

**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**PROPUESTA DE TFG DE APLICACIÓN PRÁCTICA DE TECNOLOGÍA DE LA  
INFORMACIÓN**



**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**

“Diseño de una estrategia digital para apoyar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en Pequeñas y medianos productores agropecuarios PYMPAs”.  
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

**Autor**

**Sebastián Rojas Calvo**

**Heredia, Costa Rica**

**Noviembre, 2025**

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA .....	11
1.1. Antecedentes.....	11
1.2. Justificación.....	12
1.3. Problema.....	13
1.4. Objetivo general .....	14
1.5. Objetivos específicos .....	14
1.6. Metas por alcanzar por objetivo .....	15
<b>Meta para el objetivo 1:</b> .....	15
<b>Meta para el objetivo 2:</b> .....	15
<b>Meta para el objetivo 3:</b> .....	15
<b>Meta para el objetivo 4:</b> .....	15
<b>Meta para el objetivo 5:</b> .....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	16
3.1. Introducción .....	16
3.1. Transformación digital en el sector agropecuario .....	17
3.1.1. Definición y características.....	18
3.1.2. Brechas digitales en zonas rurales.....	19
3.1.3. Modelos de madurez digital.....	19

3.2. Trazabilidad bovina .....	22
3.2.1. Concepto y componentes de un sistema de trazabilidad. ....	23
3.2.2. Importancia sanitaria, comercial y normativa. ....	24
3.2.3. Estándares internacionales y casos de éxito.....	25
3.3. Adopción tecnológica en PYMPAs.....	26
3.2.1. Modelos teóricos sobre adopción tecnológica.....	26
3.3.2. Modelos de madurez digital aplicados al sector agropecuario .....	28
3.3.3. Principios de gestión del cambio tecnológico en organizaciones rurales.....	28
3.4. Marco legal y normativo aplicable .....	29
3.4.1. Marco legal y regulaciones en torno a la trazabilidad y digitalización agropecuaria .	29
3.4.2. Normas y directrices del SENASA sobre identificación y trazabilidad animal. ....	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1 Introducción.....	33
3.2. Filosofía de la investigación .....	34
3.3. Enfoque de la Investigación .....	34
3.4 Diseño metodológico.....	36
3.5 Estrategia metodológica.....	37
3.6 Horizonte Temporal.....	40
3.7 Técnicas de recolección y análisis de datos .....	40
3.6.2. Análisis de datos.....	41
3.8. Sujetos y Fuentes de Información.....	42

3.9. Población y Muestra.....	44
3.9.1Estrategia de muestreo.....	44
CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	50
4.1. Procedimientos y análisis de datos .....	50
4.2. Análisis de resultados .....	51
Principales hallazgos de la revisión sistemática de literatura.....	55
Principales Hallazgos resultado de la encuesta estructurada dirigida a las PYMPAs vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo. ....	57
4.3 Resumen de hallazgos:.....	79
CAPÍTULO V. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	82
5.2. Definición del modelo de madurez.....	84
5.2 Propuesta de solución.....	85
5.2. Desarrollo de la solución .....	90
5.3. Procedimiento de implementación .....	92
Fase 1. Preparación y sensibilización que busca que los productores estén informados y motivados, con claridad sobre beneficios y compromisos.....	92
Fase 2. Captura de datos, que busca crear una base de datos inicial con información estandarizada de cada productor. ....	92
Fase 4. Análisis y visualización (dashboards) Creación de dashboards con vistas:.....	93
Fase 5. Retroalimentación y mejora continua. ....	93
5.4. Plan Piloto .....	95
5.5. Pruebas y resultados.....	95

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO .....	97
6.2 Supuestos del análisis.....	98
6.3 Estimación de horas e inversión por nivel de madurez.....	100
6.4 Identificación de beneficios y ahorros esperados .....	101
6.5 Flujo de caja proyectado y evaluación financiera.....	104
6.6 Conclusión del análisis financiero .....	107
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	108
6.1. Conclusiones.....	108
6.2. Recomendaciones.....	109
CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS RETROSPECTIVO.....	110
REFERENCIAS: .....	112
GLOSARIO .....	120
ANEXOS .....	123
Anexo 1: DIIO, Dispositivo de identificación individual oficial, con tecnología RFID (Radio Frequency Identification) a la izquierda y lector portátil USB/ Bluetooth - Derecha.....	123
Anexo 2: Plataforma Online Trazar-agro página de ingreso .....	123
Anexo 3. infografía resumen Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT .....	124
Anexo 4. infografía proceso de transformación digital. ....	125
Anexo 5: Preguntas frecuentes sobre el sistema de trazabilidad bovina.....	126
Anexo 6: Minuta y agenda reunión de trabajo con experto.....	132
Anexo 7: Carta de solicitud para realizar trabajo de investigación en el MAG Naranjo .....	135

Anexo 8: Carta de luz verde para realizar trabajo de investigación en el MAG Naranjo ..... 136

## Índice de tablas:

Tabla 1:Relación de los objetivos del trabajo de investigación vs. contenidos teóricos a revisar .....	17
Tabla 2: Alienación de objetivos, temas y keywords. ....	38
Tabla 3: Operacionalización de variables fase diagnostica .....	45
Tabla 4: Adaptación metodológica de la búsqueda en motores de bases de datos académicas. ....	52
Tabla 5: Generalidades de las PYMPAs según diagnostico aplicado .....	59
Tabla 6: Principales hallazgos y correspondencia con la solución planteada. ....	82
Tabla 7: Niveles de madurez y tratamientos sugeridos según nivel y dimensión.....	88
Tabla 8: Supuestos para el análisis financiero. ....	98
Tabla 9: Estimación de costo según niveles de madurez.....	100
Tabla 10: Ahorros estimados con la implementación .....	102
Tabla 11: Flujo de efectivo proyectado a 5 años .....	104
Tabla 12: Resumen de indicadores financieros.....	105

## Índice se gráficos y figuras:

Ilustración 1: Dimensiones del modelo de madurez BID .....	20
Ilustración 2: Niveles de madurez según BID .....	20

Ilustración 3: Modelo de Difusión de Innovaciones de Rogers (2003) .....	27
Ilustración 4: Research Onion (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2019) .....	33
Ilustración 5: Esquema PRISMA para la revisión sistemática de literatura .....	53
Ilustración 6: Genero de los entrevistados según porcentaje .....	57
Ilustración 7: Rangos de Edad de los informantes en porcentaje .....	58
Ilustración 8: Utilización de dispositivos tecnológicos en la PYMPAs .....	60
Ilustración 9: Uso de aplicaciones móviles .....	61
Ilustración 10: Participación en capacitaciones recientes.....	62
Ilustración 11: Capacidad para instalar aplicaciones.....	63
Ilustración 12: Capacidad para envió de correos o uso de mensajería .....	64
Ilustración 13: Conocimiento sobre la aplicación Trazar-Agro.....	65
Ilustración 14: Registro en la plataforma Trazar -Agro .....	66
Ilustración 15: Frecuencia de uso de la plataforma .....	67
Ilustración 16: Conocimiento sobre aretes electrónicos y dispositivos RFID.....	68
Ilustración 17: Nivel de familiarización con dispositivos RFID o aretes electrónicos.....	68
Ilustración 18: Información o capacitación recibida sobre RFID.....	69
Ilustración 19: Factores que influyen en la necesidad de adoptar la trazabilidad bovina. ....	70
Ilustración 20: Solicitud de apoyo para superar dificultades técnicas .....	70
Ilustración 21: Costos económicos como limitante de adopción de la trazabilidad .....	71
Ilustración 22: Problemas de conexión a plataformas .....	72
Ilustración 23: Organizaciones que le han apoyado en le tema de trazabilidad.....	72

Ilustración 24: Costos / beneficio percibido acerca de la trazabilidad .....	73
Ilustración 25: Tipo de capacitación preferida .....	74
Ilustración 26: Temas prioritarios para la capacitación.....	75
Ilustración 27: Horarios mas funcionales para la capacitación .....	75
Ilustración 28: participación en sesiones de campo .....	76
Ilustración 29: Canal de preferencia para recibir información.....	77
Ilustración 30: Dispositivo de preferencia para ingresar datos .....	77
Ilustración 31: Preferencia de interfases.....	78

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la motivación para plantearme objetivos y trabajar con salud, disciplina y entusiasmo para alcanzarlos.

A mi profesor Harold Leiva, por su acompañamiento, consejo y respaldo durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia, guía y calidad humana fueron fundamentales para el éxito de esta investigación.

A mi familia, por ser siempre un pilar invaluable y brindarme un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida académica y personal.

A los profesionales del MAG de la Oficina de Naranjo, quienes, con disposición y compromiso, colaboraron ante cada solicitud de información y dedicaron parte de su tiempo para aportar valor a esta investigación. Mi agradecimiento especial a Carlos Artavia, experto que apoyó en la validación de la herramienta propuesta; a Claudio Rodríguez, por su don de gente y su apoyo constante; a Warner, por facilitar los permisos necesarios; y a todo el equipo de funcionarios que me recibió con amabilidad en la oficina y brindó un apoyo desinteresado a este proyecto.

A la Universidad Nacional, por brindarme una experiencia académica valiosa y formativa durante esta maestría. Agradezco profundamente la calidad y excelencia de sus docentes, quienes con profesionalismo y dedicación enriquecieron mi aprendizaje. Extiendo también mi gratitud al director del programa y al equipo de asistentes administrativos, cuyo acompañamiento constante y apoyo en cada etapa hicieron posible avanzar y concluir este proceso con éxito.

A mis compañeras y compañeros de maestría, con quienes compartí aprendizajes, ideas, debates, trabajos colaborativos y desafíos. Su apoyo, compañerismo y la retroalimentación mutua hicieron más enriquecedor este camino.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo final de graduación tuvo como propósito diseñar una solución para apoyar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en las Pequeñas y Medianas Productoras Agropecuarias atendidas por la Agencia de Extensión Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería en el cantón de Naranjo, Costa Rica. La iniciativa surge ante la necesidad institucional de fortalecer los procesos de registro, control y seguimiento del ganado bovino mediante herramientas tecnológicas accesibles, eficientes y sostenibles y la necesidad de cumplir obligatoriamente la ley y el reglamento de trazabilidad que entrara a operar en febrero 2026.

La investigación parte del reconocimiento de que la trazabilidad bovina constituye un elemento clave para la sanidad animal, la seguridad alimentaria, la competitividad del sector y el cumplimiento de los estándares internacionales, esta trazabilidad está planteada para el uso de plataformas digitales de seguimiento, dispositivos de radiofrecuencia lo que implica un conocimiento digital al menos intermedio. No obstante, las PYMPAs enfrentan importantes brechas digitales que limitan su participación efectiva en el sistema, especialmente en términos de conectividad, capacitación, acceso a dispositivos y alfabetización tecnológica.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto con razonamiento abductivo, integrando métodos cuantitativos y cualitativos. Se aplicaron cuestionarios, revisión documental, análisis PRISMA de literatura científica y consulta a expertos. Esta combinación permitió diagnosticar el nivel de madurez digital de los productores y de las estructuras de apoyo institucional, identificando limitaciones, capacidades y oportunidades de mejora.

Los resultados evidenciaron que, aunque existe una disposición positiva hacia la digitalización, las PYMPAs carecen de acompañamiento técnico sostenido y de infraestructura mínima para utilizar la plataforma Trazar-Agro y otras tecnologías. Asimismo, se identificó la necesidad de fortalecer la gobernanza digital, la interoperabilidad entre sistemas y la articulación entre el MAG, SENASA, MICITT y otras instituciones vinculadas.

Se concluye que la implementación de esta estrategia relacionada a los niveles de madurez puede acelerar la adopción tecnológica en el sector agropecuario, fortalecer la trazabilidad del ganado costarricense y consolidar la transformación digital rural como política pública sostenible.

## CAPÍTULO I. EL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA

### 1.1. Antecedentes

Este trabajo final de graduación se vincula al quehacer del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en adelante MAG, que es una institución pública costarricense creada en 1948 como parte de la reestructuración del Estado posterior a la guerra civil. Desde su origen, el MAG ha sido una entidad clave en la configuración del sector agro-productivo nacional, orientando sus esfuerzos al desarrollo rural, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del agro costarricense (MAG, 2020). Durante las décadas de 1950 y 1960, fortaleció políticas de extensión agrícola e investigación aplicada, apoyándose en alianzas con organismos como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y universidades nacionales como la UCR (IICA, 2019).

En los años 70, el Ministerio promovió el cooperativismo, la tecnificación agrícola y el crédito rural. Posteriormente, en los años 80 y 90, adoptó un enfoque descentralizado, impulsando las Agencias de Extensión Agropecuaria (AEA) como unidades territoriales para ofrecer asistencia técnica directa a las personas productoras. En este marco, se consolidó la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, la cual ha jugado un papel preponderante en el acompañamiento a caficultores, ganaderos, horticultores, y otras pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs) del cantón, brindando apoyo técnico, formulación de proyectos, conservación de suelos, encadenamientos productivos y más recientemente, en procesos relacionados con la trazabilidad bovina (MAG, 2015; MAG-Naranjo, 2023).

En este contexto institucional y territorial, se promulgó el Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT, el cual establece el Sistema Nacional de Identificación Individual y Rastreabilidad del Ganado Bovino como obligatorio en todo el territorio nacional. Este sistema, gestionado por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), tiene como propósito mejorar la sanidad animal, garantizar la inocuidad de los alimentos y fortalecer la trazabilidad y competitividad de la ganadería nacional (SENASA, 2024).

La normativa mencionada exige que cada productor necesite de un Certificado Veterinario de Operación (CVO), registre sus animales mediante un Dispositivo de Identificación Individual Oficial (DIIO), y reporte los movimientos de ganado mediante guías digitales a través de la plataforma Trazar-Agro (Decreto 44336, 2024), **ver anexo 1 y 2 dispositivos y aplicación necesaria para la trazabilidad.**

Sin embargo, esta normativa implica importantes retos para PYMPAs, especialmente en zonas rurales, donde persisten limitaciones tecnológicas, de conectividad digital y capacitación en el uso de plataformas digitales. Estos factores podrían generar una brecha que podría comprometer la adopción efectiva del sistema y limitar la participación de las PYMPAs en mercados más exigentes.

Aunque existen esfuerzos interinstitucionales y del propio MAG para apoyar la implementación de esta normativa, aún se evidencia una necesidad de diseñar una estrategia digital adaptada al contexto y capacidades reales de estas PYMPAs. Este es el fenómeno que motiva el presente TFG: la necesidad de facilitar el cumplimiento de la trazabilidad bovina en pequeñas fincas, mediante un modelo que potencie el uso de herramientas digitales y el acompañamiento técnico.

Hasta la fecha, no se ha identificado estudios previos específicos enfocados en la estrategia digital de las PYMPAs para el cumplimiento del Sistema de Trazabilidad Bovina en Costa Rica. Por tanto, esta tesis busca aportar conocimiento en esta temática, entendiendo el reto que representa para el sector ganadero costarricense.

## **1.2. Justificación**

Este trabajo de graduación propone diseñar una estrategia digital para facilitar el cumplimiento del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina por parte de las pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs), durante el año 2025. Esta normativa será de acatamiento obligatoria en todo el territorio nacional a partir de marzo 2026 y busca garantizar la sanidad animal, la inocuidad alimentaria y la competitividad comercial del sector ganadero costarricense.

El sector ganadero bovino es una actividad estratégica para Costa Rica: aporta aproximadamente el 17% del PIB agropecuario y cubre más del 45% del territorio nacional con unidades productivas distribuidas en las siete provincias (CNP, 2023; MAG, 2022). Además, genera más de 27.000 empleos directos y más de 60.000 empleos indirectos, siendo una fuente de sustento clave en zonas rurales. En términos comerciales, Costa Rica exportó en 2022 más de 17.000 toneladas de carne bovina, principalmente hacia Estados Unidos, China, Panamá y Puerto Rico, por un valor superior a los \$100 millones (PROCOMER, 2023).

Más del 80% de las fincas ganaderas del país son PYMPAs, lo que refleja su papel protagónico en la producción nacional (INEC, 2023). Sin embargo, estas enfrentan importantes desafíos tecnológicos, como baja conectividad, escaso acceso a equipos tecnológicos y limitadas

competencias de manejo de tecnologías y comunicaciones, lo cual compromete la integración de estas de forma efectiva a sistemas digitales como Trazar-Agro y, por ende, su competitividad y cumplimiento normativo.

A nivel internacional, países como Uruguay, Brasil, Argentina y Colombia han avanzado significativamente en la implementación de sistemas de trazabilidad bovina, lo que ha mejorado su acceso a mercados, el control sanitario y la reputación de sus productos (FAO, 2020; BID, 2021). Costa Rica, por tanto, tiene un reto en este aspecto, y el apoyo a las PYMPAs es clave para garantizar una implementación inclusiva y sostenible del sistema.

Este TFG representa, una respuesta, orientada a reducir la brecha digital, simplificar procesos y la propuesta derivada buscará fortalecer el rol del MAG como ente de apoyo, además busca aportar valor al sector, la formalización productiva, la seguridad alimentaria y el posicionamiento del país en mercados nuevos.

### **1.3. Problema**

La reciente implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en Costa Rica ha implicado nuevas exigencias técnicas para las personas productoras, especialmente en el uso de plataformas digitales para el registro y control de sus animales. Si bien este sistema promueve mejoras sustanciales en la gestión sanitaria y comercial del ganado, no todas las unidades productivas tienen las condiciones necesarias para adoptarlo eficazmente.

En el país se ha identificado que muchas PYMPAs carecen de mecanismos estructurados que les permitan comprender, aplicar y sostener en el tiempo los procesos tecnológicos asociados a esta normativa. Aunque se han brindado algunas capacitaciones y apoyo técnico, la ausencia de una estrategia digital concreta limita la posibilidad de que estas unidades de producción cumplan con el sistema de forma autónoma y eficiente.

Este vacío no solo afecta el desempeño de las PYMPAs, sino que también dificulta los esfuerzos institucionales para consolidar una red nacional de trazabilidad funcional y confiable. Además, retrasa el acceso a beneficios como la formalización, el ingreso a mercados regulados y la optimización de la gestión productiva.

Por tanto, el problema central radica en la falta de una estrategia digital diseñada específicamente para las PYMPAs del país, que les permita integrarse de manera efectiva y

sostenible al sistema de trazabilidad bovina, superando las barreras tecnológicas y operativas actuales.

#### **1.4. Objetivo general**

Diseñar una estrategia digital, basada en principios de gestión de tecnologías de información y comunicación (TIC), que integre herramientas adaptadas, procesos simplificados y acciones de acompañamiento, con el fin de facilitar la implementación efectiva y sostenible del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en las pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs).

#### **1.5. Objetivos específicos**

1.5.1. Analizar el estado del arte y la literatura científica y técnica relacionada con la transformación digital en el sector agropecuario, la trazabilidad bovina y la adopción tecnológica por parte de las PYMPAs, mediante una revisión sistemática de literatura, con el fin de fundamentar conceptualmente la propuesta de estrategia digital.

1.5.2. Diagnosticar las condiciones tecnológicas, capacidades digitales y limitaciones operativas de las PYMPAs, mediante la aplicación de instrumentos de recolección de información como encuestas y entrevistas, con el fin de identificar brechas y oportunidades para el diseño de soluciones adaptadas.

1.5.3. Diseñar una estrategia digital para facilitar la adopción del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina por parte de las PYMPAs en el país, mediante la integración de herramientas digitales, procesos simplificados y buenas prácticas, con el fin de responder a las necesidades identificadas y fomentar una implementación progresiva y sostenible.

1.5.4. Validar y ajustar la estrategia digital diseñada, mediante sesión de retroalimentación con personal técnico de la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, con el fin de asegurar la pertinencia, aplicabilidad y aceptación institucional.

1.5.5. Proponer una solución que integre recursos tecnológicos, procesos operativos y mecanismos de evaluación, mediante la consolidación de los insumos obtenidos en las etapas anteriores, con el fin de facilitar la implementación efectiva y medible del Sistema de Trazabilidad Bovina en las PYMPAs.

## 1.6. Metas por alcanzar por objetivo

Con base en los objetivos específicos de esta investigación, se establecen las siguientes metas.

### **Meta para el objetivo 1:**

- Realizar una revisión sistemática de bibliografía mediante PRISMA que incluya fuentes académicas y técnicas relevantes, sistematizadas en una matriz analítica, para establecer los marcos conceptuales y referentes clave sobre transformación digital, PYMPAs y trazabilidad bovina.

### **Meta para el objetivo 2:**

- Aplicar al menos un instrumento de diagnóstico (encuesta) a una muestra representativa de PYMPAs activas en la base de datos del MAG, sistematizando los resultados en un informe técnico que identifique barreras, capacidades y oportunidades tecnológicas.

### **Meta para el objetivo 3:**

- Diseñar una propuesta de estrategia digital en formato estructurado (con fases, objetivos, actores, recursos y fundamentos TIC), sustentada en la literatura revisada y los hallazgos del diagnóstico, con enfoque contextualizado y escalable.

### **Meta para el objetivo 4:**

- Someter la propuesta a un proceso de validación técnica con un funcionario clave del MAG en la región, mediante sesión de trabajo, incorporando sugerencias de mejora en una versión ajustada.

### **Meta para el objetivo 5:**

- Entregar la versión final de la solución, incluyendo un artefacto, un proceso concreto para la implementación.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 3.1. Introducción

El marco teórico constituye un elemento básico de la investigación porque permite ubicar el problema dentro de un contexto determinado. En este apartado se busca recopilar y organizar teorías, enfoques y otros estudios empíricos para sustentar el problema que se investiga.

Como afirman Hernández, Fernández y Baptista (2014), el marco teórico “expone y analiza las teorías, enfoques teóricos, y antecedentes en general que se consideran válidos para el correcto encuadre del estudio” (p. 94). En la misma línea, Sampieri, Collado y Lucio (2022) señalan que este componente de la investigación permite delimitar el objeto de estudio, comprender su evolución histórica y establecer las bases para interpretar los resultados de forma coherente y crítica.

En este sentido, el marco teórico no solo respalda el proceso de investigación, sino que también ofrece insumos para mejorar la rigurosidad y pertinencia del análisis, al vincular el trabajo que se busca hacer con el conocimiento existente y al mismo tiempo dar el reconocimiento que se merece a autores que ya han explorado el tema.

Siguiendo este orden de ideas y tomando en cuenta los objetivos del estudio se trazan los temas que dan consistencia a los conceptos y temáticas que se hilvanarán, indicando que cada uno de los objetivos puede ser tratado en uno o varios temas o subtemas del marco teórico, estos grandes asuntos se han clasificado en: **Transformación digital** en el sector agropecuario, como un hecho que viene a reestructurar la forma en como el sector se ha manejado históricamente, el tema de la **trazabilidad bovina**, como mecanismo para identificar el proceso de principio a fin, que sigue un producto determinado en este caso los animales.

Adicionalmente, el tema de **la adopción tecnológica en PYMPAs**, lo que reviste de un reto importante para las pequeñas organizaciones agropecuarias que han estado asociadas a estereotipos como bajo nivel de absorción tecnológica y amplias brechas digitales

Por último, el **Marco legal y normativo** que ha sido el principal propulsor del sistema de trazabilidad bovina que a partir del año 2026 será de cumplimiento obligatorio en nuestro país.

La siguiente tabla resume los objetivos del estudio y su relación con las anteriores temáticas, su propósito es evidenciar que cada una de las secciones y subsecciones de este apartado guarda estrecha relación con lo que se busca explorar en cada objetivo.

*Tabla 1: Relación de los objetivos del trabajo de investigación vs. contenidos teóricos a revisar*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Contenidos del marco teórico que se desarrollaran en este apartado</b>
1. Analizar literatura sobre transformación digital, trazabilidad y adopción tecnológica	- Transformación digital en el agro (3.1)- Trazabilidad bovina (3.2)- Adopción tecnológica y modelos teóricos (3.3)- Marco legal y normativo (3.4)
2. Diagnosticar condiciones tecnológicas de las PYMPAs	- Brechas digitales rurales (3.1.2)- Madurez digital en el agro (3.1.3, 3.3.2)- Modelos de adopción tecnológica (3.3.1)
3. Diseñar estrategia digital adaptada	- Componentes e importancia de la trazabilidad (3.2.1–3.2.2)- Gestión del cambio (3.3.3)- Normativa y estándares aplicables (3.4)
4. Validar la estrategia con personal del MAG	- Regulaciones institucionales (3.4.2)- Gestión del cambio institucional (3.3.3)
4. Proponer solución digital final	- Casos de éxito (3.2.3)- Modelos de madurez y adopción (3.1.3, 3.3.2)- Normativa operativa (3.4.2)

Fuente: Creación propia

En concordancia con esta tabla se desarrollan los aspectos conceptuales más importantes que darán soporte a este trabajo.

### **3.1. Transformación digital en el sector agropecuario**

En la era de la información que vivimos hay un término que recurrentemente aparece en los análisis de académicos de directores de empresas, de políticos y de otro conjunto de actores. Este concepto popular es la transformación digital que ha llegado para contribuir con la modernización de los sectores productivos, incluyendo el agropecuario.

Esta transformación implica mucho más que la adopción de tecnologías: representa un cambio estructural en la forma en que las organizaciones crean valor, toman decisiones y se vinculan

con su entorno (OECD, 2019; IICA, 2020). En el contexto agropecuario, la digitalización cobra relevancia debido a los crecientes retos en productividad, sostenibilidad ambiental, trazabilidad, seguridad alimentaria y competitividad de los pequeños y medianos productores (FAO, 2021; World Bank, 2019). La relevancia de este tema merece que se defina y caracterice para comprender su alcance.

### 3.1.1. Definición y características

La transformación digital se conceptualiza como aquel proceso mediante el cual las organizaciones integran tecnologías digitales en todos sus niveles, generando cambios fundamentales en su funcionamiento, cultura y modelo de negocio (Westerman, Bonnet & McAfee, 2014; Kane et al., 2015). En el sector agropecuario, esto podría incluir, pero no limitarse al uso de sensores inteligentes, plataformas de datos, inteligencia artificial, blockchain, herramientas móviles y sistemas de información geográfica (SIG), entre otros (GODAN, 2020).

Para el Banco Interamericano de Desarrollo BID (2020), las características más importantes de la transformación digital agropecuaria incluyen:

- **Conectividad rural** como base para la digitalización.
- **Interoperabilidad** entre sistemas y actores de la cadena agroalimentaria.
- **Orientación al dato**, para decisiones basadas en evidencia en tiempo real.
- **Inclusión digital** de pequeños productores, evitando nuevas formas de desigualdad.

El IICA (2021) añade que una transformación digital efectiva debe estar acompañada de políticas públicas integradoras, infraestructura básica y servicios de extensión tecnológica que permitan una apropiación progresiva.

Lo anterior son elementos que se valoraran con este estudio y sobre los cuales se establecerá un diagnóstico para reconocer si este proceso de transformación digital lograra sus objetivos o, por el contrario, si existen debilidades que deben ser subsanadas antes de lograr los réditos teóricos que se plantean.

Un tema en discusión corresponde a que las diferentes zonas del país podrían tener diferencias amplias en cuanto al uso, conocimiento y apropiación de tecnologías, lo que podría generar retos mayores en la implementación de un sistema de trazabilidad como el que se plantea, generando a su vez brechas importantes especialmente en la ruralidad.

### 3.1.2. Brechas digitales en zonas rurales.

Uno de los principales obstáculos para la digitalización efectiva del sector agropecuario es la persistencia de brechas digitales estructurales, que afectan tanto el acceso como el uso de la tecnología. Estas brechas incluyen la falta de conectividad a internet, baja calidad de la energía eléctrica, escasa disponibilidad de dispositivos tecnológicos y ausencia de competencias digitales (FAO, 2021; ECLAC, 2020).

En Costa Rica, datos del MICITT (2020) revelan que las zonas rurales enfrentan desigualdades significativas en cobertura de internet, velocidad de conexión y acceso a dispositivos. Esta situación podría limitar la participación de las PYMPAs en procesos de transformación digital, y en consecuencia reducir la competitividad, acceso a mercados y capacidad de cumplir con exigencias regulatorias como la trazabilidad bovina (MIDEPLAN, 2021).

La brecha digital no es solo tecnológica, sino también educacional y cultural. Aun cuando los productores tienen acceso a ciertas tecnologías, no siempre poseen las habilidades necesarias para integrarlas en sus procesos productivos o administrativos (IICA, 2020). Según Zilberman et al. (2019), esto refuerza la necesidad de enfoques integrados de inclusión digital y fortalecimiento de capacidades rurales.

Es conocido que en nuestro país aún persisten diferencias entre la ruralidad y el área metropolitana, diferencias que someten a las PYMPAs a retos en el reconocimiento de sus limitaciones y la identificación de la magnitud de estas brechas.

Aunque el reto de identificar estos aspectos ofrece dificultades, existen aproximaciones que han permitido establecer cuál es el nivel de madurez de una organización y a partir de esta clasificación identificar cuál es el mejor camino para su desarrollo y reducción de brechas.

### 3.1.3. Modelos de madurez digital

Los modelos de madurez digital permiten diagnosticar en cuál etapa de transformación digital se encuentra una organización o sistema, lo que permite visualizar capacidades actuales, identificar brechas y planificar una hoja de ruta para avanzar de manera ordenada (Gartner, 2019).

Uno de los modelos más citados en América Latina es el Modelo de Madurez Digital del BID (2020), que evalúa cinco dimensiones organizacionales:

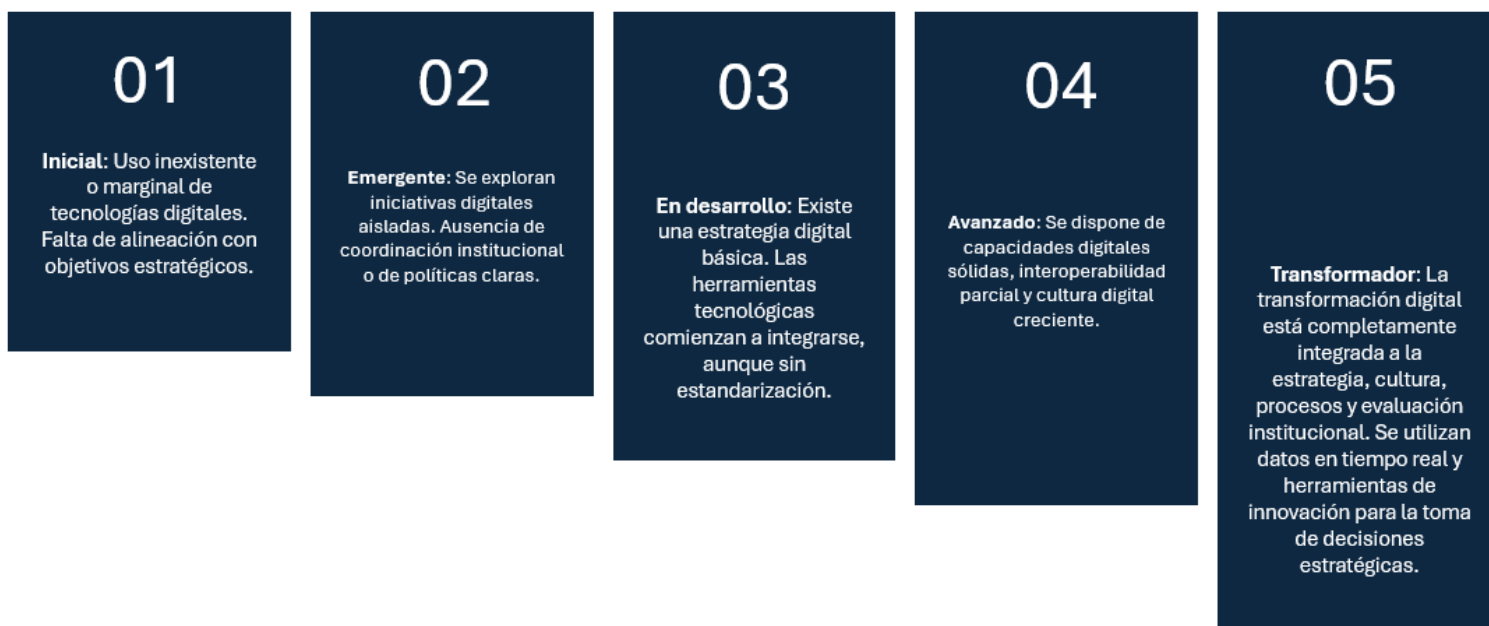
*Ilustración 1: Dimensiones del modelo de madurez BID*



Fuente: BID 2020

Este modelo, aparte de identificar los anteriores factores clave, también permite clasificar los niveles de madurez en cinco categorías que permiten previo a un diagnóstico organizacional determinar en cuál estadio se ubica una determinada organización, estos 5 niveles son:

*Ilustración 2: Niveles de madurez según BID*



Fuente: BID 2020

Este modelo ha sido aplicado en instituciones públicas, cooperativas y asociaciones rurales para orientar políticas de innovación y transformación digital (BID, 2021). Proporciona una guía gradual para avanzar desde lo básico hasta un nivel alto de integración tecnológica, permitiendo a las organizaciones rurales, planificar inversiones, formación y procesos de cambio institucional.

Incluso en Costa Rica, este enfoque fue ejecutado mediante la plataforma gratuita “*Chequeo Digital*”, implementada por el Ministerio de Economía (MEIC) y el MICITT, con apoyo del BID. Esta herramienta consistía en un autodiagnóstico en línea con 62 preguntas que evalúan áreas como estrategia digital, cultura organizacional, habilidades digitales, procesos, productos, comunicaciones y uso de datos. Ahora bien, al consultar la plataforma dentro de la página oficial del BID y específicamente el link de chequeo digital, la página aparece sin conexión, lo que refleja falta de soporte a la aplicación.

Es claro que existen otros modelos para identificar los niveles de madurez, muchos de ellos coinciden en algunos aspectos con el mencionado del BID, por ejemplo, el modelo de Deloitte Digital Maturity Model (DMM) plantea cinco niveles de madurez (Inicial, Desarrollado, Definido, Integrado y Optimizado) y analiza aspectos como la tecnología, la estrategia, la cultura empresarial y las operaciones. De manera similar, el modelo propuesto por Gartner describe una progresión desde la concientización inicial hasta la optimización total, con etapas denominadas Awareness, Experimental, Defined, Managed y Optimized, haciendo énfasis en la innovación, el liderazgo y la experiencia del cliente.

Por su parte, el modelo desarrollado por Capgemini y el MIT Sloan introduce una matriz que combina la intensidad digital (uso de tecnologías emergentes) y la capacidad de transformación organizacional. Esta clasificación agrupa a las organizaciones en cuatro tipos: *Digital Beginners*, *Fashionistas*, *Conservatives* y *Digital Masters*, lo cual permite visualizar no solo el uso tecnológico, sino también la capacidad institucional para integrarlo eficazmente.

En el contexto europeo, el modelo de madurez digital de DIGITALEUROPE e IDC establece una tipología que va desde el nivel básico hasta el nivel de líder digital. Evalúa dimensiones tecnológicas como la digitalización de procesos, el desarrollo de productos inteligentes, las competencias digitales y la cultura organizacional.

En sectores agropecuarios, el Modelo AgroDigital desarrollado por FAO y el BID incorpora elementos adaptados al medio rural, considerando el acceso a infraestructura digital, la

conectividad, la gestión de datos, la sostenibilidad ambiental y la capacitación tecnológica. Este modelo clasifica los niveles en Básico, Inicial, Intermedio y Avanzado.

Finalmente, el modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration), desarrollado por el CMMI Institute, es una de las metodologías más consolidadas para evaluar la madurez de los procesos tecnológicos y organizativos. Aunque fue originalmente creado para la industria del software, ha sido adaptado a otros sectores tecnológicos. El modelo se estructura en cinco niveles progresivos, nivel inicial, gestionado, definido, cuantitativamente gestionado y optimizado.

Estos modelos comparten la premisa de que la madurez digital no se limita a la adopción de herramientas tecnológicas, sino que implica un proceso progresivo de integración estratégica, organizacional y cultural lo que genera cambios profundos en la forma de como la organización lleva a cabo sus objetivos.

El sistema de trazabilidad bovina que se desea implementar en Costa Rica empuja a que las organizaciones revisen sus capacidades y determinen su estado y si son capaces de articular el cambio.

Hasta ahora se ha colocado en discusión la importancia de reconocer la madurez, las posibles brechas que podrían afectar la transformación digital, pero no se ha explicado cuál es el fenómeno que está llevando a las organizaciones a cuestionar y enfrentar el status quo, este fenómeno viene explicado por la necesidad de cumplir con la trazabilidad bovina.

### **3.2. Trazabilidad bovina**

El concepto de trazabilidad bovina constituye un componente estratégico para garantizar la inocuidad alimentaria, la sanidad animal, la eficiencia productiva y la transparencia comercial en los sistemas agroalimentarios modernos. Esta herramienta es particularmente útil en países donde la producción pecuaria representa una actividad económica relevante, y donde se busca mejorar el posicionamiento de la carne en mercados nacionales e internacionales, estos elementos justo coinciden con el camino que quiere seguir nuestro país. Además, la trazabilidad cumple una función crucial en la gestión del riesgo sanitario y en la respuesta ante emergencias veterinarias (FAO, 2017; Golan et al., 2004).

En Costa Rica, la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina (SNTB) no solo responde a exigencias sanitarias y comerciales, sino que también busca regular el mercado de compra y venta de animales, prevenir el robo de ganado y combatir el trasiego ilegal entre países. Esta trazabilidad contribuye a transparentar las transacciones ganaderas, garantizar la propiedad legal de los animales y sancionar el comercio informal, buscando hacer más eficiente y seguro el sistema de comercialización.

### 3.2.1. Concepto y componentes de un sistema de trazabilidad.

La trazabilidad bovina se entiende como el conjunto de procedimientos técnicos y administrativos que permiten conocer el historial, la ubicación y la trayectoria de un animal, desde su nacimiento hasta su transformación en producto final, incluyendo su distribución (García-Torres et al., 2016). Su propósito es, en otras palabras, es garantizar la seguridad del consumidor y proporcionar a los actores de la cadena de valor información verificable sobre el origen y tratamiento de los productos de origen animal (Regattieri et al., 2007).

Un sistema completo de trazabilidad bovina suele estar compuesto por los siguientes componentes:

1. Identificación animal, ya sea individual (mediante aretes visuales, chips RFID, tatuajes) o grupal, que asegura la unicidad del registro y su seguimiento a lo largo del ciclo productivo (Cardoen et al., 2015).
2. Registro de eventos clave, como vacunaciones, tratamientos sanitarios, traslados, alimentación y condiciones de manejo. Esta información debe ser almacenada en formatos estructurados y accesibles.
3. Infraestructura tecnológica, que incluye desde dispositivos móviles en finca hasta plataformas centralizadas interoperables, muchas veces respaldadas por instituciones sanitarias o entes reguladores (Rodríguez et al., 2020).
4. Estándares de interoperabilidad, que permiten el intercambio eficiente de información entre productores, mataderos, procesadores, distribuidores y autoridades gubernamentales.

La FAO (2017) destaca que un sistema de trazabilidad bovina debe asegurar tanto la trazabilidad interna (dentro de una unidad productiva) como la externa (a lo largo de toda la cadena

agroalimentaria). Esta condición resulta básica en casos de emergencia sanitaria, pero también en contextos de certificación de origen o exportación.

Esta nueva forma de operar genera retos para nuestro sector ganadero, lo que a su vez ha polarizado al sector entre aquellos que ven necesario este paso vs. aquellos que reclaman que no tienen las condiciones o el deseo de moverse hacia estos nuevos escenarios.

Lo que está claro es que independientemente de la posición que se asuma, la normativa sanitaria y comercial se impondrá en febrero del 2026 y que todos los integrantes del sistema deberán adoptar los cambios.

### 3.2.2. Importancia sanitaria, comercial y normativa.

Desde el punto de vista sanitario, la trazabilidad permite detectar de forma rápida y eficiente la fuente de enfermedades transmisibles, como la brucelosis, tuberculosis bovina o la fiebre aftosa, permitiendo acciones focalizadas de contención y control (OIE, 2021). Además, reduce el tiempo de respuesta ante brotes epidemiológicos, lo cual protege la salud pública y minimiza pérdidas económicas (Golan et al., 2004).

A nivel comercial, la trazabilidad se ha convertido en un requisito para acceder a mercados exigentes. La Unión Europea, por ejemplo, exige trazabilidad completa como condición para importar carne bovina desde terceros países, con verificaciones que abarcan desde la finca de origen hasta el producto final (European Commission, 2020). Según cifras de la FAO (2021), los países con sistemas de trazabilidad digitalizados tienen mayores tasas de exportación de carne hacia mercados premium.

En cuanto al marco normativo, muchos países latinoamericanos han implementado sistemas obligatorios o voluntarios de trazabilidad para cumplir estándares internacionales y aumentar el valor agregado de sus productos.

La trazabilidad también es clave para generar confianza del consumidor, especialmente en un contexto donde se valoran atributos como bienestar animal, producción libre de antibióticos o sostenibilidad ambiental (Fischer et al., 2019). Además, fortalece la transparencia de las cadenas de suministro y permite diferenciar productos en función de su origen y calidad.

Como se indica, estos sistemas de trazabilidad en algunos casos implementados voluntariamente y en otros casos como obligación legal redibujan escenarios donde existirán

perdedores y ganadores, se revisará en los siguientes párrafos algunos casos de éxito que hacen ver que la ruta que nuestros países deben seguir es la de fortalecer los sistemas de trazabilidad.

### 3.2.3. Estándares internacionales y casos de éxito

A nivel mundial, diversos organismos han promovido estándares para implementar trazabilidad en la cadena alimentaria. El Codex Alimentarius (FAO/OMS, 2006) establece los principios para la trazabilidad como herramienta de seguridad alimentaria. La ISO 22005:2007 define los requisitos para el diseño e implementación de sistemas de trazabilidad en la cadena alimentaria y en concentrados. La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE/OMSA), por su parte, reconoce la trazabilidad como parte del sistema de vigilancia sanitaria obligatorio para garantizar el comercio internacional seguro.

Varios países han desarrollado casos de éxito que ilustran la viabilidad y los beneficios de estos sistemas:

- Uruguay es considerado un referente global. Desde 2006, implementó la trazabilidad obligatoria individual electrónica para todo su hato bovino, respaldada por el Sistema Nacional de Información Ganadera. Este sistema permite rastrear en tiempo real más de 12 millones de bovinos, facilitando el acceso a mercados como la UE, EE.UU. y China. Estudios muestran que ha mejorado la eficiencia productiva, reducido el uso de antibióticos y generando confianza internacional (Bentancor et al., 2019).
- Brasil, principal exportador mundial de carne bovina, ha desarrollado sistemas regionales y programas como el SISBOV (Sistema Brasileño de Identificación Individual de Bovinos), aunque con adopción desigual entre estados. No obstante, ciertas regiones han logrado integrar la trazabilidad con certificaciones de sostenibilidad ambiental como el programa "Carne Carbono Neutro" y prácticas de ganadería regenerativa, respondiendo a exigencias de compradores europeos (Nepstad et al., 2020).
- Argentina, mediante el SENASA, ha establecido un sistema de trazabilidad basado en la identificación individual, registros electrónicos y guías de traslado digitalizadas. El modelo ha permitido una trazabilidad funcional para exportación y ha sido reforzado por programas de certificación voluntaria y acuerdos bilaterales con mercados exigentes (SENASA, 2022).

- Nueva Zelanda, se destaca por integrar trazabilidad animal con inteligencia artificial y blockchain, mediante el sistema NAIT (National Animal Identification and Tracing), que permite la gestión en tiempo real de eventos sanitarios y climáticos, convirtiéndolo en un modelo de innovación para el agro (MPI, 2020).

Estos casos evidencian que la trazabilidad bovina, podría fortalecer la competitividad, garantizar el cumplimiento normativo y generar valor agregado a lo largo de toda la cadena ganadera. Sin embargo, también es importante acotar que el desarrollo de estos sistemas, y especialmente su implementación y adopción, conlleva retos especialmente para aquellas unidades productivas de baja uso de tecnologías como lo son las PYMPAs.

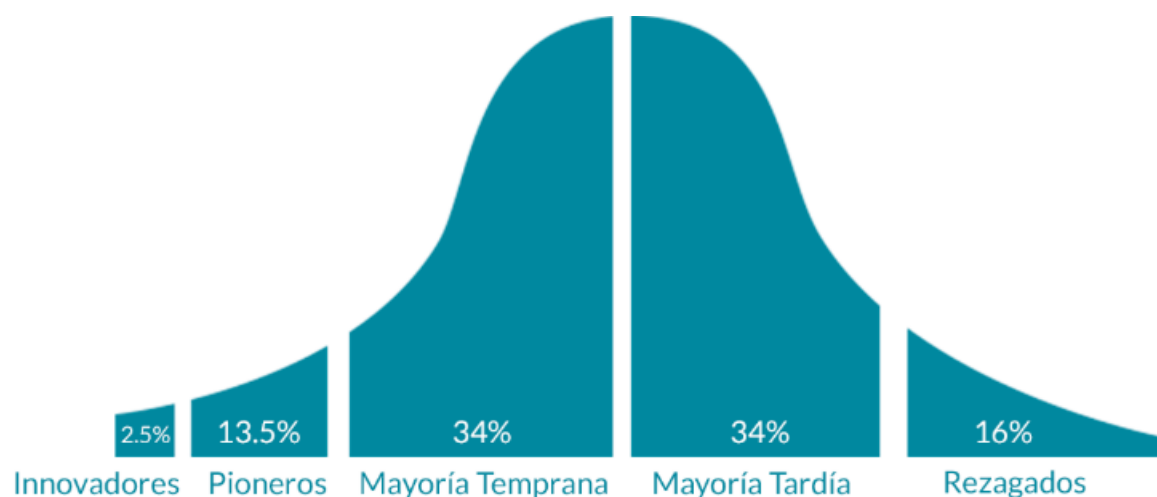
### **3.3. Adopción tecnológica en PYMPAs**

La adopción tecnológica en las Pequeñas y Medianas Productoras Agropecuarias representa un eje crucial para el fortalecimiento de la competitividad, sostenibilidad y capacidad de respuesta ante los desafíos diversos. Sin embargo, el proceso de incorporación de tecnologías en este tipo de organizaciones no es lineal ni automático, ya que depende de múltiples factores estructurales, culturales, institucionales y territoriales. El análisis de los marcos teóricos y prácticos que explican la adopción tecnológica en contextos rurales permite comprender las barreras y condiciones habilitantes para impulsar procesos de transformación digital inclusiva.

#### **3.2.1. Modelos teóricos sobre adopción tecnológica**

Existen diversos modelos teóricos que explican cómo y por qué las organizaciones adoptan nuevas tecnologías. Entre los más relevantes se encuentra el Modelo de Difusión de Innovaciones de Rogers (2003), que plantea que la adopción de una innovación depende de factores como la ventaja relativa, la compatibilidad con los valores y necesidades del adoptante, la complejidad percibida, la posibilidad de prueba y la observabilidad de sus resultados. Este modelo ha sido ampliamente utilizado en estudios sobre agricultura digital para clasificar a los productores según su disposición al cambio (innovadores, adoptantes tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados).

Ilustración 3: Modelo de Difusión de Innovaciones de Rogers (2003)



Fuente: Rogers (2003).

Otro marco clave es el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Davis (1989), que sostiene que la intención de uso de una tecnología está determinada por su utilidad percibida y su facilidad de uso percibida. Este modelo ha sido adaptado al entorno agropecuario por diversos estudios (Kante et al., 2021) para evaluar la adopción de tecnologías móviles, sistemas de información geográfica y plataformas de trazabilidad.

Además el Modelo UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology), propuesto por Venkatesh et al. (2003), agrega variables como la influencia social y las condiciones facilitadoras, siendo especialmente útil para comprender la adopción en contextos colaborativos o institucionalmente mediados, como en el caso de cooperativas agropecuarias.

Estos modelos coinciden en destacar que la adopción tecnológica no depende exclusivamente de la disponibilidad de herramientas, sino de percepciones individuales, estructuras organizativas, redes sociales y marcos institucionales que influyen en la decisión.

Bajo este escenario la realidad de las PYMPAS incorpora dificultades y muchas variables, una forma de simplificar esta compleja y diversa realidad es mediante el uso de modelos, anteriormente se mencionaban varios modelos que son aplicados de manera genérica; sin embargo, existen algunas aplicaciones que se han realizado al sector agropecuario.

### 3.3.2. Modelos de madurez digital aplicados al sector agropecuario

El modelo AgroDigital de la FAO y el BID (2022), justo adapta la medición de madurez digital al sector agropecuario latinoamericano. Evalúa componentes como la conectividad rural, la integración de datos productivos, el acceso a plataformas digitales, la sostenibilidad ambiental y la articulación con cadenas de valor. Como se observa hasta el momento en este recorrido teórico la FAO y el BID han sido baluartes en estos procesos en Latinoamérica quienes se han interesado por acompañar el proceso de cambio dentro del sector; sin embargo, aparte del análisis sectorial también este fenómeno tiene un componente incluido que es la ruralidad que afecta los niveles de adopción tecnológica.

### 3.3.3. Principios de gestión del cambio tecnológico en organizaciones rurales

La adopción tecnológica en organizaciones rurales no solo es un cambio técnico, implica un reacondicionamiento casi total de la estrategia e incluso de la cultura de las organizaciones. Por tanto, cobra sentido, aplicar principios de gestión del cambio como medios para asegurar la sostenibilidad de los procesos de innovación y transformación digital.

Uno de los marcos más influyentes es el de John Kotter (1996), quien propone un enfoque en ocho pasos que incluye generar sentido de urgencia, construir una coalición de liderazgo, desarrollar una visión de cambio, comunicarla efectivamente, eliminar obstáculos, generar victorias a corto plazo, consolidar los logros y anclar el cambio en la cultura organizacional. Adaptado al contexto agropecuario, este modelo puede aplicarse para guiar a asociaciones, cooperativas o agencias estatales en la implementación de tecnologías como sistemas de trazabilidad, plataformas de comercialización o herramientas de monitoreo digital.

Asimismo, la teoría del cambio organizacional en entornos rurales (Rivera & Sulaiman, 2009) enfatiza la necesidad de considerar la especificidad territorial, el conocimiento local, la participación de los productores y el acompañamiento técnico continuo. La resistencia al cambio en estos contextos suele estar vinculada a experiencias pasadas fallidas, desconfianza en las instituciones o temor a la pérdida de control sobre los procesos productivos.

Por ello, los enfoques de innovación participativa son clave para promover el cambio tecnológico en PYMPAs. Estos enfoques integran elementos pedagógicos, demostraciones en campo, co-

diseño de soluciones y apoyo institucional, facilitando la apropiación de las herramientas por parte de los actores locales (World Bank, 2017).

Es así que gestionar el cambio tecnológico en organizaciones rurales requiere estrategias de capacitación, liderazgo compartido, incentivos adecuados, seguimiento técnico y mecanismos de evaluación que reconozcan la diversidad de trayectorias, capacidades y motivaciones de las PYMPAs. Estos procesos de ajuste normalmente duelen porque implican en muchos casos ajustes profundos, por lo que naturalmente muchas organizaciones no darían el paso hacia la trazabilidad si no se ven obligadas a hacerlo.

El marco legal y normativo es tan volátil como las organizaciones mismas, en nuestro país la ley obligara a las organizaciones sin importar tamaño a ajustarse al nuevo escenario de adopción tecnológica. Es por esto por lo que es importante revisar cuál es ese marco legal que ha empujado al sector a dar el salto.

### **3.4. Marco legal y normativo aplicable**

La implementación de sistemas de trazabilidad bovina y procesos de digitalización en el sector agropecuario está fundada en un marco legal que busca garantizar la integridad, sostenibilidad y legitimidad de las acciones emprendidas. En Costa Rica, la base normativa en esta materia se ha venido consolidando en las últimas dos décadas, articulando legislación específica, reglamentos técnicos y políticas públicas que orientan tanto la identificación animal como el uso de tecnologías digitales para la gestión agropecuaria.

#### **3.4.1. Marco legal y regulaciones en torno a la trazabilidad y digitalización agropecuaria**

El desarrollo de la trazabilidad y la digitalización agropecuaria en Costa Rica se enmarca en varias leyes, decretos ejecutivos y políticas nacionales. Una de las bases fundamentales es la Ley General del Servicio Nacional de Salud Animal (Ley N.º 8495), la cual otorga al SENASA la responsabilidad de establecer mecanismos de control, vigilancia epidemiológica y trazabilidad de animales, productos y subproductos de origen animal, con el objetivo de proteger la salud pública y garantizar la inocuidad alimentaria.

A esta ley se suma el Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-MS-S-MOPT, publicado en abril de 2024, que establece el Reglamento del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina y Bufalina

(SNTB). Este reglamento tiene como objetivo implementar un sistema obligatorio de identificación individual y registro de eventos relevantes en la vida productiva del animal, como nacimientos, traslados, muertes, sacrificios, y tratamientos sanitarios. A partir de febrero de 2026, será obligatorio que todo bovino posea un dispositivo electrónico (DIIO) para su movilización o comercialización dentro del territorio nacional. Este decreto también promueve la integración del sistema de trazabilidad con plataformas digitales interoperables como Trazar-Agro CR.

En materia de digitalización, el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública (PNDIP) 2023–2026 y la Política Nacional de Empresariedad 2030 incluyen entre sus prioridades el fortalecimiento del ecosistema digital para la producción agropecuaria, especialmente de pequeños y medianos productores. Estas políticas impulsan la adopción de tecnologías emergentes (como sensores, plataformas móviles y análisis de datos) para mejorar la productividad, la sostenibilidad y la trazabilidad de las cadenas agroalimentarias.

Además, la herramienta Chequeo Digital, desarrollada por el MEIC y el MICITT con apoyo del BID, se integra dentro del marco de fomento a la transformación digital de las PYMEs y PYMPAs, promoviendo la autogestión tecnológica mediante diagnósticos, clasificación por niveles de madurez digital y recomendaciones personalizadas, que ya se indicó no está funcionando actualmente.

Este marco regulatorio busca no solo cumplir con requisitos sanitarios internacionales, sino también promover un entorno productivo moderno, eficiente y transparente, alineado con las exigencias del comercio exterior y los estándares de sostenibilidad.

### 3.4.2. Normas y directrices del SENASA sobre identificación y trazabilidad animal.

El Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), como ente técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería, es el responsable de regular, implementar y fiscalizar el Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Sus directrices técnicas se desarrollan a través de manuales, protocolos y resoluciones, con base en lo establecido en la Ley N.º 8495 y su reglamentación.

Dentro de sus lineamientos más relevantes se encuentran:

**Manual de Procedimientos para la Identificación Animal:** establece los tipos de dispositivos aprobados (aretes electrónicos tipo botón y tipo bandera con código único nacional), sus especificaciones técnicas y el proceso de colocación autorizado por personal capacitado. Este manual también indica cómo realizar el registro del animal en el sistema Trazar-Agro CR, con la información de la finca, el propietario, y los eventos sanitarios (SENASA, 2023).

**Guía para el Registro de Movilización de Animales:** determina que toda movilización debe contar con una guía electrónica de movilización emitida desde el sistema, la cual válida que el animal esté correctamente identificado, registrado y en regla sanitaria. La guía incluye datos de origen, destino, transportista, y propósito del movimiento (venta, pastoreo, sacrificio, etc.).

**Normativa sobre bioseguridad y trazabilidad sanitaria:** contempla disposiciones que obligan a notificar eventos sanitarios relevantes, reportar nacimientos y muertes, y colaborar con las campañas nacionales de vacunación. SENASA, además, puede sancionar el incumplimiento mediante procesos administrativos, de acuerdo con lo establecido en la Ley N.º 8799 sobre el Tribunal Administrativo Sancionador.

**Sistema Trazar-Agro CR:** plataforma tecnológica oficial, desarrollada por el MAG y SENASA, que consolida la información del hato nacional. Esta herramienta permite que funcionarios, policías y productores puedan verificar la trazabilidad de los animales en tiempo real, emitir guías de movilización, registrar eventos y generar reportes.

El conjunto de normas y directrices emitidas por SENASA posiciona a la trazabilidad como una herramienta sanitaria, productiva y comercial, permitiendo a Costa Rica fortalecer su posicionamiento internacional, prevenir el tráfico ilegal de animales y mejorar la transparencia en la cadena cárnica bovina.

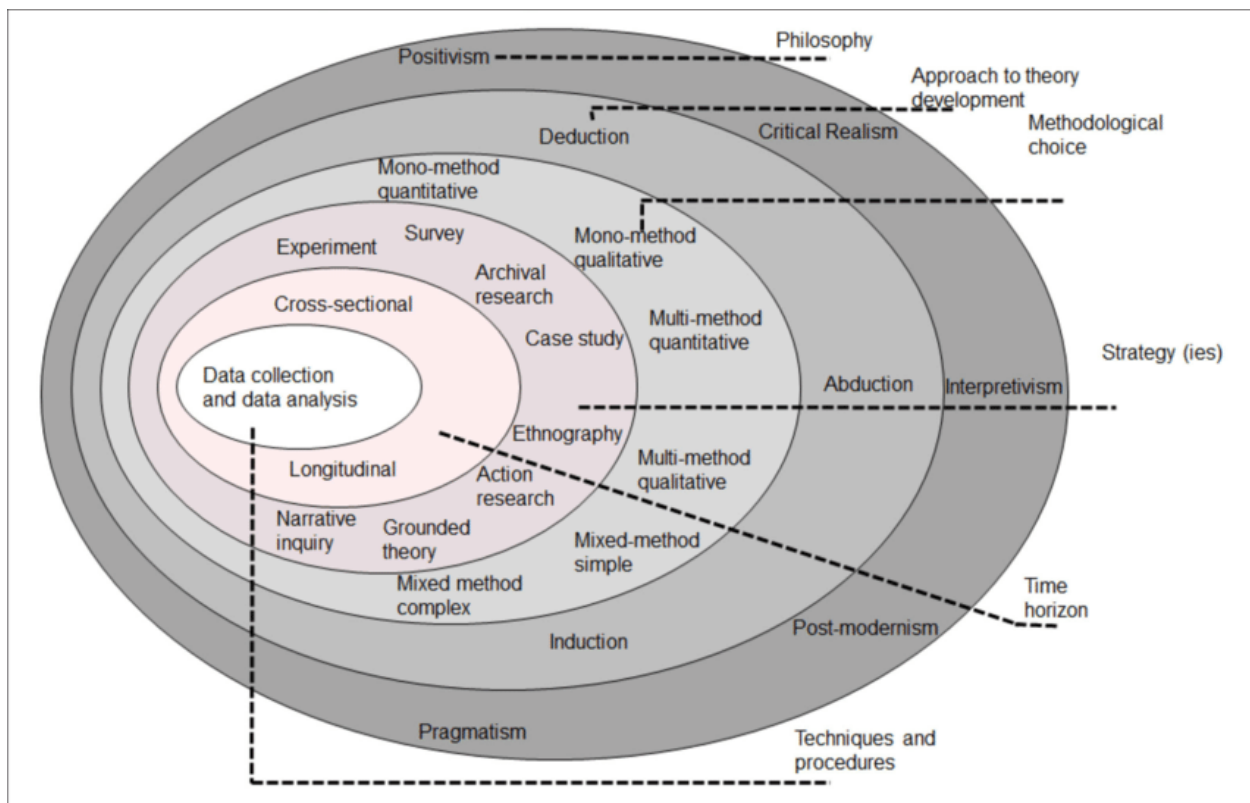
Toda esta información debe contrastarse con fuentes primarias de información y triangularse con la literatura, en la siguiente sección de este trabajo se plantea la metodología que busca realizar esta triangulación y obtener datos recientes de los principales actores del sector agropecuario.

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Introducción

En esta sección metodológica se usará el modelo propuesto por Saunders, Lewis y Thornhill (2019), conocido como “**The Research Onion**”, el cual permite justificar de forma sistemática cada una de las decisiones metodológicas a través de seis capas interrelacionadas: filosofía, enfoque, diseño metodológico, estrategias, opciones de tiempo y técnicas de recolección y análisis de datos.

*Ilustración 4: Research Onion (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2019)*



Fuente: Saunders, Lewis, & Thornhill (2019)

Es importante indicar que conforme se selecciona algún aspecto en cada una de las capas se condiciona la elección sucesiva.

### **3.2. Filosofía de la investigación**

La investigación se enmarca bajo una filosofía pragmática, la cual reconoce que tanto los métodos cuantitativos como cualitativos son útiles y válidos para abordar problemas complejos del entorno real. Esta filosofía parte del supuesto de que el conocimiento se construye a partir de la interacción entre la teoría y la práctica, y que la selección de los métodos debe responder a la pregunta de investigación y no a posturas dogmáticas (Saunders et al., 2019). Dado que el estudio busca comprender una realidad contextual específica (PYMPAs frente al Sistema de Trazabilidad Bovina) y proponer una solución tecnológica viable, el pragmatismo proporciona el marco más adecuado.

Como se indicó, el estudio busca comprender una situación real y concreta: las dificultades que enfrentan las pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs) para cumplir con el nuevo Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Pero más allá de entender el problema, también se quiere recomendar una solución práctica, como una estrategia digital adaptada a sus condiciones. Es así como el pragmatismo es la filosofía que mejor se ajusta a este objetivo.

A diferencia de otras posturas más rígidas, como el positivismo, que se enfoca solo en medir y comprobar datos usando números, o el interpretativismo, que se interesa más en entender las opiniones o significados de las personas, el pragmatismo combina ambos enfoques cuando es necesario. Es decir, permite usar tanto encuestas (cuantitativo) como entrevistas (cualitativo), si con eso se logra un análisis más completo.

Esta forma de pensar es muy práctica y flexible, porque no se casa con una sola forma de investigar. En lugar de seguir reglas estrictas, el pragmatismo invita a elegir los métodos que mejor ayuden a responder la pregunta central del estudio, que en este caso es como facilitar que las PYMPAs cumplan con la trazabilidad bovina usando herramientas tecnológicas.

Esta elección de la filosofía deriva en las posibles elecciones sucesivas, por ejemplo, el enfoque bajo una filosofía pragmática podría implicar entonces el uso del mismo principio orgánico de combinar enfoques, por lo que la abducción sería la elección esperada.

### **3.3. Enfoque de la Investigación**

El presente estudio adopta un enfoque abductivo debido a su capacidad para combinar el razonamiento inductivo (que parte de la observación empírica) con el deductivo (que parte de

teorías ya existentes), permitiendo así generar explicaciones para fenómenos complejos y contextualizados como lo es la adopción del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina por parte de las pequeñas y medianas productoras agropecuarias.

La abducción es especialmente útil cuando se parte de una situación real con elementos observables, para el caso puntual del fenómeno en estudio, el cual trata las brechas tecnológicas y barreras operativas que enfrentan las PYMPAs, pero que requieren comprensión interpretativa y diseño de soluciones. Este enfoque permite plantear hipótesis o marcos conceptuales tentativos, ajustarlos mediante la recolección de datos y reinterpretarlos conforme avanza el estudio, en un proceso iterativo (Timmermans & Tavory, 2012).

A diferencia del enfoque inductivo, que se orienta principalmente a la generación de teoría desde datos sin basarse inicialmente en marcos conceptuales previos, el enfoque abductivo no descarta los marcos teóricos existentes, sino que los usa de manera flexible para reinterpretar la evidencia empírica (Dubois & Gadde, 2002). Esto resulta pertinente en este trabajo, ya que existen teorías consolidadas sobre transformación digital, adopción tecnológica y trazabilidad bovina que ya se plantearon en el marco teórico, que serán utilizados como punto de partida, pero también ajustados o contextualizados tras el trabajo de campo y alimentados por el análisis de la literatura.

Es así como el enfoque deductivo parte de hipótesis formuladas a partir de teorías existentes y busca validarlas empíricamente. Sin embargo, este enfoque tiende a ser menos flexible y no permite incorporar hallazgos emergentes ni modificar la orientación de la investigación con base en la experiencia del campo, lo cual representa una limitación cuando se pretende proponer soluciones prácticas y adaptadas a contextos específicos, como es el caso de las PYMPAs en Costa Rica.

En consecuencia, el enfoque abductivo se presenta como el más adecuado para esta investigación, ya que permite partir de teorías relevantes (sobre madurez digital, adopción tecnológica), contrastarlas con la realidad de las PYMPAs mediante una combinación de encuestas y entrevistas, y a partir de esa interacción, sugerir una estrategia digital adaptada, práctica y validada.

Este enfoque es coherente con la filosofía pragmática adoptada por el estudio y responde a la necesidad de construir conocimiento útil que combine rigor teórico con aplicabilidad práctica (Saunders, Lewis & Thornhill, 2019), luego de definir el enfoque que ayuda a delinear el diseño

metodológico hay que preguntarse en el cómo se obtendrá la información primaria, en el siguiente apartado se presenta justo dicho diseño.

### **3.4 Diseño metodológico**

Las elecciones anteriores nos llevan a establecer para este estudio un diseño metodológico, aplicado, exploratorio y descriptivo. Esto significa que la investigación no se realiza únicamente para generar teoría, sino para comprender una situación concreta y proponer una solución práctica: una estrategia digital que facilite a las PYMPAs cumplir con el sistema nacional de trazabilidad bovina. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), las investigaciones aplicadas buscan resolver problemas reales mediante el uso del conocimiento, mientras que los estudios descriptivos y exploratorios permiten conocer y entender fenómenos poco estudiados en profundidad.

El enfoque exploratorio es útil cuando el fenómeno aún no ha sido suficientemente documentado, como es el caso de la transformación digital y la adopción tecnológica en pequeñas unidades agropecuarias frente a nuevas exigencias normativas. A su vez, el enfoque descriptivo permite caracterizar las condiciones actuales de estas organizaciones, detallando sus capacidades tecnológicas, limitaciones, uso de plataformas y nivel de conocimiento sobre la normativa vigente (Sampieri, Collado & Lucio, 2022).

La estrategia metodológica elegida es la del estudio de caso, centrado específicamente en la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, dado su rol activo con las PYMPAs de la zona y su experiencia en procesos de asistencia técnica. El estudio de caso, como señalan Yin (2018) y Stake (2005), permite profundizar en un contexto real, analizarlo desde múltiples dimensiones y generar aprendizajes que pueden ser útiles para otras regiones o instituciones similares.

Además, el trabajo emplea un enfoque de método mixto, lo que implica el uso combinado de herramientas cuantitativas y cualitativas. Primero se aplicarán encuestas estructuradas a productoras y productores para obtener datos concretos y medibles; posteriormente se realizarán entrevistas semiestructuradas a personal técnico del MAG para validar la estrategia diseñada con criterio experto. Este tipo de diseño mixto es recomendado cuando se busca integrar fortalezas de ambos enfoques para dar una visión más completa del problema (Creswell & Plano Clark, 2018).

### **3.5 Estrategia metodológica**

La estrategia metodológica de esta investigación se desarrolló en cinco etapas sucesivas, diseñadas para dar respuesta a los objetivos específicos del estudio. Cada una de estas etapas combina enfoques cuantitativos y cualitativos, permitiendo integrar evidencia empírica, experiencias institucionales y análisis teórico para construir una propuesta aplicable al contexto de las PYMPAs que sigue la filosofía pragmática, enfoque abductivo, y diseño mixto a este punto se describe la estrategia metodológica.

La estrategia se implementa en cinco etapas sucesivas, alineadas a los objetivos del estudio:

1. Revisión sistemática de literatura (RSL) utilizando el protocolo PRISMA.
2. Diagnóstico cuantitativo mediante encuestas aplicadas a PYMPAs activas en la región Central Occidental.
3. Diseño y validación de la estrategia digital, basada en hallazgos del trabajo de campo y retroalimentación institucional.
4. Ajuste y presentación final de la propuesta, incluyendo indicadores y artefacto para su implementación.

Según los anteriores 4 pasos enumerados se explicará metodológicamente como se desarrollarán.

#### **Revisión sistemática de literatura utilizando el protocolo PRISMA.**

La primera etapa metodológica consistió en una revisión sistemática de literatura (RSL), la cual tiene como objetivo identificar, analizar y sintetizar el conocimiento disponible sobre los principales temas del estudio: transformación digital agropecuaria, brechas digitales en zonas rurales, trazabilidad bovina, adopción tecnológica y estrategias digitales aplicadas a pequeñas unidades productivas.

Se utilizó el protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), el cual proporciona una guía para garantizar rigurosidad, transparencia y replicabilidad en este tipo de estudios (Moher et al., 2009). Esta metodología, originalmente utilizada en ciencias de la salud, ha demostrado ser igualmente útil en investigaciones en áreas como innovación y gestión tecnológica (Azril, Khairuddin & Othman, 2020).

Los keywords que se generan están alineados con los objetivos de investigación, se aplica en este apartado el uso de herramientas de IA para obtener una lista exhaustiva de palabras clave y condensarlas en la siguiente tabla y en último en una consulta combinada.

*Tabla 2: Alienación de objetivos, temas y keywords.*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Temas clave</b>	<b>Keywords según objetivo</b>
1. Analizar las características de la transformación digital en el sector agropecuario	Digitalización, agricultura 4.0, tecnologías emergentes	"digital transformation" AND agriculture, "agricultura 4.0", agricultural innovation, "tecnologías digitales en agricultura"
2. Identificar las brechas digitales que enfrentan las PYMPAs para implementar la trazabilidad	Brecha digital, acceso a TIC, ruralidad, exclusión tecnológica	"digital gap" AND rural agriculture, brechas digitales en zonas rurales, "acceso a TIC" AND PYME, digital exclusion
3. Describir modelos de madurez digital aplicables al sector agropecuario	Modelos de madurez, diagnóstico digital, niveles de digitalización	"digital maturity model" AND agriculture, "modelos de madurez digital", "digital readiness", "madurez tecnológica"
4. Analizar experiencias nacionales e internacionales sobre trazabilidad bovina	Sistemas de trazabilidad, casos internacionales, normativa	"bovine traceability system", "sistemas de trazabilidad bovina", "livestock traceability", "traceability AND Latin America"
5. Proponer lineamientos estratégicos para el diseño de una estrategia digital para las PYMPAs	Estrategia digital, adopción tecnológica, política pública	"digital strategy" AND small farmers, "adoption of digital technologies", "estrategia digital para pymes agropecuarias", ICT policy agriculture
<b>Consulta combinada general</b>	<b>("digital transformation" OR "digitalization" OR "agricultura 4.0") AND ("bovine traceability" OR "livestock traceability" OR "sistemas de trazabilidad bovina") AND ("digital gap" OR "brechas digitales" OR "rural areas") AND ("small farmers" OR "PYMPAs" OR "small and medium agricultural producers")</b>	

Fuente: Creación propia con uso de la ChatGPT para generar keywords.

Este protocolo ofrece la posibilidad de obtener resultados que pueden ser replicados siguiendo un proceso por etapas que se explican a continuación.

### **Etapas 1: Selección de palabras clave**

Las palabras clave se definieron a partir de los objetivos específicos del estudio, vinculados a transformación digital, brechas tecnológicas, trazabilidad bovina y estrategias digitales para PYMPAs, esta selección se realiza en atención a los objetivos planteados en esta investigación tal y como se refleja en la tabla anterior.

### **Etapas 2: Búsqueda en bases de datos académicas**

Se emplearon dos bases de datos reconocidas por su calidad y cobertura: **Scopus y Web Of Science**. Esta estrategia de búsqueda cruzada permitió reducir el sesgo de omisión de literatura relevante (Compagnucci & Spigarelli, 2020; López-Cózar et al., 2019).

### **Etapas 3: Selección de artículos**

Los artículos fueron filtrados inicialmente por título y resumen, utilizando criterios de inclusión como: enfoque espacial (regiones rurales o territorios delimitados), estudios empíricos o conceptuales sobre trazabilidad, innovación, transformación digital y participación de pequeños productores agropecuarios. Se excluyeron estudios sin delimitación geográfica clara, literatura gris.

### **Etapas 4: Extracción y análisis de datos**

Los artículos seleccionados fueron importados a Medelay, donde se realizó una codificación temática mixta (deductiva e inductiva) basada en nodos estructurados según los objetivos de investigación.

### **Alineación con PRISMA**

Todo el proceso se alineó con la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar rigor metodológico (Moher et al., 2009). Tras eliminar duplicados y aplicar los filtros, se seleccionaron 14 artículos pertinentes que cumplieron con los criterios del estudio y fueron analizados en profundidad. Más detalle se ofrece en el

siguiente capítulo donde se explicará el flujograma del protocolo PRISMA y el proceso que se realizó, generando adicionalmente una base de datos de artículos que muestran cada paso.

### **3.6 Horizonte Temporal**

Esta investigación se enmarca en un diseño transversal, lo que significa que la recolección de datos y el análisis se realizarán en un solo momento del tiempo, específicamente durante el segundo semestre del año 2025. Este tipo de diseño es apropiado cuando se busca obtener una "fotografía" del estado actual de un fenómeno en un punto determinado, sin necesidad de observar su evolución en el tiempo (Sampieri, Collado & Lucio, 2022).

En el caso de este estudio, el objetivo es conocer cómo se encuentran actualmente las pequeñas y medianas productoras agropecuarias de la región de Naranjo en cuanto a su nivel de digitalización, acceso a tecnología y preparación para implementar el Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Dado que la normativa obligatoria entrará en vigor en 2026, el año 2025 resulta estratégico para levantar información clave y formular recomendaciones antes de su implementación definitiva.

Aunque un estudio longitudinal podría mostrar cambios a lo largo del tiempo, no es requerido en este caso porque el objetivo no es evaluar un proceso de transformación en curso, sino diseñar una solución oportuna y adaptada a la situación actual.

En consecuencia, de lo anterior, y sumando consideraciones como el recurso disponible y el horizonte y alcance de los trabajos esperados en esta maestría, el diseño transversal es el que mejor se ajusta.

### **3.7 Técnicas de recolección y análisis de datos**

Para cumplir con los objetivos de esta investigación se utilizará una estrategia de métodos mixtos, que combina herramientas cuantitativas y cualitativas. Esta combinación permite obtener una visión más completa del fenómeno estudiado, al aprovechar tanto la precisión numérica como la profundidad interpretativa (Creswell & Plano Clark, 2018).

Las técnicas se organizan en tres fases principales:

- a) Encuesta estructurada a PYMPAs

Se elaborará un cuestionario estructurado con preguntas cerradas, dirigido a personas productoras registradas en la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo. El instrumento incluirá:

- Escalas tipo Likert (de 1 a 5) para medir percepciones y niveles de preparación tecnológica.
- Preguntas dicotómicas (sí/no) sobre uso de plataformas, acceso a dispositivos, conectividad y conocimiento del sistema Trazar-Agro.

Esta técnica permitirá obtener datos cuantitativos sobre el nivel de digitalización, las barreras tecnológicas y la percepción sobre la normativa de trazabilidad. Los resultados se analizarán mediante estadística descriptiva (frecuencias, porcentajes y cruces por variables como tamaño de finca o acceso a internet), utilizando la herramienta como Excel.

#### b) Validación de la estrategia digital propuesta

Una vez diseñada la estrategia digital, se someterá a una validación mediante criterio experto, con la participación de un funcionario experto del MAG. Esta validación se realizará a través de sesión de trabajo, donde se presentará un prototipo de la estrategia.

El participante brindará retroalimentación cualitativa sobre la aplicabilidad, pertinencia, claridad y viabilidad de la propuesta. Su aporte permitirá ajustar la estrategia final, asegurando que responda a las necesidades reales del territorio.

Esta triangulación de técnicas, encuesta y validación experta buscaría un abordaje metodológico riguroso, alineado con los principios del enfoque mixto y la filosofía pragmática adoptada.

### 3.6.2. Análisis de datos

El análisis de datos en esta investigación se realizará mediante enfoques diferenciados según el tipo de información recolectada: cuantitativa y cualitativa. Esta distinción es fundamental dentro de los métodos mixtos, ya que permite aprovechar las fortalezas de cada tipo de dato para una comprensión más completa del fenómeno estudiado (Creswell & Plano Clark, 2018).

#### a) Análisis de datos cuantitativos

Los datos obtenidos a través de las encuestas aplicadas a las PYMPAs serán procesados utilizando herramientas como Microsoft Excel. El análisis se enfocará en técnicas descriptivas básicas, incluyendo:

- Frecuencias absolutas y relativas.
- Porcentajes por categoría de respuesta.
- Cruces de variables clave, como: Tamaño de finca (pequeña, mediana), nivel de conectividad (conectividad limitada, media, alta) o uso o no de plataformas digitales como Trazar-Agro.

Este tipo de análisis permitirá identificar patrones generales, segmentar la muestra y detectar relaciones entre las condiciones tecnológicas y la disposición a adoptar el sistema de trazabilidad.

### **3.8. Sujetos y Fuentes de Información**

La selección de los sujetos y fuentes de información en esta investigación responde a la necesidad de recolectar datos pertinentes, confiables y contextualizados, alineados con los objetivos del estudio. Para ello, se utilizarán dos grupos de informantes clave, cada uno vinculado a una técnica de recolección distinta, dentro de una estrategia de métodos mixtos.

#### **a) Encuestas estructuradas a PYMPAs**

El primer grupo corresponde a las personas productoras agropecuarias pequeñas y medianas (PYMPAs), vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, las cuales representan la población objetivo del estudio. Estas unidades productivas son las directamente responsables de implementar el Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina, por lo que sus condiciones tecnológicas, capacidades y percepciones resultan fundamentales.

Esta fuente permitirá obtener datos cuantitativos representativos y establecer un diagnóstico del estado actual de las PYMPAs respecto a la digitalización y trazabilidad.

#### **b) Validación con criterio experto**

Por otro lado, se contará con un experto de la institución y de la región del MAG, quien participará en una sesión de validación de la propuesta de estrategia digital. Esta validación incluirá la revisión de un prototipo de la estrategia diseñada (componentes, niveles de madurez,

herramientas y tratamientos), así como la discusión sobre su aplicabilidad, claridad y viabilidad en el contexto institucional.

La opinión experta permitirá ajustar la propuesta final con base en criterios técnicos, asegurando que sea pertinente, factible y alineada con las políticas y capacidades reales del MAG.

### 3.9. Población y Muestra

La población de estudio está compuesta por todas las pequeñas y medianas productoras agropecuarias que se encuentran registradas y activas como PYMPAS en la base de datos de la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, en la región Central Occidental de Costa Rica. Además de que posean al día Certificado de operación registrado en SENASA.

Estas condiciones son las mínimas para operar y vincularse con los procesos de trazabilidad que se exigieran a partir del 2026.

Se consultan entonces dos bases de datos que se entrecruzan para definir el universo o la población total, el cual totalizo 86 unidades productivas, de los cuales se excluyen actividades como la porcina, la avícola y aquellos contactos que no tengan un teléfono celular, generando como resultado 47 unidades a investigar.

#### 3.9.1 Estrategia de muestreo

Se buscó trabajar con la totalidad de unidades productivas que llenaran el perfil antes descrito, el cual es: que sean organizaciones estrictamente relacionadas con la actividad bovina, que estén registradas como PYMPAs y con CVO, además que tuviesen un medio de contacto en este caso particular un teléfono celular actualizado.

Como se indicó, se trabajó entrecruzando dos bases de datos, logrando 47 contactos, los que se migraron a un grupo de Whatsapp de la Agencia del MAG. Mediante este grupo se envía un formulario (11-08-2025), el cual debió ser contestado en el transcurso de dos semanas, 11-08-2025 al 25-08-2025, lapso mediante el cual se generaron tres recordatorios (13-08/16-08/20-08).

El uso de WhatsApp como canal principal de recolección de información se justifica por la amplia penetración en Costa Rica. Diversos estudios destacan que las encuestas realizadas por este medio alcanzan tasas de apertura cercanas al 98 % y tasas de respuesta superiores al correo electrónico 12–25 % y al SMS 12 % (Contact Center Pipeline, 2023; Askyazi, 2023; IZA, 2022). Además, WhatsApp permite enviar formularios de manera inmediata, verificar su recepción mediante confirmaciones de lectura y generar recordatorios, lo que ayudo a aumentar la probabilidad de respuesta en comparación con otros mecanismos.

Importante indicar que más del 95% de los usuarios de smartphone en Costa Rica utilizan WhatsApp (Zúñiga, 2021), lo que convierte a este medio como uno de los más populares y eficientes para desarrollar consultas.

El enfoque aquí usado es coherente con el diseño aplicado y exploratorio del estudio, y se justifica en función del acceso disponible a la población, la viabilidad de ejecución y el propósito de obtener información útil para la toma de decisiones (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

*Tabla 3: Operacionalización de variables fase diagnóstica*

Objetivo específico	Variable / Dimensión	Indicadores	Instrumento	Tipo de pregunta	Preguntas
1. Analizar literatura científica (PRISMA)	Estado del arte sobre transformación digital, trazabilidad y adopción tecnológica	Aplicación del protocolo PRISMA para revisión sistemática	Revisión documental	No aplica	
Sociodemográficas					Rango de edad
2. Diagnosticar condiciones tecnológicas y brechas	Acceso a tecnología	Tipo de conexión, dispositivos, cobertura	Encuesta	Cerrada	¿Tiene acceso a internet en su finca?
					¿Qué tipo de conexión utiliza? u otra (Móvil, fija, ninguna)
					¿Ha escuchado hablar sobre la tecnología RFID (chips para trazabilidad animal)?
					¿Qué tan familiarizado está con el uso de aretes electrónicos o lectores RFID para bovinos? (Nada, poco, medianamente, bastante, totalmente)
					¿Cuáles de los siguientes dispositivos posee y utiliza, otros? (Celular, computadora, tablet, otros)
					¿Cuántas personas en su hogar usan internet regularmente?
					¿Alguna de esta persona es la encargada de la administración y uso de tecnología?
					¿Cuenta con señal telefónica estable en su zona? (Sí/No)
	Alfabetización digital	Habilidades TIC, uso de herramientas	Encuesta	Likert	¿Qué tan cómodo se siente usando aplicaciones móviles? (1-5)
					¿Qué tan familiarizado está con el uso de formularios digitales o encuestas en línea? (1-5)

					¿Ha participado en alguna capacitación sobre tecnología en los últimos 2 años? (Sí/No)
					¿Sabe cómo enviar correos electrónicos o mensajes por WhatsApp? (Sí/No)(comunicación por medios electrónicos)
					¿Puede instalar aplicaciones en su teléfono por cuenta propia? (Sí/No)
	Uso de Trazar-Agro y de RFID	Registro, frecuencia, experiencia de uso	Encuesta	Cerrada / Múltiple	¿Ha escuchado hablar del sistema Trazar-Agro?
					¿Está registrado actualmente en la plataforma Trazar-Agro?
					¿Con qué frecuencia accede a la plataforma? (Nunca, ocasionalmente, frecuentemente)
					¿Cuáles funciones ha utilizado? (Guías, consultas, registro de animales, etc.)
					¿Qué tan fácil le resulta utilizar Trazar-Agro? (1-5)
					¿Qué tan familiarizado está con el uso de aretes electrónicos o lectores RFID para bovinos? (Nada, poco, medianamente, bastante, totalmente)
					¿Cuál es su percepción sobre la tecnología RFID como herramienta para trazabilidad bovina? ¿Ha recibido información o capacitación al respecto?
					<u>¿Qué factores influyeron en su decisión de adoptarla o no? SLR opción múltiple</u>
	Limitaciones percibidas	Barreras para adopción	Encuesta / Entrevista	Abierta / Cerrada	¿Cuál considera la mayor barrera para adoptar herramientas digitales?
					¿Ha solicitado apoyo para resolver limitaciones técnicas? (Sí/No)
					¿Cuáles son los beneficios del programa de trazabilidad?  ¿Considera que los costos limitan su acceso a tecnología? (Sí/No)  <u>¿Considera que el tiempo y recursos que implica registrar la trazabilidad se justifican con los beneficios obtenidos? SLR</u>

					¿Ha tenido problemas de conexión al intentar usar plataformas digitales? (Sí/No)
					¿Qué obstáculos ha identificado para implementar tecnologías como RFID en su finca?
					<u>¿Qué tan difícil le resulta incluir el uso de tecnología dentro de su rutina diaria? SLR</u>
					<u>¿Cree que el sistema beneficia también al productor y no solo a las autoridades? SLR</u>
3. Diseñar estrategia digital adaptada	Expectativas y necesidades	Preferencias en capacitación, formatos, apoyo	Encuesta / Entrevista	Abierta / Múltiple	¿Qué tipo de capacitación preferiría? (Virtual, presencial, ambas)
					¿Qué temas considera prioritarios para una capacitación digital? (Trazar-Agro, redes sociales, herramientas móviles, etc.)
					¿En qué horarios podría participar de una capacitación? (Mañana, tarde, fin de semana)
					¿Estaría dispuesto a participar en sesiones prácticas en campo sobre el uso de tecnología? (Sí/No)
	Preferencias tecnológicas	Dispositivos, canales de comunicación, tipo de interfaz	Encuesta	Múltiple	¿Qué canal de comunicación prefiere para recibir información programa?
					¿Qué tipo de dispositivo prefiere para ingresar datos de trazabilidad? (Celular, computadora, asistencia técnica)
					¿Prefiere interfaces simples, tutoriales visuales o apoyo técnico directo?
4. Validar y ajustar estrategia con MAG	Pertinencia y factibilidad	Aplicabilidad, aceptabilidad	Entrevista a técnicos	Abierta	¿La estrategia propuesta responde a las realidades territoriales? ¿Por qué?
					¿Cuáles aspectos considera mejorables en la propuesta presentada?
					¿Qué componentes deberían fortalecerse para facilitar su implementación?
					¿Cuenta el MAG con los recursos necesarios para aplicar esta estrategia? (humanos, técnicos, financieros)

					<u>Que otras organizaciones estatales o privadas podrían integrarse para la puesta en marcha de la estrategia. SLR</u>
5. Proponer solución digital final	Indicadores evaluación	y Variables para seguimiento	Entrevista / Validación	Abierta	¿Qué indicadores considera útiles para evaluar la estrategia?
					¿Qué herramientas considera esenciales para implementar la solución propuesta?
					¿Cree que la estrategia puede replicarse en otras regiones del país? ¿Por qué?

## **CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Procedimientos y análisis de datos**

El presente estudio adoptó una estrategia metodológica de enfoque mixto con el objetivo de comprender las condiciones actuales de las pequeñas y medianas productoras agropecuarias frente a la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Para ello, se estructuró un proceso de recolección y análisis de datos en tres fases complementarias, articuladas con los objetivos específicos del trabajo y sustentadas en la matriz de operacionalización de variables definida en el capítulo anterior.

En una primera fase, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura, con el propósito de analizar el estado del arte sobre la transformación digital en el sector agropecuario, las brechas digitales en zonas rurales, los sistemas de trazabilidad bovina y la adopción tecnológica en pequeños productores. Esta revisión se realizó aplicando el protocolo PRISMA, el cual garantiza un proceso riguroso, transparente y reproducible en la identificación, selección y síntesis de fuentes relevantes.

Se utilizaron bases de datos académicas como Scopus y Web Of Science, y se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, considerando publicaciones científicas, documentos técnicos y estudios de caso relevantes en el contexto latinoamericano y mundial.

En la segunda fase, se aplicó una encuesta estructurada dirigida a las PYMPAs vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo. Este instrumento cuantitativo, conformado por preguntas cerradas (dicotómicas, de opción múltiple y escalas tipo Likert), permitió recolectar información sobre el acceso a tecnologías, el nivel de alfabetización digital, el conocimiento y uso de la plataforma Trazar-Agro y tecnologías como RFID, las principales barreras percibidas y las preferencias respecto al empleo de herramientas digitales. La población se determinó a partir del cruce de dos bases de datos institucionales de productores activos, y se optó por un censo. Los datos fueron procesados y analizados mediante estadística descriptiva, utilizando Microsoft Excel para generar frecuencias, porcentajes y cruces de variables clave.

Finalmente, en la tercera fase, se desarrolló una validación técnica de la estrategia digital propuesta. Para ello, se generó una reunión con experto del MAG llevada a cabo en Naranjo, en la que se presentó una versión preliminar de la estrategia digital diseñada con base en los hallazgos de las fases anteriores. La validación permitió recoger observaciones y sugerencias para ajustar la propuesta, mejorar su aplicabilidad y asegurar su pertinencia institucional. Este ejercicio de retroalimentación también formó parte del análisis cualitativo, integrándose a la interpretación de resultados y al diseño final de la solución propuesta.

En conjunto, estos procedimientos metodológicos ayudan a generar una triangulación de fuentes secundarias (literatura científica y técnica) y primarias (encuesta y validación), en coherencia con la filosofía pragmática y el enfoque abductivo que orientan esta investigación. Esta combinación de métodos ayuda a construir una visión contextualizada, integral y aplicable a las realidades de las PYMPAs costarricenses en el marco del nuevo sistema de trazabilidad bovina.

## **4.2. Análisis de resultados**

El análisis de resultados se estructura de acuerdo con las fases metodológicas desarrolladas en el presente estudio, siguiendo una lógica progresiva que integra tanto fuentes secundarias como primarias. Cada fase aporta insumos para la comprensión integral del fenómeno investigado: las condiciones de adopción de la trazabilidad bovina en las pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs) de la región de Naranjo, Costa Rica.

Se ha dividido como se ha indicado en cuatro fases que se desarrollaran enseguida.

Fase 1: Resultados de la revisión sistemática de literatura, según protocolo Prisma.

Para esta etapa del estudio, se inició con la aplicación de una consulta general combinada, construida a partir de los principales *keywords* derivados de los objetivos específicos de la investigación. Esta consulta, detallada en la Tabla 2, fue diseñada con el propósito de condensar conceptualmente los ejes centrales del estudio en una única búsqueda estructurada.

Sin embargo, al aplicar dicha consulta global o general en diversas bases de datos académicas, los resultados obtenidos fueron nulos, lo cual evidenció una limitación en la cobertura temática de las publicaciones disponibles bajo esa combinación de términos. Esta situación llevó a replantear la estrategia de búsqueda, optando por fragmentar la consulta general en bloques temáticos más específicos, permitiendo así una recuperación más amplia y pertinente de fuentes, en concordancia con los recursos y el alcance definidos para esta investigación.

Este ejercicio de adaptación metodológica se detalla en la Tabla 4, donde se presentan los diferentes bloques de palabras clave utilizados, alineados con los objetivos del estudio y las áreas conceptuales prioritarias para el análisis documental y donde se refleja la estrategia y los problemas derivados según cada consulta y el número de resultados.

*Tabla 4: Adaptación metodológica de la búsqueda en motores de bases de datos académicas.*

#	Keywords	Scopus (Title, abstract, keywords)	Web of science(Title)	Estrategia	Problema
1	("digital transformation" OR "digitalization" OR "agricultura 4.0") AND ("bovine traceability" OR "livestock traceability" OR "sistemas de trazabilidad bovina") AND ("digital gap" OR "brechas digitales" OR "rural areas") AND ("small farmers" OR "PYMPAs" OR "small and medium agricultural producers")	no ofrece resultados	No ofrece resultados	Aplicar un set de keywords que permita identificar los artículos que llenen a cabalidad la totalidad de keywords según los objetivos del estudio	La consulta combina múltiples conceptos, lo que lleva a los motores de bases de datos a un grado de especialidad muy detallado
2	("digital transformation" OR "digitalization" OR "agricultura 4.0")	87959 resultados	50932 resultados	Separar la consulta general en sus componentes	Un volumen de resultados muy alto
3	("bovine traceability" OR "livestock traceability" OR	<b>44</b> resultados	<b>32</b> resultados	<b>Separar consulta general</b>	<b>Esta consulta, aunque algo general, es</b>

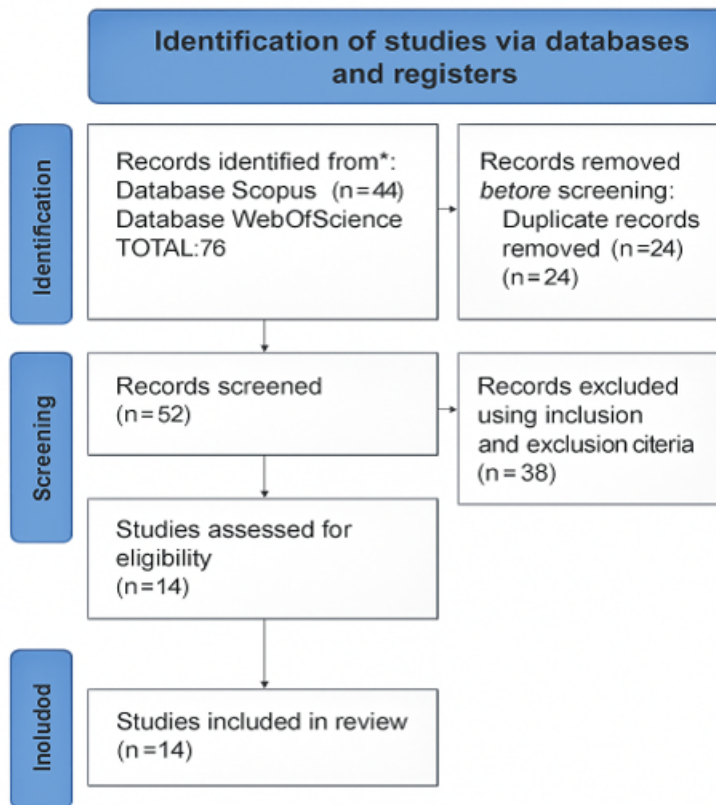
	"sistemas de trazabilidad bovina")				la más precisa en términos del tema que se trata y objetivos.
4	( "digital gap" OR "brechas digitales" OR "rural areas" ) AND ( "small farmers" OR "PYMPAs" OR "small and medium agricultural producers" )	252 resultaods	78 resultados	Separar consulta general	Resultados muy genéricos sobre brechas digitales y pequeños productores

Tras este ejercicio de depuración y ajuste de estrategias de búsqueda, se optó por emplear la consulta número tres, por considerar que refleja con mayor precisión el objeto de estudio y la naturaleza de la investigación, centrada en la trazabilidad bovina y su vínculo con los procesos de transformación digital.

Una vez obtenidos los artículos científicos a partir de esta consulta, se aplicó los criterios de inclusión y exclusión definidos previamente en el capítulo metodológico. Esta aplicación paso a paso permitió filtrar aquellas fuentes que guardan una relación directa con los objetivos específicos del estudio, buscando así la relevancia y calidad del material bibliográfico analizado.

El resultado de este proceso fue la construcción de un mapeo del conocimiento acumulado en torno al fenómeno investigado, fundamentado en una revisión sistemática de literatura que sigue los principios del protocolo PRISMA, y que constituye el insumo principal para el análisis documental desarrollado en esta investigación, ver el paso a paso del Prisma en la imagen siguiente.

*Ilustración 5: Esquema PRISMA para la revisión sistemática de literatura*



Fuente: PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)

## Principales hallazgos de la revisión sistemática de literatura

A partir del proceso de revisión sistemática de literatura, se analizaron catorce investigaciones que abordan diversas dimensiones de la trazabilidad bovina y su vinculación con procesos de transformación digital, en seguida se presenta los principales hallazgos:

**Predominio de estudios cuantitativos y documentales:** Más del 70% de los estudios revisados emplearon metodologías cuantitativas, ya sea mediante encuestas estructuradas (Brasil, Indonesia, Estados Unidos) o análisis de datos secundarios (Namibia, México). También se identificaron aportes relevantes desde enfoques conceptuales y cualitativos, especialmente en contextos de bioseguridad o resistencia institucional (Nueva Zelanda).

**Diversidad geográfica con énfasis en América Latina y Europa:** Aunque la mayoría de los estudios provienen de Brasil, se recopilaron casos en Alemania, Namibia, Indonesia, México, Estados Unidos y Nueva Zelanda. Esto evidencia el carácter global del tema, pero también destaca la escasez de investigaciones aplicadas a pequeños productores en Centroamérica, lo cual refuerza la pertinencia de este estudio en Costa Rica.

**Enfoque multisistémico en la trazabilidad:** Los estudios analizados abordan la trazabilidad no solo desde la gestión de datos o dispositivos tecnológicos (como RFID, GPS o blockchain), sino también desde factores institucionales, sociales y económicos. Por ejemplo, se evidencia cómo las percepciones de los productores, los costos de implementación, y la utilidad percibida influyen significativamente en la adopción del sistema.

**Relevancia de las percepciones de usuarios:** Varios estudios incorporaron encuestas a productores ganaderos, revelando que el conocimiento limitado, la desconfianza institucional, los costos de implementación y la falta de acompañamiento técnico son barreras recurrentes en la adopción de sistemas de trazabilidad, particularmente en pequeños y medianos productores.

**La transformación digital como condición habilitante:** Se destaca que la transformación digital en el ámbito agropecuario no es un fin en sí mismo, sino un habilitador para lograr eficiencia, trazabilidad, transparencia y sostenibilidad. Sin embargo, esta transformación requiere capacidades digitales básicas, infraestructura tecnológica, interoperabilidad entre sistemas y estrategias de gobernanza de datos adaptadas al entorno rural.

En cuanto a las metodologías usadas: La mayoría de los estudios que analizaron la adopción de tecnologías lo hicieron mediante instrumentos con escalas tipo Likert, modelado estadístico. También se identificó el uso de análisis de redes sociales y mapas de actores como herramientas para comprender los sistemas de trazabilidad. Estas aproximaciones metodológicas serán tomadas como referencia para el diseño del instrumento de recolección de datos del presente estudio.

Esta revisión sistemática de literatura es un aporte importante para el desarrollo de este trabajo, al ofrecer no solo una comprensión integral de los avances y desafíos internacionales en trazabilidad bovina y transformación digital, sino también insumos directos para el diseño metodológico, contextual y teórico de la investigación.

Además, al constatar la escasa producción científica enfocada específicamente en pequeños y medianos productores agropecuarios de Centroamérica, la revisión valida la pertinencia territorial y la oportunidad académica de este trabajo, posicionándolo como una contribución original. Por otro lado, el análisis detallado de las metodologías empleadas en estudios internacionales sirvió como referente para la elaboración de los instrumentos de recolección de datos, especialmente en el uso de escalas tipo Likert, encuestas estructuradas y criterios de análisis multidimensional.

En el plano teórico, la revisión ayuda a enriquecer el marco conceptual con categorías clave como madurez digital, trazabilidad integral, tecnologías habilitadoras y resistencia institucional.

Finalmente, la evidencia recopilada destaca que los procesos de adopción de sistemas de trazabilidad en contextos rurales no solo dependen de la tecnología, sino de factores culturales, institucionales y económicos, lo cual será considerado tanto en el análisis como en las recomendaciones estratégicas del presente estudio.

Fase 2: Encuesta estructurada dirigida a las PYMPAs vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo.

Aunque se optó por un censo, los niveles de respuesta alcanzaron un 26% lo que representa que de 47 unidades productivas a las cuales se les envía el formulario solo 12 lo completaron pese al plazo de dos semanas para completarlo y los tres recordatorios realizados tal y como se especificó en la sección de metodología. Pese a que los niveles de respuesta son bajos, siguen siendo mayores a los que posiblemente se hubiesen logrado con el uso de correo electrónico u otros mecanismos.

Estos niveles de repuesta se pueden acreditar a múltiples razones, entre las cuales podría destacarse el poco interés de brindar información, ya que no se percibe ninguno o poco beneficio o incentivos.

Por otro lado, puede que el seguir link para conectarse con formularios genere desconfianza aun cuando se usó un medio oficial del MAG y una presentación amplia de los objetivos de la investigación y del investigador; La inseguridad que vive el país en este momento hace que se perciba que la solicitud de información pueda ser vinculada con estrategias de ingeniería social.

Otra razón que podría explicar los niveles de respuesta podría ser volumen de actividades a las cuales están sometidos los productores en el día a día, las cuales en su mayoría se ejecutan en el campo, lo que deja en últimos niveles de prioridad el llenado de un formulario en línea.

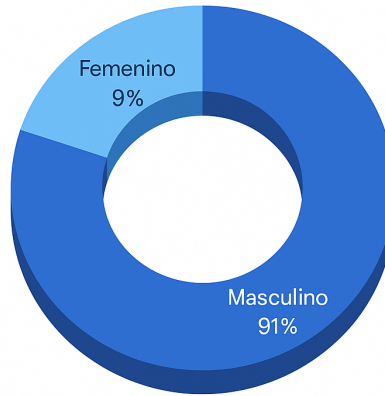
Aun cuando persistieron estos inconvenientes, se logra un porcentaje de respuesta entre los parámetros de aplicación de instrumentos de recolección de datos autoadministrados y, por tanto, se pueden considerar como válidos los insumos de información ofrecidos por estos informantes. A partir de esta premisa se reportará enseguida los principales hallazgos.

Principales Hallazgos resultado de la encuesta estructurada dirigida a las PYMPAs vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo.

A nivel general y desde un plano sociodemografico se observa que tanto en la conformación de la base de datos como a nivel de respuesta la participación femenina en el sector es bajo, al menos cuando se habla de los testaferros o representantes de las unidades productivas registradas. Una de cada diez unidades productivas tiene a una mujer como representante.

*Ilustración 6: Genero de los entrevistados según porcentaje*

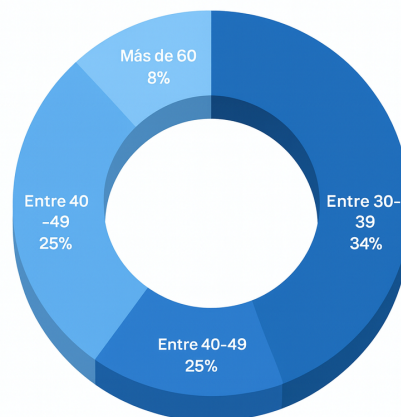
### Género de los informantes en % (11 respuestas)



Por otro lado, se observa que los rangos etarios de los informantes se concentran en un 76% en rangos superiores a los 40 años, una especial concentración en el rango de los 50 a 60 años. Lo anterior podría indicar que la población a la cual se estará aplicando la medida de la trazabilidad a su actividad productiva está en una etapa madura de vida y esto implica, por tanto, un público que por su generación ha sido adoptante de la tecnología y que podría presentar ciertas brechas digitales.

*Ilustración 7: Rangos de Edad de los informantes en porcentaje*

### Rangos de edad de los informantes en % (12 respuestas)



Otros datos generales que pueden ofrecerse es que la población consultada en 80% cuenta con menos de 45 animales, lo que refleja una conformación de una actividad productiva basada en pequeñas producciones pecuarias lo que también es coincidente con el tipo de la actividad en la zona de Naranjo y alrededores que por su relieve y tradición productiva la ganadería no es la actividad principal.

Uno de los ejes de este trabajo es comprender cuál es el uso de la tecnología de estos productores como un predictor del éxito que podría tener la integración de tecnología como radiofrecuencia y aretes electrónicos o el uso de aplicaciones como trazar-agro.

El acceso a internet se convierte en elemento esencial para esto y tal como se observa el 84% de la población consultada indica poseer conexión a internet desde la finca, siendo el uso del internet celular el medio más usado con un 60% de las menciones, esto fortalece el uso de aplicaciones móviles con interfaces para telefonía móvil como una necesidad del sector.

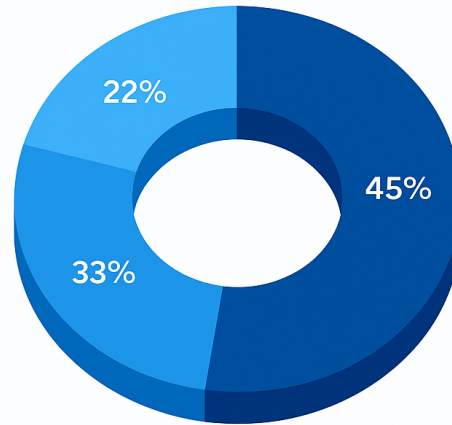
*Tabla 5: Generalidades de las PYMPAs según diagnóstico aplicado*

Acceso a internet en la finca	Cuenta de ¿Tiene acceso a internet en su finca?	%
No	2	84%
Si	10	16%
<b>Tipo de conexión</b>		
Fibra óptica	1	10,00%
Fija	3	30,00%
Móvil o celular	6	60,00%
<b>Total, general</b>	<b>12</b>	<b>100,00%</b>

Esta información muestra que el celular es el instrumento de predilección para conectarse a internet, sin embargo, también se menciona que la computadora y tabletas son también hardware normalmente usado.

*Ilustración 8: Utilización de dispositivos tecnológicos en la PYMPAs*

### Dispositivos tecnológicos que se utilizan regularmente en % (10 respuestas)



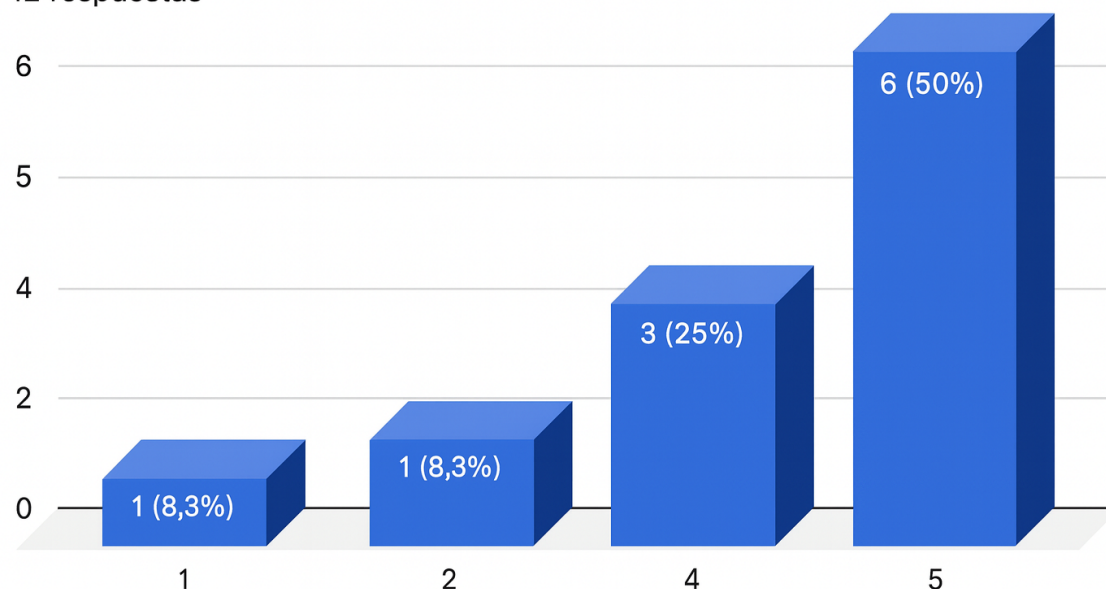
■ Celular    ■ Celular, Computadora  
■ Celular, Computadora, Tableta

En relación con el nivel de comodidad que manifiestan los informantes respecto al uso de aplicaciones móviles, se observa que un 50% indica sentirse muy cómodo. Además, si se considera el total de quienes reportan sentirse cómodos o muy cómodos, la cifra asciende a un 75% del grupo encuestado. Este resultado constituye un escenario altamente favorable para la implementación de nuevas tecnologías y aplicaciones, ya que refleja una disposición positiva hacia su adopción y uso.

*Ilustración 9: Uso de aplicaciones móviles*

## ¿Qué tan cómodo se siente usando aplicaciones móviles?

12 respuestas



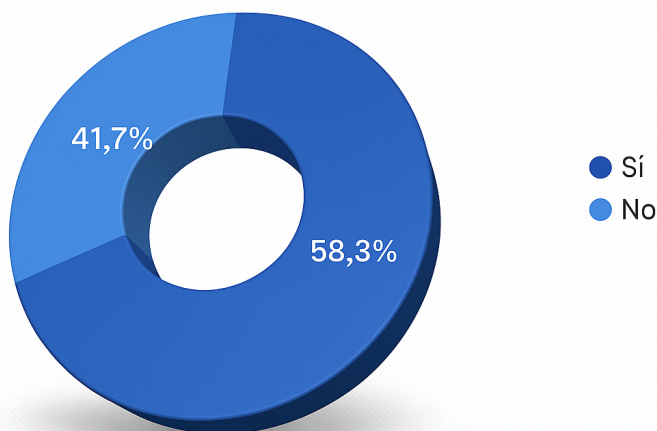
Los resultados evidencian que las habilidades en el manejo de aplicaciones y tecnologías móviles provienen en su mayoría de procesos autodidactas (42% de los consultados). Sin embargo, un 58% ha recibido algún tipo de capacitación formal en el uso de estas herramientas. Esta dualidad revela que, aunque existe un interés y una capacidad creciente para apropiarse de las tecnologías, gran parte de los productores depende todavía de la iniciativa personal más que de programas estructurados de formación.

Esta situación es particularmente relevante para los objetivos de la investigación, ya que muestra tanto la disposición de los productores para aprender de manera autónoma, como la necesidad de reforzar los procesos de capacitación formal. En el contexto de la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina, este hallazgo subraya la importancia de diseñar estrategias de acompañamiento que combinen la facilidad de uso de las aplicaciones con espacios de formación accesibles y prácticos, de manera que se fortalezca la adopción tecnológica en las PYMPAs.

*Ilustración 10: Participación en capacitaciones recientes*

## Ha participado en alguna capacitación sobre tecnología en los últimos 2 años?

! respuestas



En el caso del uso de aplicaciones específicas como Trazar Agro y de tecnologías asociadas como los aretes para la trazabilidad, se requiere contar con conocimientos básicos en el manejo de dispositivos móviles. Estos incluyen la capacidad de instalar aplicaciones, así como interactuar con herramientas de comunicación como el correo electrónico o aplicaciones de mensajería y multimedia.

Los resultados muestran un escenario favorable: el 100% de los informantes manifiesta manejar estas herramientas, mientras que un 84% indica contar con la capacidad de instalar nuevas aplicaciones de forma autónoma. Este hallazgo evidencia que los productores poseen un nivel que parece funcional de alfabetización digital, lo cual constituye una base para la adopción e implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Además, refuerza la pertinencia de impulsar estrategias de capacitación que no partan desde cero, sino que aprovechen las competencias ya existentes para acelerar el proceso de digitalización en las PYMPAs.

*Ilustración 11: Capacidad para instalar aplicaciones.*

### ¿Puede instalar aplicaciones en su teléfono por su cuenta?

12 respuestas

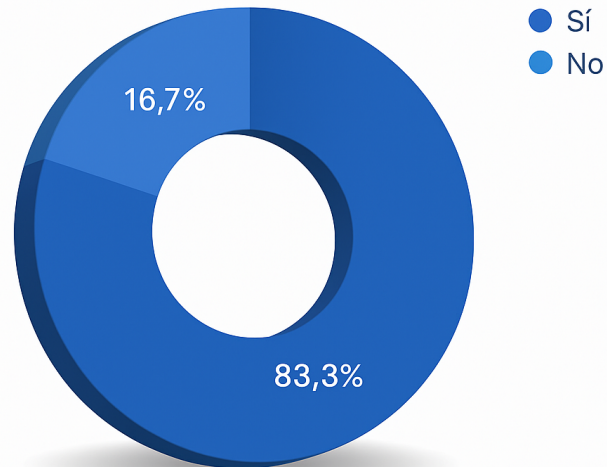
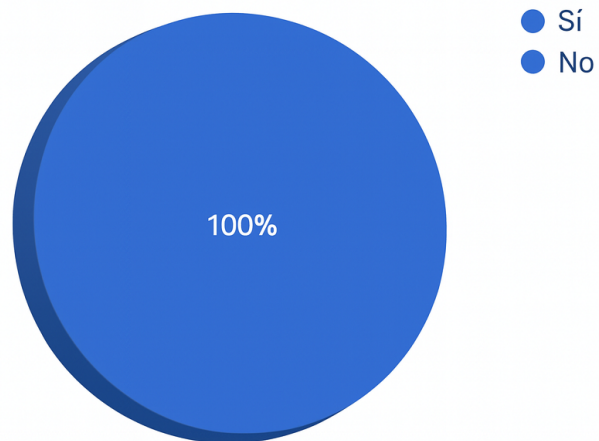


Ilustración 12: Capacidad para envío de correos o uso de mensajería

### ¿Sabe cómo enviar correos electrónicos o mensajes por WhatsApp?

12 respuestas



Aunque los pequeños ganaderos reportan contar con las habilidades necesarias para utilizar dispositivos móviles y aprovechar herramientas básicas, los resultados revelan una brecha importante en cuanto al conocimiento de la plataforma oficial de registro y trazabilidad bovina Trazar Agro. Un 50% de los informantes indicó no haber escuchado hablar de esta herramienta, lo que evidencia un bajo nivel de socialización y difusión de esta.

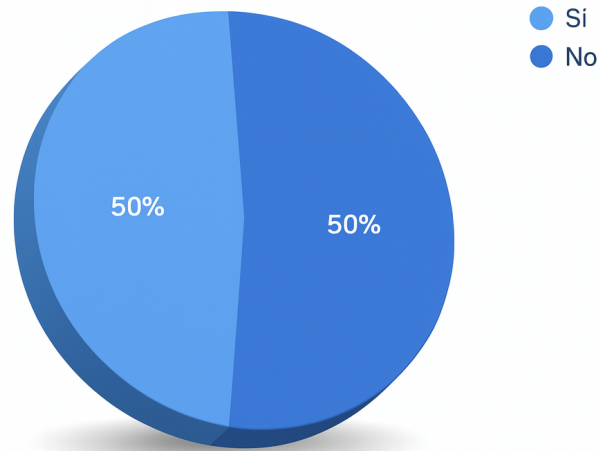
Este hallazgo plantea un reto, ya que la plataforma será de uso obligatorio a partir del año 2026. La falta de información y capacitación oportuna puede dificultar la adopción efectiva del sistema en el corto plazo. De hecho, los datos reflejan que la brecha de conocimiento debe ser cerrada en menos de cuatro meses (según el momento de levantamiento de la información), lo que subraya la urgencia de implementar estrategias de inducción, sensibilización y formación dirigidas a los productores.

En relación con los objetivos de la investigación, esta situación pone de manifiesto la necesidad de acompañar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina con procesos pedagógicos inclusivos, que garanticen que los productores no solo dispongan de los medios tecnológicos, sino también de las competencias y la información necesarias para su correcto uso.

*Ilustración 13: Conocimiento sobre la aplicación Trazar-Agro*

## ¿Ha escuchado hablar de la plataforma Trazar-Agro?

12 respuestas



La brecha identificada en relación con el conocimiento de la plataforma de trazabilidad se amplía al analizar el registro y la frecuencia de uso de esta. Los resultados muestran que cerca de un 67% de los consultados no se encuentra registrado en la plataforma, lo cual refleja un nivel bajo de incorporación al sistema. Además, entre quienes sí cuentan con registro, la mayoría indica que casi nunca o solo en algunas ocasiones hacen uso de la herramienta, lo que evidencia un aprovechamiento limitado de sus funcionalidades.

Este escenario resulta importante para esta investigación, ya que revela no solo una falta de acceso formal al sistema, sino también una escasa apropiación tecnológica en la práctica cotidiana de los productores.

*Ilustración 14: Registro en la plataforma Trazar -Agro*

## ¿Está registrado en Trazar-Agro?

6 respuestas

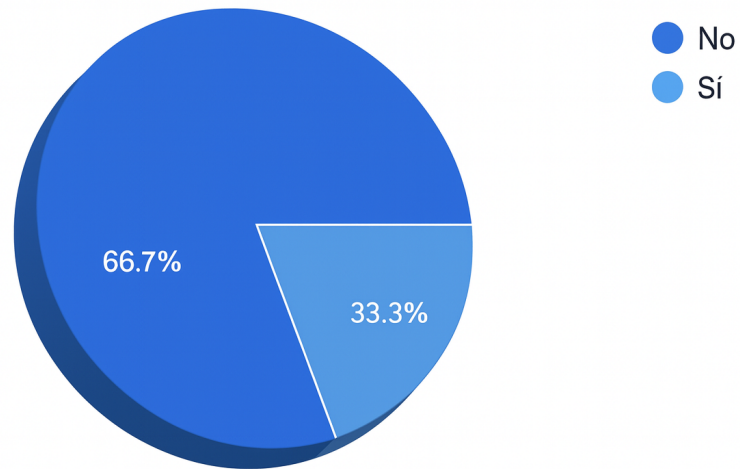
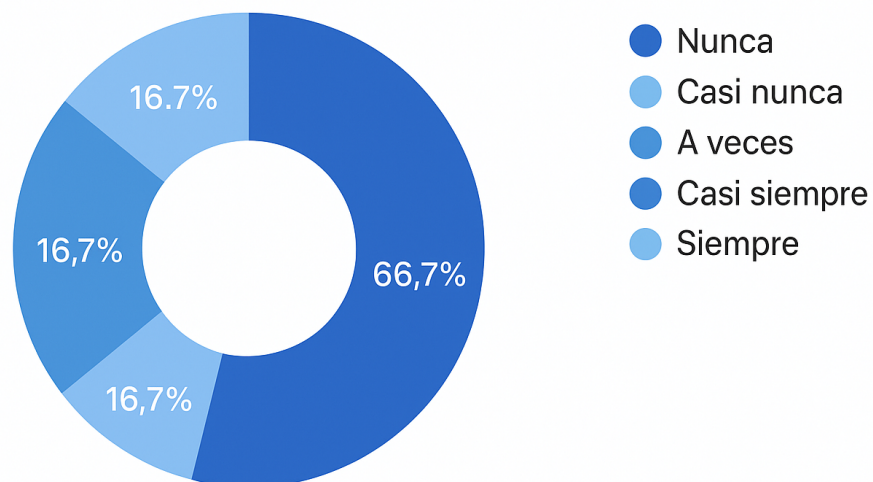


Ilustración 15: Frecuencia de uso de la plataforma

## Con qué frecuencia accede a la plataforma?

6 respuestas



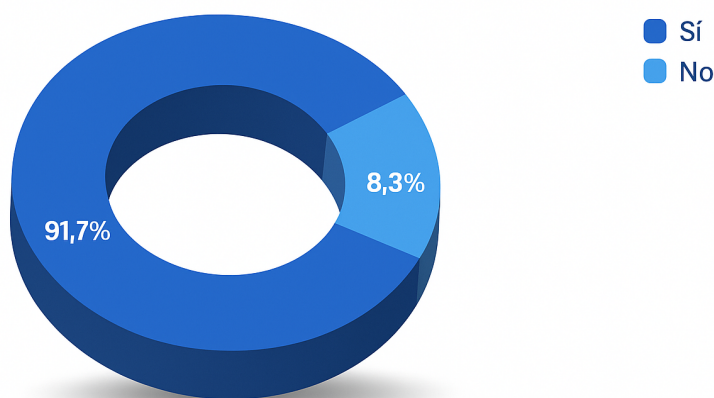
Otro aspecto relevante asociado a la plataforma Trazar Agro es el uso de los aretes RFID (identificación por radiofrecuencia), que permiten registrar información individual de cada animal. Los resultados muestran que un 92% de los informantes afirma conocer o al menos haber escuchado sobre esta tecnología. No obstante, al profundizar en el nivel de apropiación, se evidencia que un 64% manifiesta tener baja familiaridad con su uso, y un 72% indica no haber recibido capacitación relacionada.

Este hallazgo refleja una situación de conocimiento superficial, lo que deja en entredicho la posible adopción práctica, esto se podría vincular a un limitado aprovechamiento del potencial de los aretes RFID como herramienta para la trazabilidad bovina.

*Ilustración 16: Conocimiento sobre aretes electrónicos y dispositivos RFID*

### ¿Ha escuchado hablar de los aretes electrónicos o lectores RFID para bovinos?

12 respuestas



*Ilustración 17: Nivel de familiarización con dispositivos RFID o aretes electrónicos*

¿Qué tan familiarizado está con el uso de lectores de radiofrecuencia RFID, o aretes electrónicos?

11 respuestas

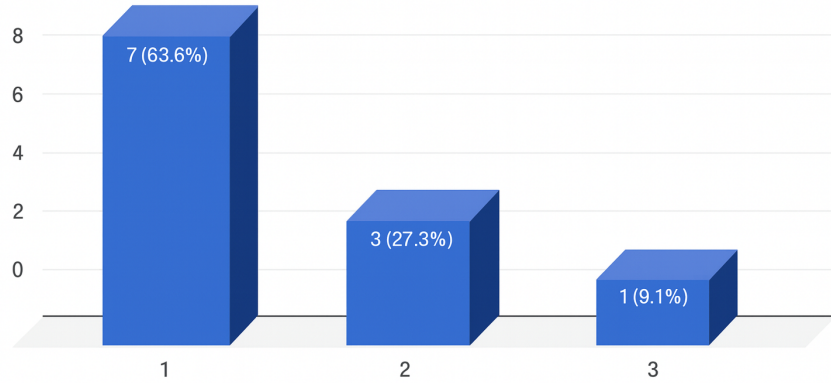
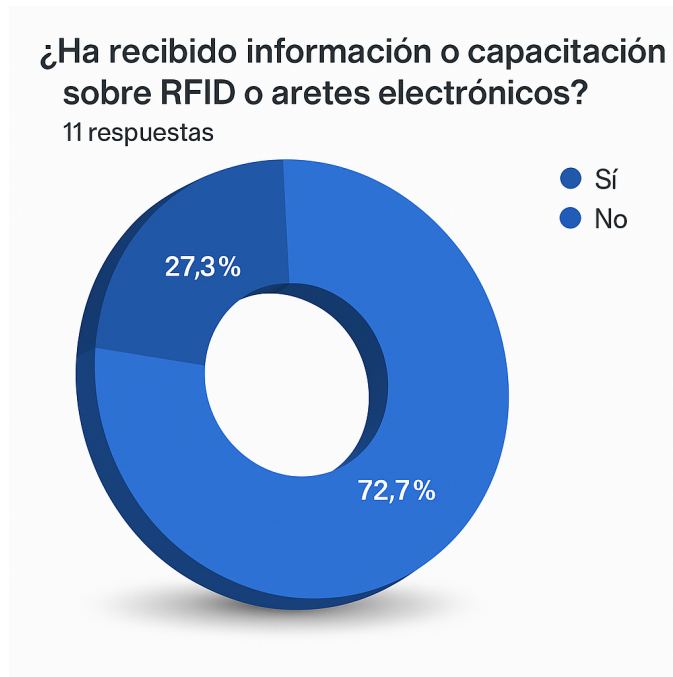


Ilustración 18: Información o capacitación recibida sobre RFID



En relación con los factores que influyen en la adopción de las tecnologías de trazabilidad, los resultados señalan que la obligatoriedad legal constituye el principal impulso para los productores (54%), seguido de la voluntad personal de adopción (36%). No obstante, se identifican barreras que pueden obstaculizar el proceso: un 58% de los consultados indica que, ante dificultades técnicas, tiende a no solicitar ayuda, mientras que un 83% reconoce que el costo representa la principal limitante para el acceso y uso efectivo de estas tecnologías.

Este panorama revela que, aunque la regulación normativa actúa como motor inicial de la adopción, la sostenibilidad del proceso dependerá de la capacidad de los productores para superar limitaciones económicas y técnicas.

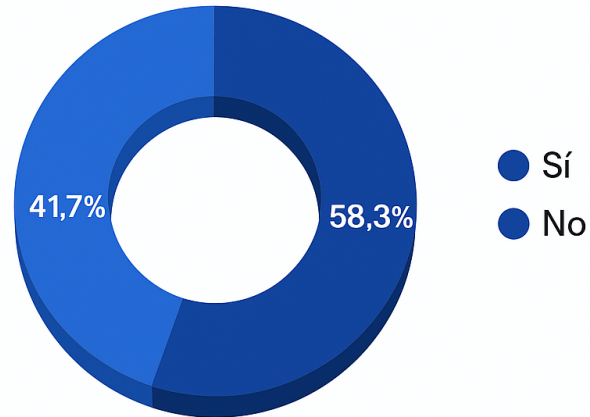
*Ilustración 19: Factores que influyen en la necesidad de adoptar la trazabilidad bovina.*



*Ilustración 20: Solicitud de apoyo para superar dificultades técnicas*

## Ha solicitado apoyo para resolver limitaciones técnicas?

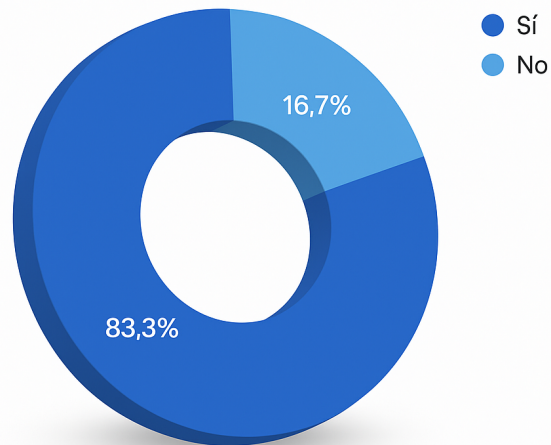
12 respuestas



*Ilustración 21: Costos económicos como limitante de adopción de la trazabilidad*

## ¿Cree que los costos económicos limitan su acceso a tecnología?

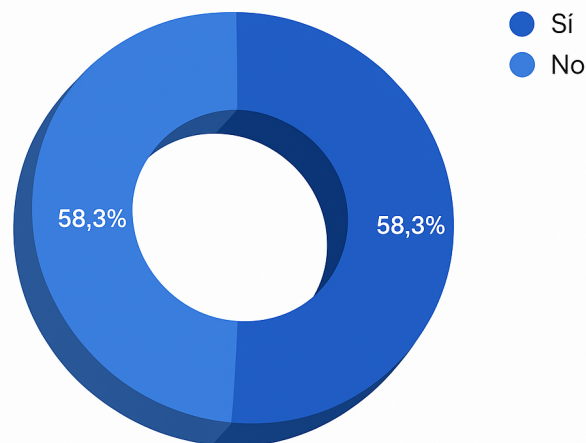
12 respuestas



*Ilustración 22: Problemas de conexión a plataformas*

### ¿Ha tenido problemas de conexión al usar plataformas digitales?

(12 respuestas)



De acuerdo con los datos recolectados, se identifican dos instituciones que han desempeñado un papel relevante en el apoyo al sector ganadero y en la implementación del sistema de trazabilidad bovina: el SENASA, mencionado por un 58% de los informantes, y el MAG, señalado por un 41%. Ambas instituciones, además, han sido oficialmente encomendadas por el Gobierno de la República para garantizar el cumplimiento del sistema.

En cuanto a la percepción costo–beneficio, los resultados muestran que un 41% de los informantes considera que los beneficios del sistema superan los costos asociados, mientras que un 50% mantiene una posición neutral, lo que refleja un nivel considerable de incertidumbre sobre la conveniencia económica de estas disposiciones legales.

Este hallazgo es útil para los objetivos de la investigación, pues evidencia la necesidad de reforzar la comunicación institucional y las estrategias de sensibilización, a fin de transmitir de manera más clara los beneficios del sistema de trazabilidad. Asimismo, sugiere la importancia de desarrollar mecanismos que reduzcan la percepción de riesgo económico entre los productores.

*Ilustración 23: Organizaciones que le han apoyado en el tema de trazabilidad*

¿Qué organizaciones le han apoyado en la integración de la trazabilidad?

12 respuestas

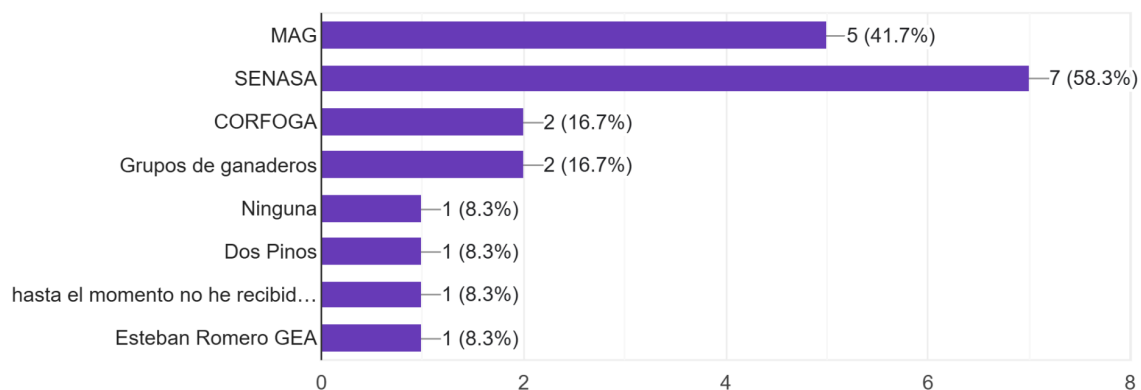
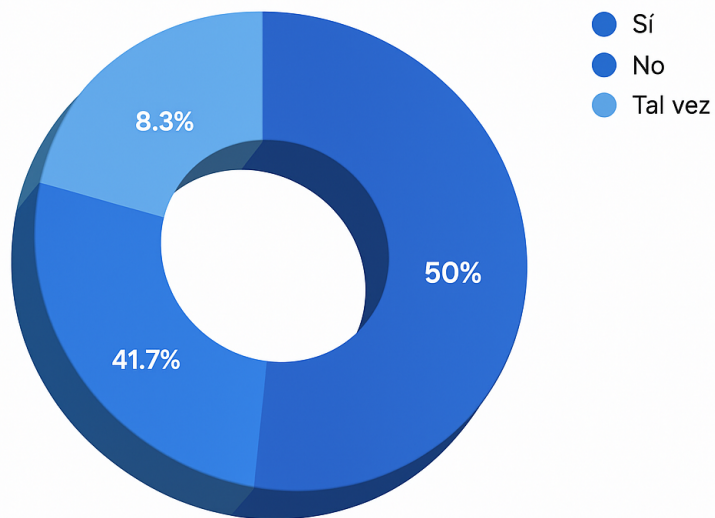


Ilustración 24: Costos / beneficio percibido acerca de la trazabilidad

¿Considera que el tiempo y esfuerzo para usar trazabilidad se justifica con los beneficios que podría traer?

12 respuestas



Finalmente, los resultados permiten delinear elementos clave para el diseño de procesos de capacitación y acompañamiento orientados a reducir las brechas identificadas en el uso de la plataforma Trazar Agro y de las tecnologías asociadas (como los aretes RFID).

En cuanto a la modalidad de capacitación, la preferencia mayoritaria es la presencial (50%), seguida de la virtual (33%) y de una combinación de ambas modalidades (17%). Respecto a los contenidos, los productores muestran un interés predominante en dos áreas: uso de la plataforma Trazar Agro y manejo de aretes RFID (66% de interés en ambos casos).

Sobre los horarios preferidos, se observa una distribución equitativa: 50% en horario matutino y 50% en horario nocturno, lo que sugiere la necesidad de ofrecer opciones flexibles. Además, el 100% de los informantes manifestó disposición a participar en sesiones prácticas en campo, lo que refuerza la importancia de enfoques pedagógicos vivenciales y aplicados.

En términos de canales de comunicación, el WhatsApp (75%) se posiciona como la herramienta más solicitada para recibir información, mientras que el teléfono celular (83%) es señalado como el dispositivo de uso principal para alimentar los sistemas de trazabilidad. Finalmente, los productores resaltan la importancia de contar con apoyo técnico directo (58%) y con interfases sencillas (58%), lo que refleja una clara preferencia por soluciones accesibles y acompañamiento cercano en la implementación.

*Ilustración 25: Tipo de capacitación preferida*

¿Qué tipo de capacitación preferiría para abordar el tema de trazabilidad y tecnología?

12 respuestas

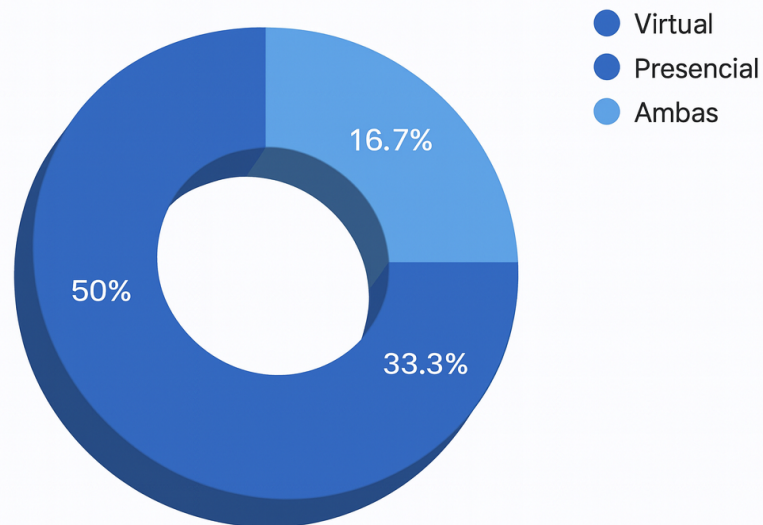


Ilustración 26: Temas prioritarios para la capacitación

¿Qué temas considera prioritarios para una capacitación digital?

12 respuestas

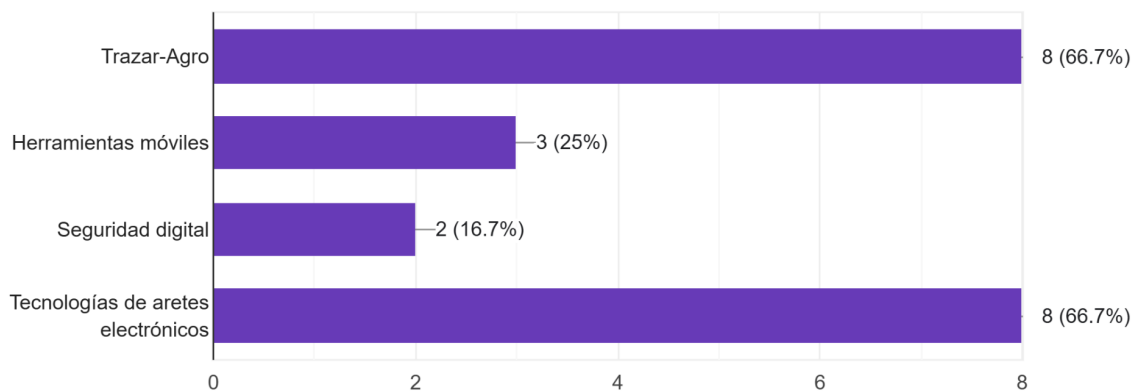


Ilustración 27: Horarios mas funcionales para la capacitación

¿En qué horarios podría participar en una capacitación?

12 respuestas

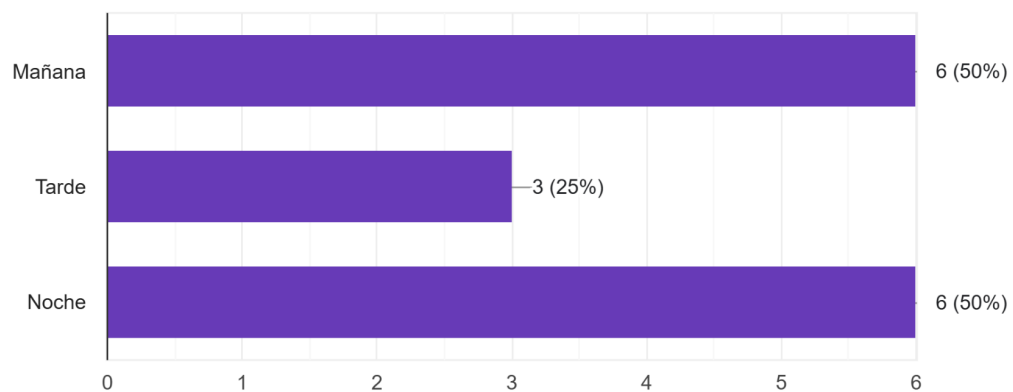
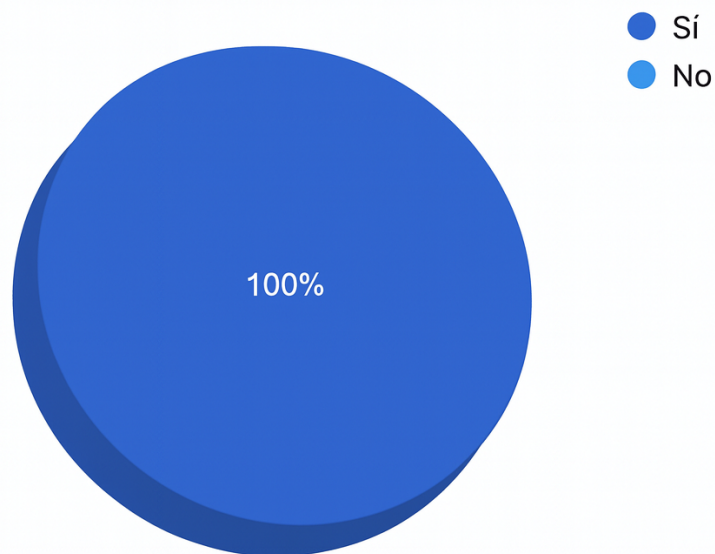


Ilustración 28: participación en sesiones de campo

Participaría en sesiones prácticas en campo?

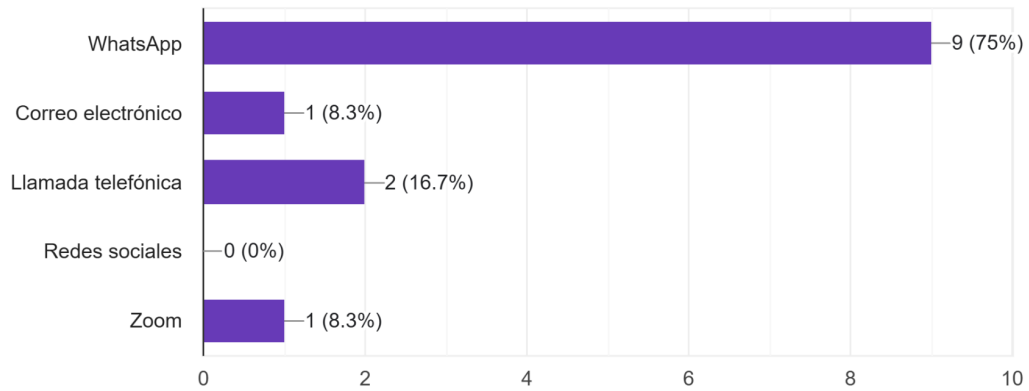
12 respuestas



*Ilustración 29: Canal de preferencia para recibir información*

¿Qué canal prefiere para recibir información del programa?

12 respuestas



*Ilustración 30: Dispositivo de preferencia para ingresar datos*

## ¿Qué tipo de dispositivo prefiere para ingresar datos de trazabilidad?

12 respuestas

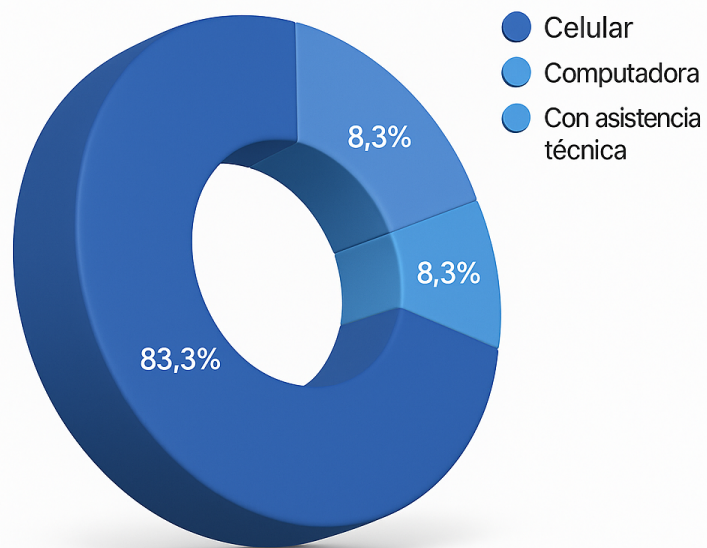
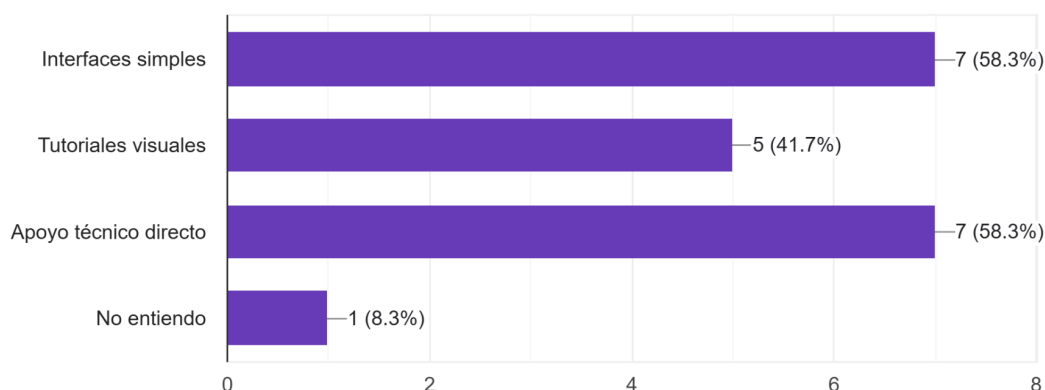


Ilustración 31: Preferencia de interfases.

¿Prefiere interfaces simples, tutoriales visuales o apoyo técnico directo?

12 respuestas



#### 4.3 Resumen de hallazgos:

El diagnóstico realizado a través de la encuesta estructurada permitió evidenciar un panorama mucho más claro sobre las condiciones actuales de las PYMPAs vinculadas a la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo frente a la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina.

Uno de los hechos relevantes tiene que ver con el perfil etario de los informantes, el cual se concentra en un 76 % en productores mayores de 40 años, con especial peso en el rango de 50 a 60 años. Esta composición etaria implica que la mayoría de las personas responsables de las unidades productivas se encuentran en etapas de vida en las que la incorporación de innovaciones tecnológicas tiende a ser más lenta, lo que representa un reto en la transición hacia un sistema digitalizado de trazabilidad.

Uno de los hallazgos más significativos es la heterogeneidad en el acceso y uso de las tecnologías digitales. Mientras algunos productores evidencian familiaridad con aplicaciones móviles, formularios en línea y sistemas de registro digital, otros muestran limitaciones marcadas tanto en conectividad como en competencias básicas de manejo tecnológico. Esta diversidad revela que las PYMPAs no constituyen un grupo homogéneo, sino que se distribuyen en diferentes estadios de preparación para la absorción tecnológica, lo cual influye directamente en su capacidad de cumplimiento normativo.

A partir de lo anterior, se hace evidente la conveniencia de establecer clasificaciones o categorías según el nivel de madurez digital de las unidades productivas. Esta segmentación permitiría ofrecer soluciones diferenciadas: a los grupos con mayor preparación, herramientas más avanzadas que fortalezcan la autonomía tecnológica, y a los que presentan rezago, un acompañamiento más intensivo en capacitación y soporte técnico. Los datos obtenidos, por tanto, refuerzan la pertinencia de aplicar un sistema de madurez digital como el planteado en el marco teórico, en el que se identifican niveles de desarrollo que guían las estrategias de intervención y facilitan una transición progresiva hacia la trazabilidad bovina obligatoria.

En síntesis, los hallazgos permiten concluir que la adopción efectiva del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en las PYMPAs de Naranjo depende en gran medida de reconocer la diversidad de capacidades tecnológicas existentes y de articular un proceso integral que combine clasificación por madurez, capacitación diferenciada, apoyo técnico constante y mecanismos de sensibilización. Considerando este abordaje, podría ser posible transformar una obligación normativa en una oportunidad real de fortalecimiento de la competitividad, la formalización productiva y la sostenibilidad del sector en el corto, mediano y largo plazo.

Además, los hallazgos también sugieren otra conclusión relacionada con que el alcance de los propósitos de madurez digital y la adopción de las plataformas tecnológicas de trazabilidad pueden convertirse en un motor de consolidación del sector pecuario. A medida que las PYMPAs logren avanzar en sus capacidades digitales, estarán en mejores condiciones de aprovechar los beneficios señalados en la literatura y el marco teórico: el acceso a mercados más exigentes y de mayor valor agregado, la mejora en la sanidad animal y la inocuidad alimentaria, el fortalecimiento de la competitividad frente a otros países de la región, y el incremento en la confianza y transparencia hacia consumidores e instituciones. En este sentido, la madurez tecnológica no es solo un requisito para cumplir con una normativa, sino una condición estratégica para proyectar al sector hacia estándares internacionales de calidad, sostenibilidad y trazabilidad.

En síntesis, esta fase de exploración bibliográfica y diagnóstico permite puntualmente descubrir lo siguiente:

- ✓ Con la revisión sistemática de literatura se identificó escasa investigación sobre trazabilidad en PYMPAs de Centroamérica.

- ✓ La trazabilidad bovina es multidimensional: depende de tecnología, cultura, economía, instituciones, y organizaciones.
- ✓ La transformación digital es un medio, no un fin; requiere gobernanza de datos y capacitación.
- ✓ Las PYMPAs presentan gran heterogeneidad digital y predominio de productores con posibles brechas digitales.
- ✓ Se identifica que la mayoría de Pympas estudiadas tiene internet (móvil); sin embargo, persisten limitaciones de conectividad y habilidades.
- ✓ Se constata bajo conocimiento y uso de Trazar Agro y tecnologías como RFID.
- ✓ La adopción está impulsada más por obligatoriedad legal que por beneficios percibidos.
- ✓ Los costos y falta de capacitación estructurada son barreras críticas.
- ✓ Se requiere clasificación por niveles de madurez para estrategias diferenciadas que apoyen la transición.

## CAPÍTULO V. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

5.1. Los hallazgos obtenidos en el capítulo anterior evidencian que la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en las PYMPAs enfrenta retos que van más allá de la dimensión tecnológica. Ante este panorama, la propuesta de solución se plantea como una herramienta integral que permita medir niveles de madurez digital y organizativa, segmentar a los productores según sus condiciones, e identificar brechas específicas que orienten procesos de capacitación, comunicación y apoyo diferenciado, contribuyendo así a transformar una obligación normativa en una oportunidad de fortalecimiento competitivo y sostenible de estas unidades productivas.

En la siguiente tabla se presentan los principales hallazgos y cuál es la correspondencia en la solución que se propone.

*Tabla 6: Principales hallazgos y correspondencia con la solución planteada.*

<b>Hallazgo del diagnóstico</b>	<b>Cómo se responde en la propuesta</b>
Escasa investigación sobre trazabilidad en PYMPAs de Centroamérica	Se plantea una herramienta aplicada al contexto costarricense, generando evidencia metodológica y práctica.
La trazabilidad bovina es multidimensional (tecnología, cultura, economía, instituciones, organizaciones)	Se integra un modelo de madurez digital y organizativa que evalúa todas estas dimensiones de manera articulada.
La transformación digital es un medio, no un fin; requiere gobernanza de datos y capacitación	El formulario y el índice de madurez orientan decisiones de capacitación y fortalecimiento de la gestión de datos.
Heterogeneidad digital y predominio de productores con brechas tecnológicas	Se establece una clasificación por niveles de madurez, permitiendo diseñar estrategias diferenciadas según cada productor.
Conectividad móvil extendida, pero con limitaciones de infraestructura y habilidades	Se ofrece un formulario en línea con respaldo físico, garantizando inclusión tanto para productores digitales como rezagados.
Bajo conocimiento y uso de Trazar Agro y tecnologías como RFID	La herramienta mide el nivel de apropiación tecnológica, generando insumos para campañas de socialización y formación.
Adopción impulsada por obligatoriedad legal más que por beneficios percibidos	La propuesta resalta beneficios estratégicos de la trazabilidad, apoyando la comunicación institucional y el cambio de percepción.
Costos y falta de capacitación estructurada como barreras críticas	Se busca identificar brechas específicas que orientan programas de capacitación diferenciados y políticas públicas más realistas.

Uno de los retos centrales que se deben solventar en este punto es determinar qué modelo de madurez resulta más adecuado o puede adaptarse para cumplir con los objetivos de la propuesta. Dada la complejidad de la trazabilidad bovina y el carácter heterogéneo de las PYMPAs, no basta con medir únicamente la dimensión tecnológica; se requiere un enfoque integral que contemple también los aspectos organizativos, culturales y de capacitación, por lo que en el siguiente apartado se explica la escogencia del modelo.

## 5.2. Definición del modelo de madurez

De los distintos modelos de madurez digital revisados en el marco teórico, entre ellos los propuestos por Deloitte, Gartner, Capgemini-MIT, DIGITALEUROPE, FAO-BID con su versión AgroDigital y el CMM, se selecciona el Modelo de Madurez Digital del BID (2020) como la opción más adecuada para orientar este estudio. La elección responde a una serie de razones que combinan pertinencia contextual, la claridad metodológica y viabilidad práctica.

En primer lugar, destaca su pertinencia regional y sectorial. El modelo del BID ha sido aplicado ampliamente en América Latina en instituciones públicas, cooperativas y asociaciones rurales, lo que lo hace especialmente cercano a la realidad costarricense. Además, sus dimensiones de análisis consideran no solo la infraestructura tecnológica, sino también factores relacionados con gobernanza e institucionalidad, marco normativo, talento digital, gestión del cambio, infraestructura y tecnología, y procesos y servicios digitales, elementos importantes en contextos rurales como el de las PYMPAs vinculadas al MAG en Naranjo.

En segundo lugar, el enfoque integral lo diferencia de otros modelos orientados exclusivamente a la dimensión tecnológica. Por ejemplo, el modelo de Gartner enfatiza la progresión en el uso de la tecnología y el de Capgemini-MIT se centra en organizaciones de gran escala, mientras que el BID propone un balance entre la adopción de herramientas digitales y la gestión del cambio organizacional. Esta característica resulta vital, ya que permite evaluar de manera simultánea el estado tecnológico y la capacidad organizacional para sostener procesos de transformación digital, una condición necesaria para garantizar la adopción efectiva de la trazabilidad bovina en pequeños y medianos productores.

Un tercer aspecto para resaltar es su clasificación progresiva y clara. El modelo establece cinco niveles de madurez que facilitan segmentar a los productores según su grado de preparación tecnológica y organizacional, permitiendo diseñar planes de acción diferenciados y realistas. Frente a modelos como el CMMI, cuya robustez técnica los hace complejos y poco accesibles para el sector agropecuario, el enfoque del BID ofrece una metodología más sencilla y práctica para contextos rurales.

Finalmente, se acentúa su aplicabilidad práctica en Costa Rica. El modelo sirvió de base para la herramienta Chequeo Digital, implementada por el MEIC y el MICITT con apoyo del BID, lo cual constituye un antecedente de su uso en el país. Esta experiencia evidencia que el marco metodológico es comprensible para actores locales, reduce barreras de implementación y podría brindar una base para desarrollar un diagnóstico específico en las PYMPAs.

En resumen, frente a otros modelos, el Modelo de Madurez Digital del BID (2020) representa equilibrio entre robustez metodológica, pertinencia regional, viabilidad en el terreno y adecuación al sector agropecuario de nuestro país. Por ello, se plantea como el referente principal para clasificar y orientar el proceso de fortalecimiento digital y organizacional de las PYMPAs en el marco de la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina.

## **5.2 Propuesta de solución**

La clasificación en cinco niveles de madurez del Modelo de Madurez Digital del BID (2020) ofrece un marco para analizar cómo las Pequeñas y Medianas Producciones Agropecuarias (PYMPAs) avanzan gradualmente en su capacidad digital y organizacional. Cada nivel se observa a través de cinco áreas temáticas que actúan como ejes transversales del proceso de transformación: gobernanza e institucionalidad, marco normativo, talento digital y gestión del cambio, infraestructura y tecnología, y procesos y servicios digitales.

La evaluación de madurez usada en este trabajo se establece siguiendo la Guía de Transformación Digital del Gobierno del BID (2020), ampliamente difundida por el propio organismo (BID, 2023), donde se establecen las áreas transversales antes descritas y los niveles de madurez.

**En el Nivel 1 (Básico/Inicial)**, las PYMPAs enfrentan una situación de rezago estructural. En materia de gobernanza, no existe planificación formal y las decisiones se toman de manera reactiva, sin roles diferenciados ni estructuras mínimas de coordinación. En el marco normativo, se desconoce la normativa básica vinculada a la trazabilidad y los registros oficiales. El talento digital y la gestión del cambio son prácticamente inexistentes: predomina la resistencia a adoptar nuevas prácticas y una fuerte dependencia de conocimientos tradicionales transmitidos de manera informal, lo que limita el relevo generacional y la integración de nuevos colaboradores.

En infraestructura y tecnología, el acceso a dispositivos es muy limitado, la conectividad es débil o inexistente y los registros se mantienen exclusivamente en papel. Los procesos y servicios digitales aún no existen, lo que restringe las posibilidades de innovación.

**El Nivel 2 (Emergente/Desarrollado)** en este nivel se inicia un proceso de incorporación tecnológica y organizativa, pero de manera incipiente. En gobernanza, empiezan a aparecer prácticas mínimas de organización interna, aunque todavía no hay visión estratégica ni roles claros. El marco normativo se aborda, parcialmente, con un primer acercamiento a registros y programas oficiales.

El talento digital mejora, pero es tímido, ya que hace uso ocasional de teléfonos inteligentes o herramientas como Excel y WhatsApp, pero aun sin sistematización. Se da una mayor apertura a que otros colaboradores participen en las tareas operativas, aunque todavía no influyen en la toma de decisiones, lo que genera una gestión desequilibrada. En infraestructura tecnológica, se cuenta con dispositivos limitados y conectividad intermitente, lo que restringe el uso constante de plataformas. Los procesos digitales aparecen de manera incipiente, con registros combinados entre formatos manuales y digitales.

**En el Nivel 3 (Definido/Intermedio)**, la transformación digital empieza a consolidarse. En gobernanza, se establecen roles diferenciados y se celebran reuniones periódicas, lo que fomenta una mayor coordinación y confianza en instituciones externas. En el marco normativo, las PYMPAs cumplen de forma más sistemática con requisitos nacionales de trazabilidad y regulaciones sectoriales.

En el área de talento digital, los productores y colaboradores inician procesos de formación en el manejo de datos y reconocen la importancia de la información para la toma de decisiones. La resistencia al cambio disminuye, lo que permite integrar a nuevos colaboradores que aportan ideas frescas y capacidades técnicas, fortaleciendo el relevo generacional. En infraestructura tecnológica, se da un salto con la adopción frecuente de aplicaciones móviles, plataformas digitales y acceso estable a internet. Los procesos digitales se formalizan, abarcando eventos clave de la gestión productiva como vacunaciones o traslados.

**En el Nivel 4 (Integrado/Avanzado)**, las PYMPAs logran una integración más robusta de herramientas tecnológicas y organizacionales. En gobernanza, existe una planificación estratégica formal y se consolidan estructuras organizativas que permiten la distribución clara de responsabilidades, favoreciendo la participación de colaboradores en diferentes niveles de gestión. Este proceso facilita el relevo generacional al abrir espacios de liderazgo a nuevos actores, quienes contribuyen con visiones renovadas. En el marco normativo, se avanza hacia la adopción de estándares nacionales completos y se inicia la preparación para certificaciones internacionales.

El talento digital se fortalece con una cultura de innovación en desarrollo y prácticas de gestión del conocimiento, lo que incluye el almacenamiento y análisis de información para la mejora continua. La infraestructura tecnológica se amplía con el uso rutinario de RFID, aretes electrónicos y plataformas de trazabilidad que permiten integrar datos en la toma de decisiones. Los procesos digitales alcanzan una mayor formalización y los datos se convierten en la base de la generación de indicadores productivos y administrativos.

**Finalmente, en el Nivel 5 (Optimizado/Líder)**, las PYMPAs alcanzan la plena integración digital y organizacional, convirtiéndose en referentes tanto a nivel nacional como internacional. En gobernanza, se consolidan estructuras maduras con procesos estandarizados y un liderazgo sectorial reconocido, capaz de articular alianzas estratégicas en redes globales.

En el marco normativo, estas unidades cumplen y lideran procesos de certificación internacional en ámbitos como sostenibilidad, calidad y bienestar animal, lo que les permite acceder a mercados premium. El talento digital llega a su punto más alto con una cultura de innovación consolidada, un manejo avanzado de conocimientos y una dinámica organizacional que facilita el relevo generacional continuo, integrando a nuevos colaboradores en un ecosistema de innovación y sostenibilidad.

En infraestructura tecnológica, se alcanza la interoperabilidad total de los sistemas, con el uso de blockchain, la nube y la analítica avanzada como soportes para la gestión integral de la producción. En procesos y servicios digitales, se logra un nivel predictivo e interoperable, donde los datos no solo sirven para la gestión interna, sino también para crear modelos de negocio basados en diferenciación, sostenibilidad y valor agregado.

Tomando en cuenta las dimensiones de niveles de madurez y las áreas temáticas antes definidas, se puede crear una tabla resumen que se presente a continuación que integra el tipo de tratamiento según nivel y área temática.

*Tabla 7: Niveles de madurez y tratamientos sugeridos según nivel y dimensión.*

Nivel de madurez	Gobernanza e institucionalidad	Marco normativo	Talento digital y gestión del cambio	Infraestructura y tecnología	Procesos y servicios digitales	Tratamiento general por nivel
1. Básico / Inicial	Ausencia de planificación, roles difusos, decisiones reactivas. Tratamiento: alfabetización organizacional básica.	Desconocimiento de regulaciones. Tratamiento: sensibilización en normativa básica (SENASA, MAG).	Resistencia al cambio, exclusión de mujeres/jóvenes. Tratamiento: programas de inclusión y motivación al cambio.	Sin dispositivos adecuados, conectividad débil. Tratamiento: dotación tecnológica mínima y acceso a internet.	No existen procesos digitalizados. Tratamiento: capacitación en registros digitales básicos.	Tratamiento general: acompañamiento cercano de instituciones públicas, alfabetización digital y organizacional, sensibilización sobre beneficios de la innovación.
2. Emergente / Desarrollado	Prácticas incipientes, sin visión estratégica. Tratamiento: talleres en planificación.	Primer contacto con registros oficiales. Tratamiento: apoyo en trámites y registros.	Uso limitado de tecnología, participación mínima. Tratamiento: liderazgo inclusivo básico.	Uso ocasional de smartphones, Excel. Tratamiento: programas de subsidios para mejorar conectividad y equipos.	Registros digitales incipientes. Tratamiento: estandarización inicial de registros.	Tratamiento general: capacitaciones en plataformas como Trazar-Agro, gestión básica de datos, promoción de liderazgo compartido y motivación de actores diversos.
3. Definido / Intermedio	Roles diferenciados, reuniones periódicas, confianza en instituciones. Tratamiento: fortalecimiento de asociaciones.	Cumplimiento de requisitos nacionales. Tratamiento: preparación para auditorías.	Formación inicial en manejo de datos, apertura al cambio. Tratamiento: capacitaciones avanzadas en gestión digital.	Uso frecuente de apps y plataformas, internet estable. Tratamiento: introducción a sensores y apps de trazabilidad.	Procesos parcialmente digitalizados. Tratamiento: digitalización completa de procesos clave.	Tratamiento general: adopción de tecnologías de trazabilidad, formación en análisis de datos, impulso a la cooperación y a la planificación formal.

4. Integrado / Avanzado	Planificación estratégica formal, inclusión en liderazgo. Tratamiento: planes estratégicos multianuales.	Preparación para certificaciones internacionales. Tratamiento: asesoría en certificaciones de calidad/sostenibilidad.	Cultura de innovación en desarrollo, gestión del conocimiento. Tratamiento: implementación de laboratorios de innovación.	Integración de RFID y plataformas de trazabilidad. Tratamiento: formación en Big Data y analítica.	Procesos basados en datos y generación de indicadores. Tratamiento: optimización de procesos digitales.	Tratamiento general: consolidación de la cultura de innovación, programas de sostenibilidad social y ambiental, preparación para estándares internacionales.
5. Optimizado / Líder	Gobernanza madura, liderazgo sectorial. Tratamiento: fortalecimiento de redes globales.	Certificaciones internacionales en sostenibilidad y calidad. Tratamiento: vinculación con mercados premium.	Cultura innovadora consolidada, liderazgo inclusivo. Tratamiento: mentoría y participación en redes globales.	Interoperabilidad total, blockchain, nube, analítica avanzada. Tratamiento: integración a ecosistemas tecnológicos globales.	Procesos interoperables y predictivos, diferenciación en mercados premium. Tratamiento: desarrollo de modelos de negocio basados en datos.	Tratamiento general: posicionamiento estratégico internacional, alianzas globales, innovación continua en modelos de negocio basados en sostenibilidad y datos.

**5.2. Desarrollo de la solución**

La solución que se plantea busca ofrecer información que sirva de insumo para la toma de decisiones, además del objetivo básico de capturar el nivel de madurez digital y organizacional de cada PYMPA mediante un formulario que se aplica al encargado de la unidad productiva.

Dicho formulario estaría disponible en línea, pero también contaría con un respaldo físico para aquellos productores en un nivel inicial que por su brecha digital necesitan un formulario físico, lo que implicaría que un funcionario pueda posteriormente transcribir la información al formulario digital y de esta manera alimentar una única base de datos.

Toda la información recolectada se consolidaría en un repositorio central que permitiría la generación de un índice de madurez y la identificación de brechas en distintas dimensiones que fueron descritas en párrafos anteriores. Con base en esto, la herramienta orientaría la toma de decisiones tanto a nivel general como individual.

Se usará un google forms, que será usado para recolectar la información de los productores. En los casos donde se requiera trabajar sin conexión, se usaría una versión impresa del formulario en PDF, que posteriormente sería digitalizada por el funcionario correspondiente. Las respuestas se almacenarían en drive, lo que garantizaría un repositorio único de datos. Las preguntas estarán clasificadas según sección o área temática con un número equilibrado de preguntas.

Una vez captada la información se podrá clasificar según una escala de 1 a 5 correspondientes al nivel de madurez:

1 = Básico/Inicial

2 = Emergente/Desarrollado

3 = Definido/Intermedio

4 = Integrado/Avanzado

5 = Optimizado/Líder

Pero además se genera una tabla de calibración, que permitiría al analista de datos colocar un peso relativo mayor o menor según se requiera.

Luego se aplican los siguientes pasos:

Paso 1: Se suman los puntajes de todos los indicadores según área temática, esto da el estado de madurez según tópico.

Paso 2: Se hace un promedio general de todas las áreas, esto da el nivel de madurez global de la PYMPA.

Paso 3: Se compara el resultado con la escala de niveles (1–5) para ubicar la PYMPA.

A partir de esta base de datos, esta se migra a Excel y usando esta herramienta se encargaría de generar tableros dinámicos. Estos tableros incluirían una portada general, análisis desglosado por dimensiones, visualización geográfica en mapas, fichas individuales por productor (consultables mediante número de cédula), así como también propuestas de tratamiento generales para el nivel de madurez e individuales a nivel de productor.

Es necesario aclarar que esta es una propuesta, y será decisión de la organización revisar las licencias y o aplicaciones actuales para homologar y adaptar la solución, el espíritu de este trabajo está en generar los instrumentos que permitan la clasificación de las PYMPAs según madurez no así brindar una solución corriendo, tampoco es el recomendar el uso de un determinado software.

### **5.3. Procedimiento de implementación**

El procedimiento se estructura en cinco fases sucesivas, pensadas para facilitar la adopción del modelo de madurez digital y organizacional en las PYMPAs y garantizar su integración al Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina.

Fase 1. Preparación y sensibilización que busca que los productores estén informados y motivados, con claridad sobre beneficios y compromisos.

1. Campañas de inducción con productores sobre la importancia de la trazabilidad.
2. Talleres iniciales con funcionarios del MAG y SENASA para estandarizar criterios.
3. Creación de material didáctico simple (manuales, infografías, videos).

Fase 2. Captura de datos, que busca crear una base de datos inicial con información estandarizada de cada productor.

4. Implementación de un formulario único en línea, estructurado por dimensiones
5. Opción de formulario físico (PDF) para productores con baja conectividad; transcripción posterior al Forms por funcionarios.

Fase 3. Consolidación y repositorio central (Drive) que busca mantener la información centralizada, un repositorio único y confiable de información sobre madurez.

6. Almacenamiento automático de respuestas en forms
7. Estructuración de columnas: identificación, indicadores por dimensión, puntajes, evidencias, observaciones.
8. Validación de integridad y consistencia de datos (campos obligatorios, control de duplicados).

Fase 4. Análisis y visualización (dashboards) Creación de dashboards con vistas:

9. General: distribución por nivel de madurez, mapa geográfico.
10. Dimensiones: según temas
11. Ficha individual: radar de dimensiones, nivel alcanzado, recomendaciones sugeridas.
12. Casos críticos: lista de productores en nivel 1–2 con alertas de apoyo inmediato.

Fase 5. Retroalimentación y mejora continua.

13. Socialización de resultados con cada productor mediante fichas personalizadas.
14. Diseño de planes de capacitación diferenciados según nivel de madurez.
15. Evaluación periódica (cada 6–12 meses) para medir avance y ajustar la estrategia.

La implementación estará a cargo del MAG; sin embargo, como valor agregado de este trabajo se incorpora un artefacto digital que da solidez a la Fase 4: Análisis y visualización de datos (dashboards).

Este componente busca mostrar de manera práctica el tipo de información que podría reflejarse en el sistema, además de materializar la propuesta conceptual en un producto concreto que facilite la comprensión de la lógica de funcionamiento.

El artefacto tiene, además, el propósito de servir como un apoyo visual que facilite la presentación de la propuesta ante los expertos y la obtención de su retroalimentación. De esta forma, se busca favorecer la comunicación de la lógica de la solución y aportar mayor coherencia y solidez al planteamiento general.

#### 5.4. Plan Piloto

Tomando en cuenta el proceso anterior, es importante que la propuesta que aquí se trabaja tiene un alcance muy definido que tiene que ver con el desarrollo de la lógica para lograr establecer los niveles de madurez y la manipulación de los datos.

Por otro lado, la labor de sensibilización, así como capacitación y o uso de esta herramienta recaen sobre la organización a la cual se le facilitara este estudio.

Por tanto, el plan piloto solo hace operativo y asegura la factibilidad del uso de un modelo de madurez, así como la clasificación de inputs mediante una lógica adaptable que resulte en la ponderación de temas y niveles de madurez, claramente visible mediante dashboards y tablas resumen.

#### 5.5. Pruebas y resultados

Para la etapa de validación de la propuesta, se aplicó la técnica de consulta a experto, con el propósito de verificar la coherencia, pertinencia y aplicabilidad del modelo de madurez digital y de la estrategia.

La sesión se realizó el 30 de octubre de 2025 en la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo, con la participación del Dr. Carlos José Artavia Álvarez, Coordinador Pecuario Regional del MAG, quien actuó como experto evaluador. La reunión se desarrolló según la agenda establecida (**ver Anexo 5F01, Agenda y Minuta**), abarcando la revisión de los siguientes aspectos:

- ✓ Presentación general del proyecto y su alcance.
- ✓ Revisión del proceso de ejecución de la solución propuesta.
- ✓ Evaluación del artefacto (herramienta en Excel) utilizado para medir la madurez digital de las PYMPAs.
- ✓ Análisis de la capacidad institucional y factibilidad de los tratamientos propuestos en la estrategia.
- ✓ Comentarios y conclusiones del experto.

Durante la sesión, el experto validó la consistencia técnica y metodológica del modelo de madurez digital desarrollado, destacando su utilidad como instrumento de apoyo para el seguimiento institucional del MAG. Asimismo, se emitieron observaciones orientadas a fortalecer la claridad de los indicadores y la aplicabilidad de los tratamientos. Estas observaciones fueron incorporadas a la herramienta digital y al diseño de la estrategia final, tal como se evidencia en la versión actualizada del artefacto.

Los principales resultados derivados de la revisión se resumen a continuación:

- ✓ El proyecto presenta un alto nivel de pertinencia institucional, ya que aborda una necesidad real del MAG y del SENASA en la trazabilidad bovina.
- ✓ Se confirma la viabilidad técnica y económica de aplicar la herramienta en campo, dado que la mayoría de las PYMPAs cuenta con acceso a dispositivos móviles y disposición para adoptar tecnologías, además a nivel institucional la propuesta de abordaje se aprecia factible y posible de llevar a la práctica.
- ✓ El experto enfatizó la importancia de fortalecer la cultura digital y la organización interna de las fincas, incluyendo la definición de roles y responsabilidades para asegurar la sostenibilidad del proceso.
- ✓ Finalmente, se acordó compartir los resultados y la herramienta con el MAG una vez concluido el proyecto, para su potencial incorporación en los programas de extensión y asistencia técnica institucional.

El detalle de los comentarios, acuerdos y observaciones se encuentra documentado en el Anexo 5F01 – **Acta de reunión con experto (Agenda y Minuta, 30-10-2025)**, donde consta la firma del evaluador y del investigador. Además, se agrega el currículum del experto que colaboro, para afianzar el resultado ya que se demuestra con este documento la trayectoria de don Carlos que a su vez tiene un cargo alto a nivel regional y del MAG en general. Ver Anexo 6.

## CAPÍTULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO

Este capítulo presenta el análisis financiero con el propósito de determinar la viabilidad económica de la estrategia propuesta para facilitar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en los productores nacionales, específicamente en aquellos registrados en las bases de datos de la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo.

Se parte del supuesto de que, según el nivel de madurez digital y organizacional que presente cada productor, existirá una correspondencia directa con el nivel de inversión requerido. En este sentido, un productor clasificado en un nivel básico o inicial demandará un mayor esfuerzo institucional, más horas de acompañamiento y la aplicación de un número superior de tratamientos, en comparación con aquellos que se ubican en niveles optimizado o líder, donde las intervenciones son más específicas y estratégicas.

Por lo tanto, en este capítulo se exponen los niveles de esfuerzo estimados en términos de horas de capacitación, asistencia técnica y acompañamiento institucional, según los tratamientos definidos para cada fase del modelo de madurez digital. El propósito es cuantificar los costos asociados a la ejecución de dichos tratamientos y, de forma paralela, identificar los beneficios o ahorros esperados que la adopción del sistema generará tanto para los productores como para las instituciones involucradas.

El análisis parte del principio de que la inversión inicial es fundamentalmente de carácter formativo, tecnológico y organizativo, y que los retornos se reflejan en mayor eficiencia, ahorro operativo y reducción de pérdidas dentro de las unidades productivas asociadas al no estar sujetas a la trazabilidad.

Dado que el proyecto integra beneficios de carácter público y privado, se establece un horizonte de evaluación de cinco años. Asimismo, se considera que las tasas de interés para inversiones a plazo en colones oscilan entre el 3,4 % y el 5,9 %, según el periodo de inversión, con base en los certificados de depósito a plazo del Banco Nacional de Costa Rica (2025).

Por tanto, para los efectos de este análisis se adopta una tasa de descuento del 5,9 %, que representa una estimación prudente y actualizada del costo de oportunidad del capital en el contexto financiero nacional.

## 6.2 Supuestos del análisis

*Tabla 8: Supuestos para el análisis financiero.*

Rubro	Supuesto base	Fuente o razonamiento
Costo por hora de capacitación	€11 200 por hora	<p>Según la escala salarial vigente para el personal técnico del MAG, los salarios mensuales para ciertos puestos oscilan en el rango de € 700.000 a € 1.900.000, lo que implica una tarifa horaria teórica de entre € 4.000 y € 11.000.”(Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2025) Por otro lado, de acuerdo con la escala salarial vigente del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), los puestos de Persona Formadora para el Trabajo presentan remuneraciones que oscilan entre €832 084 y €1 431 800 mensuales, correspondientes a una jornada de 35 horas semanales. Con base en estos valores, el salario por hora se estima entre €5 486 y €9 440 (Instituto Nacional de Aprendizaje, s. f.; Procuraduría General de la República, 2025)</p> <p>Con base en las escalas salariales vigentes del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), el costo-hora base del personal técnico y formador se estima en €7 470.</p> <p>Al incorporar las cargas sociales y los pluses institucionales (≈50 %), el costo total por hora asciende a €11 200, valor que se adopta como referencia general para los cálculos financieros del proyecto.</p>
Duración promedio por tratamiento	40 – 120 h según nivel de madurez- se toma como base 100 horas promedio.	Para parametrizar la duración de los procesos de fortalecimiento de capacidades y acompañamiento técnico, se adopta un rango de 40 a 120 horas. Dicho rango se fundamenta en evidencias internacionales que muestran, por un lado, talleres intensivos de 40 horas para desarrollar competencias técnicas específicas (FAO, 2022) y, por otro, cursos completos de 120 horas en iniciativas de cooperación y educación aplicada al sector agroalimentario (FAO, 2016; FAO, 2015). En América Latina, el IICA documenta asimismo procesos de 100 horas de capacitación para grupos y plataformas sectoriales, coherentes con la naturaleza modular y progresiva de la adopción tecnológica en el agro (IICA, s. f.). En consecuencia, este estudio modera el esfuerzo esperado por nivel de madurez con valores de referencia 40 h (nivel 1), 60 h (nivel 2), 80 h (nivel 3), 100 h (nivel 4) y 120 h (nivel 5), ajustables según complejidad tecnológica y disponibilidad institucional.
Cantidad de productores beneficiados	47 PYMPAs	Base de datos de la Agencia de Extensión del MAG Naranjo
Costos indirectos (alimentación, apoyo administrativo, transporte)	15 % adicional sobre costo de capacitación	<p>En coherencia con las prácticas institucionales de la Universidad de Costa Rica (UCR, 2012), los costos indirectos se definen como aquellos gastos de infraestructura, apoyo administrativo y servicios logísticos que no pueden atribuirse directamente a una actividad específica, pero que son indispensables para su ejecución.</p> <p>En este análisis, se adopta un recargo del 15 % sobre los costos directos de capacitación para reflejar estos componentes logísticos, incluyendo alimentación, materiales, transporte y uso de infraestructura, de acuerdo con el criterio establecido en el Manual de Presupuestos para Programas y Proyectos de Vínculo Remunerado de la UCR.</p>
Costo de equipo o software	0	Se parte del supuesto de la existencia de algún dispositivo inteligente que se puede usar por parte de los productores y la existencia de equipos y aplicaciones que dan soporte al artefacto planteado sin la necesidad de incurrir en mayor inversión.
Tasa de descuento	5.9%	Según información del BNCR actualizada al 25-10-2025, según rendimientos de los certificados a plazo.

Cantidad de animales promedio por unidad productiva	de	25 animales	Tomado de base de datos del MAG sin incluir valores extremos.
Horizonte de evaluación	de	5 años	Ciclo medio de programas de innovación y adopción tecnológica

Estos supuestos son consistentes con los parámetros empleados en programas nacionales de fomento a la transformación digital del sector agropecuario (MICITT, BID, 2023).

### 6.3 Estimación de horas e inversión por nivel de madurez

El cálculo de costos se basó en la estimación de horas necesarias para que un productor avance dentro del modelo de madurez digital, considerando las acciones formativas y de acompañamiento definidas para cada tratamiento (T1–T25).

La inversión total incluye los costos directos de capacitación y un 15 % adicional por concepto de costos indirectos, asociados a alimentación, materiales, transporte y apoyo institucional (UCR, 2012).

*Tabla 9: Estimación de costo según niveles de madurez.*

Nivel de madurez	Tipo de intervención	Horas promedio por productor	Costo directo (€)	Costo total (€)
1. Básico / Inicial	Alfabetización digital, sensibilización normativa	40	448 000	515 200
2. Emergente / Desarrollado	Planificación estratégica y liderazgo inclusivo	60	672 000	772 800
3. Definido / Intermedio	Pilotos con sensores y gestión digital intermedia	80	896 000	1 030 400
4. Integrado / Avanzado	Laboratorios de innovación e integración RFID	100	1 120 000	1 288 000
5. Optimizado / Líder	Interoperabilidad global y analítica avanzada	120	1 344 000	1 545 600

Nota:

Costo directo = horas × €11 200/h.

Costo total = costo directo + 15 % de costos indirectos.

Este cálculo representa la inversión promedio necesaria para el desarrollo de competencias técnicas, organizacionales y digitales de las PYMPAs, en correspondencia con el nivel de madurez establecido en el modelo. Los montos incluyen las horas de capacitación, la asistencia técnica personalizada, los materiales de apoyo y los costos logísticos asociados.

No obstante, es importante señalar que el costo unitario por productor podría reducirse de manera significativa mediante la implementación de procesos de formación grupal, particularmente en los niveles iniciales y emergentes. La conformación de grupos de no más de 20 productores permitiría aprovechar mejor los recursos disponibles, distribuir los costos de logística y honorarios institucionales entre varios participantes, y favorecer el aprendizaje colaborativo y el intercambio de experiencias entre productores.

#### 6.4 Identificación de beneficios y ahorros esperados

La implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina digital genera beneficios económicos tangibles tanto para las PYMPAs como para las instituciones públicas responsables de la sanidad y control agropecuario.

Entre los principales efectos se incluyen la reducción de pérdidas sanitarias, la mejora en la eficiencia administrativa y comercial, y el acceso a mercados con mayores márgenes de rentabilidad.

*Tabla 10: Ahorros estimados con la implementación*

Categoría de beneficio	Descripción	Ahorro o incremento anual estimado (€)	Fuente / fundamento técnico
Reducción de pérdidas sanitarias	Disminución de la mortalidad animal en aproximadamente 2 % gracias a un mejor control sanitario y trazabilidad individual. (25 animales × €475 000 × 2 %)	€237 500 por PYMPA → €11 162 500 (47 PYMPAs)	Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Livestock traceability and animal health in Latin America: Lessons from Uruguay and Argentina. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean. Servicio Nacional de Salud Animal. (2024). Reporte anual del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.
Disminución de tiempo administrativo	Reducción del 25 % del tiempo dedicado a registros manuales y elaboración de reportes mediante herramientas digitales. (8 h/mes × 12 meses × €1 667)	€160 000 por PYMPA → €7 520 000 (47 PYMPAs)	Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2024). Informe técnico sobre digitalización de registros productivos y sanitarios en las PYMPAs. Dirección de Extensión Agropecuaria, MAG, San José, Costa Rica.
Mejora en eficiencia comercial	Incremento del 5 % en el precio de venta por certificación de trazabilidad y acceso a mercados diferenciados. (€6 400 000 × 5 %)	€320 000 por PYMPA → €15 040 000 (47 PYMPAs)	Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. (2023). Estudio de mercado de carne bovina costarricense con valor agregado. PROCOMER. <a href="https://www.procomer.com">https://www.procomer.com</a> Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Livestock solutions for climate change. FAO. <a href="https://www.fao.org/livestock-environment">https://www.fao.org/livestock-environment</a>
Reducción de sanciones normativas	Cumplimiento del SNTB y disminución de multas o rechazos por errores administrativos o incumplimiento de normativa sanitaria. (valor fijo estimado)	€64 000 por PYMPA → €3 008 000 (47 PYMPAs)	Servicio Nacional de Salud Animal. (2024). Reporte anual del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.
Total, ahorro anual estimado		€781 500 por PYMPA → €36 730 500 (€36,7 millones)	—

Estas estimaciones se basan en experiencias internacionales de sistemas de trazabilidad bovina en países como Uruguay y Argentina, donde la digitalización ha reducido costos operativos y aumentado la competitividad exportadora (FAO, 2023).

## 6.5 Flujo de caja proyectado y evaluación financiera

El flujo neto de caja se proyecta a cinco años, considerando una inversión inicial durante el año 0 y los beneficios anuales recurrentes desde el primer año de operación.

La inversión inicial total se estima en ¢64 536 000, correspondiente a los costos directos de capacitación (¢52 640 000), los costos indirectos logísticos (¢7 896 000) y la coordinación técnica e institucional del proyecto (¢4 000 000).

Esta inversión permite atender de forma individualizada a las 47 PYMPAs, fortaleciendo sus competencias digitales, organizacionales y de gestión sanitaria en el marco del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina.

Los beneficios anuales recurrentes se estiman en ¢36 730 500, provenientes de la reducción de pérdidas sanitarias (¢11 162 500), la disminución del tiempo administrativo (¢7 520 000), la mejora en la eficiencia comercial (¢15 040 000) y la reducción de sanciones normativas (¢3 008 000).

En la siguiente tabla se presenta el detalle:

*Tabla 11: Flujo de efectivo proyectado a 5 años*

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costos directos (€11 200 × 100 h × 47 PYMPAs)	52 640 000					
Indirectos 15% (logística, materiales, transporte)	7 896 000					
Coordinación y monitoreo	4 000 000					
Total, inversión inicial (A)	€64 536 000					
Reducción de pérdidas sanitarias		11 162 500	11 162 500	11 162 500	11 162 500	11 162 500
Ahorro de tiempo administrativo		7 520 000	7 520 000	7 520 000	7 520 000	7 520 000
Mejora en eficiencia comercial		15 040 000	15 040 000	15 040 000	15 040 000	15 040 000
Menos sanciones normativas		3 008 000	3 008 000	3 008 000	3 008 000	3 008 000
Total, beneficios anuales (B)		36 730 500	36 730 500	36 730 500	36 730 500	36 730 500
Flujo neto (B – A)	-64 536 000	36 730 500	36 730 500	36 730 500	36 730 500	36 730 500
Flujo descontado (5,9%)	-64 536 000	34 682 000	32 752 000	30 920 000	29 183 000	27 538 000
Flujo acumulado descontado	-64 536 000	-29 854 000	2 898 000	33 818 000	63 001 000	90 539 000
Recuperación de la inversión			Años 2 y 3 (~2,1 años)			

Tabla 12: Resumen de indicadores financieros

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Interpretación</b>
Valor Actual Neto (VAN)	₡ 90 539 000	El proyecto es rentable; el valor presente de los beneficios excede los costos.
Tasa Interna de Retorno (TIR)	22 %	Superior a la tasa de descuento, la cual es 5.9%, lo que demuestra un alto ahorro.
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1.45	Por cada colón invertido se obtienen ₡1,45 descontados.
Periodo de recuperación	≈ 2,1 años	La inversión se recupera entre el segundo y el tercer año de ejecución.

## **6..6 Conclusión del análisis financiero**

El análisis financiero demuestra que la estrategia digital de trazabilidad bovina es económicamente viable y socialmente rentable.

Aunque la inversión inicial representa un esfuerzo significativo, su recuperación se logra en poco más de dos años gracias a la reducción de pérdidas, la eficiencia operativa y los beneficios derivados de la digitalización.

Los indicadores financieros VAN positivo, TIR superior a la tasa de descuento confirman la rentabilidad del proyecto y su potencial de escalabilidad.

Tomando lo anterior, la estrategia propuesta no solo representa una inversión rentable, sino también una apuesta estratégica para consolidar la trazabilidad digital, la sostenibilidad ambiental y la transformación tecnológica del sector bovino costarricense.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

La trazabilidad bovina representa un hito en la modernización del sector agropecuario costarricense, al fortalecer la sanidad animal, la inocuidad alimentaria y la competitividad comercial. Sin embargo, su implementación revela importantes brechas tecnológicas, de conectividad y capacidades digitales en las pequeñas y medianas productoras agropecuarias que dificultan una adopción efectiva y sostenible del sistema. Pese a que la adopción de la trazabilidad es obligatoria a partir de febrero 2026 a este punto dos meses antes del límite existen muchos productores indican no conocer los sistemas y tecnología necesaria para adaptarse a este nuevo escenario, lo que revela una posible futura saturación de los servicios de información del MAG y SENASA.

El diagnóstico realizado confirma que la mayoría de las PYMPAs carecen de infraestructura tecnológica y formación suficiente, lo que limita su aprovechamiento de plataformas como Trazar-Agro y tecnologías asociadas (como RFID). Existe una heterogeneidad notoria entre estas unidades productivas lo que manifiesta la importancia de su adecuada categorización mediante los niveles de madurez que se proponen. Esta situación requiere de una estrategia de abordaje adaptada al contexto rural, que combine herramientas accesibles, acompañamiento técnico y fortalecimiento de capacidades locales, según niveles de tratamiento para cada uno de los estratos.

La estrategia y solución propuesta constituye una respuesta práctica y contextualizada, basada en la revisión sistemática de literatura, el diagnóstico empírico y la validación técnica con el MAG. Su diseño centrado en capacitación, digitalización progresiva y gobernanza colaborativa permite visualizar una ruta viable hacia la transformación digital agropecuaria, donde el productor se convierte en actor activo del cambio.

Por otro lado, la sistematización de las etapas de madurez y los tratamientos se convierten en una hoja de ruta para las labores de acompañamiento institucional, por lo que esta solución podría integrarse dentro de los planes estratégicos y anuales para centrar esfuerzos en actividades ordenadas y orientadas a elevar las capacidades de las PYMPAs.

## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda a las jefaturas regionales del MAG, MICITT, fortalecer competencias tecnológicas básicas y uso de Trazar-Agro, usando como base las etapas de madurez y los veinte cinco tratamientos propuestos en este trabajo.

Se recomienda a las agencias del MAG o en este caso específico al encargado de la agencia de Naranjo identificar a los early adopters entre las PYMPAs atendidas en la oficina de Naranjo para que actúen como referentes y agentes de difusión en la adopción de nuevas tecnologías. Estos productores, por su mayor apertura al cambio y disposición al aprendizaje, pueden facilitar la validación de herramientas digitales, reducir la resistencia al cambio mediante la demostración en campo y acelerar la difusión de buenas prácticas a través del aprendizaje entre pares.

Se recomienda a la jefaturas regionales de ICE y otras instituciones como el MICITT establecer un plan anclado a la necesidad de trazabilidad para mejorar la conectividad y acceso a tecnologías en las zonas rurales, priorizando las regiones con mayor concentración de PYMPAs y menor infraestructura digital, mediante alianzas público-privadas, que permitan las condiciones básicas necesarias para adoptar tecnología y apuntar a niveles de madurez donde las PYMPAs no solo logren su sostenibilidad sino apuntar a mercados más exigentes que les puedan ofrecer mejores pagos por sus productos.

Se recomienda a la banca y especialmente a los directores del SBD el establecer incentivos y apoyos financieros para la adopción tecnológica, incluyendo subsidios o créditos blandos para dispositivos RFID, equipos digitales y capacitación, esto incluye redireccionar recursos de la banca de primer piso y fondos administrados por entidades de segundo piso para que los productores afronten con éxito las nuevas exigencias, que al fin de cuentas habilitara una serie de ventajas relacionadas a la trazabilidad animal.

Se recomienda a la dirección general del MAG y de SENASA tomar la batuta y consolidar una gobernanza interinstitucional del sistema de trazabilidad a en un plano practico, que promueva la interoperabilidad de plataformas, el uso ético de los datos y la replicabilidad de la estrategia en otras regiones del país, en otras palabras, identificar roles y responsabilidades de cada institución y amalgamar una única estrategia país donde cada uno reconozca su papel y las articulaciones necesarias para canalizar eficientemente los recursos.

## CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS RETROSPECTIVO

Al concluir este proceso de investigación y aplicación práctica de un modelo de madurez ajustado a la realidad nacional me ha generado mayor experiencia académica, profesional y personal. A lo largo de este proyecto, pude constatar la importancia de articular los conocimientos teóricos adquiridos en la Maestría en Tecnologías de la Información con los desafíos reales que enfrentan las instituciones públicas en el camino hacia la transformación digital, la cual definitivamente esta transversalizada por muchos retos.

Desde la formulación del problema hasta la implementación de la propuesta, comprendí que el éxito de una estrategia tecnológica no depende únicamente de la infraestructura o del software utilizado, sino también de la capacidad institucional y humana para adoptar nuevas prácticas, modificar paradigmas y generar valor a partir del uso inteligente de la información. Entendí que la visión holística y participativa parecen ser claves dentro de cualquier proceso de transformación digital, y para esto definitivamente es necesario de desprendernos de egoísmos para co-trabajar, ya que muy poco podríamos hacer si se buscan resultados desde el individualismo.

En lo personal, este proceso me permitió reafirmar mi compromiso con la innovación tecnológica aplicada al desarrollo rural y al sector agropecuario. Elaborar una solución para la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina me llevó a dialogar con productores, técnicos e instituciones, lo que amplió mi perspectiva sobre las brechas tecnológicas que persisten fuera del Gran Área Metropolitana (fenómeno centro-periferia). Este contacto directo con la realidad productiva del país me permitió transformar la investigación en una herramienta que podría provocar impacto social, enfocada en la sostenibilidad y en la equidad digital.

Una de las principales enseñanzas del proceso fue comprender que la definición del título y de los objetivos en la etapa de planificación no constituye un documento inamovible, sino un punto de partida que puede ajustarse conforme el proyecto incorpora nuevos insumos y evidencia. Ese fue precisamente el caso de mi trabajo: inicialmente se planteó como el diseño de una estrategia digital; sin embargo, el diagnóstico reveló que antes de implementar una estrategia digital era necesario establecer el punto de partida, es decir, determinar la capacidad real de las organizaciones para adoptar la trazabilidad. Como resultado, el diseño de la estrategia

evolució y terminó transformándose en un proceso de clasificación y determinación de madurez, lo cual permitió fundamentar adecuadamente cualquier acción futura.

## REFERENCIAS:

- Askyazi. (2023, 12 de junio). *Survey response rates: A complete guide to NPS and post-interaction feedback*. <https://www.askyazi.com/articles/survey-response-rates-a-complete-guide-to-nps-and-post-interaction-feedback>
- Azril, M. S., Khairuddin, I. M., & Othman, M. S. (2020). Systematic literature review in social science: From methodology to practices. *Journal of Critical Reviews*, 7(9), 303–309. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.09.51>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020). *Guía de transformación digital del gobierno*. BID. <https://publications.iadb.org>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2021). *Trazabilidad agropecuaria: Avances y desafíos en América Latina*. <https://www.iadb.org>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023, abril 6). ¿Cuáles son los 5 ejes para la transformación digital del gobierno? *Blog del BID*. <https://blogs.iadb.org>
- Banco Nacional de Costa Rica. (2025). *Tasas de interés vigentes para cuentas de ahorro e inversiones a plazo*. <https://www.bncr.fi.cr>
- Bentancor, A., Piaggio, J., & Buffa, M. (2019). *Evaluación del impacto del sistema de trazabilidad en la cadena cárnica uruguaya*. Instituto Nacional de Carnes (INAC).
- Cardoen, S., Van Huffel, X., Berkvens, D., Huygens, H., & Uyttendaele, M. (2015). Risk-based food safety management: An overview of the standards and guidelines. *Food Control*, 50, 328–341. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.027>
- Chaffey, D., & White, G. (2019). *Digital business and e-commerce management* (7.<sup>a</sup> ed.). Pearson Education.
- Compagnucci, L., & Spigarelli, F. (2020). The Third Mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120284. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
- Consejo Nacional de Producción (CNP). (2023). *Informe del sector agropecuario costarricense*. San José, Costa Rica.

- Contact Center Pipeline. (2023, 5 de julio). *WhatsApp-ening with surveys*. <https://www.contactcenterpipeline.com/Article/whatsapp-ening-with-surveys>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT. (2024). *Reglamento para la identificación y trazabilidad bovina*. *La Gaceta* No. 45.
- Dubois, A., & Gadde, L. E. (2002). Systematic combining: An abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, 55(7), 553–560. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00195-8](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00195-8)
- ECLAC. (2020). *Digital technologies for a new future*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org>
- European Commission. (2020). *Food traceability and food safety*. <https://ec.europa.eu/food>
- FAO. (2006). *Codex Alimentarius: Principles for Traceability/Product Tracing as a Tool within a Food Inspection and Certification System*. FAO/OMS.
- FAO. (2017). *Developing a National Livestock Identification and Traceability System*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Beef cattle traceability systems: Case studies in Latin America*. <https://www.fao.org>
- FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fei, J., Wolff, J. S., Hotard, M., Ingham, H., Khanna, S., Lawrence, D., ... Hainmueller, J. (2020). *Automated chat application surveys using WhatsApp: Evidence from panel*

*surveys and a mode experiment*. IZA Institute of Labor Economics.

<https://docs.iza.org/dp15263.pdf>

- Fischer, A. R., van Trijp, H. C., Hofenk, D., & de Klerk, E. (2019). Transparency in the food chain: A consumer-based perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.007>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Final evaluation of the project “Education for Effective Nutrition in Action (ENAF)”*. FAO. <https://openknowledge.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016, March 21). *Program of Brazil–FAO International Cooperation: Course announcement*. FAO. <https://www.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022, November 10). *Strengthening digital soil mapping capacities in Rwanda*. FAO. <https://www.fao.org>
- García-Torres, S., López-Gajardo, A., & Mesías, F. J. (2016). Intensive vs. free-range organic beef: A preference analysis. *Meat Science*, 114, 114–120.
- Gartner. (2019). *Digital business transformation: A framework for digital maturity*. Gartner Inc.
- GODAN. (2020). *Digital and data-driven agriculture*. Global Open Data for Agriculture and Nutrition. <https://www.godan.info>
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the U.S. food supply: Economic theory and industry studies*. United States Department of Agriculture (USDA). <https://www.ers.usda.gov>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2019). *Informe anual 2019*. <https://www.iica.int>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2020). *Perfil de agricultura digital: Costa Rica*. IICA.

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). *Transformación digital e innovación para el agro*. IICA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (s. f.). *Planificación del desarrollo agrario y rural* [Informe]. <https://repositorio.iica.int>
- Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). (s. f.). *Escala de sueldos actualizada (RAS-LMEP)* [PDF]. Recuperado el 25 de octubre de 2025, de <https://www.ina.ac.cr/transparencia>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022*. <https://www.inec.cr>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 14, 1–25.
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.
- Lecy, J. D., & Beatty, K. E. (2012). Representative literature reviews using snowball sampling. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1992606>
- Ley N.ª 8495. *Ley General del Servicio Nacional de Salud Animal*. Asamblea Legislativa de Costa Rica.
- López-Cózar, E. D., Robinson-García, N., & Torres-Salinas, D. (2019). The Google Scholar experiment: How to index false papers and manipulate bibliometric indicators. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(3), 446–454. <https://doi.org/10.1002/asi.23056>
- Márcio, A. A., Cavalcanti, L., & Melo, L. (2016). A systematic literature review: A guide for researchers. *Revista de Administração da UFSM*, 9(3), 538–554. <https://doi.org/10.5902/1983465918403>
- MICITT. (2020). *Diagnóstico nacional sobre conectividad y acceso a tecnologías digitales en zonas rurales de Costa Rica*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.

- MIDEPLAN. (2021). *Informe de avance del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2015). *Estrategia de extensión agropecuaria*. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Reseña histórica del Ministerio*. <https://www.mag.go.cr>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2021). *Política para el desarrollo del sector agropecuario costarricense*. <https://www.mag.go.cr>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). *Política para el desarrollo del sector agropecuario 2022-2030*. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2025). *Relación de puestos de cargos fijos para el año 2025* [PDF]. Hacienda de Costa Rica. [https://www.hacienda.go.cr/docs/Ley2025\\_RP207.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/Ley2025_RP207.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – Agencia de Naranjo (MAG-Naranjo). (2023). *Informe de gestión local*. Agencia de Extensión Agropecuaria Naranjo, Dirección Regional Central Occidental.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Morgan, D. L. (2007). Paradigms lost and pragmatism regained: Methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 48–76. <https://doi.org/10.1177/2345678906292462>
- MPI. (2020). *NAIT scheme review*. Ministry for Primary Industries, New Zealand.
- Nepstad, D., McGrath, D., Stickler, C., Alencar, A., & Carvalho, O. (2020). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*, 344(6188), 1118–1123. <https://doi.org/10.1126/science.1248525>

- OECD. (2019). *Going digital: Shaping policies, improving lives*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264312012-en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Transformación digital en la agricultura familiar de América Latina*. <https://www.fao.org>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2021). *Terrestrial Animal Health Code – Identification and traceability of live animals*. <https://www.oie.int>
- Procuraduría General de la República. (2025). *Ley Orgánica del Instituto Nacional de Aprendizaje (texto vigente)*. Sistema Costarricense de Información Jurídica (SCIJ). <https://pgrweb.go.cr>
- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). (2023). *Perfil del sector cárnico costarricense*. <https://www.procomer.com>
- 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>
- Rivera, W. M., & Sulaiman, R. V. (2009). Extension: Object of reform, engine for innovation. *Outlook on Agriculture*, 38(3), 267–273.
- Rodríguez, D., León, L., & Salazar, C. (2020). TIC y trazabilidad bovina en América Latina: Retos para una integración efectiva. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 45–59.
- Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4th ed.). SAGE Publications.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research methods for business students* (8th ed.). Pearson Education Limited.

- Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2022). *Sistema de trazabilidad para bovinos en Argentina*. <https://www.argentina.gob.ar/senasa>
- Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2023). *Situación actual de la trazabilidad bovina en Costa Rica*. <https://www.senasa.go.cr>
- Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2024a). *Preguntas frecuentes sobre el Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina*. <https://www.senasa.go.cr>
- Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2024b). *Sistema Nacional de Identificación y Rastreabilidad Bovina*. <https://www.senasa.go.cr>
- Stake, R. E. (2005). *The art of case study research*. SAGE Publications.
- Timmermans, S., & Tavory, I. (2012). Theory construction in qualitative research: From grounded theory to abductive analysis. *Sociological Theory*, 30(3), 167–186. <https://doi.org/10.1177/0735275112457914>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Universidad de Costa Rica. (2012). *Manual de presupuestos para programas y proyectos de vínculo remunerado*. Vicerrectoría de Acción Social. [https://econtinua.eie.ucr.ac.cr/media/portada/Archivo/img/20180620\\_11271529515640\\_Manual\\_Presupuestos\\_2012.pdf](https://econtinua.eie.ucr.ac.cr/media/portada/Archivo/img/20180620_11271529515640_Manual_Presupuestos_2012.pdf)
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- World Bank. (2017). *ICT in agriculture: Connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions*. World Bank.

- Zilberman, D., Gordon, B., Hochman, G., & Wesseler, J. (2019). Innovation and technology adoption in agriculture: Insights from economic theory. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 41(1), 55–79.
- Zúñiga, A. (2021, 5 de octubre). *WhatsApp: An indispensable utility for Costa Ricans*. *The Tico Times*. <https://ticotimes.net/2021/10/05/whatsapp-an-indispensable-utility-for-costa-ricans>

## GLOSARIO

Término	Definición resumida	Ubicación / Página aproximada en la tesis
Abducción	Razonamiento que combina inducción y deducción para generar hipótesis explicativas a partir de observaciones empíricas.	Capítulo 3 – Metodología, pág. 84–86
Adopción tecnológica	Proceso de incorporación de tecnologías en organizaciones o individuos, influido por percepciones, cultura y estructuras.	Capítulo 3.3, págs. 60–63
Análisis de brechas digitales	Identificación de desigualdades en el acceso y uso de tecnologías, para orientar estrategias de inclusión digital.	Sección 3.1.2, págs. 50–52
Cultura digital	Conjunto de valores y competencias compartidas que determinan cómo las personas usan y se benefician de la tecnología.	Mencionada en el marco teórico y en el contexto de transformación digital (Cap. 2 y 3), pág. 43 aprox.
Ecosistema digital agropecuario	Conjunto de actores, plataformas e infraestructuras tecnológicas que impulsan la digitalización del sector agropecuario.	Capítulo 2 – Marco teórico, sección sobre transformación digital agropecuaria, pág. 36 aprox.
Gobernanza digital	Estructuras y procesos que garantizan la transparencia y coordinación en la implementación de tecnologías en el sector público.	Referida en niveles de madurez digital (sección 3.1.3 y matriz de gobernanza), págs. 54–56
Identificación animal	Asignación de un código único (como un arete RFID) a cada bovino para registrar sus movimientos y estado sanitario.	Capítulo 2 – Marco teórico sobre trazabilidad, pág. 40 aprox.
Interoperabilidad	Capacidad de diferentes sistemas tecnológicos de intercambiar información de forma eficiente y segura.	Capítulo 4 – Propuesta de estrategia digital, pág. 97 aprox.

Metodología mixta	Enfoque de investigación que integra métodos cuantitativos y cualitativos para una comprensión integral del fenómeno.	Capítulo 3 – Diseño metodológico, pág. 88 aprox.
Modelo UTAUT	<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i> . Explica la adopción tecnológica según factores sociales y de desempeño.	Capítulo 3.2.1, pág. 63
PRISMA	Protocolo internacional para revisiones sistemáticas que garantiza rigor y transparencia metodológica.	Capítulo 3.5 – Estrategia metodológica, págs. 90–92
SENASA	Servicio Nacional de Salud Animal, encargado de la sanidad animal y trazabilidad bovina en Costa Rica.	Capítulo 2 – Marco institucional del SNITB, pág. 42 aprox.
Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina (SNITB)	Plataforma del SENASA que registra la identificación, ubicación y movimientos de los bovinos en Costa Rica.	Capítulo 2 – Marco conceptual, págs. 39–41
Validación de expertos	Procedimiento mediante el cual especialistas evalúan la coherencia y aplicabilidad de una propuesta o instrumento.	Capítulo 5 – Validación de la estrategia, pág. 105 aprox.
Vigilancia tecnológica	Observación y análisis sistemático de información científica y técnica para anticipar tendencias y apoyar decisiones.	Capítulo 4 – Propuesta de estrategia digital, pág. 100 aprox.

## ANEXOS

Anexo 1: DIIO, Dispositivo de identificación individual oficial, con tecnología RFID (Radio Frequency Identification) a la izquierda y lector portátil USB/ Bluetooth - Derecha



Fuente: <https://gentradecostarica.com/tienda-identificacion-electronica-ganaderia/>

Anexo 2: Plataforma Online Trazar-agro página de ingreso



Fuente: <https://trazaragro.oirsa.org/?lang=es-CR>

## Anexo 3. infografía resumen Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT

### RESUMEN DECRETO EJECUTIVO N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT

Creación del Sistema Nacional de Identificación Individual y Rastreabilidad del Ganado Bovino



#### OBJETIVOS

- Mejorar la sanidad animal y la inocuidad alimentaria.
- Fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la ganadería.
- Mejorar el control ante el robo y contrabando de animales.

#### COMPONENTES DEL SISTEMA

**Identificación Individual**  
→ Cada bovino debe ser identificado de manera única mediante dispositivos oficiales aprobados por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA).

**Registro de Establecimientos**  
→ Todos los establecimientos que crén, comercialicen o transformen ganado deben estar registrados en el sistema de SENASA.  
→ Es obligatorio contar con un Certificado Veterinario de Operación que valide que el establecimiento cumple con los requisitos establecidos por la ley.

**Registro de Movimientos y Eventos Sanitarios**  
→ Seguimiento detallado de cada animal.



#### REQUISITOS TECNOLÓGICOS

- Plataforma digital (Trazar-Agro)
- Aplicación móvil, interfaz web
- Lectores de DIIO, archivos digitales

#### RESTRICCIONES

- Prohibición de comercialización de bovinos que no cuenten con identificación y registro oficial.
- Restricción a establecimientos no registrados para participar en la cadena de producción y comercialización.
- Sanciones para quienes incumplan con la normativa establecida.

#### IMPORTANCIA NACIONAL E INTERNACIONAL

- A nivel nacional, el sistema contribuye a la mejora de la seguridad sanitaria, garantizando la calidad de los productos ganaderos y protegiendo la salud pública.
- A nivel internacional, al cumplir con los estándares de trazabilidad, Costa Rica asegura el acceso a mercados de exportación y fortalece su reputación como proveedor confiable de productos cárnicos.

Este decreto es una herramienta fundamental para la modernización del sector ganadero en Costa Rica, ya que establece un sistema de trazabilidad que permite mejorar el control sanitario, la competitividad en los mercados internacionales y la transparencia en la cadena de producción y comercialización del ganado bovino.

Fuente: elaboración propia con información del Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT

## Anexo 4. infografía proceso de transformación digital.



Fuente: elaboración propia.

## Anexo 5: Preguntas frecuentes sobre el sistema de trazabilidad bovina.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA** | **GOBIERNO DE COSTA RICA**

### PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

#### ¿QUÉ ES LA TRAZABILIDAD Y CUÁL ES SU IMPORTANCIA?

La trazabilidad consiste en seguir el rastro de un animal durante todas las etapas de su vida. Es una herramienta indispensable para que las autoridades oficiales y actores de las cadenas de valor puedan conocer con certeza el origen, el destino y principalmente el manejo de los animales, plantas, productos y subproductos de origen agroalimentario. Permite la posibilidad de ofrecer a los consumidores datos relevantes de la producción y así poder acceder y mantenernos en mercados más exigentes. Como país nos hemos propuesto incursionar en mercados de mucho valor como el europeo y la trazabilidad es uno de los requisitos obligatorios.

#### ¿EN QUÉ CONSISTE EL SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA DE COSTA RICA?

El Sistema Nacional de Identificación Individual y Rastreabilidad del Ganado Bovino está integrado por los siguientes elementos constitutivos:

- El registro de los establecimientos
- La identificación y registro individual de ganado bovino
- El registro de movimientos del ganado bovino.

#### ¿CUÁL ES LA AUTORIDAD COMPETENTE QUE REGULARÁ EL SISTEMA DE TRAZABILIDAD BOVINA?

La autoridad competente es el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), según la ley 8495 y el Decreto 44336-MAG-S-SP-MOPT.

#### ¿CUÁLES BENEFICIOS OFRECE EL SISTEMA DE TRAZABILIDAD BOVINA AL SECTOR AGROPRODUCTIVO Y AL PAÍS EN GENERAL?

- Un mejor control en la sanidad animal a través de la vigilancia y notificación de enfermedades de declaración obligatoria, detección y control de enfermedades y programas de vacunación.
- Un mejor control en la salud pública mediante la vigilancia y control de las enfermedades zoonóticas y de la inocuidad de los alimentos.
- Una mejor gestión de las emergencias causadas por catástrofes naturales o incidentes debidos a intervenciones humanas.
- Efectos muy positivos en la imagen internacional en la competitividad y la transparencia del negocio en los países que han implementado la rastreabilidad individual.
- Acceso a mercados de exportación rigurosos como el mercado de la Unión Europea.
- Una mejora en la capacidad del Estado en la seguridad ante el hurto, contrabando, y robo de animales.
- Una mejora en la gestión por parte de los productores en diferentes aspectos; como por ejemplo, rendimiento del animal y datos genéticos y reproductivos del hato.

**PARA MAYOR INFORMACIÓN O ASISTENCIA AL USUARIO**

7071 5688 - 7071 5689 | [trazabilidad@cirsa.org](mailto:trazabilidad@cirsa.org)

**SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA**



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

### ¿CUÁNDO INICIA EL PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE ANIMALES Y HASTA CUÁNDO SE EXTENDERÁ?

El proceso iniciará a partir del mes de agosto y será realizado por el personal técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG, (Servicio Nacional de Salud Animal, SENASA, y Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria, DNEA) del INTA, del INDER, y personal autorizado y oficializado por el SENASA. Esta etapa se realizará desde agosto del 2024, hasta el 30 de enero de 2026, y tendrá una duración de 18 meses.

### ¿TODAS LAS FINCAS GANADERAS SE DEBEN INTEGRAR AL SISTEMA, SIN IMPORTAR SU TAMAÑO?

Toda aquella finca que cuente con bovinos y bufalinos deben integrarse al Sistema de Identificación Individual y Rastreabilidad del Ganado Bovino. Todo bovino debe de ser identificado y registrado oficialmente en los plazos que define este decreto. Se prohíbe la movilización y el transporte por vías públicas, la comercialización, la exhibición o exposición, el sacrificio del ganado bovino, o cualquier forma de tenencia, que no se encuentre identificado y registrado oficialmente en los plazos que define este reglamento. El incumplimiento de esta obligación faculta al SENASA a aplicar las medidas sanitarias que autoriza la Ley General del Servicio Nacional de Salud Animal, Ley N° 8495, del 6 de abril del 2006. Se exceptúan de esta exigencia los terneros de descarte de las lecherías que sean movilizados con destino a matadero, y los machos de engorde que antes o al cumplirse los 18 meses vayan a ser faenados en alguna planta de sacrificio.

### ¿CÓMO FUNCIONA EL CERTIFICADO VETERINARIO DE OPERACIÓN (CVO) EN EL SISTEMA? ¿ES NECESARIO TENERLO PARA ACCEDER AL SISTEMA DE TRAZABILIDAD?

Sí, todo establecimiento de producción primaria, comercialización, transporte, transformación o cualquier otro tipo de establecimiento donde se ubique ganado bovino de forma permanente o temporal, debe de contar con Certificado Veterinario de Operación emitido por el SENASA.

### ¿SOLO SE PODRÁ USAR EL ARETE COMO IDENTIFICADOR OFICIAL O ES POSIBLE UTILIZAR OTRO DISPOSITIVO?

Solamente se podrá utilizar el "Dispositivo de Identificación Individual Oficial, DIIO". Estos deberán estar registrados en la base de datos oficial del Sistema Nacional de Identificación Individual y Rastreabilidad del Ganado Bovino. El dispositivo de identificación individual oficial (DIIO) consta de dos piezas: un arete visual tipo paleta/bandera que debe ser colocado en la oreja izquierda y otro tipo botón con el dispositivo RFID (chip) que se coloca en la oreja derecha.



PARA MAYOR INFORMACIÓN O ASISTENCIA AL USUARIO



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

### ¿QUÉ PASA SI MIS ANIMALES YA CUENTAN CON UN DISPOSITIVO IDENTIFICADOR?

Solamente se considerarán oficialmente identificados y registrados aquellos animales que cuenten con el “Dispositivo de Identificación Individual Oficial” (DIIO) completo. Este dispositivo debe contener en su secuencia numérica el número 188, este es el código ISO 3166-1 para Costa Rica. Cualquier otro dispositivo que el propietario use en sus animales es su decisión si lo desea conservar, pero debe portar el dispositivo oficial también.

### ¿CÓMO FUNCIONARÁN LAS GUÍAS DE MOVILIZACIÓN? ¿SEGUIRÁ USÁNDOSE LAS GUÍAS FÍSICAS?

Se estará migrando a las guías digitales de movilización, conforme se vayan visitando las fincas y se incluyan sus animales dentro del Sistema de la plataforma Trazar-Agro. Estos propietarios responsables pueden utilizar las guías digitales de movilización, las cuales se podrán generar desde distintos dispositivos electrónicos, como computadoras, tabletas, celulares, un centro de asistencia telefónico o bien acercarse a las oficinas regionales de SENASA. Las guías físicas se podrán usar siempre y cuando se solicite una autorización al centro de atención o mediante uso de la plataforma Trazar-Agro C.R. hasta su existencia.

### ¿QUIÉNES SON LAS PERSONAS AUTORIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EL REGISTRO DE LOS BOVINOS?

La identificación y el registro oficial del ganado bovino, así como la reidentificación o reemplazo de alguno de los identificadores en animales previamente identificados, se realizará por parte de los funcionarios del MAG o por terceros oficializados por el SENASA para estos fines, Dentro de empresas con la Dos Pinos, Cámaras de ganaderos, asociaciones de criadores y almacenes Agro-veterinarios. Tendrán sus técnicos oficializados que pueden realizar este tipo procedimiento a sus asociados o de forma privada.

### ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENEN LOS DISPOSITIVOS DE IDENTIFICACIÓN?

El DIIO cuenta con dos componentes: uno visual y otro electrónico. Ambos componentes conforman un par unívoco e irrepetible con un CIIO único. El componente visual lo conforma un crotal o arete tipo paleta de dos piezas (hembra y macho) y el componente electrónico estará constituido por un transpondedor RFID inserto en un crotal o arete tipo botón de dos piezas (hembra y macho). Ambas piezas de cada componente se acoplan por medio de un mecanismo de cierre que impide la separación de las piezas y la reutilización de los dispositivos o sus piezas.



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

### ¿CÓMO SE CONSIGUEN LOS DISPOSITIVOS DE IDENTIFICACIÓN?

Se pueden comprar directamente de los proveedores autorizados por el SENASA a nivel nacional o en distribuidores autorizados como almacenes agro-veterinarios, cámaras de ganaderos y otros, o bien en las oficinas regionales del SENASA. La lista de entes autorizados se publica en la página del SENASA ([www.senasa.go.cr](http://www.senasa.go.cr)), en el siguiente enlace:

file:///C:/Users/jkart/Downloads/PN-RAS-PG-001-  
RE002%20v01%20Distribuidores%20autorizados%20de%20DII0%20Dicie  
bre%202021.pdf

### ¿DÓNDE PUEDO ADQUIRIR LOS ARETES?

Hay dos marcas autorizadas a nivel nacional, DATAMAX, representada por Genra de Costa Rica; y ALLFLEX, representada por Agro-insumos Veterinarios S.A.. Existen otros distribuidores autorizados en todo el país, también las oficinas regionales de SENASA contarán con disponibilidad de aretes para las personas ganaderas. El costo de los dispositivos es aproximadamente de menos de \$2 (dólares)

### ¿EL PRODUCTOR PUEDE COLOCAR ÉL MISMO LOS DISPOSITIVOS IDENTIFICADORES?

No, la colocación o sustitución de los componentes del DII0 solo podrá realizarse por medio de funcionarios oficiales u oficializados. Una vez finalizado el barrido nacional de la identificación, el productor que tenga las condiciones y medios podrá capacitarse para hacerlo, pero únicamente para su establecimiento.

### ¿QUIÉN ASUME EL COSTO DE LOS DISPOSITIVOS IDENTIFICADORES?

El propietario o responsable que tenga más de 25 animales debe asumir el precio de costo del DII0; también con los animales que deban ser reidentificados, o cuando sea necesario reemplazar alguno o los dos componentes del DII0. En una primera etapa, se les estará brindando de forma gratuita, con apoyo del INDER, a todas aquellas personas ganaderas que cuenten con MENOS DE 25 CABEZAS DE GANADO y que sean personas físicas. Las personas jurídicas que posean menos de 25 animales, deben de adquirir los dispositivos por su cuenta.



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

### ¿QUÉ PASA SI SE DAÑA O SE PIERDE EL ARETE?

Los responsables de las fincas, subastas ganaderas, ferias o exposiciones ganaderas, redondeles, o cualquier otro tipo de establecimiento donde se mantenga ganado bovino, están obligados a notificar al SENASA, en un plazo no mayor de cinco días hábiles sobre la pérdida o deterioro de cualquiera de los componentes del DIIO, para su respectiva sustitución. El plazo indicado correrá a partir del día siguiente hábil de acaecida la pérdida o deterioro del componente del DIIO.

### ¿EL ARETE PUEDE REUTILIZARSE?

No, los dispositivos no se pueden reutilizar. Su mecanismo de cierre viene confeccionado para dañarse al removerse y el país debe garantizarle al sistema de rastreabilidad internacional que un número no se repetirá en por lo menos 30 años.

### ¿QUÉ PASA CON LAS FINCAS QUE YA TIENE "BOLO" EN GRAN PARTE DEL GANADO?

No hay ningún problema porque la información ya está registrada en el sistema, simplemente si la información se encuentra actualizada se puede migrar en su totalidad a la nueva plataforma TrazarAgro y continuar gestionado los datos desde esta plataforma.

### ¿HAY ALGÚN PROCEDIMIENTO PARTICULAR PARA CUÁNDO NACE UN TERNERO?

Todo bovino que nazca deberá de ser identificado y registrado en un plazo no mayor de 6 meses desde la fecha de su nacimiento, o al momento de su primer movimiento, si este se realiza antes los 6 meses de edad.

### ¿CÓMO SE LLEVARÁ A CABO EL REGISTRO DE LA INFORMACIÓN DE CADA BOVINO? ¿EN QUÉ PLATAFORMA SE REGISTRARÁN LOS DATOS?

Se realizarán en la plataforma **Trazar-Agro**, usando una interfase Web; por medio de aplicaciones móviles; por medio de archivos digitales generados por transceptores o lectores RFID o por cualquier otro medio que el SENASA habilite para ese fin. Se pueden usar computadores, teléfonos celulares, tablet

### ¿SI TENGO ANIMALES EN TERRENO ALQUILADO, Y LA PROPIEDAD NO ESTÁ INSCRITA, APLICARÍA PARA EL PROGRAMA DE TRAZABILIDAD BOVINA?

Sí, se hará un pre-registro en el Sistema Integrado de Registro de Establecimientos Agropecuarios (SIREA) y se le dará tiempo para completar los requisitos faltantes según sea el caso.



## PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE SISTEMA NACIONAL DE TRAZABILIDAD BOVINA Y BUFALINA

### ¿EL PEQUEÑO PRODUCTOR, QUE NO TIENE REGISTRADO UN FIERRO O FINCA, PUEDE APLICAR PARA EL SISTEMA?

Sí puede, ya que todo propietario de ganado bovino debe cumplir con lo establecido en el Decreto 44336. No obstante, debe cumplir primero con todos los requisitos necesarios para su inscripción en el SENASA, incluyendo el registro de marca (fierro).

Es importante recordar que la marca de ganado (fierro) es el único medio legal que le asigna la propiedad del animal al ganadero.

### ¿QUÉ PASA CON UN ANIMAL DEBIDAMENTE IDENTIFICADO CUANDO SE VENDE? ¿CÓMO SE PROCESA LA INFORMACIÓN DEL CAMBIO DE DUEÑO?

Cuando un animal se vende, se debe generar su respectiva guía de movilización con los datos completos. Con esto, la plataforma Trazar-Agro CR realiza la actualización de los inventarios en forma automática, tanto del origen como del destino. Este proceso se realiza a la media noche del día siguiente, después del vencimiento de la guía de movilización (24 horas). También el productor puede ingresar a la plataforma trazar-Agro y realizar tanto la salida como ingreso de animales de su establecimiento en el momento en que se genera, de no realizarse de forma el sistema lo hará en forma automática.

### ¿EL SISTEMA DE TRAZABILIDAD SE APLICARÁ A OTRAS ESPECIES, COMO EQUINOS, PORCINOS U OTROS?

En la primera etapa, el sistema de trazabilidad aplica únicamente para bovinos y bufalinos. Pero se aplicará también a otras especies conforme las actividades lo requieran.

### ¿EL PRODUCTOR TIENE ACCESO AL SISTEMA O ALGUNA APLICACIÓN DE MONITOREO?

Sí, el productor podrá tener acceso, pero a su información únicamente. Este acceso se otorgará mediante la generación de un usuario y una clave de ingreso a la plataforma **Trazar-Agro**.

### ¿CÓMO SE GARANTIZA LA SEGURIDAD DE LOS DATOS?

Trazar-Agro es una plataforma de uso oficial, en la que, desde su concepción y desarrollo, se ha priorizado la confidencialidad en el manejo de los datos. Se tienen servicios adquiridos con los más altos estándares de seguridad para garantizar la seguridad de los datos para esto se tienen contratados los servidores de AWS con todas sus funcionalidades de seguridad.

# Anexo 6: Minuta y agenda reunión de trabajo con experto.

## SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD FORMULARIO 5F01



### Agenda Minuta

REUNIÓN N°

Coordinador:

**Tema de la Reunión:**

Revisión según criterio experto sobre del diseño de una estrategia digital para apoyar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en PYMPA, basado en niveles de madurez, para el proyecto del Dr. Sebastian Rojas Calvo

<b>Fecha de la Reunión:</b>	<b>Hora de Inicio:</b>	<b>Hora de Fin:</b>	<b>Lugar de Reunión</b>
30-10-2025	10:00 am	12:10 pm	Oficina del MAG Naranjo - Alajuela

Asuntos a Tratar: (Agenda previa de lo que se tratará en la reunión)

1. Presentación del proyecto a cargo de Sebastian Rojas Calvo
2. Revisión y comentarios del experto sobre proceso de ejecución de la solución
3. Revisión y comentarios del experto sobre la herramienta o artefacto y su alcance
4. Revisión y comentarios del experto sobre la capacidad institucional y factibilidad de los tratamientos
5. Comentarios finales

Invitados:			
Nombre	Dependencia	Correo Electrónico	Asistió (Si/No) <sup>1</sup>
Dr. Carlos José Artavia Alvarez	Coordinador Pecuario Regional	cartaviaa@mag.go.cr	Si
Dr. Sebastian Rojas Calvo	Estudiante MATI - UNA	Sebastian.rojascalvo@ucr.ac.cr	SI

**Asuntos Tratados:**

Se trataron los puntos de la agenda, descritos anteriormente

**SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD**  
FORMULARIO 5F01



MINISTERIO DE  
AGRICULTURA  
Y GANADERÍA

GOBIERNO  
DE COSTA RICA

Acuerdos:			
Acuerdo	Funcionario	Firma	Fecha
Se revisa tanto el proceso de implementación, como la herramienta en Excel y se agregan las observaciones, del experto Carlos José Artavia.	Sebastian Rojas Calvo	SEBASTIAN JOSE ROJAS CALVO (FIRMA)	30-10-2025
Se acuerda compartir el documento y colaborar con el MAG una vez que se complete el proyecto de graduación.	Sebastian Rojas Calvo	ROJAS CALVO (FIRMA)	Enero 2026

Observaciones:
<p><b>Resumen ejecutivo:</b> Durante la sesión se revisó el proyecto de trazabilidad para las pequeñas y medianas productoras agropecuarias (PYMPAs) de Naranjo, así como el funcionamiento del modelo de madurez digital y el instrumento diseñado para evaluar las capacidades tecnológicas de los productores.</p> <p>Se discutió la situación actual de las fincas registradas, destacando que la mayoría cuenta con acceso a teléfonos inteligentes y buena disposición para incorporar tecnología, aunque persisten brechas en alfabetización digital, manejo de datos y uso de la plataforma Trazar-Agro. También se comentó la importancia de fortalecer la cultura digital y de establecer estrategias de capacitación progresiva según los niveles de madurez tecnológica.</p> <p>Asimismo, se analizó el papel de los dispositivos de identificación animal (aretes y lectores RFID), la viabilidad económica de su adopción en fincas pequeñas y el apoyo institucional necesario para facilitar el proceso. Se enfatizó la relevancia de promover la organización interna de las fincas, la definición de roles y la planificación como base para avanzar hacia la trazabilidad digital.</p> <p>Finalmente, se presentó el esquema de trabajo del proyecto, que contempla fases de sensibilización, captura de datos, consolidación, análisis y mejora continua. Para el experto del MAG el proyecto avanza de manera sólida y se considera que es una herramienta que podría mejorar la asignación de recursos y la organización de tareas del personal del MAG. Además, se solicita compartir este proyecto al finalizar el estudio para el uso de la institución con apoyo del estudiante.</p> <p><b>Nota:</b> las observaciones están recogidas en el artefacto ya que las mismas se incorporan a la herramienta que se validó en esta reunión.</p>

### Lista de Asistencia

Nombre de la Actividad:	Revisión según criterio experto sobre del diseño de una estrategia digital para apoyar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en PYMPA, basado en niveles de madurez, para el proyecto del Dr. Sebastian Rojas Calvo				
Lugar:	Oficina del Ministerio de Agricultura y Ganadería- Oficina Naranjo		Fecha:	30-10-2025	
Nombre del Coordinador(a) de la Actividad:	Dr. Carlos José Artavia Álvarez – Dr. Sebastian Rojas Calvo	Hora de Inicio:	10:00 am	Hora de Finalización:	12:10 pm

Nombre y apellido <sup>1</sup>	Cédula	Medio de Contacto <sup>2</sup>	Sexo <sup>3</sup>		Edad			Firma
			H	M	18-34	35-64	65+	
Carlos José Artavia Álvarez	108200599	87229912	X				X	CARLOS JOSE ARTAVIA ALVAREZ (FIRMA) Firmado digitalmente por CARLOS JOSE ARTAVIA ALVAREZ (FIRMA) Fecha: 2025.11.03 10:45:21 -06'00'
Sebastian Rojas Calvo	111240856	83361564	X				X	SEBASTIAN JOSE ROJAS CALVO (FIRMA) Firmado digitalmente por SEBASTIAN JOSE ROJAS CALVO (FIRMA) Fecha: 2025.11.06 07:58:49 -06'00'

<sup>1</sup> Indicar el nombre y apellido de la persona participante.

<sup>2</sup> Detallar el correo electrónico, si no dispone de uno registrar el número de teléfono o WhatsApp.

<sup>3</sup> H: Hombre, M: Mujer.

## Anexo 7: Carta de solicitud para realizar trabajo de investigación en el MAG Naranjo

Naranjo, Costa Rica

19 de julio de 2025

Señor

*Warner Rodríguez Murillo*

Director Regional Central Occidental

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

Estimado señor:

Reciba un cordial saludo. Me dirijo a usted en calidad de estudiante de la Maestría en Tecnologías de Información de la Universidad Nacional, con el propósito de solicitar respetuosamente la colaboración de la Dirección Regional a su cargo en el marco del desarrollo de mi Trabajo Final de Graduación, titulado:

**“Diseño de una estrategia digital para apoyar la implementación del Sistema Nacional de Trazabilidad Bovina en Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios (PYMPAs): Estudio de caso en la Agencia de Extensión Agropecuaria del MAG en Naranjo”.**

Este proyecto tiene como finalidad identificar las condiciones actuales, brechas tecnológicas y oportunidades de mejora en el proceso de adopción del sistema del sistema de trazabilidad bovina emanado del Decreto Ejecutivo N.º 44336-MAG-S-SP-MOPT, para proponer una estrategia digital adaptada a la realidad de los productores de la región. Con este objetivo, solicito su colaboración para acceder a la base de datos actualizada de las PYMPAs atendidas por la Agencia de Extensión Agropecuaria de Naranjo.

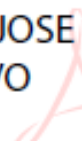
La información será utilizada exclusivamente con fines académicos, bajo criterios éticos de confidencialidad y protección de datos, en cumplimiento con la normativa institucional correspondiente. Asimismo, es importante indicar que los resultados obtenidos serán posteriormente validados mediante entrevistas con funcionarios técnicos del MAG, a fin de asegurar su pertinencia, aplicabilidad y alineación con las necesidades del sector.

Agradezco de antemano la atención a esta solicitud, así como el respaldo que desde la Dirección Regional Central Occidental del MAG puedan brindar a esta iniciativa, que busca contribuir con propuestas concretas al fortalecimiento de la trazabilidad bovina y la transformación digital del agro costarricense.

Quedo atento a su respuesta y a cualquier procedimiento administrativo que deba seguir para formalizar esta gestión. Para cualquier comunicación adicional, puede contactarme al correo electrónico [sebastian.rojascalvo@ucr.ac.cr](mailto:sebastian.rojascalvo@ucr.ac.cr) o al número de teléfono 8336-1564.

Sin otro particular, me despido con el mayor respeto y aprecio.

SEBASTIAN JOSE  
ROJAS CALVO  
(FIRMA)



Firmado digitalmente por  
SEBASTIAN JOSE ROJAS  
CALVO (FIRMA)  
Fecha: 2025.07.20 17:06:55  
-06'00'

Atentamente,

**Sebastián Rojas Calvo**  
Estudiante de Maestría  
Universidad Nacional

**Anexo 8: Carta de luz verde para realizar trabajo de investigación en el MAG Naranjo**