraciones aislados. Este modelo reduce drásticamente los costos de mantenimiento e infraestructura, permitiendo

disponibilizar una plataforma a pequeños productores, accediendo así a tecnología de punta que de otro modo el costo de mantenimiento sería bastante alto.

3.2.2. Mapeo de actores y sistema de permisos

En esta arquitectura se propone un control de acceso basado en roles (RBAC - Role-Based Access Control) para así garantizar la integridad de la información y la seguridad del sistema. El acceso es conveniente dividir en dos capas: Tipo Tenant y Rol del tenant, el primero define *qué módulos* puede acceder a una organización. El tipo de tenant actúa como un filtro de primer nivel que determina el alcance funcional disponible, y la segunda capa Rol del tenant: Define *qué puede hacer* un usuario dentro de esos módulos. Los roles son específicos a cada tenant y determinan las acciones granulares permitidas.

TIPO DE TENANT + ROL DE USUARIO EN TENANT = PERMISOS FINALES

3.3. Caracterización sistémica de actores y capacidades operativas

La lógica operativa del sistema se rige por un modelo de Control de Acceso Basado en Roles (RBAC), donde cada entidad en la cadena de valor posee capacidades técnicas específicas orientadas a la integridad del dato y la gestión del ciclo de vida del producto.

3.3.1. El productor y el ciclo de vida del lote primario

El Productor constituye la entidad origen de la cadena y es responsable de la producción primaria. Su interacción con el sistema se articula a través de un ciclo de vida del lote rígidamente estructurado en etapas. En la etapa de producción, se instancia el lote mediante la definición del tipo de producto, variedad específica, área sembrada, densidad de plantas y el sistema de cultivo, integrando además certificaciones aplicables, fecha de siembra y coordenadas geográficas exactas. Al transicionar a la etapa de cosecha, el sistema captura métricas reales como la fecha de recolección, cantidad obtenida, superficie aprovechada, método manual o mecánico y el tipo de empaque primario utilizado. Posteriormente, en la post-cosecha, se documentan variables críticas de preservación como temperatura y humedad, estableciendo la fecha de expiración técnica y observaciones especiales de sanidad. Finalmente, en la etapa de pre-venta, el productor clasifica la disponibilidad por categorías (finca, mayoreo, menudeo o exportación), definiendo precios y unidades de medida antes de iniciar envíos hacia acopiadores o comerciantes por medio de transportistas. Operativamente, este actor interactúa con los módulos de control de calidad para generar checklists obligatorios, consulta la demanda de mercado para la planificación productiva y recibe notificaciones críticas sobre validaciones y estados logísticos.

3.3.2. Acopiador y centro de procesamiento intermedio

El Acopiador funciona como un nodo de transformación que recibe lotes primarios para su adecuación comercial. Su flujo de trabajo inicia con la recepción de productos, donde se registra el arribo mediante documentación técnica, verificando físicamente cantidades y condiciones de entrega bajo protocolos de inspección de calidad. El procesamiento incluye transformaciones técnicas como limpieza, selección, clasificación por estándares de calidad, re-empaque y fraccionamiento o combinación de lotes (mezclas). Esta actividad genera Lotes Procesados, entidades digitales que portan un código de trazabilidad único vinculado intrínsecamente a los lotes de origen y a los metadatos de transformación aplicados. El acopiador va registrando las diferentes actividades en los controles de calidad en la entrada, durante el proceso de higiene y en el almacenamiento ambiental antes de la distribución hacia comerciantes o consumidores finales. Su interoperabilidad sistémica con los demás roles le permite especificar necesidades de compra, registrar oferta disponible y gestionar envíos de productos transformados de manera trazable.

3.3.3. Transportista y gestión logística en tránsito

El Transportista es el responsable del movimiento físico y de garantizar la integridad del producto. Su actividad inicia con la recepción de solicitudes de transporte, a las cuales responde mediante propuestas técnicas que detallan precios, vehículos, horarios y condiciones garantizadas. Una vez aceptado el envío, el sistema debe documentar la información del conductor y la unidad, iniciando una fase de monitoreo continuo de temperatura, humedad relativa y localización geográfica para reportar cualquier incidencia en tránsito. Esta implementación de monitoreo IoT de temperatura, humedad relativa y localización geográfica es un complemento en la logística, ya que contribuiría en la verificación en el traslado de los productos. El ciclo logístico se cierra con la confirmación de entrega, donde se registra la temporalidad exacta, el estado físico de los productos y se obtiene la validación del receptor. Este actor interactúa dinámicamente con el módulo de envíos y notificaciones, complementando además los checklists de control de calidad específicos para el transporte de alimentos frescos.

3.3.4. Comerciante y gestión de distribución retail

El Comerciante adquiere productos frescos que podrán venir directamente de un productor o de un acopiador para su colocación en el mercado mayorista o minorista. Su intervención técnica comienza con la especificación de necesidades de compra, definiendo rubros, cantidades, criterios de calidad y empaque requeridos. Al recibir los productos, documenta la entrada y realiza inspecciones de integridad antes de generar lotes de tipo retail. El sistema debe permitir gestionar el inventario mediante políticas de rotación de stock (FIFO), monitoreo de

fechas de vencimiento y registro de movimientos internos. La fase de distribución final contempla el fraccionamiento del producto y la generación de códigos de consumidor que permiten el acceso a la trazabilidad completa, iniciando así el despacho hacia los puntos de venta o clientes finales.

3.3.5. Inspector y auditor (supervisión externa)

El Inspector actúa como un ente supervisor externo con facultades de auditoría integral y validación del cumplimiento normativo. Su perfil técnico le otorga acceso de lectura a toda la información de trazabilidad generada en la cadena, permitiéndole evaluar el cumplimiento de normas sanitarias, verificar la autenticidad de las certificaciones y realizar inspecciones físicas documentadas en diferentes puntos de control. El inspector es responsable de la validación de procesos, revisando procedimientos de higiene, condiciones de almacenamiento y protocolos de transporte. Su capacidad operativa culmina con la emisión de certificaciones que aprueban los lotes para su comercialización o el rechazo de estos en caso de no conformidades, generando reportes de auditoría detallados y notificaciones automáticas sobre el estado legal y sanitario de la producción.

3.3.6. Consumidor final y verificación de origen

El Consumidor representa el eslabón final y el beneficiario de la transparencia del sistema. Su interacción es de solo lectura y se realiza principalmente a través del escaneo de códigos QR presentes en las etiquetas retail. Técnicamente, el sistema le permitiría visualizar la ruta completa del producto, identificando al productor original o a los productores en caso de que el lote fuera procesado de varias fuentes, la ubicación geográfica de la finca y el histórico de transformaciones aplicadas. Además, puede consultar las inspecciones de calidad realizadas y las certificaciones vigentes que respaldan el producto. Como funcionalidad extendida, el sistema debería utilizar los datos de adquisición para identificar patrones de consumo promedio, integrando esta información con los levantamientos de necesidades de los comercios para generar estadísticas de consumo real que retroalimentan la planificación de la cadena.

3.3.7. Administrador del sistema y gobernanza de datos

El Administrador posee el control total sobre la infraestructura y la configuración lógica de la plataforma. Sus funciones principales incluyen la gestión de usuarios y la administración de tenants, configurando los niveles de acceso y módulos disponibles según el tipo de organización. Posee la facultad de crear roles personalizados y plantillas de permisos, supervisando la actividad global mediante auditorías de logs de sistema para asegurar el cumplimiento normativo. A nivel de análisis, el administrador cuenta con una visión agregada y anónima de los flujos de datos, permitiéndole generar reportes de rendimiento del ecosistema sin

comprometer la privacidad individual de los tenants, garantizando al mismo tiempo la seguridad mediante la gestión de los protocolos de cifrado y la inmutabilidad de los registros históricos.

3.4. Flujo de trazabilidad y ciclo de vida del dato

La propuesta se fundamenta en la capacidad de reconstruir la historia de cada artículo mediante información documentada sistemáticamente. Para ello, se implementan tres dimensiones de seguimiento: la trazabilidad hacia atrás (identificación de origen), trazabilidad hacia adelante (identificación de destino) y trazabilidad lateral (relación entre productos transformados).

Este flujo de datos "del campo a la mesa" comienza con la generación de códigos de identificación únicos y accesibles, diseñados para evitar la complejidad extrema de estándares internacionales como el GS1 de Global Traceability Standard (GTS), cuya implementación resulta excesiva para el escenario paraguayo actual. Asimismo, se descarta el uso exclusivo de identificadores universales únicos (UUID) debido a su nula legibilidad para los actores del campo. En su lugar, se propone un término medio, flexible y gestionable, que mantiene el rigor técnico mediante identificadores estructurados. Estos códigos utilizan prefijos específicos para cada evento, seguidos por el identificador del tenant, la fecha de generación (YYYYMMDD) y un código secuencial autoincremental, asegurando una lectura rápida y una gestión eficiente, como se expone en la Tabla 3.

Tabla 3. Codificación de trazabilidad

Entidad	Prefijo	Ejemplo de Formato
Lote Primario	L-	L-5-20250101-001
Envío	E-	E-5-12-20250101-001
Recepción	R-	R-12-A-20250102-001
Lote Procesado	P-	P-12-LIM-20250102-001
Unidad Retail	ORIGEN-	ORIGEN-K9M2PX-7

Fuente: Elaboración propia (2025)

Cada identificador se asocia a metadatos persistentes que incluyen la identidad del usuario responsable (`created_by`), marcas temporales de verificación (`verified_at`) e historiales detallados de la cadena de custodia. Este enfoque garantiza una base de datos íntegra y transparente, permitiendo que cada hito del proceso sea auditable por todos los actores involucrados.

Cada identificador se asocia a metadatos críticos que aseguran una base de datos íntegra y transparente por ejemplo como se visualiza en la Tabla 4.

Tabla 4. Metadatos que se adjunta en cada entidad

Metadato	Descripción	Ejemplo
tracking_code	Identificador único persistente.	L-5-20250101-001
qr_data	JSON con información técnica embebida.	{ "id": "lot_123", ... }
created_by	Usuario que registró el evento inicial.	juan@finca.com
verified_at	Timestamp de verificación o confirmación.	2025-01-02 14:30:00
verified_by	Usuario/Auditor que validó el proceso.	inspector@sistema.com

Fuente: Elaboración propia (2025)

3.5. Ciclo de vida completo del dato: del campo a la mesa

La trazabilidad en el sistema se estructura como un flujo de eventos donde cada etapa enriquece el historial del producto. A continuación, se detalla la progresión del dato a través de sus fases críticas de forma secuencial.

3.5.1. Fase 1: Producción agrícola

El proceso de trazabilidad se inicia en el establecimiento del productor agrícola, punto de origen donde se genera la identificación digital del lote bajo el formato L-TENANT-YYYYMMDD-SECUENCIA. En esta etapa, se vincula un código QR único a un conjunto de atributos de producción que incluye la variedad del rubro, superficie sembrada, densidad poblacional de plantas, geolocalización precisa de la parcela, régimen de cultivo y certificaciones vigentes. Durante el desarrollo del ciclo de vida del lote, se ejecutan protocolos de control de calidad obligatorios, consistentes en checklists de evaluación fitosanitaria de las plantas y documentación de prácticas productivas. Cada transición de etapa debería ser registrada por el sistema, integrando metadatos de auditoría que registran la identidad del usuario creador, cronología exacta del evento, modificaciones posteriores y validaciones técnicas realizadas.

3.5.2. Fase 2: Cosecha y post-cosecha

Bajo la responsabilidad directa del productor, se procede a la captura de datos adicionales derivados de la recolección física del producto. Se documenta la fecha de cosecha, el volumen recolectado frente a la estimación inicial, el área efectivamente aprovechada y la modalidad de

empaque. En el periodo de post-cosecha, el sistema debería almacenar variables ambientales críticas, tales como la temperatura y la humedad relativa, proyectando la fecha de expiración técnica según el perfil del rubro. Así mismo se deberían incluir inspecciones de atributos físicos y pruebas sanitarias, cuyos resultados se podrían encapsular en una estructura de datos JSON interoperable que facilitaría el acceso a la información mediante la URL persistente vinculada al código del lote.

3.5.3. Fase 3: Preparación para envío

Se ejecutan los preparativos logísticos mediante la clasificación del producto en categorías comerciales y la determinación del precio unitario. El sistema debería permitir la especificación técnica de las condiciones necesarias para el tránsito, tales como el régimen de refrigeración, límites térmicos e higrométricos permitidos e instrucciones especiales de manipulación. Una vez consolidada la información, se emitiría una orden de envío formal que designa el destino y la cantidad, generando automáticamente el código de seguimiento logístico bajo la siguiente estructura: E-ORIGEN_ID-DESTINO_ID-YYYYMMDD-SECUENCIA.

3.5.4. Fase 4: Logística y transporte

En esta fase converge la interacción entre el transportista y el productor, iniciando con la propuesta de servicios logísticos que detallan el vehículo y la ventana temporal de entrega. Tras la confirmación, el sistema debería registrar los datos identificatorios del conductor y la unidad de transporte. Durante el tránsito, se recolectan datos de telemetría (si dispone de sensores) que incluyen marcas de tiempo de carga, coordenadas GPS dinámicas, registros periódicos de sensores ambientales y evidencias fotográficas del estado de la carga en los puntos de origen y destino. La fase concluye con la firma digital del receptor en el punto de entrega, validando la integridad del empaque y la correspondencia cuantitativa de la remesa.

3.5.5. Fase 5: Recepción y acopio

El acopiador asume la gestión del dato mediante la generación de un código de recepción único (R-TENANT_ID-TIPO_RECEPTOR-YYYYMMDD-SECUENCIA). Se procede a la verificación física de la cantidad recibida y a una inspección de calidad de entrada que evalúa la apariencia, sanidad y ausencia de contaminantes. Los datos de almacenamiento incluyen la asignación de ubicación física y el monitoreo continuo de las condiciones del entorno. Durante el procesamiento, se registran las transformaciones aplicadas (limpieza, selección y clasificación), derivando en la creación de un Lote Procesado (P-). Este evento implementa la trazabilidad lateral, manteniendo el vínculo histórico con el lote o los lotes primarios que originaron la transformación.

3.5.6. Fase 6: Distribución a comerciante

El flujo de datos se extiende hacia el eslabón comercial mediante la emisión de órdenes de envío de productos procesados. Esta etapa replica la lógica de monitoreo logístico de la Fase 4, registrando el tránsito bajo el identificador E-ACOPADOR-COMERCIANTE-YYYYMMDD-SEQ. Al arribar al establecimiento comercial, se genera un nuevo código de recepción (R-COMERCIANTE-C-YYYYMMDD-SEQ), integrando los productos procesados al inventario minorista tras la validación de los controles de calidad de entrada. Asimismo, se contempla una variante de canal corto donde el productor establece una relación comercial directa con el comerciante. En este escenario, se mantiene la secuencia técnica de la Fase 4 utilizando la estructura E-ORIGEN_ID-DESTINO_ID-YYYYMMDD-SECUENCIA, donde el identificador de destino corresponde específicamente al establecimiento del comerciante receptor, asegurando la continuidad de la trazabilidad sin intermediación de centros de acopio.

3.5.7. Fase 7: Venta al detalle

El comerciante realiza la preparación final de las unidades para el consumo, ejecutando fraccionamientos adicionales si la estrategia comercial lo requiere. En este hito, se genera el identificador definitivo denominado código de consumidor (ORIGEN-ALFANUM6-CHECKSUM), el cual se integra en una etiqueta física mediante un código QR. Se podrían capturar datos transaccionales finales como el precio de venta, el volumen comercializado, la temporalidad de la transacción y la identificación del punto de venta minorista. Estos datos capturados podrían variar según la necesidad final pero idealmente la opción sería una estandarización en este aspecto.

3.5.8. Fase 8: Consumidor final

La etapa final del ciclo de vida del dato se activa mediante la interacción del consumidor con el código QR. El sistema debería destilar la complejidad de los registros acumulados para presentar un informe consolidado de trazabilidad. Este reporte expandía la identidad del productor original, el historial de procesamiento, los actores logísticos involucrados, los resultados de las inspecciones sanitarias y el cumplimiento de certificaciones. La disponibilidad de este esquema de datos en formato JSON, que se consumiría por una interfaz UI, aseguraría la transparencia total. Permitiendo al consumidor verificar la ruta completa del producto desde el campo hasta la mesa. (Figura 2).

Figura 2. Consulta simplificada para el consumidor

```
{
  "consumer_code": "ORIGEN-K9M2PX-7",
  "producer": {
    "name": "Finca La Esperanza",
    "location": "Latitud 5.123, Longitud -72.456",
    "certification": "Orgánico",
    ...
  },
  "lot_origin": {
    "tracking_code": "L-5-20250101-001",
    "variety": "Tomate Cherry",
    "planted_date": "2024-11-15",
    "harvest_date": "2025-01-01",
    "cultivation_method": "Invernadero",
    "phytosanitary_compliance": "Periodo de carencia respetado",
  },
  "processing": {
    "type": "Limpieza y selección",
    "date": "2025-01-02",
    "processor": "Centro Acopio Los Andes"
  },
  "quality_checks": [
    {
      "stage": "production",
      "type": "quality",
      "result": "approved",
      "date": "2025-01-01"
    },
    {
      "stage": "processing",
      "type": "hygiene",
      "result": "approved",
      "date": "2025-01-02",
    }
  ],
  "transportation": [
    {
      "from": "Producer",
      "to": "Processor",
      "transporter": "Transportes Rápido",
      "temperature_range": "4-8°C",
      "delivery_date": "2025-01-02"
    }
  ]
}
```

Fuente: Elaboración Propia (2025)

3.6. Componentes estratégicos y valor agregado de la solución

3.6.1 Módulo de ciencia de datos: proyecciones de mercado a futuro

El valor diferencial de esta propuesta radica en su capacidad de transformar el registro pasivo de trazabilidad en inteligencia de mercado predictiva. El sistema debería integrar dos capas analíticas:

1. **Análítica Descriptiva:** Proporciona visibilidad en tiempo real sobre la oferta actual, permitiendo a los actores identificar qué rubros y volúmenes están disponibles en las distintas zonas productoras del país.
2. **Análítica Predictiva:** Mediante el análisis de series temporales de siembra y variables estacionales, el módulo sería capaz de emitir Alertas de Saturación. Si el sistema detecta una concentración excesiva de siembra de un rubro específico (como el tomate) para una ventana temporal determinada, emite recomendaciones proactivas de siembra escalonada. Esta funcionalidad permitiría tomar decisiones informada, orientada a estabilizar los precios y evitar las pérdidas económicas por sobreoferta en el mercado nacional.

3.6.2 Accesibilidad y diseño de interfaz (ux) en el contexto rural

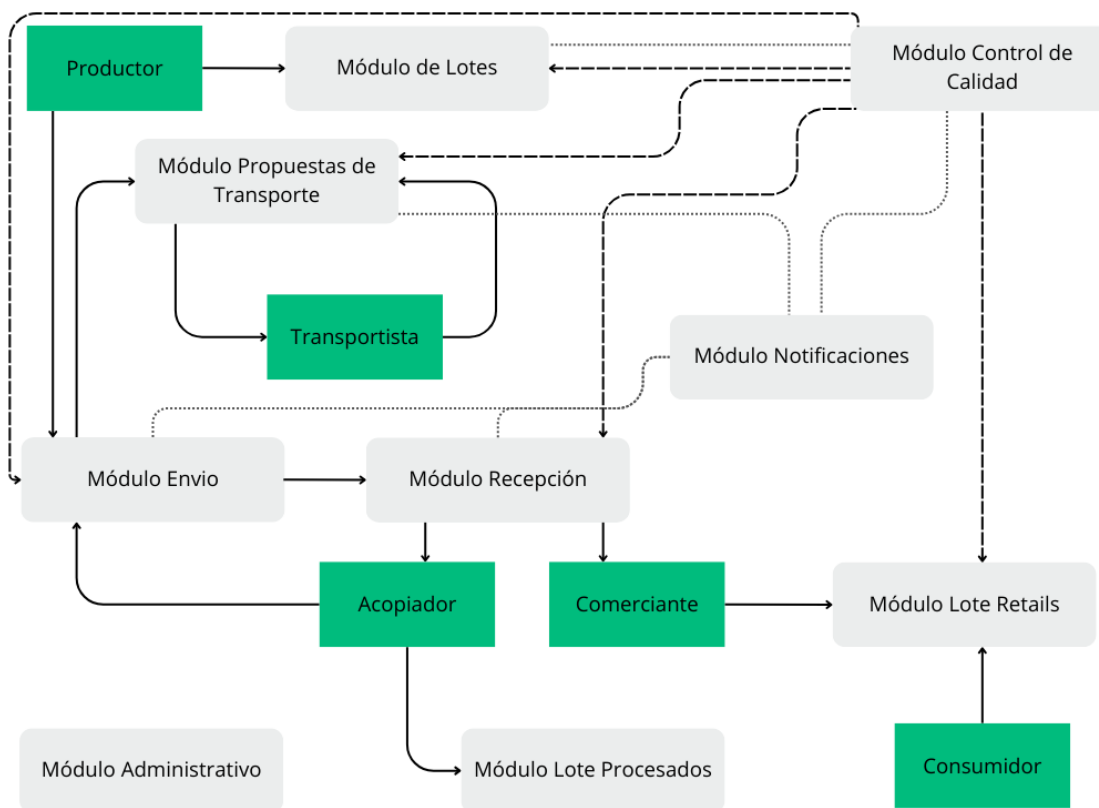
Reconociendo la brecha digital y la heterogeneidad en la formación académica de los productores rurales en Paraguay, por lo que en el diseño de la interfaz de usuario (UI) sería conveniente priorizar la adecuación cognitiva. Esta propuesta se basa en un diseño iconográfico de alta fidelidad, utilizando pictogramas descriptivos que reducen la dependencia de textos densos.

Asimismo, se debería implementar una arquitectura de información minimalista que presenten únicamente los campos esenciales para cada rol, disminuyendo la carga cognitiva. Finalmente, dado el déficit de conectividad en ciertas zonas rurales, el software podría incorporar una arquitectura Offline-First para una app móvil, permitiendo el almacenamiento local de datos y su posterior sincronización automática una vez se recupere la cobertura de red.

3.7 Propuesta de módulos del sistema e interoperabilidad

La arquitectura del sistema se estructura en torno a un flujo trazable continuo de datos, donde los módulos de dominio representan instancias activas del ciclo de vida del producto agroalimentario, y los actores de la cadena interactúan con dichos módulos en función de su rol operativo. Este núcleo funcional se complementa con servicios transversales de control, comunicación y una capa administrativa centralizada orientada a la gobernanza del sistema. (Figura 2)

Figura 3. Módulo del sistema e interoperabilidad



Fuente: Elaboración propia (2025)

3.7.1. Ciclo inicial: producción y movilidad

El ciclo de trazabilidad se inicia con el módulo de Lotes, donde el productor registra la información asociada a la producción primaria. Para garantizar un equilibrio entre la trazabilidad rigurosa y la usabilidad del sistema, se capturan variables críticas mediante una interfaz simplificada. Las características del cultivo incluyen: nombre de cultivo, variedad específica, fecha siembra, posteriormente fecha de cosecha, tipo de cultivo (ej. convencional orgánico, hidropónico, agroecológico), fertilización inicial aplicada (si aplica), y método de protección (ej. invernadero, media sombra o cielo abierto). En cuanto a las condiciones iniciales, el sistema permite el registro de temperatura, humedad atmosférica y humedad del suelo, variables que idealmente se integrarían de forma automatizada mediante APIs meteorológicas regionales o sensores IoT de bajo costo para minimizar la carga manual del operario agrícola. Desde esta etapa, en el sistema se habilitarían evaluaciones y verificaciones de calidad, estableciendo el primer registro formal del historial trazable del producto.

Asimismo, el sistema contempla el registro de intervenciones fitosanitarias cuando corresponda, incluyendo fecha de aplicación y tipo de tratamiento. Inclusive se podría implementar un mecanismo de validación que alerta sobre el cumplimiento de los periodos de carencia recomendados antes de habilitar la cosecha, fortaleciendo la integridad sanitaria del historial trazable

A partir de los lotes generados, el productor puede activar el módulo de Envíos, gestionando el traslado del producto hacia otros actores de la cadena. Este envío puede realizarse tanto hacia acopiadores como directamente hacia comerciantes, permitiendo modelar cadenas cortas de comercialización sin comprometer la continuidad de la trazabilidad. El módulo de Envíos articula la logística del transporte y se vincula con procesos de evaluación asociados a las condiciones de tránsito, constituyéndose como un punto crítico de control dentro del flujo.

3.7.2. Recepción, transformación y trazabilidad lateral

La llegada del producto al destino es documentada mediante el módulo de Recepción, operado por el actor receptor correspondiente. En esta instancia se registran la verificación de cantidades, la conformidad del producto recibido y los controles de calidad de entrada. En el caso de los acopiadores, la recepción puede derivar en procesos de transformación, que son formalmente registrados en el módulo de Lotes Procesados.

El módulo de Lotes Procesados permite modelar transformaciones tales como limpieza, selección o empaque, soportando relaciones laterales complejas entre múltiples lotes de origen y los productos resultantes. Cada proceso de transformación incorpora evaluaciones y verificaciones específicas, asegurando la continuidad del historial trazable a pesar de la consolidación o fraccionamiento de lotes.

3.7.3. Distribución final y acceso al consumidor

Los productos procesados, así como los lotes recibidos directamente desde los productores, pueden ser nuevamente gestionados mediante el módulo de Envíos, habilitando su traslado hacia comerciantes. Una vez recibidos, el comerciante registra la entrada mediante el módulo de Recepción y genera los Lotes Retail, que representan la presentación final del producto para el consumidor.

Cada lote final incorporaría un código de trazabilidad accesible mediante QR, a través del cual el consumidor puede acceder al portal de consulta, visualizando el historial completo del producto. Este historial incluye información del productor, procesos logísticos, transformaciones realizadas (cuando corresponden) y resultados de las evaluaciones y verificaciones efectuadas a lo largo de la cadena.

3.5.4. Servicios transversales y gobernanza

De manera transversal a todo el flujo, el módulo de Control de Calidad se integra de forma polimórfica con los distintos módulos del sistema, permitiendo registrar evaluaciones y verificaciones en cada etapa del ciclo productivo, logístico y comercial. Estas evaluaciones constituyen eventos clave dentro de la trazabilidad, reforzando la confiabilidad y transparencia del sistema.

Asimismo, el módulo de Notificaciones opera como un servicio transversal orientado a eventos, encargado de comunicar de manera oportuna los cambios de estado, alertas críticas y resultados relevantes a los actores involucrados. Este módulo se activa automáticamente ante hitos del flujo, tales como la generación de envíos, la recepción de productos, la aceptación de propuestas de transporte o la detección de no conformidades en los controles de calidad, facilitando la coordinación operativa y el seguimiento continuo de la cadena.

Finalmente, un módulo administrativo centralizado gestiona roles, permisos, auditoría y catálogos maestros, proporcionando soporte a los procesos de supervisión, inspección y fiscalización. Esta capa garantiza la integridad del dato, el cumplimiento normativo y la trazabilidad institucional del sistema en cualquier punto del flujo.

4. Discusión

La implementación de un sistema de trazabilidad digital en el sector frutihortícola paraguayo no representa únicamente un cumplimiento normativo ante el SENAVE, sino una herramienta de transformación económica y operativa.

Uno de los principales hallazgos del diseño es el impacto potencial en la reducción de pérdidas. Al coordinar y organizar los datos de siembra y cosecha a través de módulos de mercado, el sistema permitiría aminorar el riesgo de sobreoferta. La visibilidad de datos históricos y proyectados ayudaría al productor a encontrar mercados adecuados y evitar la degradación de precios por falta de planificación logística. La trazabilidad, en este contexto, actúa como un activo financiero: un producto con origen certificado tiene una menor tasa de rechazo en la recepción y permite una rotación de inventarios más eficiente basado en la frescura real.

El principal desafío reside en la brecha digital de los pequeños productores. El éxito del sistema dependerá de una interfaz que no penalice la operatividad diaria. Por ello, la estrategia se debería centrar en la "adecuación cognitiva" mencionada anteriormente.

Asimismo, surge el dilema práctico de la implementación en el retail. En un escenario idealizado, cada fruto individual portaría un código QR; sin embargo, en la práctica comercial actual, esto dificultaría excesivamente los procesos de inventariado y empaque del comerciante con relación

al productor o acopiador. Como una estrategia de transición y realismo operativo, se propone el etiquetado por góndola o lote de exhibición. Esta táctica permite a los comerciantes respetar la trazabilidad sin alterar sus procesos de manejo de mercancía a granel, facilitando que el consumidor escanee el origen del lote expuesto en lugar de cada unidad individual.

Un componente tecnológico que ofrece beneficios sustanciales en términos de inmutabilidad y resguardo de datos es el *Blockchain*. No obstante, en las etapas iniciales de implementación descritas en esta propuesta, la incorporación de tecnologías de registro distribuido podría no ser beneficiosa para el desarrollo inmediato, ya que incrementaría significativamente la complejidad del sistema.

Dado que la arquitectura propuesta se basa en un modelo multitenant de instancia única, la complejidad de migrar a *Blockchain* no reside únicamente en el código, sino en un cambio de paradigma en la arquitectura de datos: se transita de una "fuente de verdad única" (un base de datos centralizada) hacia una "fuente de verdad distribuida". Este salto evolutivo, que incluiría el uso de contratos inteligentes automáticos para validar transacciones, se considera más conveniente para una segunda etapa de madurez, una vez que la aplicación sea conocida y utilizada de forma masiva por los actores de la cadena.

5. Conclusión

La propuesta tecnológica presentada demuestra ser una solución viable y robusta ante la urgente necesidad de trazabilidad en el mercado frutihortícola de Paraguay. Al integrar módulos de dominio especializados con una arquitectura multitenant, la plataforma lograría democratizar el acceso a tecnología de punta para todos los actores, independientemente de su capacidad de inversión.

Esta viabilidad se sustenta en tres pilares fundamentales: primero, la eficiencia económica del modelo SaaS Multitenant, que diluye los costos de infraestructura permitiendo que incluso los pequeños productores accedan a herramientas de alta complejidad sin inversiones prohibitivas; segundo, la flexibilidad técnica de su diseño modular, que permite cubrir toda la cadena de valor sin imponer una estructura rígida; y tercero, la capacidad de centralizar la gobernanza del dato para auditorías y fitosanitarias, garantizando la integridad de la información en un entorno de "fuente de verdad única".

Los beneficios de esta propuesta de solución trascienden a una visibilidad compacta y suficiente de la cadena de suministro. Proporcionaría una base sólida para la seguridad alimentaria, otorgaría al consumidor el poder de la información y, fundamentalmente, dotaría al productor de herramientas de planificación para proteger su rentabilidad frente a las fluctuaciones del mercado.

La aplicabilidad de este sistema es alta, siempre que se mantenga el enfoque pragmático propuesto: balancear el rigor técnico de la trazabilidad con la simplicidad operativa requerida en el campo y el punto de venta. Esta aplicabilidad se garantiza al reconocer que la tecnología no debe ser una barrera, sino un facilitador; al proponer estrategias como el etiquetado por góndola, se reconoce la realidad logística del comercio local, permitiendo que la trazabilidad sea adoptada de forma orgánica y progresiva. Finalmente, el sistema propuesto en sí no solo responde a una exigencia normativa, sino que se posiciona como el motor de una nueva cultura de transparencia y eficiencia en la agroindustria paraguaya.

6. Declaración de financiamiento

La presente investigación se llevó a cabo con financiación propia.

7. Declaración de conflictos de intereses

El autor declara no tener conflictos de intereses.

8. Declaración de autores

El autor aprueba la versión final del artículo.

9. Declaración de disponibilidad de datos

Los datos que responden al artículo pueden ser solicitados al autor de correspondencia.

10. Contribución del autor

Autor	Contribución
Diego Liebel	Conceptualización, metodología, análisis de los resultados, redacción del borrador y revisión de la versión final.

11. Referencias Bibliográficas

- Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, S. R., & Peng, L. (2024). Smart Agriculture: Current State, Opportunities, and Challenges. *IEEE Access*, *12*, 144456–144478. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3471647>
- Bacco, M., Kocian, A., Crivello, A., Gori, M., Dimitri, G. M., Barsocchi, P., Brunori, G., & Chessa, S. (2024). *Agricultural data space: The metriqa platform and a case study in the codecs project*. 543-548. <https://doi.org/10.15439/2024F5291>
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Editorial Díaz de Santos.



- Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A. E. D. A. (2024). Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(19), 8944. <https://doi.org/10.3390/APP14198944/S1>
- European Union. (2002). *EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj/eng>
- Farina, G., Kocian, A., Brunori, G., Chessa, S., Lai, M. B., Nardi, D., Schifanella, C., Bonura, S., Masi, N., Comella, S., Ambrosino, F., Mariano, A., Colizzi, L., Dimitri, G. M., Gori, M., Scarselli, F., Bonomi, S., Almici, E., Antiga, L., ... Moreschi, L. (2025). Interoperable traceability in agrifood supply chains: Enhancing transport systems through iot sensor data, blockchain, and dataspace. *Sensors*, 25(11), 3419. <https://doi.org/10.3390/s25113419>
- Ikram, A., Mehmood, H., Arshad, M. T., Rasheed, A., Noreen, S., & Gnedeka, K. T. (2024). Applications of artificial intelligence (AI) in managing food quality and ensuring global food security. *CYTA - Journal of Food*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2393287>
- Latina, A., Preparado, C., Por, P., Diego, I., Coordinación, I. G., Castillo Leska, A., Castillo, F., y Castro Blandón, C. (2022). *Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias: América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.18235/0004500>
- Lv, G., Song, C., Xu, P., Qi, Z., Song, H., & Liu, Y. (2023). Blockchain-based traceability for agricultural products: A systematic literature review. *Agriculture*, 13(9), 1757. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091757>
- Morais, R., Rosado Da Cruz, A. M., & Cruz, E. F. (2024). Fruit and vegetables blockchain-based traceability platform. *Computers*, 13(5), 112. <https://doi.org/10.3390/computers13050112>
- Nie, Y., Hicks, B., Nassehi, A., & Valero, M. R. (2025). Aligning sustainable development goals and stakeholders' needs in food supply chains: A comprehensive review and mapping. *International Journal of Production Research*, 1-43. <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2600550>
- Online Browsing Platform. (2007). *ISO 22005:2007(es), Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal — Principios generales y requisitos básicos para el diseño e implementación del sistema*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es>
- Rivera Baez, L. F. (2025). *Uso de herramientas digitales de trazabilidad para la adaptación a las normativas de debida diligencia y cadenas libres de deforestación en Latinoamérica*. GIZ.
- Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas. (2023). *Resolución SENAVE N° 437/2023*. <https://www.senave.gov.py/documentos/resoluciones/f715d74d77c194f27fc99a6f76c93527.pdf>
- Sharma, S., Gahlawat, V. K., Rahul, K., Mor, R. S., & Malik, M. (2021). Sustainable innovations in the food industry through artificial intelligence and big data analytics. *Logistics*, 5(4), 66. <https://doi.org/10.3390/logistics5040066>
- Sibraar. (2023). *Sistema Brasileiro de Agorrastreabilidade - Portal Embrapa*. <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/8599/sibraar---sistema-brasileiro-de-agorrastreabilidade>
- U. S. Food & Drug. (2022). *Food Safety Modernization Act*. <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma>