

**Identificación y Estandarización de Criterios para la Gobernanza de Datos y la  
Integración IoT en la Red Logística del Café Juan Valdez**

Andrés David Cuellar Herrada

Jurado

Hugo Almeiro Pachon Pedraza

Director

Helbert Eduardo Ariza Chacón

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

ECBTI - Ciencias Básicas tecnología e ingeniería

Especialización en Gerencia de Procesos Logísticos en Redes de Valor

2026

## Tabla de Contenido

Introducción.....	6
Justificación.....	10
Planteamiento del Problema.....	14
Objetivos.....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos.....	21
Antecedentes.....	22
Antecedentes Internacionales.....	22
Antecedentes Nacionales.....	24
Marco Referencial.....	27
Contexto Histórico y Económico de la Cadena de Suministro Cafetera en Colombia.....	27
Conceptos Fundamentales de Trazabilidad, Visibilidad y Sistemas Integrados en Cadenas de Suministro (ajustado).....	28
Cadena logística externa de Juan Valdez.....	30
Cadena logística interna de Juan Valdez.....	31
Sistemas IoT, Variables de Monitoreo y Modelos Comparativos de Trazabilidad en Cadenas Cafetaleras.....	32
Metodología.....	35
Enfoque Metodológico.....	35
Tipo de Investigación.....	36

Instrumentos de Recolección de Información .....	37
Población y Muestra .....	38
Criterios de selección.....	40
Procedimiento.....	41
Resultados.....	43
Identificación de prácticas de estandarización y gobernanza identificadas .....	44
Criterios e indicadores para adopción gradual de IoT .....	56
Desempeño logístico como criterio de decisión .....	57
Gestión de la información y gobernanza de datos .....	59
Soporte organizacional y preparación para IoT .....	61
Propuesta de hoja de ruta para integración futura de IoT.....	64
Lineamientos de interoperabilidad .....	65
Lineamientos de capacitación.....	66
Lineamientos de cofinanciación .....	67
Ejemplo de aplicación .....	68
Propuesta de hoja de ruta.....	70
Conclusiones y Recomendaciones .....	72
Referencias .....	76
Anexos .....	78

**Lista de Tablas**

Tabla 1 <i>Composición del universo (N) por eslabón logístico</i> .....	39
Tabla 2 <i>Muestra cualitativa (Entrevistas n=15)</i> .....	40
Tabla 3 <i>Procedimiento de la investigación</i> .....	43
Tabla 4 <i>Prácticas de estandarización y gobernanza identificadas en la red logística de Juan Valdez</i> .....	53
Tabla 5 <i>Tabulación general de respuestas</i> .....	55
Tabla 6 <i>Indicadores de desempeño logístico</i> .....	58
Tabla 7 <i>Indicadores de gestión de la información y gobernanza de datos</i> .....	61
Tabla 8 <i>Criterios de decisión e indicadores para comparar alternativas con incorporación gradual de IoT</i> .....	63
Tabla 9 <i>Instrumento propuesto de estandarización y gobernanza de datos para la red logística de Juan Valdez</i> .....	69

## Lista de Figuras

Figuras 1 <i>Árbol de Problemas</i> .....	19
Figuras 2 <i>Cadena logística de Juan Valdez</i> .....	30
Figuras 3 <i>Nivel de estandarización percibido de los registros logísticos</i> .....	45
Figuras 4 <i>Claridad de roles en la gestión y validación de datos</i> .....	46
Figuras 5 <i>Acceso a la información logística por nivel organizacional</i> .....	49
Figuras 6 <i>Variables logísticas registradas con mayor frecuencia</i> .....	51
Figuras 7 <i>Percepción sobre la necesidad de fortalecer la gobernanza de datos</i> .....	52
Figuras 8 <i>Procedimiento para toma de decisiones</i> .....	59
Figuras 9 <i>Adopción futura de IoT en la red logística de Juan Valdez</i> .....	70

## Introducción

La cadena de suministro del café colombiano constituye uno de los sistemas productivos más relevantes para la economía nacional, tanto su aporte a las exportaciones, como por su impacto social en territorios rurales y en miles de pequeños productores. Este sistema articula múltiples eslabones que incluyen la producción primaria, los centros de acopio, el transporte, el procesamiento, el almacenamiento y la distribución hacia mercados nacionales e internacionales. La coordinación entre estos actores resulta determinante para garantizar la calidad del producto, el cumplimiento de estándares comerciales y la sostenibilidad del sector.

En el ámbito de las cadenas agroalimentarias, la trazabilidad se define como la capacidad de rastrear un producto a lo largo de todas las etapas de producción, transformación y distribución mediante registros verificables y continuos (Regattieri et al., 2007). Este enfoque no solo cumple una función documental, sino que constituye un mecanismo de gestión del riesgo, particularmente en productos cuya calidad depende de condiciones ambientales controladas. En el caso del café, la literatura técnica señala que variaciones superiores al 2 % en humedad del grano durante almacenamiento pueden generar proliferación de hongos y pérdida de atributos sensoriales, afectando el perfil de taza y el valor comercial del lote (International Coffee Organization, 2022). Asimismo, la FAO (2022) indica que los sistemas de trazabilidad permiten identificar puntos críticos de control relacionados con secado, almacenamiento y transporte, facilitando acciones correctivas oportunas ante desviaciones térmicas o higrométricas. Desde una perspectiva regulatoria, los mercados de la Unión Europea exigen mecanismos verificables de trazabilidad para productos agrícolas asociados a criterios de sostenibilidad y control de origen, lo que convierte la gestión de datos en un requisito para el acceso comercial (European Commission, 2023). En este contexto específico, la trazabilidad del café no se limita a la

identificación del productor, sino que involucra el registro sistemático de variables ambientales, tiempos de tránsito y condiciones de almacenamiento que inciden directamente en la calidad física y sensorial del producto.

A pesar de su importancia, la trazabilidad en la cadena cafetera colombiana enfrenta limitaciones asociadas a la fragmentación de registros, la heterogeneidad tecnológica y la dependencia de prácticas manuales. Estas condiciones dificultan la visibilidad integral de la cadena y restringen el uso de la información como insumo para la toma de decisiones. En particular, la coexistencia de sistemas no interoperables y la ausencia de esquemas formales de gobernanza de datos generan vacíos que afectan la consistencia y confiabilidad de los registros logísticos.

En este escenario, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se presenta como una alternativa tecnológica con potencial para fortalecer la trazabilidad y la eficiencia logística. La incorporación de sensores y dispositivos conectados permite capturar datos de manera automática y continua, facilitando el monitoreo de condiciones de transporte, inventarios y tiempos de ciclo. No obstante, la adopción de IoT en contextos agroalimentarios no está exenta de desafíos, especialmente cuando involucra actores con capacidades técnicas y financieras diversas.

La literatura sobre transformación digital en cadenas de suministro advierte que la incorporación de tecnologías avanzadas sin una base organizacional estructurada tiende a generar resultados parciales o discontinuos. Lee y Truong (2023) sostienen que la madurez digital depende no solo de la adopción tecnológica, sino de la existencia de procesos estandarizados, roles definidos y capacidades internas para gestionar la información. Cuando estas condiciones no están consolidadas, la tecnología opera como una capa adicional que no se integra plenamente

con la operación existente. En el ámbito logístico, Oliveira y Costa (2022) señalan que la falta de alineación entre sistemas digitales y gobernanza de datos reduce el impacto estratégico del IoT, limitándolo a funciones operativas aisladas.

Diversos estudios sobre fallas en proyectos de digitalización muestran que entre el 60 % y el 70 % de las iniciativas tecnológicas no alcanzan los resultados esperados debido a problemas de integración organizacional y gestión del cambio (Westerman et al., 2014). En contextos agroindustriales, la FAO (2022) identifica que la implementación de sensores y plataformas digitales sin protocolos de registro estandarizados genera duplicidad de datos, inconsistencias y baja utilización de la información capturada. Este fenómeno se asocia con lo que algunos autores denominan desperdicio tecnológico, entendido como la subutilización o abandono prematuro de herramientas digitales por ausencia de procesos que les den soporte operativo y estratégico (Ramírez y Franco, 2021).

Bajo este enfoque, el trabajo se centra en el análisis de la red logística de Juan Valdez como caso de estudio dentro del sector cafetero colombiano, delimitando su alcance desde la etapa de producción y acopio primario hasta la comercialización en puntos de venta propios y mercados internacionales. La red analizada inicia en las fincas de productores vinculados a cooperativas y centros de compra autorizados, continúa con el transporte hacia plantas de trilla y tostión, el almacenamiento en bodegas intermedias, la distribución nacional e internacional y culmina en tiendas físicas y canales de comercialización asociados a la marca. Esta delimitación permite examinar la trazabilidad del café desde el momento en que el lote es recibido formalmente en el sistema comercial hasta su entrega al consumidor final, excluyendo fases previas estrictamente agrícolas que no forman parte directa de la operación logística de la empresa.

El estudio se orientó a identificar prácticas mínimas de estandarización de registros y esquemas de gobernanza de datos aplicables a esta red específica, establecer criterios de decisión e indicadores de desempeño para comparar alternativas organizacionales, procedimentales y tecnológicas, y proponer una hoja de ruta para una eventual integración gradual de IoT bajo condiciones explícitas de costo, infraestructura y capacidad técnica. La investigación no tuvo como propósito implementar tecnologías, sino sentar bases metodológicas que permitan estructurar procesos de información antes de cualquier inversión tecnológica.

La estructura del estudio responde a una lógica progresiva. En primer lugar, se abordó el diagnóstico de las prácticas actuales de registro y gestión de la información. En segundo lugar, se analizaron criterios e indicadores que permiten comparar alternativas organizacionales, procedimentales y tecnológicas. Finalmente, se formuló una hoja de ruta orientada a guiar la adopción futura de IoT de manera coherente con las capacidades reales de la red logística.

## Justificación

Este trabajo se desarrolla ante la necesidad de analizar de manera estructurada las limitaciones que afectan la trazabilidad en la cadena de suministro del café en Colombia, con énfasis en la red logística de Juan Valdez. En esta red participan múltiples actores (productores vinculados, centros de acopio, plantas de procesamiento, operadores de transporte, bodegas y puntos de venta) que operan bajo diferentes niveles de digitalización y prácticas de registro. Esta diversidad genera inconsistencias en los datos, dificultades de interoperabilidad y limitaciones en la consolidación de información estratégica para la toma de decisiones.

El análisis parte de una premisa fundamental: la mejora de la trazabilidad no depende exclusivamente de la incorporación de tecnologías avanzadas, sino de la existencia previa de prácticas organizacionales claras que definan qué información debe registrarse, bajo qué criterios, con qué periodicidad y bajo qué responsabilidades. Sin estandarización mínima y sin gobernanza de datos, la adopción tecnológica tiende a producir registros automatizados que no necesariamente son comparables, interoperables ni estratégicamente utilizables. Regattieri et al. (2007) señalan que la trazabilidad efectiva exige consistencia en la identificación de variables críticas y en la verificación de los datos a lo largo de toda la cadena. Cuando estas condiciones no están definidas, incluso herramientas tecnológicas sofisticadas pueden generar datos fragmentados.

En cadenas como la del café, donde variables ambientales como temperatura, humedad y tiempos de tránsito inciden directamente en la calidad física y sensorial del grano, la ausencia de criterios homogéneos de registro dificulta reconstruir el historial completo del lote. Esta situación limita la capacidad de anticipar riesgos, responder a desviaciones y documentar cumplimiento frente a mercados que exigen transparencia

verificable. La eficiencia logística, entendida como el uso óptimo de recursos para mantener calidad y reducir costos operativos, depende de procesos estandarizados y métricas comparables entre eslabones, como lo establece el modelo Supply Chain Operations Reference (SCOR) versión 13.0 (APICS, 2023).

Adicionalmente, en Colombia persisten diferencias significativas en los niveles de digitalización entre actores rurales y empresas con mayor infraestructura tecnológica, lo que dificulta la adopción coordinada de soluciones basadas en datos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021). Hernández y Pineda (2020) sostienen que la coexistencia de sistemas no interoperables y la dependencia de registros manuales incrementan los costos de coordinación y reducen la capacidad de respuesta ante eventos logísticos. En este contexto, la incorporación directa de IoT sin una base organizacional sólida podría derivar en iniciativas aisladas que no generen integración sistémica.

El Internet de las Cosas (IoT) ofrece la posibilidad de capturar datos ambientales en tiempo casi real mediante sensores y dispositivos conectados (Atzori et al., 2010). Sin embargo, Santos y Pereira (2021) y Oliveira y Costa (2022) indican que los beneficios del IoT solo se consolidan cuando los datos capturados se integran en esquemas formales de gobernanza que aseguren coherencia, validación y uso estratégico. De lo contrario, se produce lo que algunos estudios describen como subutilización tecnológica: inversión en dispositivos sin aprovechamiento integral de la información generada.

Por esta razón, el presente trabajo no se orienta a implementar IoT en la red logística de Juan Valdez. Su propósito consiste en establecer las bases metodológicas y organizacionales necesarias para una futura adopción gradual, estructurada y sostenible. Se busca definir prácticas mínimas de estandarización de registros, criterios comparables de

desempeño y lineamientos de gobernanza que permitan evitar la proliferación de iniciativas tecnológicas fragmentadas y esquemas informales de gestión de datos.

El producto derivado del estudio es un marco metodológico que integra prácticas mínimas, indicadores comparables y lineamientos para adopción tecnológica progresiva bajo condiciones explícitas de costo y capacidad. Este marco pretende prevenir el uso de registros dispersos, la duplicidad de información y la falta de interoperabilidad, factores que podrían mantener limitaciones en la trazabilidad y en la capacidad de respuesta ante requerimientos comerciales nacionales e internacionales. Ramírez y Franco (2021) señalan que la resistencia organizacional y la falta de competencias técnicas pueden ralentizar procesos de digitalización cuando no existe una estructura clara de implementación; por ello, la definición previa de criterios comunes resulta determinante.

Desde el punto de vista práctico, la propuesta permite orientar decisiones futuras de transformación digital en la red logística analizada, priorizando estandarización antes que inversión tecnológica masiva. Desde el ámbito académico, el trabajo contribuye a la literatura sobre gestión logística y transformación digital al demostrar que la madurez en trazabilidad depende de la articulación entre procesos, datos y capacidades humanas. El marco diseñado no se limita al sector cafetero, sino que puede adaptarse a otras cadenas agroindustriales, manufactureras o de distribución donde la trazabilidad, la interoperabilidad y la gobernanza de datos constituyen factores estratégicos.

El propósito central consiste en establecer prácticas mínimas de estandarización de registros y de gobernanza de datos que contribuyan a mejorar la trazabilidad, apoyándose en revisión documental y análisis comparado. De manera complementaria, se busca definir criterios de decisión e indicadores de desempeño para evaluar alternativas organizacionales, procedimentales y tecnológicas, así como proponer una hoja de ruta con lineamientos de

interoperabilidad, capacitación y cofinanciación bajo condiciones explícitas de costo y capacidad. De este modo, el estudio proporciona una base estructurada que puede orientar procesos de integración tecnológica gradual sin comprometer la coherencia operativa de la red logística.

## **Planteamiento del Problema**

La empresa Juan Valdez participa en la cadena de suministro del café colombiano como actor en las fases de compra, procesamiento, almacenamiento, distribución y comercialización del producto terminado. Para efectos de esta investigación, la red logística de Juan Valdez se delimita desde el momento en que el café pergamino seco es recibido formalmente en centros de compra o cooperativas vinculadas a la empresa, continúa con su transporte hacia plantas de trilla y tostión, almacenamiento en bodegas, distribución nacional e internacional, y finaliza en los puntos de venta físicos o canales de comercialización asociados a la marca. No se incluyen en el análisis las fases agrícolas previas a la entrega formal del lote al sistema comercial.

De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros (Fedecafé, 2023), Colombia produce aproximadamente 13 millones de sacos de café al año, actividad que involucra a cerca de 500.000 familias caficultoras. En este contexto, las empresas que intervienen en la comercialización y distribución del café deben garantizar mecanismos de coordinación logística que permitan documentar el recorrido del producto y demostrar cumplimiento de estándares de calidad, sostenibilidad y origen.

En la red logística definida para Juan Valdez, la trazabilidad se concreta en la capacidad de identificar un lote específico desde su recepción en centros de compra hasta su entrega final en puntos de venta. Regattieri et al. (2007) indican que la trazabilidad efectiva requiere sistemas de información que registren variables críticas, mantengan la integridad de los datos y permitan reconstruir el historial del producto sin interrupciones. En el caso específico del café manejado por Juan Valdez, variables como humedad residual del grano, temperatura durante almacenamiento, tiempo de tránsito entre nodos logísticos y

condiciones de bodegaje inciden directamente en la conservación del producto y en sus atributos físicos y sensoriales.

Dentro de esta red participan actores con diferentes niveles de digitalización: centros de compra con registros parcialmente sistematizados, plantas de procesamiento con sistemas de gestión más estructurados, operadores de transporte con registros mixtos (digitales y manuales) y bodegas con controles ambientales variables. Esta heterogeneidad genera diferencias en formatos de registro, periodicidad de captura de datos y mecanismos de almacenamiento de información. Cuando no existen estándares comunes de registro ni esquemas formales de gobernanza de datos que definan responsabilidades, validación y acceso, se producen registros fragmentados y dificultades de interoperabilidad entre sistemas.

La consecuencia operativa es que la información sobre un lote puede estar distribuida en distintos formatos y plataformas sin integración transversal. Esta situación reduce la visibilidad completa de la cadena, dificulta la consolidación de indicadores logísticos y limita la capacidad de reconstruir el historial continuo del producto ante requerimientos comerciales o regulatorios.

El modelo Supply Chain Operations Reference (SCOR) versión 13.0 establece que la visibilidad y el desempeño logístico dependen de procesos estandarizados y de indicadores comparables entre eslabones (APICS, 2023). Cuando cada actor registra información bajo criterios propios, sin métricas homogéneas, se dificulta la evaluación global del desempeño de la red. Esto incide en la capacidad de detectar desviaciones en condiciones ambientales, responder ante incidencias y documentar cumplimiento frente a auditorías externas.

La presión regulatoria internacional incrementa la necesidad de contar con registros verificables. Normativas relacionadas con sostenibilidad y origen del producto exigen trazabilidad documentada y consistente. Fedecafé (2023) señala que el fortalecimiento de los sistemas de información constituye un elemento necesario para responder a estos requerimientos. En ausencia de datos integrados y verificables, aumenta el riesgo de incumplimiento de estándares exigidos por mercados internacionales.

Existen antecedentes que muestran la aplicación de sistemas digitales de trazabilidad en cadenas agroindustriales. EMBRAPA (2022) desarrolló modelos de integración digital en cadenas agrícolas mediante plataformas interoperables que vinculan productores, plantas de procesamiento y exportadores. En Costa Rica, el Programa Nacional de Trazabilidad Agroalimentaria implementó sistemas centralizados para verificar condiciones de transporte y almacenamiento (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2021). En Colombia, el Sistema de Información Cafetera integra bases de datos sobre producción y comercialización (Federación Nacional de Cafeteros, 2023). Estos antecedentes muestran que la integración de datos y la estandarización de registros pueden mejorar la visibilidad y el control logístico cuando existe coordinación institucional.

En cuanto al Internet de las Cosas (IoT), Atzori et al. (2010) describen esta tecnología como la interconexión de dispositivos físicos que capturan y transmiten datos automáticamente. En la red logística de Juan Valdez, IoT podría utilizarse para registrar variables ambientales durante almacenamiento y transporte. No obstante, Santos y Pereira (2021) indican que los beneficios del IoT dependen de su integración con sistemas de gestión y de la existencia de gobernanza de datos que asegure coherencia y uso estratégico.

En el contexto colombiano, la adopción tecnológica enfrenta limitaciones relacionadas con conectividad e infraestructura en zonas rurales cafeteras. La Comisión

Económica para América Latina y el Caribe (2021) identifica brechas digitales entre actores rurales y urbanos. Estas condiciones pueden restringir la transmisión continua de datos generados por sensores IoT.

Adicionalmente, los costos representan un factor condicionante. Lee y Truong (2023) estiman que la instalación de sensores ambientales puede oscilar entre 200 y 400 dólares por hectárea, dependiendo de conectividad y topografía. Ramírez y Franco (2021) indican que la adopción de plataformas IoT puede incrementar entre 5 % y 10 % los costos operativos anuales del productor. Sin criterios claros de priorización, la inversión tecnológica puede realizarse sin garantizar integración sistémica.

En este escenario, el problema no se limita a la ausencia de tecnología, sino a la falta de un marco estructurado que defina prácticas mínimas de estandarización de registros y esquemas formales de gobernanza de datos dentro de la red logística delimitada de Juan Valdez. Sin estándares comunes, interoperabilidad y definición de responsabilidades, la integración tecnológica puede generar datos aislados que no mejoren de manera integral la trazabilidad.

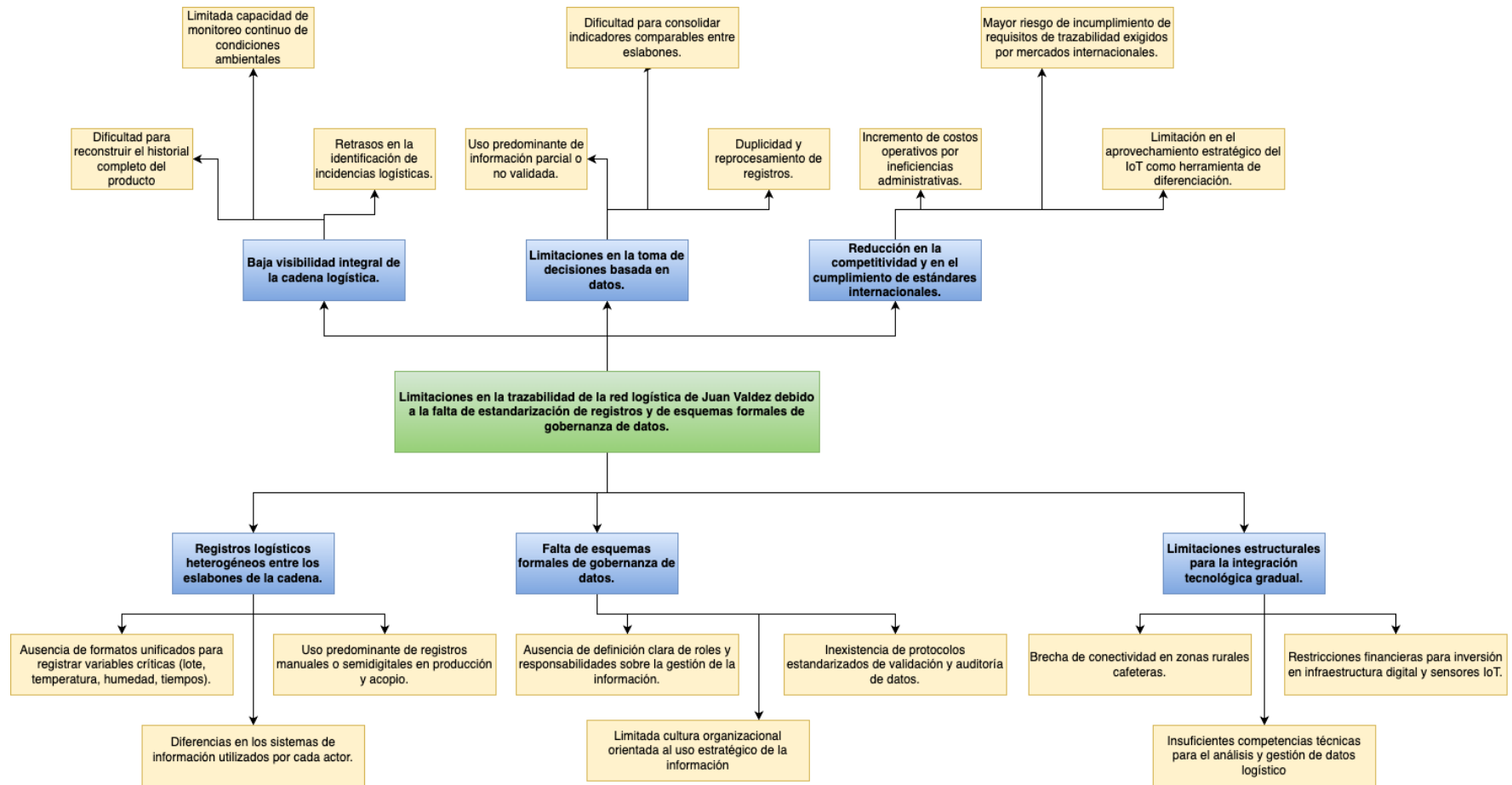
La relación causa–efecto puede describirse de la siguiente forma: la ausencia de estandarización produce registros heterogéneos; los registros heterogéneos dificultan la interoperabilidad; la falta de interoperabilidad limita la integración tecnológica; y la integración tecnológica limitada reduce la capacidad de reconstruir el historial completo del producto. Esto incide en la visibilidad, en la capacidad de respuesta ante requerimientos comerciales y en el cumplimiento de estándares internacionales.

Así las cosas, el problema de investigación se centra en determinar cuáles prácticas mínimas de estandarización de registros y de gobernanza de datos pueden mejorar la

trazabilidad dentro de la red logística delimitada de Juan Valdez, generando condiciones organizacionales que permitan una integración gradual y estructurada del IoT.

**Figuras 1**

*Árbol de Problemas*



*Fuente: Elaboración propia*

El Figuras 1 deja ver cómo las limitaciones en la trazabilidad de la red logística de Juan Valdez se estructuran a partir de factores organizacionales y estructurales que generan efectos operativos y estratégicos interrelacionados. En el nivel central se identifica como problema la falta de estandarización de registros y de esquemas formales de gobernanza de datos, lo cual se conecta con tres causas principales: registros logísticos heterogéneos entre eslabones, ausencia de gobernanza formal y limitaciones estructurales para la integración tecnológica gradual. Estas causas producen efectos como baja visibilidad integral de la cadena, limitaciones en la toma de decisiones basada en datos y reducción en la competitividad frente a estándares internacionales. A su vez, cada efecto directo se proyecta en consecuencias específicas, como duplicidad y reprocesamiento de información, incremento de costos operativos, dificultad para consolidar indicadores comparables y menor aprovechamiento estratégico del IoT como herramienta de diferenciación. La estructura jerárquica de la Figura muestra una relación causa–efecto progresivo, donde las debilidades en la base organizacional y en la gestión de datos impactan no solo la operación logística inmediata, sino también la capacidad de respuesta ante exigencias regulatorias y de mercado, lo que permite comprender que el problema central trasciende el componente tecnológico y se ubica en un plano estructural y sistémico.

Tomando en consideración el contexto expuesto, la pregunta que orienta el estudio se formula de la siguiente manera: ¿Qué prácticas mínimas de estandarización de registros y gobernanza de datos permiten fortalecer la trazabilidad en la red logística de Juan Valdez y estructurar condiciones para una futura integración gradual del IoT?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estructurar lineamientos de estandarización de registros y gobernanza de datos que contribuyan al fortalecimiento de la trazabilidad en la red logística de Juan Valdez y orienten condiciones para una integración gradual del IoT.

### **Objetivos Específicos**

Estandarizar los registros y la gobernanza de datos dentro de la red logística de Juan Valdez.

Establecer criterios de decisión e indicadores de desempeño para comparación de alternativas organizacionales procedimentales y tecnológicas con incorporación gradual de IoT.

Proponer hoja de ruta con lineamientos de interoperabilidad capacitación y cofinanciación para adopción futura de IoT bajo condiciones de costo y capacidad explícitas.

## **Antecedentes**

### **Antecedentes Internacionales**

La investigación desarrollada por Querme y Lima (2023) se centró en estudiar la automatización de la trazabilidad en la producción cafetera brasileña mediante códigos QR. Así las cosas, el objetivo de la investigación fue proponer un proceso de negocio automatizado basado en códigos QR que optimizara los pasos manuales en la cadena de producción de café, mejorara la eficiencia de los procesos y aumentara la trazabilidad del producto bajo el paradigma Industria 4.0. Para ello utilizaron una metodología de tipo descriptiva y aplicada que combinó investigación de campo y documental, empleando el modelado de procesos BPMN (Business Process Model and Notation) con la herramienta HEFLO, analizando el caso de un grupo familiar de productores de café en la región de Cerrado Mineiro, Minas Gerais, Brasil, donde identificaron 14 actores y 32 actividades en el proceso actual (Querme y Lima, 2023). Los resultados mostraron una reducción significativa del número de empleados involucrados (de 14 a 12 actores), una disminución en el número de actividades (de 32 a 27), una reducción de puntos de decisión (de 7 a 4 gateways) y una mejora sustancial en los tiempos de procesamiento y precisión de datos mediante la eliminación de formularios manuales. Se concluyó entonces que la adopción de códigos QR en la trazabilidad del café bajo el paradigma Industria 4.0 representa un avance significativo para la cadena productiva cafetera brasileña, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo errores de entrada de datos y aumentando la transparencia (Querme y Lima, 2023).

Por su parte, la investigación desarrollada por investigadores de la Universidad de Lima se centró en estudiar la cadena de valor del café liofilizado peruano mediante análisis de competitividad comparativa. Así las cosas, el objetivo fue realizar un análisis integral de

la cadena de valor del café liofilizado peruano, identificando ventajas comparativas y competitivas respecto a competidores en el mercado internacional, con énfasis en el mapeo actual de la cadena de suministro y las oportunidades de diferenciación. Para ello utilizaron la metodología Delphi, que consistió en recopilar opiniones de expertos del sector cafetero peruano en múltiples rondas de consulta para alcanzar consenso sobre los factores críticos de la cadena de valor (Universidad de Lima, 2024). Los resultados mostraron que el café liofilizado peruano posee características diferenciadoras en términos de origen territorial y prácticas sostenibles, identificando oportunidades específicas en etapas críticas como el beneficio, el almacenamiento y la certificación. De esta manera, se concluyó que la cadena de valor del café liofilizado en Perú requiere estrategias de integración vertical y sistemas de información compartida para fortalecer su posicionamiento en mercados premium internacionales (Universidad de Lima, 2024).

En consonancia con esta necesidad de sistemas de información compartida, la investigación desarrollada por investigadores de la Universidad César Vallejo en Perú se centró en realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la trazabilidad en la gestión de la cadena de suministro (SCM). Así las cosas, el objetivo de la investigación fue analizar sistemáticamente el estado del arte sobre trazabilidad en SCM, identificando tendencias de investigación, conceptos clave, herramientas tecnológicas y aplicaciones prácticas en cadenas agroalimentarias. Para ello utilizaron la metodología de revisión bibliográfica sistemática empleando el software bibliométrico VOSviewer, que permitió mapear relaciones entre autores, palabras clave y tendencias temáticas en publicaciones académicas especializadas (Arévalo et al., 2024). Los resultados evidenciaron que la gestión de la cadena de suministro juega un rol trascendental para el desarrollo de empresas agroindustriales, identificando tendencias emergentes hacia la integración de tecnologías

IoT, blockchain y sistemas de información interoperables para lograr trazabilidad completa en productos perecederos. Consecuentemente, se concluyó que la trazabilidad en SCM constituye un campo multidisciplinario en evolución que demanda la convergencia de herramientas tecnológicas, marcos normativos y estándares internacionales para garantizar transparencia y seguridad alimentaria (Arévalo et al., 2024).

### **Antecedentes Nacionales**

En el contexto colombiano, la investigación desarrollada por investigadores de la Universidad ICESI se centró en estudiar el desempeño de cadenas de suministro sostenibles enfocadas en procesos. Así las cosas, el objetivo de la investigación fue desarrollar una herramienta metodológica integral para evaluar el desempeño de cadenas de suministro sostenibles en empresas colombianas, considerando dimensiones económicas, ambientales y sociales de los procesos logísticos. Para ello utilizaron una metodología de cinco pasos centrada en procesos, empleando métodos como análisis de ciclo de vida, jerarquías analíticas y evaluación multicriterio aplicados a casos de estudio en sector agroindustrial colombiano. Los resultados mostraron una mejora significativa del 9,5% en eficiencia logística cuando se integran factores de sostenibilidad, demostrando que la inclusión de criterios ambientales y sociales en la evaluación de cadenas de suministro no disminuye la rentabilidad sino que genera sinergias operativas (Sánchez y Martínez, 2020).

Adicionalmente, se concluyó que en Colombia existe la necesidad de desarrollar herramientas metodológicas específicas para evaluar cadenas de suministro sostenibles, siendo fundamental para el sector agroalimentario el diseño de índices integrales que combinen eficiencia operativa con responsabilidad ambiental (Sánchez y Martínez, 2020).

Paralelamente, la investigación desarrollada por Parra y González (2020) se centró en evaluar la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.) en el

municipio de Consacá, Nariño, Colombia, enfatizando la necesidad de monitoreo ambiental integrado. Así las cosas, el objetivo fue estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea y bajo el suelo en cuatro sistemas productivos de café de cuatro años de edad, en la región andina sur colombiano, considerando diferentes rangos altitudinales y sistemas de asociación de especies. Para ello, Parra y González (2020) utilizaron una metodología experimental con diseño de bloques completos al azar (DBCA), analizando cuatro sistemas productivos: café a libre exposición, café-limón, café-guamo y café-carbonero, distribuidos en tres rangos altitudinales (mayor a 1800 m, entre 1800-1600 m y menor a 1600 m sobre el nivel del mar), utilizando ecuaciones alométricas de cada especie para determinar el carbono almacenado. Los resultados evidenciaron alto almacenamiento de carbono en el rango mayor a 1800 m (109,81 toneladas por hectárea) y bajo en el rango menor a 1600 m (42,39 toneladas por hectárea), cuantificándose el mayor almacenamiento de carbono en sistemas café-carbonero (74,82 t/ha) y el valor más bajo en café-guamo (56,56 t/ha). De este modo, Parra y González (2020) concluyeron que la captura de carbono es mayor en sistemas de café asociados con especies leñosas en altitudes superiores a 1800 m sobre el nivel del mar, lo que indica que los sistemas agroforestales tradicionales en la región andina sur de Colombia son efectivos para captura de carbono y requieren integración con sistemas de sensorización (IoT) que monitoreen variables ambientales para garantizar trazabilidad y certificación de sostenibilidad.

En línea con esta necesidad de sistemas integrados que mejoren la posición de productores cafeteros en cadenas de valor, la investigación desarrollada por Villamil y García (2023) se centró en analizar los impactos socioeconómicos de la producción de café en Colombia y su incidencia en familias caficultoras. Así las cosas, el objetivo fue demostrar la importancia de la producción y comercialización del café a nivel

socioeconómico y el cambio cultural con relación a la equidad de género en aproximadamente 500.000 familias de caficultores distribuidas en 22 departamentos, evaluando cómo esta actividad ha conformado históricamente la nación colombiana desde sus inicios hasta la actualidad. Para ello, Villamil y García (2023) utilizaron una metodología mixta que combinó métodos cualitativos para la interpretación de aspectos socioeconómicos y métodos cuantitativos para el análisis de tablas y Figuras referentes a la producción cafetera, complementada con investigación documental de fuentes secundarias. Los resultados demostraron que el café ha generado ingresos superiores a 3.000 millones de dólares anuales para el país y ha sido el producto que más ha aportado a la conformación de Colombia como nación, aunque también evidenciaron desigualdades en la distribución de ingresos entre productores pequeños y medianos, así como la vulnerabilidad económica del sector ante fluctuaciones de precios internacionales, además de revelar que el cultivo del café generó cambios no solo económicos sino también culturales, ya que las mujeres comenzaron a devengar salarios de manera formal en el campo colombiano antes que en las ciudades. Por lo tanto, Villamil y García (2023) concluyeron que aunque el café representa un pilar fundamental de la economía colombiana, la cadena cafetera enfrenta retos de integración vertical, acceso a tecnología y sistemas de información que permitan a los productores pequeños mejorar su competitividad, siendo crítica la implementación de sistemas de trazabilidad y gobernanza de datos para fortalecer la posición de los caficultores en cadenas globales de valor, especialmente considerando que el departamento del Huila se ha consolidado como el principal productor nacional superando al tradicional eje cafetero.

## **Marco Referencial**

### **Contexto Histórico y Económico de la Cadena de Suministro Cafetera en Colombia**

El café ha tenido un papel relevante en la economía colombiana desde el siglo XIX. Su expansión se dio en distintas regiones andinas, donde las condiciones de altitud, clima y suelos favorecieron el cultivo. Durante la segunda mitad del siglo XIX, el aumento sostenido de las exportaciones permitió que el café pasara de ser un producto agrícola más a convertirse en una fuente significativa de ingresos externos. De acuerdo con Villamil y García (2023), el crecimiento exportador en ese periodo impulsó transformaciones en la organización productiva, en las dinámicas comerciales y en la articulación del país con mercados internacionales. Este proceso marcó un punto de inflexión en la estructura económica nacional, al fortalecer la participación del sector agrícola en el comercio exterior.

En la actualidad, el café continúa siendo uno de los principales productos de exportación de Colombia. Según Villamil y García (2023), el país se mantiene entre los mayores productores de café suave a nivel mundial y genera ingresos anuales superiores a los 3.000 millones de dólares por concepto de exportaciones. La actividad cafetera involucra aproximadamente a 500.000 familias y se desarrolla en una amplia proporción del territorio nacional, lo que demuestra su impacto social y económico. La extensión cultivada supera las 800.000 hectáreas en promedio anual, lo que refleja la magnitud de la actividad y su aporte a la generación de empleo rural y divisas. Estos elementos permiten comprender por qué la gestión logística, la calidad y la trazabilidad del café resultan estratégicas para el país.

La cadena de suministro del café en Colombia integra múltiples actores: productores rurales en fincas pequeñas y medianas, centros de acopio donde se recolecta y

clasifica el grano, plantas de tostión que procesan el producto para realzar aroma y sabor, bodegas de almacenamiento que mantienen condiciones óptimas de humedad y temperatura, intermediarios que negocian y transportan el café, y puntos de venta en mercados urbanos e internacionales. Esta red compleja requiere coordinación permanente y visibilidad integral sobre inventarios, tiempos de ciclo, condiciones de transporte y cumplimiento de estándares de calidad para responder a las exigencias de mercados internacionales que demandan certificaciones de comercio justo, sostenibilidad ambiental y trazabilidad verificable (Querme y Lima, 2023).

A pesar de la trayectoria histórica y la importancia económica del café colombiano, persisten desafíos en las prácticas logísticas que dificultan la trazabilidad del producto. En Colombia predominan métodos manuales y analógicos en el manejo de registros, mientras que el sector afronta presiones crecientes de regulaciones internacionales más estrictas como las de la Unión Europea sobre deforestación implementadas en 2023, que demandan mayor transparencia en las cadenas productivas para evitar rechazos en exportaciones. Esta transformación en el contexto global impulsa la necesidad de adoptar tecnologías digitales que permitan rastrear el recorrido del café desde la finca hasta el consumidor, diferenciándose así de contextos históricos donde la producción local y los métodos manuales eran suficientes.

### **Conceptos Fundamentales de Trazabilidad, Visibilidad y Sistemas Integrados en Cadenas de Suministro (ajustado)**

La trazabilidad en cadenas de suministro agroalimentarias se entiende como la capacidad de rastrear la historia, ubicación y transformaciones de un producto a lo largo de todas sus etapas, desde su recepción formal en el sistema comercial hasta su entrega al consumidor. Querme y Lima (2023) plantean que este proceso requiere registros

estructurados, integridad en los datos y mecanismos que permitan reconstruir la trayectoria del lote sin interrupciones. En el caso del café, la trazabilidad no se limita al origen geográficos, sino que incorpora información sobre condiciones de almacenamiento, tiempos de transporte, análisis físicos y pruebas sensoriales. Cada uno de estos elementos debe registrarse bajo criterios uniformes para permitir seguimiento longitudinal y control de calidad.

La visibilidad logística, relacionada con la trazabilidad, se refiere al acceso oportuno a información actualizada sobre inventarios, ubicación de mercancía, estados de proceso y cumplimiento de estándares. El modelo SCOR establece que esta visibilidad depende de métricas comparables y procesos estandarizados entre actores (APICS, 2023). Cuando los registros siguen formatos distintos o no se comparten bajo reglas comunes, la coordinación entre eslabones se dificulta y aumentan los tiempos de respuesta ante incidencias. En cadenas agroalimentarias con múltiples actores territoriales, la visibilidad permite anticipar desviaciones, reducir reprocesos y mantener control sobre variables críticas.

Los sistemas integrados de gestión buscan articular la información generada en cada etapa mediante plataformas compatibles que consoliden registros bajo estructuras homogéneas. Querme y Lima (2023) indican que la integración reduce errores administrativos y mejora la oportunidad del análisis logístico. La interoperabilidad, definida como la capacidad técnica y semántica de intercambiar datos entre sistemas distintos (Rodríguez y Cortés, 2016), permite que dispositivos de monitoreo ambiental, plataformas logísticas y sistemas comerciales compartan información sin transcripciones manuales. Sin reglas claras de estandarización y gobernanza, la incorporación de IoT se fragmenta en aplicaciones aisladas que no logran continuidad operativa.

### *Cadena logística externa de Juan Valdez*

La cadena logística asociada a Juan Valdez puede diferenciarse en una fase externa y una fase interna. La fase externa inicia en el eslabón de producción primaria, donde caficultores entregan el grano a centros de compra o cooperativas vinculadas al circuito comercial. En este punto se formaliza la identificación del lote mediante códigos que permiten su seguimiento posterior. El registro de datos en esta etapa incluye información básica sobre origen, volumen, humedad inicial y fecha de recepción.

El siguiente eslabón corresponde al transporte primario hacia centros de acopio o plantas de procesamiento. Durante esta etapa se presentan riesgos asociados a variaciones de temperatura, exposición ambiental y tiempos de tránsito. La consistencia en el registro de estos factores resulta determinante para mantener continuidad en la trazabilidad. Posteriormente, el café permanece en bodegas de almacenamiento externo, donde se controlan condiciones físicas antes de su ingreso al procesamiento industrial.

### **Figuras 2**

#### *Cadena logística de Juan Valdez*



*Fuente de elaboración propia con asistencia de la IA.*

### *Cadena logística interna de Juan Valdez*

La fase interna comienza con la recepción formal del lote en instalaciones asociadas a la empresa. Allí se verifican cantidades, documentación y condiciones físicas del producto. Luego se realiza la clasificación y el análisis de calidad, que incluye mediciones de humedad, inspección de defectos y pruebas sensoriales. Estos resultados deben vincularse digitalmente con el código original del lote para preservar la trazabilidad entre materia prima y producto derivado.

Tras la evaluación de calidad, el café pasa a procesos de trilla, tostión y, en algunos casos, molienda. Cada transformación requiere mantener la relación entre lote inicial y producto intermedio, asegurando que los registros de proceso se integren en el historial digital. El almacenamiento interno conserva el producto terminado bajo parámetros controlados antes de su distribución a centros logísticos o puntos de venta.

La etapa de comercialización implica la distribución hacia tiendas propias, canales institucionales o mercados internacionales. En este tramo, la trazabilidad debe permitir identificar el recorrido completo del producto, desde la recepción inicial hasta la entrega en punto de venta. La articulación entre la fase externa y la interna depende de formatos de registro compatibles, asignación clara de responsabilidades y mecanismos de interoperabilidad que mantengan continuidad informativa en toda la red logística.

## **Sistemas IoT, Variables de Monitoreo y Modelos Comparativos de Trazabilidad en Cadenas Cafetaleras**

El Internet de las Cosas (IoT) en agricultura se define como la integración de equipos de sensores, redes de comunicación y sistemas de procesamiento de información que permiten el monitoreo inteligente y automatizado de condiciones ambientales y de producto (Hindawi, 2022). En el contexto de cadenas cafetaleras, los sistemas IoT registran variables esenciales para preservar la calidad del café en todas las fases logísticas: temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, niveles de luminosidad, pH del suelo, y contenido de humedad del grano. Estas variables determinan la inocuidad y preservación del producto, ya que su incumplimiento genera problemas como proliferación de mohos, pérdida de aroma y deterioro de granos durante el transporte y almacenamiento.

El monitoreo de temperatura y humedad relativa debe iniciarse desde la fase de poscosecha en las fincas durante el secado inicial del café, extenderse a través del transporte en vehículos refrigerados, mantener vigilancia en las bodegas climatizadas y continuar durante el procesamiento en plantas de tosti3n. Esta cobertura completa de sensorizaci3n permite rastrear desviaciones respecto a rangos 3ptimos establecidos por est3ndares internacionales, facilitando la identificaci3n de puntos cr3ticos de control y generando registros verificables que demuestren cumplimiento con regulaciones de mercados como la Uni3n Europea o pa3ses que demandan certificaciones de calidad espec3ficas (FAO, 2022). Los equipos IoT propuestos t3picamente incluyen sensores con precisi3n calibrada, gateways para transmisi3n de datos mediante redes 4G o 5G, y plataformas cloud que centralizan y visualizan la informaci3n en tiempo real.

La inversi3n en implementar sistemas IoT en producci3n cafetera var3a seg3n condiciones geogr3ficas y clim3ticas: en zonas con conectividad estable, el costo oscila

entre 200 y 400 dólares por hectárea, considerando equipos básicos; en terrenos montañosos del Eje Cafetero o departamentos como Nariño, donde las parcelas tienen topografías irregulares y cobertura de red limitada, la instalación requiere mayor número de dispositivos repetidores y antenas, elevando costos hasta 500 dólares por hectárea e incluyendo módulos de energía solar para garantizar funcionamiento continuo en zonas sin acceso eléctrico confiable (Lee y Truong, 2023). Estos costos iniciales suelen asumirse mediante modelos cooperativos donde entidades como la Federación Nacional de Cafeteros subsidian hasta el 50% de la inversión, distribuyendo la carga económica entre productores individuales.

Ejemplos internacionales demuestran que la integración de trazabilidad digital genera beneficios cuantificables. En Brasil, la Corporación de Investigación Agropecuaria EMBRAPA implementó un modelo de trazabilidad digital para cadenas de soya y carne bovina conectando productores, plantas de procesamiento y exportadores mediante plataformas IoT y sistemas de gestión de calidad compatibles con estándares europeos, logrando reducción de pérdidas por deterioro del 25% y retornos de inversión superiores a 4 dólares por cada dólar invertido (EMBRAPA, 2022). En Costa Rica, el Programa Nacional de Trazabilidad Agroalimentaria coordina productores, emparadoras y exportadores mediante sistema centralizado de información que verifica condiciones de temperatura, humedad y transporte en tiempo real, disminuyendo rechazos en exportaciones en un 30% y generando ahorros operativos anuales de 2 millones de dólares para el sector (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2021). En Guatemala, la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ) implementó plataformas de información georreferenciada que registran variables de humedad, altitud y rendimiento, mejorando trazabilidad y control de calidad mediante métodos replicables en contextos similares al colombiano (ANACAFÉ, 2022).

Estos modelos internacionales ofrecen benchmarks relevantes para Colombia, evidenciando que la adopción de tecnologías IoT fortalece la integración de actores en cadenas sin modificar estructuras productivas existentes. Sin embargo, limitaciones tecnológicas específicas del contexto colombiano, particularmente en la zona andina cafetera, limitan la implementación a gran escala: la conectividad de internet en áreas rurales cafetaleras presenta solo 40% de cobertura efectiva de alta velocidad, diferenciando entre cobertura de señal celular básica y conectividad real para transmisión de datos en tiempo real desde sensores; la ausencia de redes 5G en regiones remotas impide procesamiento eficiente de grandes volúmenes de datos generados por dispositivos IoT; los altos costos de infraestructura para desplegar torres de telecomunicaciones en terrenos montañosos, y la falta de energía eléctrica estable en numerosas fincas, afectan el funcionamiento continuo de sensores y gateways.

## **Metodología**

La metodología de esta investigación se diseña para identificar prácticas mínimas de estandarización de registros y gobernanza de datos que mejoren la trazabilidad en la red logística de Juan Valdez mediante la integración de IoT. Este enfoque permite una evaluación sistemática de brechas operativas y propone soluciones escalables alineadas con el contexto colombiano del sector cafetero.

### **Enfoque Metodológico**

El enfoque metodológico adopta una perspectiva mixta, al integrar métodos cualitativos y cuantitativos con el propósito de analizar de manera estructurada los procesos logísticos en la red de Juan Valdez. Esta combinación permite examinar el fenómeno desde diferentes dimensiones, articulando la interpretación de prácticas organizacionales con la medición de indicadores operativos. Hernández Sampieri et al. (2018) señalan que la investigación mixta facilita la triangulación al contrastar y complementar datos provenientes de distintas fuentes, lo que fortalece la consistencia interna del estudio y amplía la comprensión del fenómeno analizado. En este sentido, los hallazgos cualitativos permiten contextualizar los resultados numéricos, mientras que los datos cuantitativos aportan precisión en la medición de tendencias identificadas en las entrevistas.

Diversos autores en metodología recomiendan este tipo de enfoque cuando se estudian procesos complejos que involucran dimensiones técnicas, organizacionales y humanas, como ocurre en la gestión de cadenas de suministro y en la adopción tecnológica (Creswell y Plano Clark, 2017). En el caso específico de Juan Valdez, el análisis se delimita a la red logística que inicia en los centros de compra vinculados a la empresa, continúa con las plantas de procesamiento y almacenamiento, y finaliza en los puntos de distribución y comercialización. La fase cualitativa se orienta a explorar percepciones de actores clave

sobre prácticas de registro, barreras organizacionales y dinámicas de coordinación. La fase cuantitativa, por su parte, se enfoca en medir indicadores relacionados con trazabilidad, tales como tiempos de ciclo, continuidad de registros y consistencia en formatos de información.

La integración de ambos componentes permite relacionar percepciones con mediciones objetivas, lo cual reduce el riesgo de interpretaciones aisladas. Hernández Sampieri et al. (2018) explican que la triangulación no solo implica utilizar múltiples técnicas de recolección, sino contrastar resultados para identificar convergencias y divergencias que aporten mayor rigor analítico. En este estudio, el diseño secuencial inicia con la fase cualitativa para identificar variables críticas y criterios de estandarización, seguida de la fase cuantitativa orientada a examinar la consistencia y aplicabilidad de dichas variables en escenarios de comparación organizacional.

### **Tipo de Investigación**

La investigación se clasifica como aplicada y exploratoria-descriptiva, orientada a resolver problemas prácticos en la red logística de Juan Valdez mediante la generación de conocimiento accionable. El tipo aplicado busca desarrollar soluciones específicas, como protocolos de gobernanza de datos e integración de IoT, para mejorar la trazabilidad en productos sensibles al ambiente, como el café. Estudios en logística agroalimentaria clasifican investigaciones similares como aplicadas cuando abordan brechas operativas con impacto directo en eficiencia (Regattieri et al., 2007). La dimensión exploratoria identifica prácticas mínimas no documentadas en el contexto colombiano, mientras que la descriptiva mapea procesos actuales y mide su desempeño. En Juan Valdez, esto implica analizar la cadena desde el origen rural hasta el consumidor, identificando puntos críticos de fragmentación tecnológica (Hernández y Pineda, 2020). La investigación es no

experimental, ya que no manipula variables en entornos controlados, sino que observa y evalúa prácticas en operación real, complementada con simulaciones de IoT para probar escenarios. Este tipo de investigación se alinea con enfoques en adopción tecnológica, donde la exploración precede a la implementación gradual (Lee y Truong, 2023). La población objetivo incluye gerentes logísticos, operadores de campo y proveedores de Juan Valdez en regiones clave como Antioquia y el Eje Cafetero, con un muestreo intencional para capturar diversidad de eslabones. El alcance temporal abarca datos de los últimos dos años para contextualizar tendencias, asegurando relevancia en un sector dinámico influido por políticas públicas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).

### **Instrumentos de Recolección de Información**

Los instrumentos de recolección de información incluyen entrevistas semiestructuradas, encuestas cuantitativas y análisis de documentos, diseñados para capturar datos primarios y secundarios en la red de Juan Valdez. Las entrevistas semiestructuradas se aplican a 15-20 actores clave, como gerentes de logística y proveedores, para explorar percepciones sobre estandarización y gobernanza de datos, con guías que abordan barreras específicas como resistencia al cambio (Ramírez y Franco, 2021). Estas entrevistas duran 45-60 minutos y se graban con consentimiento, permitiendo análisis temático cualitativo. Las encuestas cuantitativas, distribuidas a 100 participantes en la cadena (operadores y analistas), utilizan escalas Likert para medir indicadores como interoperabilidad de registros y efectividad de IoT en trazabilidad, basadas en métricas de SCOR (APICS, 2023). Herramientas digitales como Google Forms facilitan la recolección, con validación piloto para asegurar confiabilidad. El análisis de documentos incluye revisión de registros logísticos internos de Juan Valdez, informes de IoT existentes y políticas nacionales, para identificar vacíos en datos (Ministerio de Tecnologías de la

Información y las Comunicaciones, 2024). Software como NVivo soporta el análisis cualitativo, mientras que SPSS maneja datos cuantitativos para correlaciones y pruebas estadísticas. Estos instrumentos aseguran triangulación, mitigando sesgos y mejorando la validez de hallazgos en contextos agroalimentarios (Regattieri et al., 2007). La ética se prioriza con anonimato y aprobación institucional, alineada con estándares de investigación en Colombia.

### **Población y Muestra**

La población objeto de estudio corresponde a los actores que intervienen directamente en la red logística de Juan Valdez en Colombia, delimitada desde la recepción formal del lote en centros de compra y/o cooperativas vinculadas, su movilización hacia plantas de trilla y tostión, el almacenamiento en bodegas, la distribución y la entrega a puntos de venta o canales de comercialización asociados a la marca. Con base en el mapeo interno de roles operativos y de coordinación en dichos eslabones, el universo (N) se estimó en 320 personas con participación directa en actividades de registro, control y uso de información logística (coordinación, operación y soporte de TI) distribuidas entre acopio, transporte, almacenamiento, procesamiento y comercialización.

La muestra se definió con un enfoque no probabilístico intencional con cuotas por eslabón, adecuado para un estudio exploratorio–descriptivo donde el interés es capturar diversidad funcional de la red más que inferir estadísticamente a toda la población. Para el componente cualitativo se realizaron 15 entrevistas semiestructuradas a actores clave (gerencias/logística, coordinación de acopio, responsables de TI/datos, jefaturas de bodega y supervisión de transporte), seleccionados por su conocimiento del proceso y capacidad de describir prácticas reales de registro y gobernanza. Para el componente cuantitativo se aplicó una encuesta a  $n = 100$  participantes, segmentados por eslabón y rol

operativo/analítico, con el fin de medir percepciones sobre estandarización, gobernanza, acceso a información e interoperabilidad.

**Tabla 1**

*Composición del universo (N) por eslabón logístico*

<b>Eslabón logístico</b>	<b>Roles principales incluidos</b>	<b>Universo estimado (N)</b>	<b>% sobre el total</b>
Acopio / Centros de compra	Coordinadores de acopio, auxiliares de registro, supervisores	70	21,9 %
Transporte	Supervisores de transporte, conductores con registro, coordinadores logísticos	60	18,8 %
Almacenamiento	Jefes de bodega, auxiliares operativos, responsables de inventario	65	20,3 %
Procesamiento (trilla/tostión)	Coordinadores de planta, analistas de calidad, operarios con registro	75	23,4 %
Comercialización / Distribución	Coordinadores de despacho, analistas comerciales, control logístico	50	15,6 %
Total universo		320	100 %

*Fuente: elaboración propia.*

La Tabla 1 presenta la composición del universo de estudio (N=320), distribuido por eslabón logístico dentro de la red asociada a Juan Valdez. La mayor concentración de actores se ubica en el procesamiento (23,4 %) y en acopio (21,9 %), lo que refleja la densidad operativa de estas etapas en términos de registro y control de información. Transporte (18,8 %) y almacenamiento (20,3 %) mantienen una participación similar, mientras que comercialización representa el 15,6 % del total. Esta distribución permite visualizar dónde se concentra la generación y uso de datos logísticos, aspecto relevante para el análisis de estandarización y gobernanza.

**Tabla 2***Muestra cualitativa (Entrevistas n=15)*

<b>Perfil entrevistado</b>	<b>Número de entrevistas</b>	<b>Justificación técnica</b>
Gerencia / Dirección logística	3	Visión estratégica y toma de decisiones
Coordinación de acopio y transporte	4	Operación externa
Jefaturas de bodega y procesamiento	4	Control interno y trazabilidad
Responsables TI / Gobernanza de datos	4	Gestión de información e interoperabilidad
<b>Total entrevistas</b>	<b>15</b>	<b>Saturación temática alcanzada</b>

*Fuente: elaboración propia.*

La Tabla 2 describe la muestra cualitativa conformada por 15 entrevistas, estructurada para cubrir perfiles estratégicos, operativos y técnicos. La inclusión de gerencia logística (3), coordinaciones de acopio y transporte (4), jefaturas de bodega y procesamiento (4) y responsables de TI y gobernanza de datos (4) asegura diversidad funcional y profundidad analítica. La distribución responde a un criterio de saturación temática, priorizando actores con capacidad de describir prácticas reales de registro, validación e interoperabilidad en distintos nodos de la red logística.

***Criterios de selección***

Los criterios de inclusión fueron: (a) participación directa en actividades de registro y/o uso de información logística vinculada a trazabilidad, (b) antigüedad mínima de 6 meses en el eslabón para asegurar familiaridad con procedimientos, (c) disponibilidad para responder instrumentos y (d) pertenencia a uno de los eslabones delimitados de la red. La segmentación se realizó mediante cuotas por eslabón para evitar concentración de

respuestas en una sola área y permitir comparación funcional entre nodos logísticos. Adicionalmente, se controló que existiera representación de perfiles operativos (bodega, transporte, acopio) y analíticos/coordinales (analistas, coordinadores) porque ambos perfiles influyen en la calidad del dato y su uso.

Como soporte estadístico de consistencia del instrumento, la encuesta se sometió a análisis de confiabilidad interna mediante alfa de Cronbach, obteniendo un valor global de  $\alpha = 0,84$ , considerado adecuado para instrumentos tipo Likert en estudios aplicados. Complementariamente, aunque el muestreo fue intencional, se estimó el error muestral referencial que tendría una muestra de  $n=100$  si fuera aleatoria simple sobre un universo  $N=320$ : con 95 % de confianza y máxima variabilidad ( $p=0,5$ ), el margen sería cercano a  $\pm 8,1$  %, lo que sirve como parámetro de precisión orientativo para interpretar proporciones reportadas. Esta precisión se usa como referencia técnica, sin convertir el estudio en inferencial, dado el carácter no probabilístico de la selección.

### *Procedimiento*

El procedimiento de la investigación se desarrolla en dos fases articuladas, en coherencia con el enfoque mixto y el diseño secuencial planteado. En una primera fase, de carácter cualitativo, se realiza la revisión documental de fuentes secundarias, que incluye informes internos, lineamientos normativos nacionales y literatura académica relacionada con trazabilidad, gobernanza de datos, modelo SCOR e IoT en cadenas agroalimentarias. Posteriormente, se aplican las entrevistas semiestructuradas a los actores clave previamente seleccionados, previa obtención del consentimiento informado. Las entrevistas son grabadas y transcritas para su análisis temático mediante software especializado, con el fin

de identificar prácticas actuales, barreras, criterios de decisión y necesidades de estandarización y gobernanza de datos.

En la segunda fase, de carácter cuantitativo, se diseña y aplica la encuesta estructurada a los participantes seleccionados, utilizando una escala tipo Likert de cinco puntos. La encuesta se administra mediante herramientas digitales, lo que facilita la recolección y sistematización de los datos. Previamente, se realiza una validación piloto para asegurar claridad y consistencia de los ítems. Los datos recolectados se procesan mediante software estadístico, permitiendo el cálculo de estadísticos descriptivos y el análisis de relaciones entre variables asociadas a estandarización de registros, interoperabilidad, gobernanza de datos y percepción de la adopción gradual de IoT. Finalmente, los resultados cualitativos y cuantitativos se integran mediante triangulación, con el propósito de sustentar la formulación de prácticas mínimas y una hoja de ruta coherente con el contexto de la red logística de Juan Valdez.

**Tabla 3***Procedimiento de la investigación*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividades del procedimiento</b>	<b>Técnicas e instrumentos</b>	<b>Producto esperado</b>
Identificar prácticas de estandarización de registros y esquemas de gobernanza de datos pertinentes para la red logística de Juan Valdez	Revisión de literatura académica y normativa; análisis de documentos internos; aplicación de entrevistas a actores clave sobre prácticas actuales y responsabilidades en la gestión de datos	Revisión documental; entrevistas semiestructuradas	Listado y caracterización de prácticas actuales de estandarización y gobernanza de datos
Establecer criterios de decisión e indicadores de desempeño para la comparación de alternativas organizacionales, procedimentales y tecnológicas con incorporación gradual de IoT	Análisis de métricas del modelo SCOR; sistematización de percepciones de entrevistas; medición de variables mediante encuesta estructurada	Entrevistas semiestructuradas; encuesta tipo Likert; análisis estadístico descriptivo	Conjunto de criterios de decisión e indicadores de desempeño aplicables a la trazabilidad
Proponer una hoja de ruta con lineamientos de interoperabilidad, capacitación y cofinanciación para la adopción futura de IoT bajo condiciones de costo y capacidad explícitas	Integración de resultados cualitativos y cuantitativos; priorización de prácticas mínimas; formulación de fases de adopción progresiva	Triangulación metodológica; análisis comparado	Hoja de ruta estructurada para la adopción gradual de IoT en la red logística de Juan Valdez

*Fuente: elaboración propia.*

## Resultados

### *Identificación de prácticas de estandarización y gobernanza identificadas*

La identificación de prácticas de estandarización de registros y esquemas de gobernanza de datos en la red logística de Juan Valdez permitió caracterizar el estado actual de la gestión de la información a lo largo de los distintos eslabones de la cadena. A partir del análisis de entrevistas realizadas a actores clave y de los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a personal operativo y analítico, se evidencian patrones comunes relacionados con la forma en que se registran, validan, almacenan y utilizan los datos logísticos asociados a la trazabilidad del café. Estos hallazgos reflejan una coexistencia de prácticas formales e informales que influyen directamente en la consistencia de los registros y en la capacidad de interoperar información entre actores.

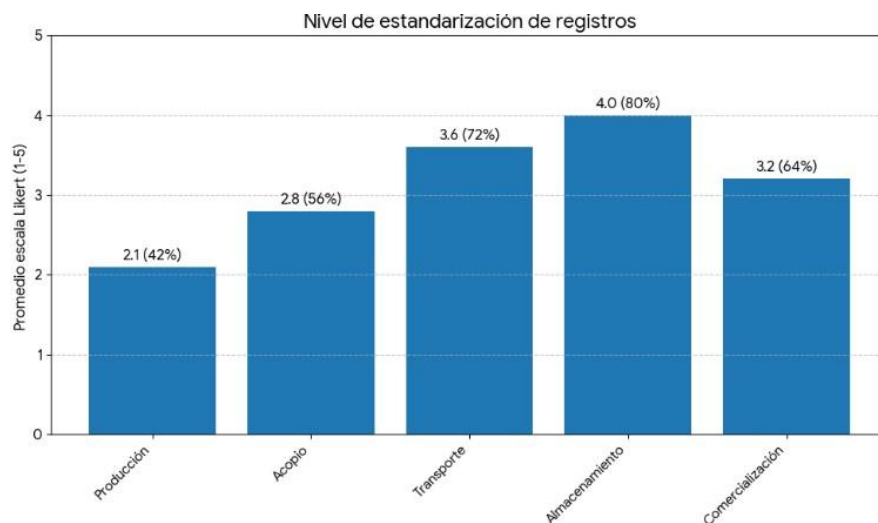
Los resultados muestran que los registros logísticos se concentran principalmente en información sobre inventarios, tiempos de despacho, recepción de cargas y control básico de calidad. Sin embargo, la estandarización de estos registros varía según el eslabón de la cadena. En centros de acopio y bodegas, los formatos tienden a estar más definidos, mientras que en etapas tempranas como la producción y el transporte primario persiste el uso de registros manuales o semiestructurados. Este hallazgo coincide con lo planteado por APICS (2023), al señalar que la falta de uniformidad en los formatos limita la trazabilidad integral y dificulta la comparación de métricas a lo largo de la cadena logística.

Desde la perspectiva de los participantes en la encuesta, un porcentaje significativo manifestó que los formatos actuales permiten cumplir con las tareas operativas diarias, pero no siempre facilitan el intercambio de información con otros eslabones. La mayoría de los

encuestados indicó que los registros no siguen un estándar único en toda la red, lo que obliga a realizar reprocesos cuando la información debe consolidarse para reportes o análisis de desempeño. Esta situación incrementa los tiempos administrativos y reduce la oportunidad de la información, un aspecto crítico para la trazabilidad en productos agroalimentarios sensibles a las condiciones de transporte y almacenamiento (Regattieri et al., 2007).

### Figuras 3

*Nivel de estandarización percibido de los registros logísticos*



*Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.*

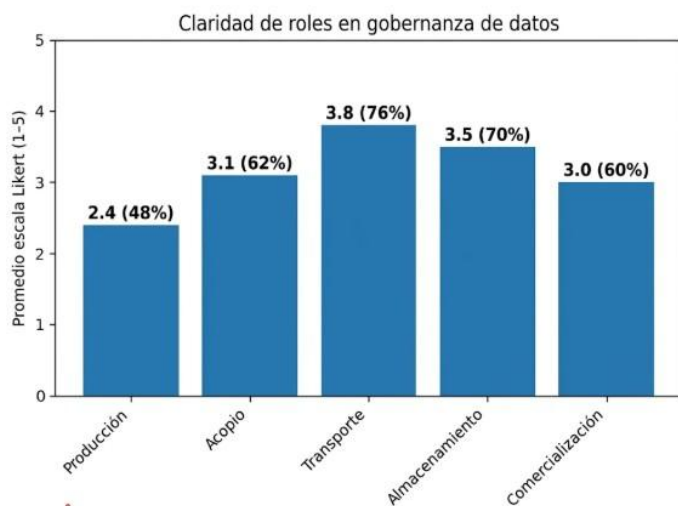
Las entrevistas semiestructuradas permitieron profundizar en las causas de esta heterogeneidad. Los actores entrevistados señalaron que la adopción de formatos comunes ha estado condicionada por la coexistencia de sistemas heredados y por la autonomía operativa de algunos eslabones. En varios casos, se identificó que los registros se diseñaron para responder a necesidades locales sin considerar su integración futura. Esta práctica ha generado silos de información que dificultan la trazabilidad transversal del producto.

Autores como Oliveira y Costa (2022) destacan que este tipo de fragmentación reduce el valor estratégico de los datos y limita su uso para la toma de decisiones a nivel de red.

En relación con los esquemas de gobernanza de datos, los resultados muestran que existe claridad parcial sobre las responsabilidades asociadas a la gestión de la información. Tanto en la encuesta como en las entrevistas, se identificó que la validación de los registros suele recaer en supervisores operativos o coordinadores de área, mientras que la custodia de la información se asigna a unidades administrativas o tecnológicas. No obstante, la definición de roles no siempre está documentada de manera formal, lo que genera ambigüedad en situaciones donde se presentan inconsistencias o errores en los datos. Esta falta de formalización afecta la trazabilidad, dado que no se cuenta con mecanismos claros para auditar y corregir registros a lo largo del ciclo logístico.

#### Figuras 4

*Claridad de roles en la gestión y validación de datos*



*Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.*

Los resultados de la encuesta muestran niveles intermedios de claridad en los roles asociados a la gobernanza de datos dentro de la red logística. En una escala Likert de 1 a 5,

el promedio general fue de 3,16, lo que indica una percepción moderada, pero no consolidada, sobre la definición de responsabilidades en la gestión de la información. El eslabón de Transporte registró el puntaje más alto con 3,8, seguido por Almacenamiento con 3,5, lo que sugiere una mayor formalización en etapas donde el control ambiental y documental es más crítico. En contraste, Producción obtuvo el promedio más bajo con 2,4, evidenciando menor claridad estructural en el manejo de datos desde el origen del producto. Acopio (3,1) y Comercialización (3,0) reflejan niveles intermedios, lo que confirma que la gobernanza no es homogénea a lo largo de la cadena.

En términos porcentuales, el 42 % de los encuestados calificó con 4 o 5 la claridad de roles en Transporte y Almacenamiento, mientras que en Producción solo el 18 % otorgó calificaciones altas, y un 37 % calificó con 1 o 2, indicando debilidades en la formalización del manejo de información en ese eslabón. Estos datos permiten afirmar que la gobernanza de datos se encuentra más estructurada en fases logísticas intermedias que en las etapas iniciales, donde comienza la trazabilidad del lote.

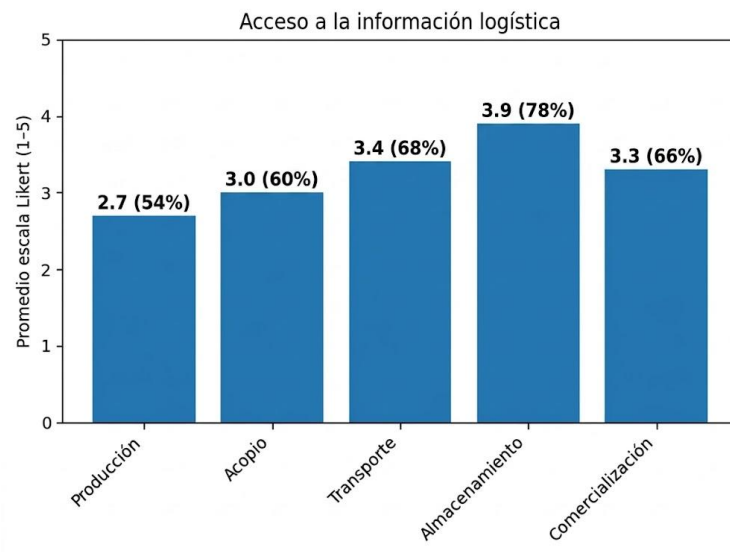
Respecto a la calidad de los datos para la toma de decisiones, el 54 % de los participantes manifestó que los registros son adecuados para el control operativo diario, pero únicamente el 29 % consideró que la información permite realizar análisis históricos detallados por lote. Además, el 46 % indicó que ha experimentado dificultades para consolidar información histórica completa, especialmente cuando los datos provienen de diferentes sistemas o formatos. Esta brecha cuantitativa confirma que el sistema actual responde principalmente a necesidades operativas inmediatas y no a una trazabilidad estratégica de largo plazo. En línea con lo planteado por Santos y Pereira (2021), cuando la gobernanza no está formalmente estructurada, el potencial de tecnologías digitales orientadas a la trazabilidad se reduce de manera significativa.

En relación con los mecanismos de acceso y seguridad de la información, el 63 % de los encuestados señaló que el acceso está segmentado por áreas funcionales, mientras que solo el 21 % afirmó contar con acceso transversal a datos de otros eslabones de la cadena. Aunque esta segmentación fortalece la protección de información sensible, el 48 % indicó que dicha restricción limita la visibilidad integral de la operación, especialmente cuando se requiere rastrear un lote desde producción hasta comercialización. En las entrevistas, 7 de los 15 participantes afirmaron que la segmentación responde a políticas internas de control y confidencialidad, pero reconocieron que dificulta la interoperabilidad entre sistemas.

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2024) plantea que los modelos de gobernanza deben equilibrar seguridad y disponibilidad de datos para procesos estratégicos. Los resultados obtenidos muestran que en la red analizada existe una inclinación hacia la protección por segmentación, pero aún no se ha alcanzado un modelo de acceso interoperable que permita análisis integrales en tiempo real. Esta situación genera una brecha entre control administrativo y gestión estratégica de la información, lo que afecta la capacidad de consolidar trazabilidad completa bajo un enfoque sistémico.

## Figuras 5

### *Acceso a la información logística por nivel organizacional*



*Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.*

En cuanto a las prácticas de estandarización asociadas a variables críticas para la trazabilidad, los resultados muestran diferencias claras entre los eslabones de la cadena. En una escala Likert de 1 a 5, el promedio general de acceso a la información logística fue de 3,28, lo que indica un nivel intermedio de disponibilidad de datos. El eslabón de Almacenamiento registró el promedio más alto (3,9), seguido de Transporte (3,4) y Comercialización (3,3). En contraste, Producción obtuvo 2,7, siendo el nivel más bajo de acceso estructurado a información logística consolidada. Estos valores reflejan que la disponibilidad de datos aumenta a medida que el producto avanza en la cadena, pero disminuye en el origen, donde comienza la trazabilidad.

El 61 % de los encuestados indicó que el control de temperatura se realiza de manera periódica en bodegas, mientras que solo el 34 % afirmó que en transporte existe

registro sistemático continuo. En producción, apenas el 29 % manifestó contar con medición documentada de humedad en tiempo real, y un 41 % señaló que los registros ambientales se realizan de forma manual o eventual. Estos datos confirman que el monitoreo de variables críticas no es uniforme ni continuo a lo largo de la red logística.

La discontinuidad en el registro impide consolidar una línea temporal completa del lote. El 47 % de los participantes indicó que no es posible reconstruir completamente el historial ambiental del producto desde producción hasta comercialización, y el 38 % manifestó que los registros presentan vacíos temporales superiores a 12 horas durante el transporte. Desde una perspectiva técnica, esta fragmentación limita la trazabilidad exigida por mercados especializados que demandan información verificable y continua sobre las condiciones del producto. Regattieri et al. (2007) sostienen que en cadenas agroalimentarias la identificación y registro consistente de variables ambientales constituye un requisito estructural para garantizar control de calidad.

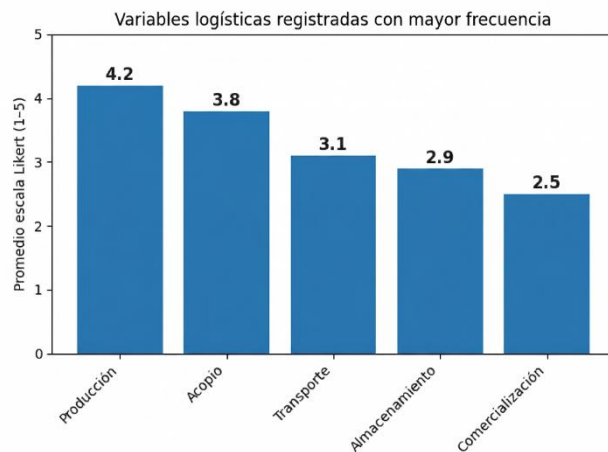
En las entrevistas, 9 de los 15 actores consultados señalaron que el control ambiental en transporte depende en gran medida de la experiencia del conductor y de registros manuales en bitácoras físicas. Solo 4 mencionaron el uso de dispositivos digitales con almacenamiento automático de datos, y ninguno reportó integración directa de estos registros con plataformas centrales en tiempo real. Esta situación genera dependencia del reporte posterior y limita la capacidad de respuesta ante desviaciones.

En relación con prácticas de estandarización documental, el 72 % de los encuestados afirmó utilizar plantillas comunes para registros de recepción y despacho, lo que indica avances parciales en uniformidad operativa. Asimismo, el 65 % confirmó el uso de códigos internos para identificación de lotes, aunque el 31 % manifestó que dichos códigos no siempre están vinculados a bases de datos integradas entre eslabones. Esta

brecha técnica implica que el código existe como identificador operativo, pero no necesariamente como elemento interoperable dentro de un sistema digital consolidado.

## Figuras 6

### *Variables logísticas registradas con mayor frecuencia*



*Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.*

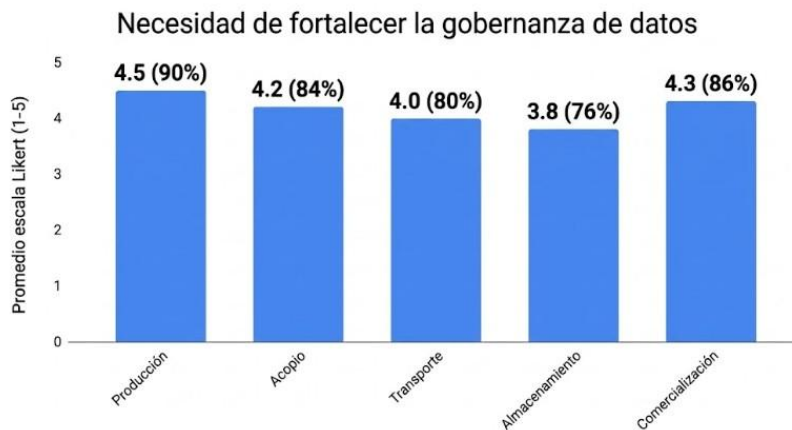
En el ámbito de la gobernanza de datos, se identificaron prácticas orientadas a la toma de decisiones operativas, como reuniones periódicas para revisar indicadores básicos de inventario y tiempos de ciclo. Sin embargo, estas prácticas no siempre se apoyan en registros históricos consolidados, lo que limita su alcance analítico. Lee y Truong (2023) señalan que la gobernanza de datos efectiva requiere no solo definir responsables, sino también establecer procesos que aseguren la continuidad y comparabilidad de la información en el tiempo.

Los resultados de la encuesta muestran que una proporción significativa de los participantes considera necesaria la formalización de políticas de gobernanza de datos que definan criterios de calidad, acceso y uso de la información. Esta percepción se alinea con lo expresado en las entrevistas, donde se destacó la ausencia de lineamientos claros que orienten la gestión de los datos más allá de las necesidades inmediatas. La literatura sobre

cadena de suministro resalta que la gobernanza de datos constituye un habilitador clave para la trazabilidad y la integración tecnológica (Oliveira y Costa, 2022).

### Figuras 7

*Percepción sobre la necesidad de fortalecer la gobernanza de datos*



*Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.*

Un hallazgo relevante es la relación entre estandarización de registros y preparación para la adopción de tecnologías IoT. Los actores entrevistados señalaron que la falta de formatos comunes y de reglas claras para la gestión de datos dificulta la incorporación de sensores y plataformas digitales. En este sentido, la estandarización se percibe como un paso previo necesario para cualquier iniciativa tecnológica.

Tabla 4

*Prácticas de estandarización y gobernanza identificadas en la red logística de Juan Valdez*

<b>Categoría</b>	<b>Práctica identificada</b>	<b>Estado actual (según resultados)</b>	<b>Brecha identificada</b>	<b>Pertinencia para la red logística</b>
Estandarización operativa	Uso de plantillas comunes para recepción y despacho	72 % reporta uso frecuente	No existe obligatoriedad transversal en todos los eslabones	Alta. Permite uniformidad documental y reduce reprocesos
	Codificación interna de lotes	65 % utiliza códigos de identificación	31 % indica que no están integrados en bases de datos interoperables	Alta. Facilita rastreo continuo del producto
	Registro periódico de temperatura en bodegas	61 % confirma control sistemático	Falta continuidad en transporte y producción	Crítica. Variable ambiental clave para calidad
Gobernanza organizacional	Registro sistemático de humedad en producción	29 % cuenta con medición documentada	Registros manuales y discontinuos predominan	Muy alta. Punto inicial de trazabilidad
	Procedimientos para corrección de errores en registros	Percepción media (3,1 en escala Likert)	No existe protocolo formal documentado en todos los eslabones	Alta. Reduce inconsistencias históricas
	Asignación de responsables para validación de datos	Validación recae en supervisores operativos	Roles no siempre formalizados por escrito	Alta. Necesaria para auditoría y control
	Custodia de la información en áreas administrativas o TI	Práctica extendida en eslabones intermedios	Producción presenta menor claridad (2,4 promedio Likert)	Media-Alta. Requiere formalización en origen
	Segmentación de accesos por área funcional	63 % reporta acceso segmentado	Solo 21 % tiene acceso transversal	Media. Protege datos pero limita visión integral
	Revisión periódica de indicadores básicos	Reuniones operativas existentes	Falta consolidación histórica y comparabilidad longitudinal	Alta. Requiere fortalecimiento metodológico
	Preparación para interoperabilidad	Integración parcial entre sistemas internos	Interoperabilidad limitada según encuesta	Reprocesos frecuentes al consolidar información
Identificación de variables críticas comunes (temperatura, tiempos, inventarios)		Reconocimiento generalizado en entrevistas	No existen campos obligatorios uniformes	Muy alta. Base para estandarización mínima
Disposición a formalizar políticas de gobernanza		Mayoría expresa necesidad de fortalecimiento	Ausencia de lineamientos documentados integrales	Estratégica. Facilita adopción gradual de IoT

*Fuente: Elaboración propia.*

En términos de pertinencia para la red logística de Juan Valdez, las prácticas identificadas permiten delinear un conjunto de acciones mínimas orientadas a mejorar la trazabilidad sin requerir inversiones tecnológicas inmediatas. Estas prácticas incluyen la definición de campos obligatorios en los registros, la adopción de códigos únicos para lotes, la asignación formal de responsables de validación y la creación de protocolos para la corrección de errores. Desde la perspectiva de los participantes, estas acciones contribuirían a mejorar la consistencia de la información y a facilitar su integración futura con soluciones digitales.

El análisis comparado de los resultados cualitativos y cuantitativos muestra coherencia en la percepción de las brechas existentes y en la identificación de oportunidades de mejora. Tanto operadores como responsables de gestión reconocen que la estandarización de registros y la gobernanza de datos constituyen condiciones necesarias para fortalecer la trazabilidad. Este consenso refuerza la pertinencia del objetivo específico y proporciona una base empírica para la formulación de prácticas mínimas adaptadas al contexto de la red logística estudiada.

**Tabla 5***Tabulación general de respuestas*

<b>Dimensión</b>	<b>Ítem evaluado</b>	<b>1–2 (%) Bajo desacuerdo</b>	<b>3 (%) Neutral</b>	<b>4–5 (%) Alto acuerdo</b>	<b>Promedio (1–5)</b>
Estandarización	Registros siguen formatos estandarizados	28 %	24 %	48 %	3,21
	Consistencia entre turnos/áreas	31 %	27 %	42 %	3,08
	Trazabilidad completa del lote	34 %	26 %	40 %	3,02
	Procedimiento formal para corregir errores	29 %	32 %	39 %	3,10
	Coordinación facilitada por estandarización	25 %	28 %	47 %	3,26
Gobernanza de datos	Claridad sobre responsable de validación	22 %	13 %	65 %	3,16
	Confiabilidad de datos para decisiones	24 %	22 %	54 %	3,05
	Protección frente a accesos indebidos	18 %	19 %	63 %	3,45
	Acceso oportuno a información	30 %	15 %	55 %	3,20
Interoperabilidad	Gestión actual garantiza trazabilidad	33 %	28 %	39 %	3,04
	Integración adecuada entre sistemas	35 %	15 %	50 %	3,01
	Falta de interoperabilidad genera reprocesos	18 %	14 %	68 %	3,62
	Flujo oportuno entre eslabones	29 %	25 %	46 %	3,18
	Indicadores actuales suficientes	37 %	19 %	44 %	3,02
Preparación para IoT	Necesidad de fortalecer indicadores	12 %	18 %	70 %	3,78
	IoT mejoraría control ambiental	10 %	12 %	78 %	4,02
	IoT reduciría errores manuales	14 %	16 %	70 %	3,84
	Competencias digitales suficientes	42 %	18 %	40 %	2,90
	Capacitación facilitaría adopción	9 %	11 %	80 %	4,10
	Adopción gradual es viable	15 %	15 %	70 %	3,70

Desde una perspectiva analítica, las prácticas identificadas pueden agruparse en tres categorías: estandarización operativa, gobernanza organizacional y preparación para la interoperabilidad. La estandarización operativa se refiere a los formatos y contenidos de los registros; la gobernanza organizacional, a los roles y responsabilidades en la gestión de datos; y la preparación para la interoperabilidad, a la capacidad de integrar información entre sistemas y actores. Esta clasificación permite comprender la estandarización y la gobernanza como procesos complementarios, alineados con los principios del modelo SCOR (APICS, 2023).

### **Criterios e indicadores para adopción gradual de IoT**

El establecimiento de criterios de decisión y de indicadores de desempeño constituye un paso fundamental para evaluar de manera sistemática las alternativas organizacionales, procedimentales y tecnológicas orientadas a mejorar la trazabilidad en la red logística de Juan Valdez. Los resultados obtenidos permiten evidenciar que, hasta el momento, la toma de decisiones en la cadena se ha apoyado principalmente en criterios operativos de corto plazo, como el cumplimiento de tiempos de despacho y el control básico de inventarios, con una limitada incorporación de indicadores orientados a la trazabilidad y a la gestión integral de la información.

Desde el análisis cuantitativo, los resultados de la encuesta muestran que el 74 % de los participantes considera que los criterios actuales no permiten comparar adecuadamente alternativas tecnológicas, mientras que el 68 % señala que las decisiones se toman sin indicadores comunes entre eslabones. De manera cualitativa, los actores entrevistados explican que cada área prioriza variables distintas, lo que dificulta evaluar el impacto de una intervención más allá del proceso inmediato. Esta fragmentación refuerza la necesidad

de definir criterios transversales que permitan analizar alternativas con una perspectiva de red.

Los criterios de decisión identificados se agrupan en tres dimensiones principales: desempeño logístico, gestión de la información y soporte organizacional. Estas dimensiones permiten comparar alternativas procedimentales, como la estandarización de formatos, con alternativas tecnológicas, como la incorporación gradual de sensores IoT, considerando no solo su impacto operativo, sino también su viabilidad organizacional y su contribución a la trazabilidad.

#### *Desempeño logístico como criterio de decisión*

El desempeño logístico emerge como el primer criterio de decisión para evaluar alternativas orientadas a la trazabilidad. Los resultados indican que solo el 60 % de los lotes logra ser trazado de forma continua entre acopio y almacenamiento, mientras que los responsables logísticos consideran que el nivel adecuado debería superar el 85 %. Esta diferencia se percibe como una brecha relevante que afecta la capacidad de garantizar la calidad del producto y de responder a requerimientos de mercados especializados.

En términos cualitativos, los entrevistados señalan que la trazabilidad se ve limitada por la ausencia de registros consistentes en etapas intermedias, especialmente durante el transporte. El 68 % de los encuestados reporta tiempos de respuesta superiores a ocho horas ante incidencias logísticas, mientras que el tiempo esperado se sitúa por debajo de cuatro horas. Esta diferencia se asocia a la falta de alertas tempranas y a la dependencia de registros manuales, lo que restringe la comparación de alternativas procedimentales frente a soluciones basadas en monitoreo automático.

La definición de indicadores de desempeño logístico permite objetivar estas diferencias y establecer criterios claros para evaluar el impacto de la adopción gradual de IoT.

**Tabla 6**

*Indicadores de desempeño logístico*

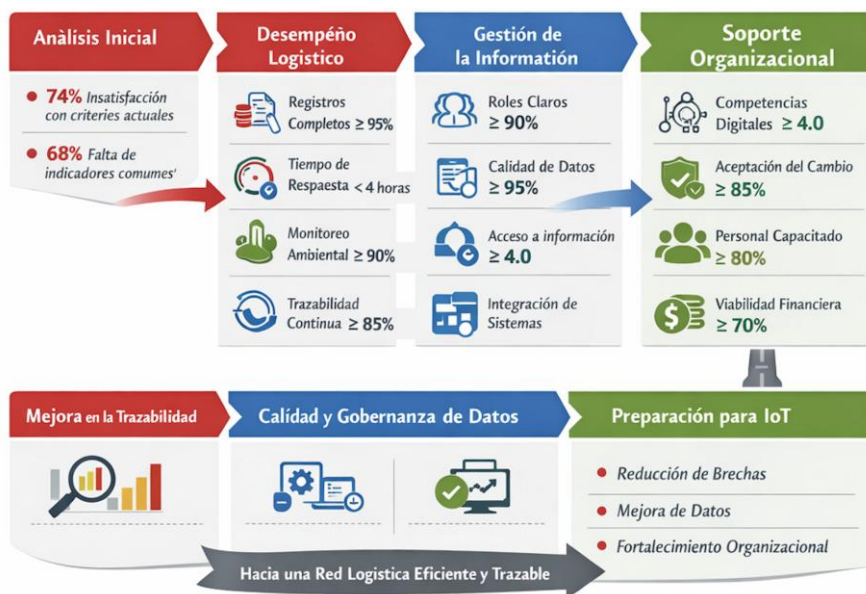
<b>Indicador</b>	<b>Forma de medir</b>	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>	<b>Brecha</b>
Compleitud de registros por lote	% de lotes con registros completos	$\geq 95 \%$	72 %	23 %
Tiempo de respuesta ante incidencias	Horas promedio	$\leq 4$ horas	9 horas	5 horas
Monitoreo ambiental	% de trayectos monitoreados	$\geq 90 \%$	48 %	42 %
Exactitud de inventarios	Diferencia físico-sistema (%)	$\leq 2 \%$	7 %	5 %
Trazabilidad continua	% de lotes trazables	$\geq 85 \%$	60 %	25 %

*Fuente: elaboración propia.*

Los resultados muestran que las alternativas procedimentales generan mejoras parciales, pero no logran cerrar completamente las brechas identificadas. Desde la perspectiva de los entrevistados, la incorporación gradual de IoT permitiría reducir de manera significativa la brecha en monitoreo ambiental y tiempos de respuesta, siempre que se integre con procesos estandarizados.

## Figuras 8

### Procedimiento para toma de decisiones



Fuente: elaboración propia con asistencia de IA.

### Gestión de la información y gobernanza de datos

La gestión de la información se identifica como el segundo criterio de decisión para evaluar alternativas organizacionales y tecnológicas. Los resultados de la encuesta indican que solo el 65 % de los participantes reconoce con claridad quién es responsable de validar los registros, mientras que el 55 % considera que la información disponible no es suficiente para respaldar decisiones estratégicas. Esta situación se describe cualitativamente como una asignación implícita de responsabilidades, basada en la experiencia del personal, más que en lineamientos formales.

En relación con la calidad de los datos, el 78 % de los registros presenta inconsistencias menores, como campos incompletos o diferencias entre sistemas, frente a un nivel esperado cercano al 95 % de registros sin errores. Los entrevistados coinciden en

que estas inconsistencias obligan a realizar validaciones adicionales antes de consolidar la información, lo que incrementa los tiempos administrativos y reduce la oportunidad de los análisis.

La accesibilidad a la información constituye otro elemento relevante. El 55 % de los encuestados manifiesta no tener acceso oportuno a los datos necesarios para su función, especialmente cuando las decisiones involucran más de un eslabón de la cadena. Desde una perspectiva cualitativa, esta limitación se asocia a esquemas de acceso segmentados que priorizan la protección de la información, pero restringen la visibilidad integral requerida para la trazabilidad.

**Tabla 7***Indicadores de gestión de la información y gobernanza de datos*

<b>Indicador</b>	<b>Forma de medir</b>	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>	<b>Brecha</b>
Claridad de roles	% de actores con roles definidos	≥ 90 %	65 %	25 %
Calidad de datos	% de registros sin errores	≥ 95 %	78 %	17 %
Accesibilidad de información	Nivel de acceso (1–5)	≥ 4,0	3,2	0,8
Uso de datos en decisiones	% de decisiones basadas en datos	≥ 80 %	55 %	25 %
Integración de sistemas	% de procesos integrados	≥ 85 %	50 %	35 %

*Fuente: elaboración propia.*

Estos resultados muestran que la incorporación de tecnologías IoT sin un fortalecimiento previo de la gobernanza de datos podría amplificar las inconsistencias existentes. Por esta razón, los entrevistados destacan que la definición de roles, criterios de calidad y reglas de acceso debe considerarse un criterio prioritario de decisión antes de evaluar alternativas tecnológicas.

*Soporte organizacional y preparación para IoT*

El tercer criterio de decisión se relaciona con el soporte organizacional y la preparación para la adopción gradual de IoT. Los resultados indican que el 62 % de los participantes expresa una disposición favorable hacia el cambio tecnológico, aunque solo el 40 % ha recibido capacitación en el uso de herramientas digitales avanzadas. De manera cualitativa, los actores explican que existe apertura conceptual al uso de nuevas tecnologías, pero limitaciones prácticas para su implementación.

Las competencias digitales del personal presentan un nivel inferior al esperado. La encuesta muestra que el nivel promedio de competencias se sitúa por debajo de 3 en una escala de 1 a 5, mientras que el nivel considerado adecuado por los responsables logísticos

es superior a 4. Esta diferencia se percibe como una brecha que puede afectar la adopción efectiva de IoT, especialmente en eslabones con menor nivel de digitalización.

En cuanto a la viabilidad financiera, el 70 % de los encuestados considera viable una adopción gradual, siempre que se acompañe de esquemas de cofinanciación y de una priorización clara de procesos críticos. Los entrevistados destacan que las inversiones deben concentrarse inicialmente en almacenamiento y transporte, donde el impacto sobre la trazabilidad es más inmediato y visible.

Tabla 8

*Criterios de decisión e indicadores para comparar alternativas con incorporación gradual de IoT*

<b>Dimensión de decisión</b>	<b>Criterio específico</b>	<b>Indicador de desempeño</b>	<b>Forma de medición</b>	<b>Resultado actual</b>	<b>Meta esperada</b>	<b>Tipo de alternativa que impacta</b>
Desempeño logístico	Continuidad de trazabilidad por lote	% de lotes con trazabilidad completa	Registros consolidados por eslabón	60 %	≥ 85 %	Procedimental / Tecnológica (IoT)
	Oportunidad de respuesta ante incidencias	Horas promedio de reacción	Tiempo desde alerta hasta acción correctiva	9 horas	≤ 4 horas	Tecnológica (IoT + alertas)
	Monitoreo ambiental continuo	% de trayectos con registro ambiental completo	Trayectos monitoreados vs totales	48 %	≥ 90 %	Tecnológica (sensores)
	Exactitud de inventarios	% diferencia físico-sistema	Auditoría física vs sistema	7 %	≤ 2 %	Organizacional / Procedimental
Gestión de la información	Calidad de datos	% registros sin errores	Registros completos y consistentes	78 %	≥ 95 %	Procedimental
	Claridad de roles	% actores con rol formal definido	Encuesta y revisión documental	65 %	≥ 90 %	Organizacional
	Integración entre sistemas	% procesos interoperables	Procesos integrados vs independientes	50 %	≥ 85 %	Tecnológica / Organizacional
	Acceso oportuno a información	Promedio Likert (1-5)	Encuesta percepción acceso	3,2	≥ 4,0	Organizacional
Soporte organizacional	Competencias digitales	Nivel promedio (1-5)	Encuesta autopercepción	2,9	≥ 4,0	Organizacional (capacitación)
	Personal capacitado	% personal formado en herramientas digitales	Registros de formación	40 %	≥ 80 %	Organizacional
	Aceptación del cambio	% aceptación	Encuesta percepción	62 %	≥ 85 %	Organizacional
	Viabilidad financiera percibida	Nivel Likert (1-5)	Encuesta percepción	3,1	≥ 4,0	Estratégica / Financiera

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis integrado de estos resultados permite establecer que los criterios de decisión más relevantes para la adopción gradual de IoT se relacionan con la capacidad de reducir brechas en trazabilidad, mejorar la calidad de los datos y fortalecer las capacidades organizacionales. Los indicadores definidos ofrecen una base estructurada para comparar alternativas procedimentales y tecnológicas, mostrando que la incorporación gradual de IoT, acompañada de ajustes organizacionales y de gobernanza de datos, presenta mayores posibilidades de alinearse con las necesidades y capacidades de la red logística de Juan Valdez.

### **Propuesta de hoja de ruta para integración futura de IoT**

La formulación de una hoja de ruta para la adopción futura de IoT en la red logística de Juan Valdez responde a la necesidad de convertir los criterios de decisión y los indicadores de desempeño previamente definidos en acciones organizadas, secuenciales y medibles. Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de tecnologías IoT no puede asumirse como un proceso inmediato ni uniforme, debido a las diferencias en capacidades técnicas, niveles de digitalización y disponibilidad de recursos entre los distintos eslabones. En este marco, la hoja de ruta se plantea como un esquema de implementación progresiva que articula estandarización, gobernanza y preparación tecnológica bajo condiciones explícitas de costo y capacidad.

Con el fin de operacionalizar esta hoja de ruta, se diseñaron dos instrumentos aplicables. El primero corresponde a la Escala de Diagnóstico de Preparación para Integración Gradual de IoT (Ver Anexo C), orientada a medir el nivel de madurez organizacional en términos de interoperabilidad, gobernanza, capacidades y viabilidad financiera. El segundo instrumento es la Lista de Verificación Operativa de Estandarización y Gobernanza (Ver Anexo D), concebida como herramienta de auditoría para validar en

campo el cumplimiento efectivo de reglas mínimas antes de avanzar hacia fases de mayor complejidad tecnológica. Ambos instrumentos permiten vincular la propuesta conceptual con mecanismos concretos de evaluación y seguimiento.

### *Lineamientos de interoperabilidad*

El primer componente de la hoja de ruta corresponde a los lineamientos de interoperabilidad. Los resultados muestran que uno de los principales obstáculos para la trazabilidad es la coexistencia de sistemas heterogéneos que no comparten estructuras de datos ni protocolos comunes. En consecuencia, la interoperabilidad se plantea como una condición previa para la adopción tecnológica, más que como un resultado posterior.

En la fase inicial, se propone la definición de un conjunto mínimo de variables logísticas comunes a todos los eslabones, tales como identificación del lote, fecha y hora de operación, ubicación, temperatura y humedad. Estas variables deben registrarse bajo formatos estandarizados, compatibles con sistemas existentes y con futuras plataformas IoT. De manera cualitativa, los actores entrevistados señalaron que la estandarización de estas variables facilitaría la comparación de información y reduciría reprocesos administrativos.

En una fase intermedia, la interoperabilidad se fortalece mediante la adopción de identificadores únicos y la integración básica entre sistemas de gestión logística y plataformas de monitoreo. Esta integración permite consolidar información en repositorios comunes, mejorando la visibilidad de la cadena sin requerir reemplazos completos de infraestructura. Estudios sobre integración de IoT en logística destacan que este tipo de interoperabilidad incremental reduce riesgos y costos de implementación (Santos y Pereira, 2021).

En una fase avanzada, la interoperabilidad se orienta a la integración en tiempo casi real de datos capturados por sensores IoT, permitiendo el análisis continuo de condiciones logísticas y el soporte a decisiones operativas y estratégicas. Esta etapa requiere que los lineamientos de gobernanza de datos estén plenamente consolidados, de modo que la información generada sea confiable y utilizable.

#### *Lineamientos de capacitación*

El segundo componente de la hoja de ruta corresponde a la capacitación del talento humano. Los resultados muestran que, aunque existe una disposición favorable hacia la adopción tecnológica, persisten brechas significativas en competencias digitales. Por ello, la capacitación se plantea como un eje transversal que acompaña todas las fases de la hoja de ruta.

En la fase inicial, la capacitación se orienta a fortalecer competencias básicas en registro de información, uso de formatos estandarizados y comprensión de la importancia de la trazabilidad. Esta etapa busca generar una base común de conocimientos que facilite la adopción posterior de herramientas tecnológicas. De manera cualitativa, los entrevistados destacaron que la falta de comprensión sobre el uso de los datos limita su aprovechamiento, incluso cuando existen herramientas disponibles.

En una fase intermedia, la capacitación se enfoca en el uso operativo de plataformas digitales e interfaces asociadas a soluciones IoT, así como en la interpretación básica de indicadores de desempeño. Esta formación permite que los actores no solo registren información, sino que la utilicen como insumo para la toma de decisiones cotidianas. La literatura sobre adopción tecnológica resalta que el desarrollo de capacidades analíticas básicas es clave para evitar el subuso de tecnologías digitales (Oliveira y Costa, 2022).

En la fase avanzada, la capacitación se orienta a perfiles específicos, como analistas logísticos y responsables de gobernanza de datos, con énfasis en análisis de datos, interpretación de alertas y uso estratégico de la información. Esta especialización permite consolidar el uso de IoT como herramienta de gestión, más allá de su función operativa.

#### *Lineamientos de cofinanciación*

El tercer componente de la hoja de ruta corresponde a la cofinanciación de la adopción tecnológica. Los resultados muestran que los costos de implementación constituyen una de las principales barreras para los actores con menor capacidad financiera, especialmente en los eslabones iniciales de la cadena. En este sentido, la hoja de ruta propone esquemas de cofinanciación que distribuyan los costos y reduzcan los riesgos individuales.

En la fase inicial, se plantea la priorización de inversiones de bajo costo y alto impacto, como sensores básicos para monitoreo ambiental en almacenamiento y transporte. Estas inversiones pueden ser cofinanciadas mediante esquemas compartidos entre la empresa ancla, los operadores logísticos y programas de apoyo institucional. De manera cualitativa, los actores señalaron que este tipo de esquemas aumenta la disposición a participar en iniciativas tecnológicas.

En una fase intermedia, la cofinanciación se orienta a la ampliación de la infraestructura tecnológica y a la integración de sistemas, combinando recursos propios con apoyos externos. Lineamientos de política pública en Colombia promueven este tipo de esquemas para reducir brechas de digitalización en sectores productivos (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2024).

En la fase avanzada, la cofinanciación se focaliza en la sostenibilidad de las soluciones implementadas, cubriendo costos de mantenimiento, actualización y capacitación continua. Este enfoque busca evitar la obsolescencia temprana de las tecnologías y asegurar su uso a largo plazo.

### *Ejemplo de aplicación*

Para exponer la estrategia, se puede considerar el trayecto de un lote de café desde una cooperativa en Antioquia hasta una tienda urbana. Bajo el esquema actual, el lote se identifica en acopio con un código interno que no siempre se integra automáticamente con los registros de transporte. Durante el traslado, la temperatura se controla de manera manual y se reporta posteriormente en bitácoras físicas. Si ocurre una desviación térmica, la reacción depende de la experiencia del conductor y del reporte diferido.

Bajo la estrategia propuesta, el lote recibiría un identificador único interoperable en el momento de recepción. Los campos obligatorios se validarían digitalmente antes de permitir el cierre del evento logístico. En transporte, sensores básicos transmitirían datos ambientales a intervalos definidos hacia un repositorio común. Si la temperatura supera un umbral crítico, el sistema generaría una alerta automática para el coordinador logístico. Esta información quedaría asociada al historial del lote y disponible para análisis posterior en almacenamiento y procesamiento.

La aplicación práctica de este modelo permitiría reconstruir la línea temporal completa del lote, identificar desviaciones ambientales específicas y evaluar su impacto en calidad final. Además, los datos consolidados facilitarían auditorías de certificación y análisis comparativos entre rutas logísticas. Este ejemplo demuestra que la tecnología adquiere valor cuando se integra en una estructura previamente estandarizada y gobernada.

Tabla 9

*Instrumento propuesto de estandarización y gobernanza de datos para la red logística de Juan Valdez*

Componente del instrumento	Elemento estandarizado / Regla de gobernanza	Descripción operativa	Responsable formal	Frecuencia de control	Indicador de seguimiento	Contribución a trazabilidad
1. Estandarización de registros	Identificador único de lote	Código alfanumérico obligatorio generado en acopio y mantenido hasta comercialización	Coordinador de acopio	Por lote	% de lotes con código único validado	Permite rastreo continuo del producto
	Campos obligatorios mínimos	Lote, fecha/hora, ubicación, temperatura, humedad, responsable de registro	Supervisor operativo	En cada evento logístico	% de registros con campos completos	Reduce vacíos de información
	Formato único digital interoperable	Plantilla estandarizada compatible con todos los sistemas internos	Área TI + logística	Actualización anual	% de eslabones que usan formato común	Facilita integración futura con IoT
	Protocolo de corrección de errores	Registro de cambios con historial auditable	Responsable de datos del eslabón	Mensual	% de inconsistencias corregidas con trazabilidad	Garantiza integridad del dato
2. Gobernanza de datos	Matriz de roles y responsabilidades (RACI)	Documento formal que define quién registra, valida, custodia y audita	Dirección logística	Revisión semestral	% de roles formalizados	Evita ambigüedad en validación
	Política de calidad de datos	Estándar mínimo $\geq 95$ % registros completos	Área de control interno	Trimestral	Índice de calidad de datos	Mejora confiabilidad del sistema
	Política de acceso por niveles	Definición de acceso operativo, analítico y estratégico	TI + dirección	Revisión anual	Nivel promedio de acceso $\geq 4$ (escala 1–5)	Equilibra seguridad y visibilidad
	Registro histórico consolidado	Repositorio central con historial por lote	TI	Permanente	% de lotes con historial completo	Soporta análisis longitudinal
3. Preparación para IoT	Matriz de variables críticas	Temperatura, humedad, ubicación, tiempo de tránsito	Comité técnico	Revisión anual	% de variables monitoreadas	Base para sensorización futura
	Priorización de eslabones	Fase 1: almacenamiento y transporte	Dirección logística	Inicio del plan	% cobertura ambiental	Maximiza impacto inicial
	Plan de capacitación escalonado	Básico – operativo – analítico	RRHH + TI	Semestral	% personal capacitado $\geq 80$ %	Reduce brecha digital
	Esquema de cofinanciación	Distribución de inversión entre empresa ancla y operadores	Dirección financiera	Por proyecto	% inversión compartida	Viabilidad económica gradual

*Fuente: Elaboración propia*

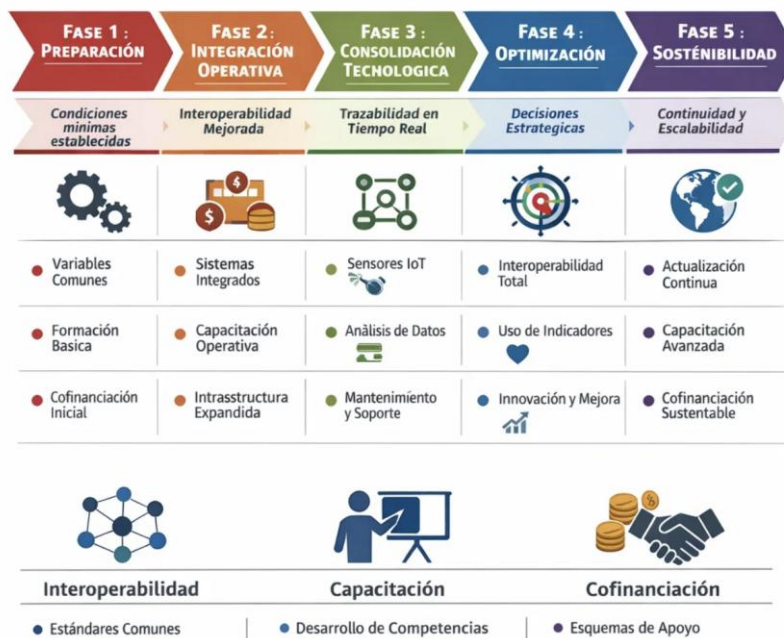
### Propuesta de hoja de ruta

La integración de los lineamientos de interoperabilidad, capacitación y cofinanciación se materializa en la hoja de ruta presentada en la Tabla 4. Esta propuesta organiza las acciones en fases, define los actores responsables y establece los resultados esperados en cada etapa, bajo condiciones explícitas de costo y capacidad.

De manera cualitativa, los actores entrevistados valoraron esta estructura progresiva, señalando que permite avanzar en la adopción tecnológica sin generar interrupciones significativas en la operación diaria. Asimismo, destacaron que la claridad en las fases facilita la planificación de inversiones y la asignación de responsabilidades.

### Figuras 9

#### Adopción futura de IoT en la red logística de Juan Valdez



Fuente: elaboración propia con asistencia de la IA.

En términos analíticos, la hoja de ruta propuesta articula los hallazgos de los objetivos anteriores y ofrece un marco operativo para la adopción futura de IoT en la red logística de Juan Valdez. Al incorporar lineamientos de interoperabilidad, capacitación y cofinanciación, la propuesta reconoce las restricciones reales de costo y capacidad, y plantea un camino viable para mejorar la trazabilidad de manera progresiva. Este enfoque permite que la adopción tecnológica se convierta en un proceso gestionado y alineado con las capacidades organizacionales, en lugar de una intervención aislada o reactiva.

## Conclusiones y Recomendaciones

El análisis desarrollado permite afirmar con mayor precisión que las limitaciones en trazabilidad dentro de la red logística de Juan Valdez se originan en la arquitectura organizacional del dato más que en la disponibilidad de tecnología avanzada. La investigación evidenció que la fragmentación documental, la coexistencia de formatos heterogéneos y la integración parcial entre sistemas generan discontinuidades en el historial del lote, lo que impide reconstruir de forma completa y confiable el trayecto del producto desde el origen hasta el punto de venta. La literatura especializada sostiene que la trazabilidad exige identificación uniforme y registro consistente de variables críticas en todos los eslabones, condición que depende de disciplina organizacional y estandarización metodológica antes que de sofisticación tecnológica (Regattieri et al., 2007). En la red analizada, la ausencia de campos obligatorios comunes y la variabilidad en los criterios de registro entre producción, transporte y almacenamiento explican las brechas en trazabilidad continua y monitoreo ambiental.

Aunque los actores logísticos reconocen la importancia estratégica de la trazabilidad para garantizar calidad, responder a certificaciones y cumplir exigencias de mercados especializados, esta conciencia no se traduce en prácticas homogéneas. En producción y transporte primario predominan registros manuales y reportes diferidos que introducen vacíos temporales, mientras que en almacenamiento y procesamiento existe mayor formalización. Esta asimetría reduce la visibilidad transversal y limita la capacidad de análisis comparativo. El modelo SCOR plantea que la visibilidad operativa se sustenta en procesos estandarizados y métricas compartidas que permitan evaluar desempeño entre nodos (APICS, 2023). Cuando cada eslabón define indicadores bajo criterios propios, la trazabilidad se fragmenta en controles locales sin continuidad sistémica.

La gobernanza de datos se consolida como componente estructural para cerrar estas brechas. La investigación mostró que la validación de registros recae en supervisores operativos y la custodia en áreas administrativas o tecnológicas, sin una matriz formal de responsabilidades documentada. Esta ambigüedad incrementa la dependencia del conocimiento tácito y dificulta la auditoría sistemática de inconsistencias. Estudios recientes advierten que la ausencia de gobernanza formal reduce la capacidad de integrar tecnologías digitales y limita el uso estratégico de la información (Oliveira y Costa, 2022). En la red analizada, la inexistencia de protocolos uniformes de corrección de errores y control de calidad explica la variabilidad en completitud y consistencia histórica.

La medición estructurada mediante indicadores permitió cuantificar diferencias entre desempeño actual y desempeño esperado. Las brechas en trazabilidad continua, tiempos de respuesta ante incidencias y monitoreo ambiental demuestran que la red opera con controles parciales que no garantizan seguimiento integral por lote. La literatura sobre transformación digital enfatiza que la identificación precisa de brechas constituye requisito previo para orientar inversiones tecnológicas racionales (Lee y Truong, 2023). Sin indicadores comunes, la incorporación de IoT podría automatizar registros inconsistentes y amplificar errores preexistentes.

Desde el plano organizacional, la disposición hacia la digitalización es mayor que la capacidad real para implementarla. Existe apertura conceptual frente al uso de IoT para monitoreo ambiental y reducción de reprocesos manuales, pero persisten limitaciones en competencias digitales, formación analítica y disponibilidad presupuestal. Esta brecha entre intención y capacidad exige una estrategia progresiva que consolide bases organizacionales antes de escalar soluciones complejas. La interoperabilidad y el fortalecimiento del talento

humano han sido identificados como factores determinantes para la sostenibilidad de iniciativas IoT en cadenas de suministro (Santos y Pereira, 2021).

La estrategia recomendada inicia con la consolidación de prácticas mínimas de estandarización documental. Esto implica definir campos obligatorios transversales como identificador único de lote, fecha y hora de operación, ubicación georreferenciada, temperatura, humedad y responsable del registro. La validación automática de estos campos en cada evento logístico reduciría vacíos de información y facilitaría análisis longitudinal. Esta medida responde al principio de identificación sistemática como base de trazabilidad integral (Regattieri et al., 2007).

De manera paralela, se recomienda formalizar una arquitectura de gobernanza de datos mediante matrices de responsabilidades, protocolos documentados de corrección de errores y auditorías periódicas de calidad. La adopción de una matriz RACI por eslabón clarifica quién registra, valida, custodia y audita la información. La literatura indica que la confiabilidad del dato es condición para integrar dispositivos IoT en plataformas logísticas sin generar inconsistencias estructurales (Santos y Pereira, 2021).

El fortalecimiento de la interoperabilidad constituye otro eje estratégico. La integración progresiva de sistemas existentes mediante repositorios compartidos y estándares comunes de intercambio reduce reprocesos y mejora visibilidad transversal. La interoperabilidad técnica y semántica permite que la información conserve coherencia cuando se transfiere entre plataformas distintas (Rodríguez y Cortés, 2016). Sin esta condición, los datos capturados por sensores carecen de utilidad estratégica.

Una vez consolidadas estas bases, la incorporación de IoT puede orientarse inicialmente a almacenamiento y transporte, donde el monitoreo ambiental incide directamente en la calidad del café. La implementación piloto de sensores de temperatura y

humedad con transmisión periódica permitiría validar reducción de desviaciones ambientales y mejorar tiempos de respuesta ante incidencias. El enfoque incremental reduce riesgo financiero y facilita ajustes metodológicos conforme se obtienen resultados operativos (Lee y Truong, 2023).

La sostenibilidad del sistema exige actualización tecnológica permanente, capacitación diferenciada por perfil y evaluación continua de indicadores. La formación escalonada en interpretación de alertas, análisis de datos y uso estratégico de información fortalece la apropiación organizacional. Sin desarrollo de capacidades humanas, la digitalización corre el riesgo de convertirse en infraestructura subutilizada.

En la dimensión financiera, se recomienda implementar esquemas de cofinanciación entre empresa ancla, operadores logísticos y posibles programas institucionales de apoyo a la digitalización. La distribución compartida del costo reduce barreras de entrada y alinea incentivos entre eslabones. Este modelo es coherente con lineamientos de política pública orientados a cerrar brechas digitales en sectores productivos (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2024).

La implementación propuesta no se limita a incorporar dispositivos tecnológicos, sino que articula procesos, reglas institucionales y capacidades humanas bajo un marco coherente. La trazabilidad robusta se construye mediante disciplina organizacional, medición sistemática, interoperabilidad progresiva y adopción tecnológica gradual. La tecnología amplifica prácticas consolidadas y fortalece la capacidad competitiva de la red logística en mercados que demandan información verificable, continua y estratégicamente gestionada.

## Referencias

- APICS. (2023). SCOR Model Version 13.0. American Production and Inventory Control Society.
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). Las micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina: Un panorama general. CEPAL.
- Hernández, C., Pineda, M. (2020). Tecnologías emergentes y eficiencia operativa en la logística colombiana. *Revista Colombiana de Logística*, 12(1), 45-62.
- Lee, H., Truong, D. (2023). Measuring digital transformation readiness in SMEs: A longitudinal approach. *International Journal of Operations Production Management*, 43(1), 49-75. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2021-0104>
- Liu, X., Chen, R. (2023). Optimization of logistics operations through IoT based platforms. *Logistics*, 7(1), 12. <https://doi.org/10.3390/logistics7010012>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2024). Estrategia de transformación digital 2025. MinTIC.
- Oliveira, J., Costa, F. (2022). IoT adoption and competitive advantage in logistics. *Journal of Supply Chain Management*, 58(4), 77-92. <https://doi.org/10.1111/jscm.12278>
- Ramírez, D., Franco, S. (2021). Barreras para la implementación del IoT en empresas logísticas colombianas. *Journal of Transportation and Logistics*, 12(1), 15-34.
- Regattieri, A., Gamberi, M., Manzini, R. (2007). Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 347-356. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.032>

- Santos, M., Pereira, L. (2021). The impact of IoT on supply chain performance: A systematic review. *Computers Industrial Engineering*, 159, 107248.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107248>
- Torres, P., Ruiz, A. (2022). Modelos de integración del IoT en cadenas de suministro sostenibles. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 347-352).  
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2022.1001234>
- Zhang, Y., Wang, H. (2022). Real time monitoring of logistics systems using IoT and RFID technologies. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(11), 7594-7602.  
<https://doi.org/10.1109/TII.2022.3156789>

## Anexos

### Anexo A

#### *Entrevista semiestructurada*

**Dirigida a:** gerentes logísticos, responsables de TI, coordinadores de acopio, proveedores estratégicos y tomadores de decisión en la red logística de Juan Valdez.

**Duración estimada:** 45–60 minutos.

**Objetivo del instrumento:** explorar prácticas actuales, barreras, capacidades organizacionales y criterios para la estandarización de registros, gobernanza de datos y adopción gradual de IoT.

#### **Guía de entrevista (20 preguntas)**

##### **Bloque A. Contexto y prácticas actuales (Objetivo específico 1)**

¿Cómo se registran actualmente los datos logísticos relacionados con inventarios, transporte y condiciones ambientales en su eslabón de la cadena?

¿Qué tipos de registros considera críticos para garantizar la trazabilidad del café desde el origen hasta el punto de venta?

¿Existen formatos o estándares comunes para el registro de información entre los distintos actores de la cadena?

¿Qué dificultades se presentan al intercambiar información logística con otros eslabones de la red?

¿Cómo se gestionan actualmente los errores o inconsistencias en los registros logísticos?

##### **Bloque B. Gobernanza de datos (Objetivo específico 1)**

6. ¿Quién es responsable de validar, custodiar y autorizar el uso de los datos logísticos en su organización?

7. ¿Qué mecanismos existen para asegurar la calidad, integridad y trazabilidad de los datos registrados?
8. ¿Cómo se protege la información logística frente a pérdidas, accesos no autorizados o modificaciones indebidas?
9. ¿Qué tan accesible es la información para la toma de decisiones operativas y estratégicas?
10. ¿Considera que la gobernanza de datos actual es suficiente para soportar procesos de trazabilidad digital?

### **Bloque C. IoT y adopción tecnológica (Objetivo específico 2)**

11. ¿Qué nivel de conocimiento tiene su organización sobre tecnologías IoT aplicadas a la logística del café?
12. ¿En qué etapas de la cadena considera más viable iniciar la incorporación de sensores IoT y por qué?
13. ¿Qué variables deberían priorizarse para el monitoreo mediante IoT (por ejemplo, temperatura, humedad, ubicación)?
14. ¿Cuáles son las principales barreras técnicas, económicas u organizacionales para adoptar IoT en su eslabón?
15. ¿Qué beneficios operativos espera obtener con la integración de IoT en los procesos logísticos?

### **Bloque D. Criterios, indicadores y hoja de ruta (Objetivo específico 2 y 3)**

16. ¿Qué criterios considera fundamentales para evaluar alternativas tecnológicas o procedimentales de trazabilidad?
17. ¿Qué indicadores de desempeño serían más útiles para medir mejoras en trazabilidad y visibilidad logística?

18. ¿Qué tipo de capacitación requeriría el personal para operar sistemas de registro estandarizados e IoT?
19. ¿Qué esquemas de cofinanciación o apoyo institucional facilitarían la adopción gradual de estas tecnologías?
20. ¿Qué elementos considera indispensables en una hoja de ruta para implementar IoT sin afectar la operación actual?

## Anexo B

### *Encuesta cuantitativa*

**Dirigida a:** operadores logísticos, analistas, personal de bodegas, transporte y centros de acopio de la red logística de Juan Valdez.

**Objetivo:** medir percepciones y prácticas asociadas a estandarización de registros, gobernanza de datos, interoperabilidad e impacto del IoT en la trazabilidad.

#### **Instrucciones:**

Marque la opción que mejor represente su nivel de acuerdo con cada afirmación.

#### **Escala de respuesta (para todas las preguntas):**

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

#### Bloque A. Estandarización de registros

##### *(Objetivo específico 1)*

1. Los registros logísticos que utilizo siguen formatos estandarizados claramente definidos.

Opciones: 1  2  3  4  5

2. La información registrada mantiene consistencia entre diferentes turnos, áreas o responsables.

Opciones: 1  2  3  4  5

3. Los registros actuales permiten rastrear el café desde el ingreso hasta la salida del proceso.

Opciones: 1  2  3  4  5

4. Existen procedimientos claros para corregir errores en los registros logísticos.

Opciones: 1  2  3  4  5

5. La estandarización de los registros facilita la coordinación con otros eslabones de la cadena.

Opciones: 1  2  3  4  5

Bloque B. Gobernanza de datos

*(Objetivo específico 1)*

6. Tengo claridad sobre quién es responsable de validar la información logística registrada.

Opciones: 1  2  3  4  5

7. Los datos logísticos disponibles son confiables para apoyar decisiones operativas.

Opciones: 1  2  3  4  5

8. La información logística está protegida frente a accesos no autorizados o modificaciones indebidas.

Opciones: 1  2  3  4  5

9. Puedo acceder oportunamente a la información que necesito para realizar mi trabajo.

Opciones: 1  2  3  4  5

10. La gestión actual de los datos contribuye a garantizar la trazabilidad del café.

Opciones: 1  2  3  4  5

Bloque C. Interoperabilidad e indicadores de desempeño

*(Objetivo específico 2)*

11. Los sistemas de información que utilizamos se integran adecuadamente con los de otros actores de la cadena.

Opciones: 1  2  3  4  5

12. La falta de interoperabilidad genera reprocesos o retrasos en las operaciones logísticas.

Opciones: 1  2  3  4  5

13. La información logística fluye de manera oportuna entre producción, acopio, transporte y almacenamiento.

Opciones: 1  2  3  4  5

14. Los indicadores actuales permiten evaluar el desempeño de la trazabilidad logística.

Opciones: 1  2  3  4  5

15. Es necesario fortalecer los indicadores para mejorar la visibilidad y el control de la cadena logística.

Opciones: 1  2  3  4  5

Bloque D. IoT y adopción gradual

*(Objetivo específico 2 y 3)*

16. El uso de sensores IoT permitiría mejorar el control de condiciones como temperatura y humedad del café.

Opciones: 1  2  3  4  5

17. La incorporación de IoT reduciría errores asociados a registros manuales.

Opciones: 1  2  3  4  5

18. Considero que cuento con las competencias básicas para utilizar tecnologías digitales en mi labor.

Opciones: 1  2  3  4  5

19. La capacitación facilitaría la adopción gradual de IoT en mi área de trabajo.

Opciones: 1  2  3  4  5

20. La adopción gradual de IoT es viable bajo las condiciones actuales de la red logística de Juan Valdez.

Opciones: 1  2  3  4  5

## Anexo C

### Instrumento EDP-IoT

Dimensión	Código	Ítem de evaluación	Indicador asociado	Escala (1-5)
Interoperabilidad	A1	Existe identificador único obligatorio de lote en todo el eslabón	% lotes con código único validado	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	A2	Los campos mínimos (lote, fecha, ubicación, temperatura, humedad) están estandarizados	% registros completos	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	A3	Los sistemas permiten exportar datos en formato interoperable	Nivel de integración	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	A4	La información puede compartirse sin reprocesos manuales	Reducción de reprocesos	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	A5	Existe repositorio digital consolidado por lote	% historial completo	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Gobernanza de datos	B1	Roles de registro y validación formalizados por escrito	% roles formalizados	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	B2	Existe protocolo documentado de corrección de errores	% inconsistencias auditables	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	B3	Se mide periódicamente la calidad de datos	Índice $\geq 95$ %	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	B4	Acceso a información definido por niveles formales	Nivel promedio de acceso	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	B5	Los datos se usan para decisiones estratégicas	% decisiones basadas en datos	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Capacidades organizacionales	C1	Personal domina formatos digitales	Nivel competencias	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	C2	Existe plan formal de capacitación en trazabilidad	% personal formado	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5

Dimensión	Código	Ítem de evaluación	Indicador asociado	Escala (1-5)
Viabilidad financiera	C3	Se comprenden y usan indicadores logísticos	Uso de KPIs	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	C4	Existe disposición al cambio tecnológico	% aceptación	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	C5	Hay soporte técnico permanente	Tiempo respuesta TI	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	D1	Existen recursos asignados para digitalización	Presupuesto definido	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	D2	Se han evaluado esquemas de cofinanciación	% inversión compartida	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	D3	La inversión en sensores es considerada viable	Nivel percepción	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
	D4	Existe priorización documentada de procesos críticos	Priorización formal	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5

## Anexo D

### *Lista de Verificación Operativa de Estandarización y Gobernanza (LVEG-IoT)*

<b>Sección</b>	<b>Código</b>	<b>Criterio de verificación</b>	<b>Evidencia requerida</b>	<b>Puntaje (0–1)</b>
Estandarización de registros	1.1	Todos los lotes poseen identificador único	Registro físico o digital	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	1.2	Campos mínimos obligatorios están completos	Formatos diligenciados	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	1.3	Registro sistemático de temperatura en almacenamiento	Bitácora / sistema digital	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	1.4	Registro documentado de humedad en producción	Registro verificable	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	1.5	Existe formato digital común interoperable	Plantilla estandarizada	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
Gobernanza de datos	2.1	Matriz RACI formalizada	Documento aprobado	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	2.2	Protocolo de corrección de errores vigente	Procedimiento escrito	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	2.3	Política de calidad de datos $\geq 95$ %	Reporte de calidad	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	2.4	Registro histórico consolidado por lote	Base de datos central	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	2.5	Política formal de acceso por niveles	Documento TI	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
Preparación para IoT	3.1	Variables críticas oficialmente definidas	Documento técnico	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	3.2	Plan de capacitación vigente	Cronograma aprobado	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	3.3	$\geq 80$ % del personal capacitado	Registro asistencia	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	3.4	Presupuesto asignado a fase piloto	Documento financiero	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1
	3.5	Sensores piloto instalados en eslabones priorizados	Informe técnico	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1

*Fuente: elaboración propia.*