

## INIA-FPTA 443 INFORME:

# REQUERIMIENTOS Y FUNCIONALIDADES PARA UN SISTEMA DE TRAZABILIDAD DE ARROZ EN URUGUAY

*Nicolás Giménez<sup>1</sup>, Fabián Dávila<sup>2</sup>, José Ignacio Rodríguez<sup>3</sup>, Gustavo Barboza Martignone<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> AI Deep Economics: [ngimenez@aideepeconomics.com](mailto:ngimenez@aideepeconomics.com)

<sup>2</sup> GIS 514: [davila.cuevas@gmail.com](mailto:davila.cuevas@gmail.com)

<sup>3</sup> Tenet: [joseignacio@tenet-hub.com](mailto:joseignacio@tenet-hub.com)

\* Correspondencia a: [gbarboza@aideepeconomics.com](mailto:gbarboza@aideepeconomics.com)

Fecha:

V1. 27/06/2025.

V2. 23/12/2025 Actualizado y Revisado. G.B.M

V3. 08/01/2026 Actualizado y Revisado. G.B.M

**Resumen Ejecutivo:** Este documento especifica los requerimientos técnicos y funcionales para el desarrollo de un Sistema Integral de Trazabilidad de Arroz en Uruguay. El sistema garantiza el seguimiento completo del producto desde la planificación del cultivo hasta su comercialización, manteniendo la privacidad de datos de los productores y habilitando el cálculo automático de huella de carbono para cumplir con estándares internacionales de sostenibilidad. El reporte presenta diferentes niveles de prioridad según su criticidad para la operación básica del sistema de trazabilidad, estructurado en tres componentes principales: sistema de trazabilidad general, requerimientos del frontend y especificaciones del backend. La implementación del sistema responde a la creciente demanda internacional por productos alimentarios con origen verificable y procesos transparentes, posicionando al arroz uruguayo estratégicamente en mercados globales que valoran la sostenibilidad y la trazabilidad completa.

## 1. Introducción

Este documento constituye exclusivamente un documento de requerimientos técnicos y funcionales para el desarrollo de un Sistema Integral de Trazabilidad de Arroz en Uruguay, no representando el diseño definitivo del sistema. Los elementos descritos presentan diferentes niveles de prioridad, clasificados según su criticidad para la operación básica del sistema de trazabilidad.

El contexto internacional actual demanda cada vez mayor transparencia en los procesos productivos agrícolas, especialmente en productos destinados a mercados desarrollados donde los consumidores valoran el origen verificable y los procesos sustentables. Uruguay, como importante productor y exportador de arroz, enfrenta la necesidad de adaptarse a estos requerimientos para mantener y expandir su posición competitiva en mercados internacionales.

El documento se estructura en tres capítulos fundamentales que abordan los componentes del sistema propuesto. El sistema de trazabilidad de arroz especifica los requerimientos generales del sistema, incluyendo usuarios, roles, funcionalidades principales, casos de uso y consideraciones técnicas para garantizar el seguimiento integral del producto. Los requerimientos del frontend detallan las especificaciones técnicas y funcionales de la interfaz de usuario, experiencia de usuario y componentes de presentación del sistema. Los requerimientos del backend abordan las especificaciones de la arquitectura del servidor, bases de datos, APIs, seguridad e infraestructura tecnológica del sistema.

El propósito principal del sistema es garantizar la trazabilidad completa del arroz uruguayo manteniendo la privacidad de los datos de los productores, facilitando la compartición selectiva de información entre actores de la cadena productiva, y habilitando el cálculo automático de huella de carbono para cumplir con estándares internacionales de sostenibilidad. Esta capacidad integral de trazabilidad permitirá al sector arrocerero uruguayo acceder a certificaciones internacionales, cumplir con regulaciones de mercados exigentes, y diferenciarse comercialmente mediante la demostración de prácticas sustentables.

## **2. Sistema de Trazabilidad de Arroz**

### **2.1 Propósito del Sistema**

El sistema de trazabilidad tiene como objetivo fundamental establecer un mecanismo integral de seguimiento que permita rastrear cada lote de arroz desde su origen en el campo hasta su destino final en la comercialización. Esta capacidad de trazabilidad completa responde a la creciente demanda internacional por productos alimentarios con origen verificable y procesos transparentes, particularmente en mercados como la Unión Europea, Estados Unidos y países asiáticos desarrollados que implementan regulaciones cada vez más estrictas sobre seguridad alimentaria y sostenibilidad.

El sistema está diseñado para optimizar la captura de datos críticos en cada etapa del proceso productivo, minimizando errores mediante validaciones automáticas y proporcionando información consolidada para facilitar la toma de decisiones tanto a nivel individual del productor como sectorial. La arquitectura del sistema reconoce que la información productiva es un activo estratégico para los productores, por lo que implementa mecanismos robustos de control de acceso que garantizan que cada actor mantenga control sobre su información mientras facilita la compartición selectiva necesaria para la operación eficiente de la cadena productiva.

Una funcionalidad clave del sistema es su capacidad para proporcionar información suficiente para el cálculo automático de huella de carbono, respondiendo a los requisitos internacionales de sostenibilidad y permitiendo a los productores uruguayos acceder a mercados que valoran la producción sustentable. Esta capacidad no solo cumple con regulaciones actuales, sino que anticipa tendencias futuras donde la certificación de sostenibilidad será un requisito estándar para el comercio internacional de productos agrícolas.

El sistema también integra datos de trazabilidad con procesos de venta y comercialización, creando un flujo de información continuo desde la producción hasta la venta final. Esta integración permite a los compradores verificar el origen exacto de cada lote, los procesos aplicados durante la producción, y las métricas de sostenibilidad asociadas, proporcionando una ventaja competitiva significativa al arroz uruguayo en mercados internacionales.

El sistema está diseñado para evolucionar hacia una mayor automatización e integración con estándares internacionales de trazabilidad. Aunque se implementará inicialmente con capacidades de registro manual para garantizar compatibilidad con todos los productores independientemente de su nivel de tecnificación, la arquitectura está preparada para

integración futura con dispositivos IoT, sensores de campo, y sistemas automatizados de balanzas y maquinaria agrícola.

El enfoque de automatización progresiva reconoce que diferentes productores tienen diferentes niveles de tecnificación en sus operaciones. Mientras algunos pueden integrar directamente datos de balanzas digitales, GPS de maquinaria y sensores de campo, otros requerirán procesos manuales como contingencia o por limitaciones tecnológicas de sus equipos. El sistema está diseñado para funcionar eficientemente en ambos escenarios, priorizando siempre la captura automática cuando esté disponible pero manteniendo alternativas manuales robustas que garanticen la participación universal en el sistema de trazabilidad.

## **2.2 Alcance del Sistema**

El sistema abarca la gestión completa de establecimientos y campos, incluyendo sus características específicas, delimitación geográfica precisa mediante tecnología GIS, y el registro histórico de cambios en límites y características para mantener trazabilidad temporal. Esta funcionalidad base permite establecer una cartografía digital precisa de la producción arrocerá uruguaya, facilitando análisis espaciales y temporales de productividad y sostenibilidad.

El sistema cubre la planificación y seguimiento detallado de cultivos, desde la definición inicial de variedades y cronogramas hasta el seguimiento continuo de la ejecución de actividades planificadas. Esta capacidad incluye el registro sistemático de actividades de campo, desde preparación del suelo hasta cosecha, manteniendo vinculación precisa entre cada evento y su ubicación específica dentro del campo.

El proceso completo de cosecha y transporte hacia las instalaciones de almacenamiento representa uno de los puntos más críticos del sistema, donde se debe mantener la vinculación exacta entre el producto físico y su origen digital. El sistema gestiona la generación de remitos digitales con códigos QR únicos, el seguimiento GPS de vehículos de transporte, y la coordinación entre múltiples actores durante el proceso de cosecha.

En las instalaciones de recepción, el sistema gestiona el proceso de recepción en silos, manteniendo la trazabilidad completa mediante reportes detallados que incluyen parámetros de calidad, condiciones de almacenamiento, y movimientos internos entre diferentes ubicaciones dentro de la planta. Esta gestión se extiende al procesamiento industrial del arroz, donde se mantiene la vinculación entre producto procesado y sus lotes de origen específicos.

La gestión de órdenes de venta con vinculación precisa a lotes específicos representa el punto final de la cadena de trazabilidad, donde se establece la conexión definitiva entre el producto comercializado y su historia completa de producción. Esta funcionalidad incluye

la generación automática de documentación de trazabilidad para compradores, facilitando el cumplimiento de regulaciones internacionales.

El cálculo automático de huella de carbono basado en metodologías internacionalmente reconocidas utiliza todos los datos capturados durante el proceso productivo para generar métricas precisas de impacto ambiental. Esta capacidad incluye factores de emisión configurables que pueden actualizarse según evolucionen las metodologías internacionales y los requerimientos específicos de diferentes mercados de destino.

El sistema excluye específicamente la gestión financiera y contable, así como los recursos humanos, manteniéndose enfocado en los aspectos técnicos y operativos de la trazabilidad. Esta delimitación permite que el sistema se integre con sistemas de gestión existentes sin generar conflictos o duplicación de funcionalidades, manteniendo su rol específico como sistema de trazabilidad.

### **2.3 Usuarios y Roles del Sistema**

El sistema está diseñado para atender las necesidades de múltiples actores en la cadena productiva del arroz, reconociendo que cada actor tiene requerimientos específicos de información y diferentes niveles de acceso según su rol en el proceso productivo.

Los productores representan los usuarios principales del sistema, responsables de los campos y su gestión general. Estos usuarios requieren acceso completo a información de sus propios campos, incluyendo históricos de productividad, análisis comparativos entre diferentes secciones de sus establecimientos, y reportes de trazabilidad para cumplir con requerimientos de compradores. Los productores también necesitan capacidades de compartición selectiva de información con técnicos, compradores, y otros actores según sus relaciones comerciales específicas.

Los técnicos de aglutinadora proporcionan seguimiento y asesoramiento técnico especializado, requiriendo acceso a información agregada de múltiples productores para identificar tendencias, problemas comunes, y oportunidades de mejora. Estos usuarios necesitan herramientas de análisis comparativo, generación de reportes técnicos, y capacidades de comunicación con productores para brindar recomendaciones basadas en datos.

Los operarios de campo ejecutan las órdenes de trabajo específicas como siembra, fertilización y otras actividades agrícolas. Estos usuarios requieren interfaces simplificadas optimizadas para uso en campo, con capacidades offline robustas y sincronización automática cuando se restablece la conectividad. Sus necesidades incluyen formularios rápidos para registro de eventos, acceso a planes de trabajo, y comunicación con supervisores.

En la fase de cosecha y transporte, los responsables de cosecha gestionan la ejecución de esta actividad crítica, coordinando múltiples cuadrillas, maquinaria, y vehículos de transporte. Estos usuarios requieren herramientas de planificación y seguimiento en tiempo real, generación de remitos digitales, y coordinación con plantas de recepción para optimizar la logística de cosecha.

Los conductores de camión responsables del transporte del arroz desde el campo hasta las instalaciones de almacenamiento necesitan acceso a remitos digitales, navegación hacia destinos, y comunicación con plantas de recepción para coordinar horarios de llegada. El sistema debe proporcionar interfaces móviles simples que funcionen en condiciones de campo y con conectividad variable.

Los operadores de silo gestionan la recepción y almacenamiento del producto, requiriendo herramientas para lectura rápida de remitos digitales, registro de parámetros de calidad, asignación a ubicaciones de almacenamiento, y generación de reportes de recepción. Estos usuarios necesitan integración con sistemas existentes de plantas para minimizar duplicación de trabajo.

Los administradores del sistema supervisan y configuran el sistema completo, gestionando usuarios, roles, permisos, y configuraciones técnicas. Estos usuarios requieren herramientas avanzadas de administración, monitoreo del sistema, generación de reportes de uso, y capacidades de soporte técnico para otros usuarios.

Para el análisis y comercialización, los analistas de datos se encargan del procesamiento de información anonimizada para estudios sectoriales, análisis de tendencias, y generación de insights para el desarrollo del sector. Estos usuarios requieren acceso a datos agregados, herramientas de análisis estadístico, y capacidades de exportación de datos para análisis externos.

Los responsables de venta gestionan las órdenes de venta y su vinculación precisa con lotes específicos, garantizando la continuidad de la trazabilidad hasta el punto de venta final. Estos usuarios necesitan herramientas para generar documentación de trazabilidad para compradores, calcular huella de carbono de lotes específicos, y gestionar requerimientos especiales de certificación según destinos de exportación.

## **2.4 Requerimientos Funcionales**

Los requerimientos funcionales del sistema se clasifican según tres niveles de prioridad claramente definidos que reflejan su importancia para la operación básica del sistema de trazabilidad. Los requerimientos de prioridad alta son esenciales para la trazabilidad básica, sin los cuales el sistema no puede funcionar adecuadamente y que son necesarios para cumplir con estándares mínimos de trazabilidad internacional. Los de

prioridad media son importantes para la operación eficiente del sistema y mejoran significativamente la experiencia de usuario, pero no son imprescindibles para la trazabilidad básica. Los de prioridad baja son deseables para mejorar la experiencia de usuario o aportar valor agregado, pero no afectan la funcionalidad básica de trazabilidad y pueden implementarse en fases posteriores del proyecto.

### 2.4.1 Gestión de Establecimientos y Campos

La gestión de establecimientos y campos constituye la base fundamental del sistema de trazabilidad, proporcionando la estructura geoespacial y organizativa sobre la cual se construye toda la información de trazabilidad. Esta funcionalidad permite crear una estructura organizativa clara que refleje la realidad productiva uruguaya, donde los establecimientos agrupan múltiples campos con características y manejos específicos.

La implementación de esta funcionalidad requiere integración con tecnologías GIS avanzadas para manejo de datos geoespaciales, incluyendo soporte para diferentes sistemas de coordenadas, proyecciones cartográficas, y precisión submétrica para delimitación exacta de campos. El sistema debe manejar polígonos complejos con múltiples vértices, permitir subdivisión y agrupación de campos según criterios agronómicos, y mantener históricos de cambios en límites para trazabilidad temporal.

**Tabla 1.** Requerimientos funcionales para gestión de establecimientos y campos.

| ID       | Requerimiento                   |    | Descripción                                                                                                                                                                                                 | Prioridad |
|----------|---------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-EC-01 | Registro de establecimientos    | de | El sistema permitirá crear y gestionar establecimientos con sus datos básicos (nombre, ubicación, propietario, contacto, superficie total, coordenadas de referencia).                                      | Alta      |
| RF-EC-02 | Registro de campos              |    | El sistema permitirá crear y gestionar campos dentro de los establecimientos, incluyendo su delimitación geográfica mediante polígonos precisos con soporte para múltiples vértices y geometrías complejas. | Alta      |
| RF-EC-03 | Cálculo automático de áreas     |    | El sistema calculará automáticamente el área de los campos basado en los polígonos definidos, proporcionando medidas en hectáreas con precisión decimal y validación de consistencia geométrica.            | Alta      |
| RF-EC-04 | Subdivisión de campos           | de | El sistema permitirá subdividir un campo en secciones más pequeñas para manejo diferenciado, manteniendo vinculación con el campo original y permitiendo reagrupación posterior.                            | Media     |
| RF-EC-05 | Histórico de cambios en límites |    | El sistema mantendrá un registro histórico completo de cambios en los límites de los campos para trazabilidad temporal, incluyendo fechas, responsables de cambios, y justificaciones.                      | Media     |
| RF-EC-06 | Visualización de mapa           | en | El sistema proporcionará visualización de establecimientos y campos en un mapa interactivo con                                                                                                              | Media     |

| ID       | Requerimiento                          | Descripción                                                                                                                                                                                      | Prioridad |
|----------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          |                                        | capacidades de zoom, pan, medición de distancias, y superposición de capas temáticas.                                                                                                            |           |
| RF-EC-07 | Registro características suelo         | de del El sistema permitirá registrar y consultar características del suelo por campo, incluyendo tipo de suelo, pH, contenido de materia orgánica, y otros parámetros agronómicos relevantes.   | Baja      |
| RF-EC-08 | Integración sensores IoT               | con El sistema permitirá la integración futura con sensores de campo para captura automática de datos ambientales y de suelo, incluyendo humedad, temperatura, y nutrientes.                     | Baja      |
| RF-EC-09 | Preparación estándares internacionales | para El sistema mantendrá compatibilidad con estándares internacionales de trazabilidad (GlobalGAP, GFSI, ISO 22005) para facilitar certificaciones futuras y acceso a mercados internacionales. | Media     |
| RF-EC-10 | Validación geoespacial                 | El sistema validará automáticamente la consistencia geoespacial de polígonos, detectando superposiciones, huecos, o inconsistencias en límites de campos.                                        | Media     |
| RF-EC-11 | Importación de datos geoespaciales     | El sistema permitirá importar datos de campos desde archivos estándar (Shapefile, KML, GeoJSON) facilitando la migración desde sistemas existentes.                                              | Baja      |
| RF-EC-12 | Generación de mapas temáticos          | El sistema generará mapas temáticos mostrando productividad, calidad, huella de carbono, u otros indicadores por campo mediante codificación de colores.                                         | Baja      |

## 2.4.2 Planificación y Gestión de Cultivos

La planificación y gestión de cultivos permite establecer un marco organizativo para cada ciclo productivo, definiendo variedades, cronogramas y estimaciones que servirán como referencia para el seguimiento posterior. Esta funcionalidad es fundamental para mantener la coherencia en el registro de actividades y garantizar que la información de trazabilidad sea completa y precisa.

La implementación de esta funcionalidad debe considerar la variabilidad estacional de la producción arrocerá, los diferentes sistemas de cultivo utilizados en Uruguay (siembra directa, trasplante, cultivo en seco), y la integración con sistemas de rotación de cultivos. El sistema debe proporcionar plantillas de planificación basados en mejores prácticas agronómicas mientras mantiene flexibilidad para adaptarse a las particularidades de cada productor.

**Tabla 2.** Requerimientos funcionales para planificación y gestión de cultivos.

| ID       | Requerimiento                 | Descripción                                                                                                                     | Prioridad |
|----------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-PL-01 | Creación de planes de cultivo | El sistema permitirá definir planes de cultivo detallados para cada campo, especificando variedades, fechas clave, estimaciones | Alta      |



| ID       | Requerimiento              | Descripción                                                                     |                                                                                                                                                                                                            | Prioridad |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          |                            | iniciales, y cronograma de actividades basado en mejores prácticas agronómicas. |                                                                                                                                                                                                            |           |
| RF-PL-02 | Registro de eventos        |                                                                                 | El sistema permitirá registrar eventos críticos (siembra, fertilización, riego, aplicaciones fitosanitarias, etc.) asociados a cada campo con geolocalización precisa y vinculación temporal.              | Baja      |
| RF-PL-03 | Asociación insumos         | de                                                                              | El sistema permitirá asociar insumos utilizados (semillas, fertilizantes, pesticidas, etc.) a cada evento, con sus cantidades exactas, características técnicas, y proveedores para trazabilidad completa. | Baja      |
| RF-PL-04 | Programación actividades   | de                                                                              | El sistema permitirá programar actividades futuras basadas en cronogramas agronómicos, asignarlas a responsables específicos, y generar notificaciones automáticas de vencimientos.                        | Baja      |
| RF-PL-05 | Seguimiento cronograma     | de                                                                              | El sistema permitirá comparar actividades planificadas vs. ejecutadas, identificar desviaciones, calcular impactos en rendimiento, y generar alertas de actividades críticas atrasadas.                    | Baja      |
| RF-PL-06 | Estimación rendimientos    | de                                                                              | El sistema permitirá registrar estimaciones de rendimiento en diferentes etapas del cultivo, actualizarlas conforme avanza el ciclo, y comparar con rendimientos históricos para validación.               | Baja      |
| RF-PL-07 | Notificaciones actividades | de                                                                              | El sistema notificará automáticamente a los responsables sobre actividades próximas o atrasadas mediante múltiples canales (email, SMS, notificaciones push, WhatsApp).                                    | Baja      |
| RF-PL-08 | Plantillas planificación   | de                                                                              | El sistema proporcionará plantillas de planificación predefinidos basados en variedades, zonas agroecológicas, y sistemas de cultivo para acelerar la creación de planes.                                  | Baja      |
| RF-PL-09 | Análisis desviaciones      | de                                                                              | El sistema analizará desviaciones entre planificado y ejecutado, identificando patrones y proporcionando recomendaciones para mejora continua.                                                             | Baja      |
| RF-PL-10 | Integración climática      |                                                                                 | El sistema integrará datos climáticos para ajustar automáticamente cronogramas según condiciones meteorológicas y alertar sobre riesgos climáticos.                                                        | Baja      |

### 2.4.3 Cosecha y Transporte

El proceso de cosecha y transporte representa un punto crítico en la cadena de trazabilidad, donde el producto físico se traslada desde el campo hacia las instalaciones de procesamiento. Durante esta etapa, es fundamental mantener la vinculación precisa entre el origen del producto y su identificación durante el transporte, garantizando que no se pierda la trazabilidad en el momento de mayor volumen y actividad del sistema.

La implementación de esta funcionalidad requiere coordinación entre múltiples actores (operadores de cosechadora, conductores de camión, supervisores de campo, operadores de silo), sincronización en tiempo real de actividades, y manejo de situaciones excepcionales como averías de maquinaria, condiciones climáticas adversas, o problemas de transporte.

**Tabla 3.** Requerimientos funcionales para cosecha y transporte.

| ID       | Requerimiento                           | Descripción                                                                                                                                                                            | Prioridad |
|----------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-CT-01 | Inicio de cosecha                       | El sistema permitirá registrar el inicio de cosecha en una parcela específica, con fecha, hora, cosechadora utilizada, operador responsable, y condiciones iniciales del campo.        | Alta      |
| RF-CT-02 | Generación de remitos digitales         | El sistema generará remitos digitales únicos con códigos QR para identificar cada carga de camión, incluyendo información de origen, destino, producto, y estimación de peso.          | Alta      |
| RF-CT-03 | Identificación georreferenciada         | El sistema identificará automáticamente el campo que se está cosechando mediante geolocalización, validando la ubicación contra polígonos de campos registrados.                       | Media     |
| RF-CT-04 | Registro de camiones                    | El sistema permitirá registrar los camiones que transportan el arroz, asociándose a remitos específicos, incluyendo matrícula, conductor, empresa transportista, y capacidad de carga. | Alta      |
| RF-CT-05 | Registro de datos básicos de transporte | El sistema registrará origen exacto, destino, hora de salida, conductor responsable, y ruta planificada para cada carga transportada.                                                  | Alta      |
| RF-CT-06 | Seguimiento GPS de transporte           | El sistema permitirá registrar la ubicación de los camiones durante el transporte, calcular tiempos de viaje, y estimar horas de llegada para optimización logística.                  | Baja      |
| RF-CT-07 | Gestión de múltiples cargas             | El sistema gestionará múltiples cargas simultáneas desde diferentes secciones de campo, manteniendo trazabilidad individual y permitiendo consolidación por lotes.                     | Media     |
| RF-CT-08 | Validación de pesos estimados           | El sistema validará pesos estimados contra capacidades de camión y rendimientos históricos, alertando sobre inconsistencias significativas.                                            | Media     |
| RF-CT-09 | Gestión contingencias de                | El sistema gestionará situaciones excepcionales como averías, cambios de destino, o divisiones de carga, manteniendo trazabilidad completa.                                            | Baja      |
| RF-CT-10 | Integración maquinaria con              | El sistema permitirá integración futura con sistemas GPS de cosechadoras para captura automática de datos de rendimiento y ubicación.                                                  | Baja      |

#### 2.4.4 Recepción y Gestión en Silo

La recepción en silo constituye el punto de transición entre la producción primaria y el almacenamiento para procesamiento. En esta etapa, el sistema debe mantener la vinculación precisa entre cada carga recibida y su origen específico, registrando además los parámetros de calidad que pueden afectar el destino final del producto y su valor comercial.

La implementación de esta funcionalidad debe considerar la variabilidad en infraestructura de diferentes plantas de recepción. El sistema debe funcionar eficientemente en todas estas configuraciones, proporcionando flexibilidad para adaptarse a diferentes procesos operativos mientras mantiene estándares consistentes de trazabilidad.

**Tabla 4.** Requerimientos funcionales para recepción y gestión en silo.

| ID       | Requerimiento                               | Descripción                                                                                                                                                                      | Prioridad |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-SL-01 | Lectura de remito digital                   | El sistema permitirá la identificación rápida de camiones mediante lectura de códigos QR de los remitos, mostrando automáticamente información de origen y producto.             | Alta      |
| RF-SL-02 | Registro de peso                            | El sistema permitirá registrar el peso bruto, tara, y peso neto del remito, con validación automática contra estimaciones previas y alertas de discrepancias significativas.     | Alta      |
| RF-SL-03 | Registro de parámetros de calidad           | El sistema permitirá registrar parámetros de calidad críticos (humedad, impurezas, granos partidos, rendimiento industrial) para cada carga con validación de rangos aceptables. | Media     |
| RF-SL-04 | Asignación a lugar de almacenamiento        | El sistema permitirá asignar cada carga recibida a una ubicación específica de almacenamiento (silo, celda, sector), manteniendo inventario en tiempo real.                      | Media     |
| RF-SL-05 | Notificación al productor                   | El sistema notificará automáticamente al productor sobre la recepción exitosa de su carga, incluyendo peso final, parámetros de calidad, y ubicación de almacenamiento.          | Baja      |
| RF-SL-06 | Registro de movimientos internos            | El sistema permitirá registrar transferencias entre ubicaciones dentro de la planta, manteniendo trazabilidad completa de movimientos internos.                                  | Media     |
| RF-SL-07 | Integración con balanzas automáticas        | El sistema permitirá la integración directa con balanzas digitales para captura automática de peso, eliminando errores de transcripción y acelerando el proceso de recepción.    | Baja      |
| RF-SL-08 | Captura automática de parámetros de calidad | El sistema permitirá la integración con equipos automáticos de medición de humedad e impurezas, con respaldo manual disponible para situaciones de contingencia.                 | Baja      |
| RF-SL-09 | Gestión de rechazos                         | El sistema gestionará cargas rechazadas por calidad, registrando motivos, destino alternativo, y manteniendo trazabilidad para resolución de conflictos.                         | Media     |
| RF-SL-10 | Consolidación de lotes                      | El sistema permitirá consolidar múltiples cargas en lotes comerciales, manteniendo trazabilidad hacia todos los orígenes componentes.                                            | Media     |
| RF-SL-11 | Reportes de recepción                       | El sistema generará reportes automáticos de recepción para productores, incluyendo resúmenes de calidad, comparaciones con entregas previas, y recomendaciones de mejora.        | Baja      |

## 2.4.5 Gestión de Órdenes de Venta

La gestión de órdenes de venta representa el punto final de la cadena de trazabilidad, donde se establece la vinculación definitiva entre los lotes almacenados y su destino comercial. Esta funcionalidad es crítica para mantener la capacidad de rastreo completo desde la venta hacia el origen de producción, cumpliendo con requerimientos de compradores internacionales y regulaciones de trazabilidad alimentaria.

La implementación debe considerar la diversidad de productos finales (arroz cáscara, arroz elaborado, subproductos), diferentes mercados de destino con requerimientos específicos de documentación, y la necesidad de generar certificaciones de origen y sostenibilidad que agreguen valor comercial al producto uruguayo.

**Tabla 5.** Requerimientos funcionales para gestión de órdenes de venta.

| ID       | Requerimiento                        | Descripción                                                                                                                                                                      | Prioridad |
|----------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-OV-01 | Generación de QR para orden de venta | En el momento de la orden de venta se genera un QR único que identifica todo ese lote de venta, permitiendo trazabilidad completa hacia el comprador final.                      | Alta      |
| RF-OV-02 | Vinculación con silos de origen      | Al completarse la orden de venta, el QR se vincula automáticamente con los silos específicos de los que sale la orden de venta, manteniendo proporción de cada origen.           | Alta      |
| RF-OV-03 | Trazabilidad hacia atrás desde venta | El sistema permite rastrear desde el QR de venta hacia atrás hasta el origen de producción específico, incluyendo todos los campos contribuyentes y sus historiales productivos. | Alta      |
| RF-OV-04 | Registro de datos de venta           | El sistema registra datos completos de la orden de venta (cantidad, calidad, destino, comprador, precio, condiciones especiales, certificaciones requeridas).                    | Media     |
| RF-OV-05 | Generación de documentación          | El sistema genera automáticamente documentación de trazabilidad para compradores, incluyendo certificados de origen, reportes de calidad, y documentación de sostenibilidad.     | Media     |
| RF-OV-06 | Gestión de certificaciones           | El sistema gestiona requerimientos específicos de certificación por comprador o mercado de destino, incluyendo GlobalGAP, orgánico, comercio justo, o carbono neutro.            | Baja      |
| RF-OV-07 | Análisis de composición de lotes     | El sistema proporciona análisis detallado de la composición de lotes de venta, mostrando contribución porcentual de diferentes orígenes y sus características.                   | Media     |
| RF-OV-08 | Validación de disponibilidad         | El sistema valida disponibilidad de producto en silos antes de confirmar órdenes de venta, evitando sobreventa y garantizando cumplimiento de entregas.                          | Alta      |

## 2.4.6 Trazabilidad y Reportes

La funcionalidad de trazabilidad y reportes constituye el núcleo del sistema, proporcionando las herramientas necesarias para rastrear productos en ambas direcciones de la cadena productiva. Esta capacidad es fundamental para responder a requerimientos de mercados internacionales, investigaciones en caso de problemas de calidad o seguridad alimentaria, y análisis de productividad sectorial.

La implementación debe garantizar consultas eficientes sobre grandes volúmenes de datos históricos, generación rápida de reportes complejos, y capacidades de exportación en múltiples formatos para compatibilidad con sistemas de compradores internacionales y autoridades regulatorias.

**Tabla 6.** Requerimientos funcionales para trazabilidad y reportes.

| ID       | Requerimiento                    | Descripción                                                                                                                                                            | Prioridad |
|----------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-TR-01 | Trazabilidad hacia atrás         | El sistema permitirá identificar el origen completo (campo, productor, fecha de siembra, variedad, insumos utilizados) de cualquier lote almacenado en silo o vendido. | Alta      |
| RF-TR-02 | Trazabilidad adelante            | El sistema permitirá identificar el destino completo (silo, lote comercial, comprador final) de la producción de cualquier campo específico.                           | Media     |
| RF-TR-03 | Reporte de trazabilidad completo | El sistema generará reportes detallados de trazabilidad para cualquier lote de grano, incluyendo timeline completo desde                                               | Alta      |

| ID       | Requerimiento            | Descripción                                                                                                                                                               | Prioridad |
|----------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          |                          | siembra hasta venta.                                                                                                                                                      |           |
| RF-TR-04 | Reportes de producción   | El sistema generará reportes comprensivos de producción por campo, variedad, productor, y región, incluyendo análisis de tendencias temporales.                           | Baja      |
| RF-TR-05 | Reporte de eventos       | El sistema generará reportes detallados de eventos registrados por campo en períodos específicos, incluyendo insumos aplicados y condiciones ambientales.                 | Baja      |
| RF-TR-06 | Exportación de datos     | El sistema permitirá exportar reportes en formatos estándar (Excel, CSV, PDF, XML) con plantillas personalizables según requerimientos de compradores.                    | Media     |
| RF-TR-07 | Análisis comparativo     | El sistema permitirá comparar rendimientos, calidad, y sostenibilidad entre diferentes campos, variedades, campañas, y productores mediante visualizaciones interactivas. | Baja      |
| RF-TR-08 | Visualizaciones gráficas | El sistema proporcionará visualizaciones gráficas avanzadas de datos clave para análisis, incluyendo mapas de calor, gráficos temporales, y dashboards interactivos.      | Baja      |
| RF-TR-09 | Búsqueda avanzada        | El sistema proporcionará capacidades de búsqueda avanzada con múltiples filtros para localización rápida de información específica en grandes volúmenes de datos.         | Media     |
| RF-TR-10 | Reportes regulatorios    | El sistema generará reportes específicos para cumplimiento de regulaciones nacionales e internacionales de trazabilidad alimentaria.                                      | Media     |

## 2.4.7 Cálculo de Huella de Carbono

El cálculo de huella de carbono responde a la creciente demanda internacional por productos con certificación de sostenibilidad. Esta funcionalidad utiliza los datos de trazabilidad ya capturados por el sistema para generar automáticamente métricas de impacto ambiental, agregando valor comercial al producto uruguayo en mercados internacionales que priorizan la sostenibilidad.

La implementación debe seguir metodologías internacionalmente reconocidas (ISO 14067, PAS 2050, GHG Protocol), permitir actualizaciones de factores de emisión según evolucionen los estándares, y proporcionar documentación suficiente para auditorías de terceros requeridas para certificaciones internacionales.

**Tabla 7.** Requerimientos funcionales para cálculo de huella de carbono.

| ID       | Requerimiento                           | Descripción                                                                                                                                                                                         | Prioridad |
|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-HC-01 | Recopilación automática de datos        | El sistema recopilará automáticamente todos los datos necesarios para el cálculo de huella de carbono (insumos, maquinaria, transporte, procesamiento) desde información de trazabilidad existente. | Alta      |
| RF-HC-02 | Cálculo automático de huella de carbono | El sistema calculará automáticamente la huella de carbono por lote, campo, o período específico utilizando metodologías internacionalmente reconocidas.                                             | Media     |
| RF-HC-03 | Factores de emisión configurables       | El sistema permitirá configurar y actualizar factores de emisión para diferentes actividades e insumos según metodologías específicas y condiciones locales.                                        | Media     |

| ID       | Requerimiento                              | Descripción                                                                                                                                                          | Prioridad |
|----------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-HC-04 | Reporte de huella de carbono               | El sistema generará reportes detallados de huella de carbono por campo, lote, o período, incluyendo desglose por categorías de emisión y comparaciones benchmarking. | Media     |
| RF-HC-05 | Comparación de huella de carbono           | El sistema permitirá comparar la huella de carbono entre diferentes campos, variedades, campañas, y prácticas de manejo para identificación de mejores prácticas.    | Baja      |
| RF-HC-06 | Certificación de sostenibilidad            | El sistema generará documentación necesaria para certificaciones de sostenibilidad internacionales, incluyendo verificación de datos y trazabilidad de cálculos.     | Media     |
| RF-HC-07 | Análisis de mitigación                     | El sistema proporcionará análisis de oportunidades de mitigación de emisiones, simulando impactos de diferentes prácticas de manejo.                                 | Baja      |
| RF-HC-08 | Integración estándares internacionales con | El sistema mantendrá compatibilidad con estándares internacionales de cálculo de huella de carbono (ISO 14067, PAS 2050, GHG Protocol Product Standard).             | Media     |

## 2.4.8 Gestión de Privacidad y Compartición de Datos

La gestión de privacidad reconoce que los datos productivos son activos valiosos para los productores, quienes deben mantener control sobre quién accede a su información y en qué condiciones. Esta funcionalidad permite la colaboración en la cadena productiva manteniendo la confidencialidad cuando sea necesaria, equilibrando transparencia con protección de información comercialmente sensible.

La implementación debe cumplir con regulaciones de protección de datos (GDPR, ley uruguaya de protección de datos personales), proporcionar controles granulares de acceso, y mantener auditoría completa de accesos para transparencia y accountability.

**Tabla 8.** Requerimientos funcionales para gestión de privacidad y compartición de datos.

| ID       | Requerimiento              | Descripción                                                                                                                                                         | Prioridad |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-PV-01 | Control de acceso básico   | El sistema implementará control de acceso granular por usuario y rol para proteger la información, con diferentes niveles de permisos según relaciones comerciales. | Alta      |
| RF-PV-02 | Compartición selectiva     | El sistema permitirá a los actores compartir selectivamente su información con otros actores, definiendo qué información, por cuánto tiempo, y con qué propósito.   | Baja      |
| RF-PV-03 | Solicitudes de acceso      | El sistema implementará un mecanismo formal de solicitud y aprobación para acceso a datos de otros usuarios, con justificación de uso y términos específicos.       | Baja      |
| RF-PV-04 | Registro de autorizaciones | El sistema mantendrá un registro completo de todas las autorizaciones de acceso concedidas, incluyendo fechas, usuarios, datos compartidos, y propósito.            | Baja      |
| RF-PV-05 | Revocación de acceso       | El sistema permitirá revocar accesos previamente concedidos de manera inmediata, con notificación automática a usuarios afectados.                                  | Baja      |
| RF-PV-06 | Visualización de           | El sistema permitirá ver el histórico completo de comparticiones                                                                                                    | Baja      |

| ID       | Requerimiento            | Descripción                                                                                                                                                           | Prioridad |
|----------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6        | histórico                | previas con detalles de uso, frecuencia de acceso, y datos consultados.                                                                                               |           |
| RF-PV-07 | Anonimización de datos   | El sistema permitirá extraer datos anonimizados para análisis estadísticos sectoriales, eliminando información que permita identificación de productores específicos. | Baja      |
| RF-PV-08 | Consentimiento informado | El sistema implementará mecanismos de consentimiento informado para compartición de datos, explicando claramente qué información se comparte y para qué propósito.    | Media     |
| RF-PV-09 | Portabilidad de datos    | El sistema permitirá a los usuarios exportar sus datos en formatos estándar para cumplir con regulaciones de portabilidad de datos.                                   | Baja      |

## 2.5 Requerimientos No Funcionales

Los requerimientos no funcionales establecen las características técnicas y operativas que el sistema debe cumplir para garantizar su funcionamiento adecuado en el entorno productivo uruguayo. Estos requerimientos abordan aspectos críticos como rendimiento, seguridad, disponibilidad, usabilidad, y compatibilidad que determinan la viabilidad operativa del sistema.

### 2.5.1 Rendimiento y Escalabilidad

El sistema debe operar eficientemente en un entorno que puede incluir hasta 150.000 hectáreas de producción arroceras, con múltiples usuarios accediendo simultáneamente durante períodos críticos como la cosecha. La escalabilidad es fundamental para acomodar el crecimiento futuro del sector y la potencial expansión del sistema a otros cultivos.

La arquitectura debe soportar picos de actividad durante la cosecha, cuando cientos de usuarios pueden estar registrando remitos simultáneamente, y consultas intensivas durante períodos de venta cuando se requiere documentación de trazabilidad para múltiples lotes. El sistema debe mantener un rendimiento consistente independientemente del volumen de datos históricos acumulados.

**Tabla 9.** Requerimientos no funcionales de rendimiento y escalabilidad.

| ID        | Requerimiento       | Descripción                                                                                                                                                                                               | Prioridad |
|-----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-PR-01 | Tiempo respuesta de | El sistema deberá responder a las consultas básicas en menos de 3 segundos, consultas complejas de trazabilidad en menos de 10 segundos, y carga de páginas principales en menos de 2 segundos.           | Alta      |
| RNF-PR-02 | Concurrencia        | El sistema de remitos deberá soportar al menos 500 accesos concurrentes sin degradación significativa del rendimiento, con capacidad de escalar hasta 1000 usuarios simultáneos durante picos de cosecha. | Alta      |
| RNF-PR-03 | Volumen de datos    | El sistema deberá manejar eficientemente el volumen de datos de al menos 150.000 hectáreas, 100.000 remitos anuales, y 10 años de datos históricos sin degradación de rendimiento.                        | Alta      |

| ID        | Requerimiento             | Descripción                                                                                                                                                         | Prioridad |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-PR-04 | Escalabilidad horizontal  | La arquitectura del sistema deberá permitir escalar horizontalmente agregando servidores adicionales para acomodar crecimiento futuro sin rediseño fundamental.     | Media     |
| RNF-PR-05 | Optimización de consultas | El sistema optimizará automáticamente consultas frecuentes mediante indexación inteligente, caché, y técnicas de optimización de base de datos.                     | Media     |
| RNF-PR-06 | Gestión de memoria        | El sistema gestionará eficientemente la memoria para evitar degradación por uso prolongado, implementando garbage collection efectivo y limpieza de caché obsoleto. | Media     |

## 2.5.2 Seguridad

La seguridad del sistema es crítica dado que maneja información comercialmente sensible de los productores y datos que pueden afectar la competitividad del sector arrocerero uruguayo. Los mecanismos de seguridad deben ser robustos pero transparentes para los usuarios legítimos, cumpliendo con estándares internacionales de seguridad de la información.

La implementación debe proteger contra amenazas internas y externas, incluyendo acceso no autorizado, modificación de datos, intercepción de comunicaciones, y ataques de denegación de servicio. El sistema debe mantener confidencialidad, integridad, y disponibilidad de la información en todo momento.

**Tabla 10.** Requerimientos no funcionales de seguridad.

| ID        | Requerimiento             | Descripción                                                                                                                                                                                                      | Prioridad |
|-----------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-SG-01 | Autenticación multifactor | El sistema implementará autenticación segura para todos los usuarios, con opción de autenticación multifactor para roles críticos y acceso a datos sensibles.                                                    | Alta      |
| RNF-SG-02 | Autorización granular     | El sistema implementará control de acceso basado en roles y permisos granulares, permitiendo restricciones específicas por usuario, campo, período, y tipo de información.                                       | Alta      |
| RNF-SG-03 | Encriptación completa     | Los datos sensibles se almacenarán encriptados en la base de datos usando algoritmos estándar (AES-256), con gestión segura de claves y rotación periódica.                                                      | Alta      |
| RNF-SG-04 | Auditoría completa        | El sistema mantendrá registros de auditoría inmutables para todas las acciones críticas, incluyendo accesos, modificaciones, y consultas de datos sensibles.                                                     | Alta      |
| RNF-SG-05 | Protección contra ataques | El sistema implementará medidas comprehensivas para proteger contra ataques comunes (inyección SQL, XSS, CSRF, ataques de fuerza bruta) mediante validación de entrada, sanitización, y firewalls de aplicación. | Alta      |
| RNF-SG-06 | Comunicaciones seguras    | Todas las comunicaciones utilizarán protocolos seguros (HTTPS/TLS 1.3 mínimo) con certificados válidos y configuración segura de protocolos criptográficos.                                                      | Alta      |
| RNF-SG-07 | Gestión de sesiones       | El sistema implementará gestión segura de sesiones con tokens únicos, expiración automática, y invalidación inmediata al detectar actividad sospechosa.                                                          | Media     |



| ID        | Requerimiento          | Descripción                                                                                                                                             | Prioridad |
|-----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-SG-08 | Monitoreo de seguridad | El sistema monitoreará continuamente actividad sospechosa, intentos de acceso no autorizado, y patrones anómalos de uso, generando alertas automáticas. | Media     |

### 2.5.3 Disponibilidad y Confiabilidad

La naturaleza estacional de la producción arrocerá implica períodos de actividad intensa donde la disponibilidad del sistema es crítica. Durante la cosecha, cualquier interrupción del sistema puede generar pérdidas económicas significativas y comprometer la trazabilidad de lotes completos, afectando la credibilidad del sistema de trazabilidad nacional.

La implementación debe considerar redundancia en componentes críticos, recuperación automática de fallos, y mantenimiento de servicio durante actualizaciones del sistema. La confiabilidad del sistema es fundamental para generar confianza de los usuarios y garantizar adopción sostenida.

**Tabla 11.** Requerimientos no funcionales de disponibilidad y confiabilidad.

| ID        | Requerimiento              | Descripción                                                                                                                                                                    | Prioridad |
|-----------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-DC-01 | Disponibilidad alta        | El sistema deberá mantener una disponibilidad mínima del 99% anual, con objetivo de 99.5% durante períodos de cosecha y máximo 4 horas de interrupción planificada mensual.    | Alta      |
| RNF-DC-02 | Respaldo automático        | El sistema implementará respaldos automáticos incrementales diarios y completos semanales de todos los datos críticos, con verificación automática de integridad de respaldos. | Alta      |
| RNF-DC-03 | Recuperación rápida        | El sistema deberá poder recuperarse de fallos con RTO (Recovery Time Objective) de máximo 4 horas y RPO (Recovery Point Objective) de máximo 1 hora.                           | Alta      |
| RNF-DC-04 | Funcionamiento offline     | Las funciones críticas de registro de remitos y eventos de campo deberán funcionar con conectividad limitada, sincronizando automáticamente cuando se restablezca conexión.    | Media     |
| RNF-DC-05 | Redundancia de componentes | Los componentes críticos del sistema tendrán redundancia activa-pasiva con failover automático para minimizar tiempo de inactividad.                                           | Media     |
| RNF-DC-06 | Monitoreo proactivo        | El sistema implementará monitoreo proactivo de salud de componentes, rendimiento, y disponibilidad con alertas automáticas ante degradación de servicio.                       | Media     |

## 2.6 Casos de Uso Principales

Los casos de uso principales ilustran cómo los diferentes actores interactúan con el sistema para completar las actividades críticas de trazabilidad. Estos casos proporcionan

una perspectiva práctica de cómo el sistema opera en situaciones reales de producción, considerando las variabilidades y complejidades del entorno operativo real.

### 2.6.1 Registro de Plan de Cultivo

**Actores:** Técnico de Aglutinadora, Productor.

**Descripción:** Crear un nuevo plan de cultivo para un campo específico estableciendo las bases para el seguimiento posterior de todas las actividades productivas.

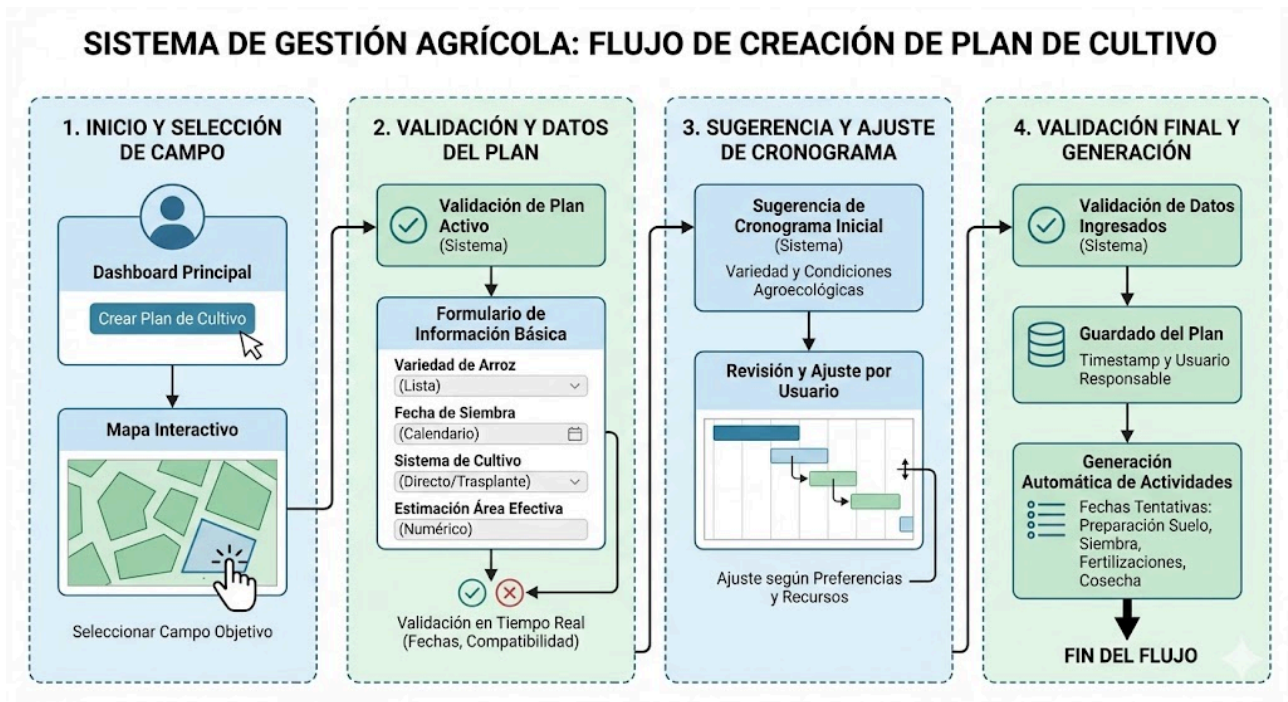
**Precondiciones:**

- Usuario autenticado con permisos de planificación.
- Campo registrado en el sistema con delimitación geográfica.
- Base de datos de variedades y cronogramas agronómicos disponible.

**Flujo principal:**

- El usuario selecciona la opción "Crear Plan de Cultivo" desde el dashboard principal.
- El sistema muestra un mapa interactivo para seleccionar el campo objetivo.
- El usuario selecciona el campo específico haciendo clic en el polígono correspondiente.
- El sistema valida que el campo no tenga un plan activo para la misma temporada.
- El sistema solicita información básica del plan: variedad de arroz, fecha de siembra planificada, sistema de cultivo (directo/trasplante), estimación de área efectiva.
- El usuario completa la información requerida, con validación en tiempo real de fechas y compatibilidad de variedades.
- El sistema sugiere un cronograma inicial basado en la variedad seleccionada y condiciones agroecológicas de la zona.
- El usuario revisa y ajusta el cronograma propuesto según sus preferencias y recursos disponibles.
- El sistema valida los datos ingresados y guarda el plan con timestamp y usuario responsable.
- El sistema genera automáticamente un cronograma inicial de actividades basado en el plan, incluyendo fechas tentativas para preparación de suelo, siembra, fertilizaciones, y cosecha.

Figura 1. Flujo de creación de plan de cultivo



### Flujos alternativos:

- Si el campo ya tiene un plan activo, el sistema ofrece la opción de modificar el existente o crear un nuevo plan para temporada diferente.
- Si las fechas propuestas tienen conflicto con la disponibilidad de maquinaria, el sistema sugiere fechas alternativas.
- Si la variedad seleccionada no es adecuada para las condiciones del campo, el sistema muestra advertencias y sugerencias alternativas.

### Postcondiciones:

- Plan de cultivo creado y almacenado en base de datos.
- Cronograma inicial generado y vinculado al plan.
- Notificaciones enviadas a operarios responsables del campo.
- Dashboard actualizado con nuevo plan visible.

### 2.6.2 Registro de Eventos de Campo

**Actores:** Operario de Campo, Técnico.

**Descripción:** Registrar la ejecución de una actividad específica en el campo manteniendo la trazabilidad completa de insumos, procedimientos, y condiciones durante la ejecución.

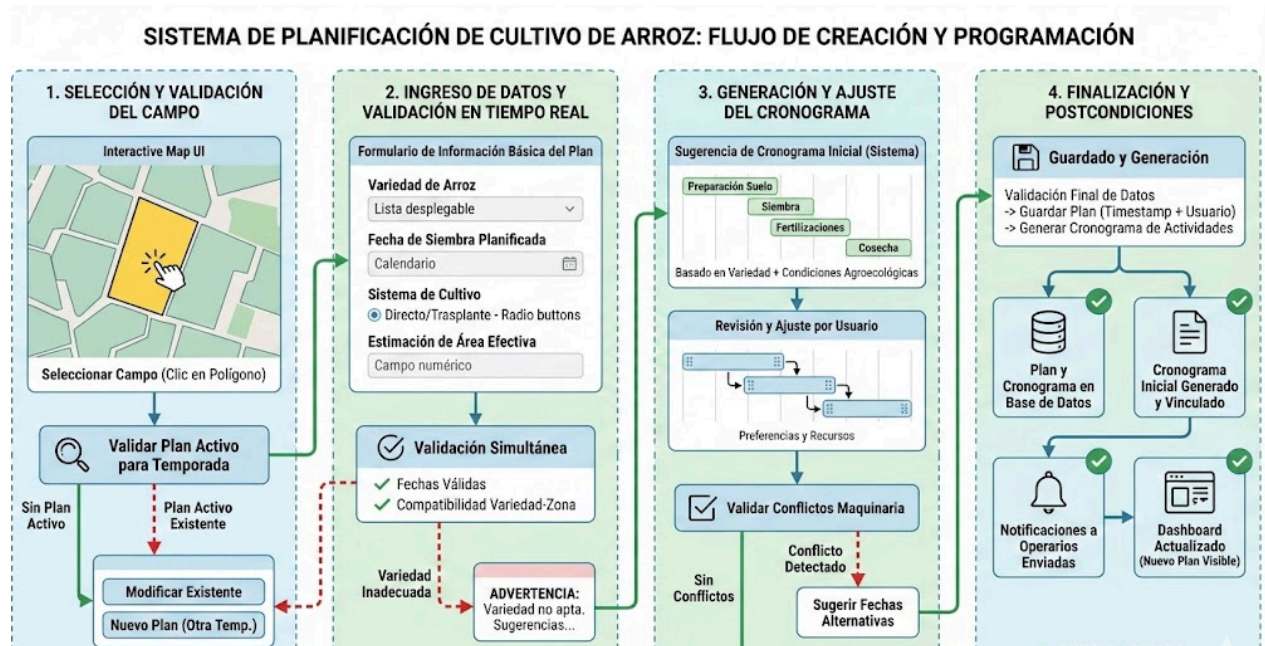
**Precondiciones:**

- Usuario autenticado con permisos de registro de eventos.
- Campo y plan de cultivo registrados en el sistema.
- Dispositivo con GPS funcional para geolocalización.
- Conectividad disponible o capacidad offline habilitada.

**Flujo principal:**

1. El usuario accede a la aplicación móvil y selecciona "Registrar Evento".
2. El sistema detecta automáticamente la ubicación GPS y sugiere campos cercanos.
3. El usuario selecciona la ubicación específica (campo completo o sección) donde se realizó la actividad.
4. El sistema muestra los tipos de eventos disponibles según el estado actual del cultivo y cronograma planificado.
5. El usuario selecciona el tipo de evento específico (siembra, fertilización, aplicación fitosanitaria, riego, etc.).
6. El sistema presenta un formulario dinámico específico para el tipo de evento seleccionado .
7. El usuario completa la información requerida: fecha y hora de ejecución, maquinaria utilizada, operario responsable, condiciones climáticas observadas.
8. Para eventos con insumos, el usuario registra: tipo de insumo, marca comercial, cantidad aplicada, método de aplicación, concentración/dosis.
9. El usuario puede adjuntar fotografías del campo, equipos utilizados, o condiciones especiales observadas.
10. El sistema valida la consistencia de datos ingresados con el cronograma planificado y eventos previos.
11. El sistema registra el evento con geolocalización precisa y timestamp, vinculándolo al plan de cultivo correspondiente.
12. El sistema actualiza automáticamente el estado del cultivo y sugiere próximas actividades según cronograma.

Figura 2. Flujo de Creacion y programacion



### Flujos alternativos:

- Si no hay conectividad, el evento se almacena localmente y se sincroniza automáticamente al recuperar conexión.
- Si el evento no estaba planificado, el sistema solicita justificación y aprobación del supervisor.
- Si las condiciones registradas indican problemas (plagas, enfermedades), el sistema genera alertas automáticas a técnicos responsables.

### Postcondiciones:

- Evento registrado y vinculado al historial del campo.
- Estado del cultivo actualizado en base de datos.
- Inventario de insumos actualizado si corresponde.
- Próximas actividades sugeridas según cronograma actualizado.
- Notificaciones enviadas a supervisores si se detectan anomalías.

### 2.6.3 Proceso de Cosecha

**Actores:** Responsable de Cosecha, Conductor de Camión

**Descripción:** Registrar el proceso de cosecha y generar remito digital para mantener la trazabilidad durante el transporte, coordinando múltiples actores y vehículos simultáneamente.

**Precondiciones:**

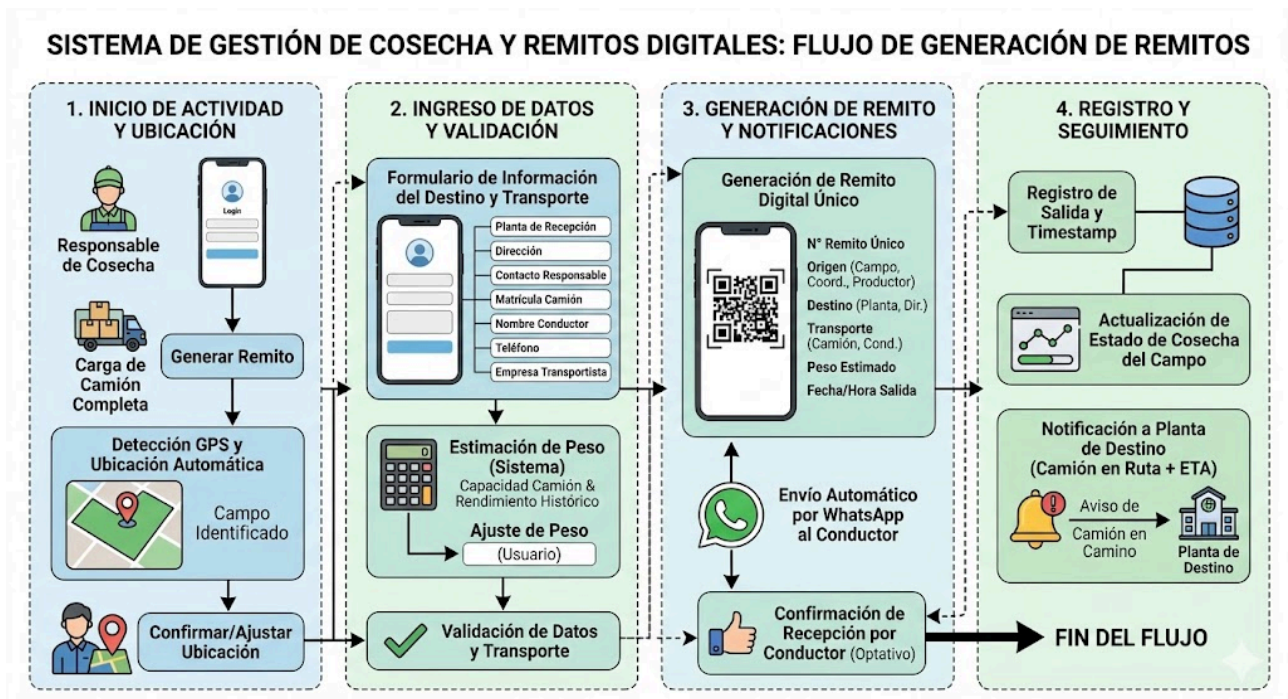
- Campo con cultivo en estado de cosecha.
- Maquinaria de cosecha y vehículos de transporte disponibles.
- Personal autorizado para generar remitos.
- Conectividad disponible en zona de cosecha.

**Flujo principal:**

1. El responsable de cosecha inicia sesión en la aplicación móvil al comenzar actividades diarias.
2. Durante la cosecha, cuando se completa la carga de un camión, el responsable selecciona "Generar Remito".
3. El sistema detecta automáticamente la ubicación GPS e identifica el campo que se está cosechando.
4. El responsable confirma o ajusta la ubicación específica dentro del campo si es necesario.
5. El sistema solicita información del destino: planta de recepción, dirección, contacto responsable.
6. El responsable ingresa datos del transporte: matrícula del camión, nombre completo del conductor, número de teléfono, empresa transportista
7. El sistema estima el peso de la carga basado en capacidad del camión y rendimiento histórico del campo.
8. El responsable puede ajustar la estimación de peso si tiene información más precisa.
9. El sistema genera un remito digital único con código QR que incluye: número de remito único, información de origen (campo, coordenadas, productor), destino (planta, dirección), datos del transporte (camión, conductor), peso estimado, fecha y hora de salida.
10. El código QR se muestra en pantalla y puede enviarse automáticamente por WhatsApp al conductor.

11. El conductor recibe el remito en su dispositivo y confirma la recepción (optativo).
12. El sistema registra la salida del camión con timestamp y actualiza el estado de cosecha del campo.
13. El sistema envía notificación a la planta de destino informando sobre el camión en ruta con estimación de horario de llegada.

Figura 3. Flujo de Generación de Remitos



### Flujos alternativos:

- Si hay problemas de conectividad, el remito se genera offline y se sincroniza automáticamente al recuperar conexión.
- Si el camión cambia de destino durante el transporte, el conductor puede solicitar modificación del remito.
- Si hay retrasos significativos, el sistema actualiza automáticamente las estimaciones de llegada.

### Postcondiciones:

- Remito digital generado y almacenado en base de datos.
- Código QR disponible para lectura en planta de destino.
- Notificaciones enviadas a planta de recepción.
- Estado de cosecha del campo actualizado.
- Tracking de camión iniciado si está disponible.



#### 2.6.4 Recepción en Planta

**Actores:** Operador de Silo, Conductor de Camión

**Descripción:** Registrar la recepción de carga en el silo manteniendo la vinculación precisa con el origen específico y registrando parámetros de calidad críticos.

**Precondiciones:**

- Camión con remito digital válido llegando a planta.
- Operador autorizado para recepción en planta.
- Equipos de pesaje y análisis de calidad operativos.
- Sistema de gestión de silo integrado o compatible.

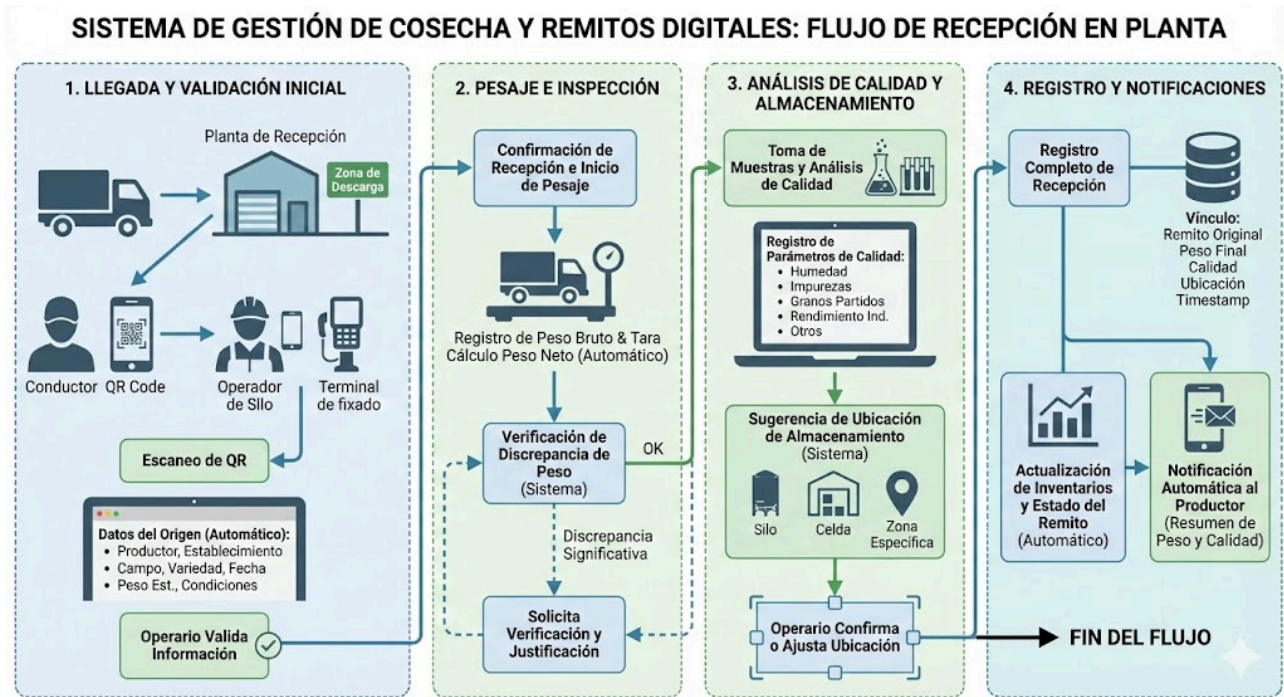
**Flujo principal:**

1. El camión llega a la planta de recepción y se dirige a la zona de descarga asignada.
2. El conductor presenta el código QR del remito al operador de silo.
3. El operador escanea el QR usando la aplicación móvil o terminal fijo.
4. El sistema muestra automáticamente todos los datos del origen: productor, establecimiento, campo específico, variedad, fecha de cosecha, peso estimado, condiciones especiales.
5. El operario valida la información mostrada contra la carga física presente.
6. El operario confirma la recepción e inicia el proceso de pesaje.
7. El sistema registra peso bruto del camión cargado, peso de tara del camión vacío, y calcula peso neto automáticamente.
8. Si hay discrepancias significativas con peso estimado, el sistema solicita verificación y justificación.
9. El operario toma muestras para análisis de calidad según protocolos establecidos.
10. El sistema registra parámetros de calidad medidos: humedad, impurezas, granos partidos, rendimiento industrial estimado, otros parámetros específicos según variedad.
11. Basado en calidad medida, el sistema sugiere ubicación de almacenamiento apropiada (silo, celda, zona específica).
12. El operario confirma o ajusta la ubicación de almacenamiento asignada.
13. El sistema registra la recepción completa vinculando: remito original, peso final, parámetros de calidad, ubicación de almacenamiento, timestamp de recepción
14. El sistema actualiza automáticamente inventarios de la planta y estado del remito.



15. El sistema envía notificación automática al productor confirmando recepción exitosa con resumen de peso y calidad.

Figura 4. Flujo de Recepción en planta.



### Flujos alternativos:

- Si la calidad no cumple estándares mínimos, el sistema gestiona el rechazo registrando motivos y destino alternativo.
- Si hay problemas con equipos de pesaje, se permite registro manual con flag de verificación pendiente.
- Si el sistema de la planta está offline, los datos se sincronizan automáticamente al restaurar la conectividad.

### Postcondiciones:

- Recepción registrada completamente en base de datos.
- Inventario de planta actualizado con nueva carga.
- Trazabilidad mantenida desde origen hasta ubicación final.
- Productor notificado sobre recepción exitosa.
- Datos disponibles para facturación y liquidación.

### 2.6.5 Gestión de Orden de Venta

**Actores:** Responsable de Ventas, Operador de Silo.

**Descripción:** Crear una orden de venta y vincularla automáticamente con los lotes de origen para mantener la trazabilidad completa hasta el comprador final.

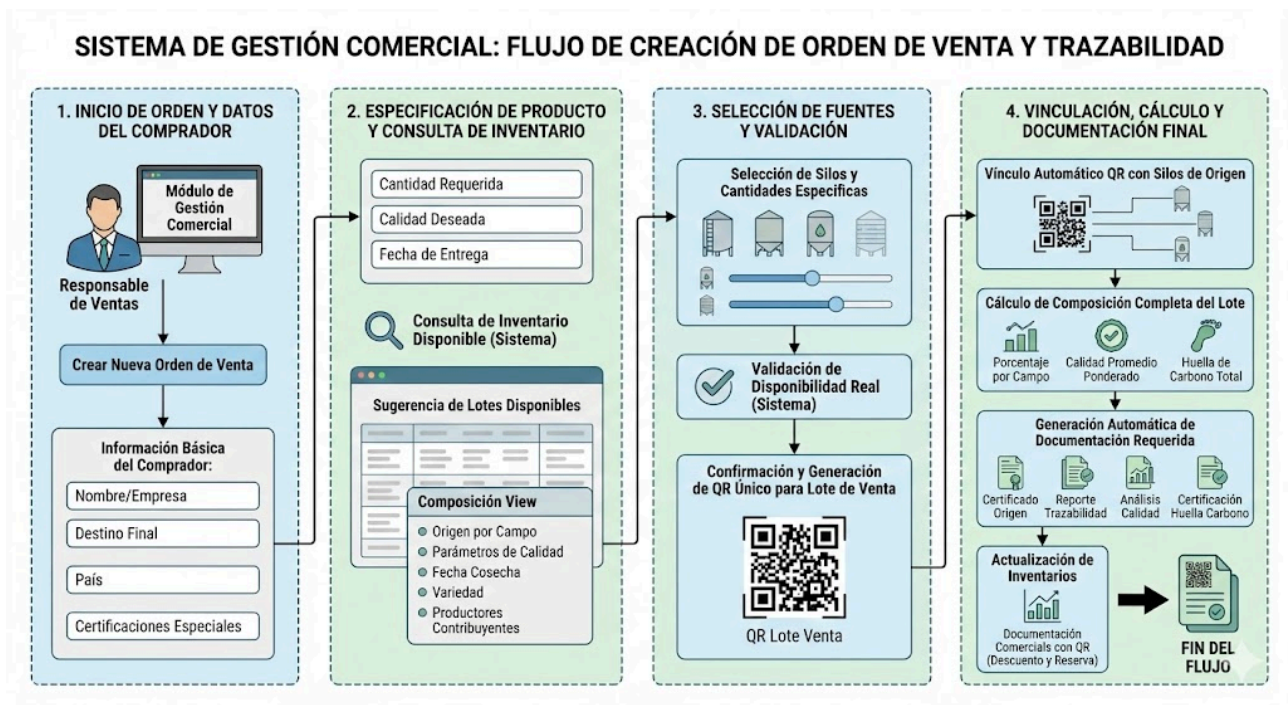
**Precondiciones:**

- Inventario disponible en silos con trazabilidad completa.
- Usuario autorizado para gestión de ventas.
- Comprador y condiciones comerciales definidas.
- Requerimientos de calidad y certificación especificados.

**Flujo principal:**

1. El responsable de ventas accede al módulo de gestión comercial.
2. El responsable selecciona "Crear Nueva Orden de Venta".
3. El sistema solicita información básica del comprador: nombre/empresa, destino final, país de destino, requerimientos especiales de certificación.
4. El responsable especifica cantidad requerida, calidad deseada, y fecha de entrega.
5. El sistema consulta inventario disponible y sugiere lotes que cumplen con especificaciones requeridas.
6. El sistema muestra composición detallada de lotes disponibles: origen por campo, parámetros de calidad, fecha de cosecha, variedad, productores contribuyentes.
7. El responsable selecciona los silos y cantidades específicas de donde saldrá el producto.
8. El sistema valida disponibilidad real de producto en ubicaciones seleccionadas.
9. Al confirmar la selección, el sistema genera automáticamente un QR único para el lote de venta.
10. El sistema vincula automáticamente el QR con todos los silos de origen, manteniendo proporción exacta de cada fuente.
11. El sistema calcula automáticamente la composición completa del lote: porcentaje de contribución por campo original, parámetros de calidad promedio ponderado, huella de carbono total del lote.
12. Al completarse la orden de venta, el sistema establece la trazabilidad completa desde la venta hacia atrás hasta todos los orígenes de producción.
13. El sistema genera automáticamente documentación requerida: certificado de origen, reporte de trazabilidad completa, análisis de calidad consolidado, certificación de huella de carbono si es requerida.
14. El sistema actualiza inventarios descontando producto vendido y reservando producto para entrega.
15. Se genera la documentación comercial con el QR correspondiente para entrega al comprador.

Figura 5. Flujo de Creación de orden de ventas



### Flujos alternativos:

- Si no hay suficiente inventario de la calidad requerida, el sistema sugiere alternativas o mezclas que cumplan especificaciones.
- Si el comprador requiere certificaciones especiales, el sistema valida que todos los lotes de origen cumplan con los requerimientos.
- Si hay cambios en la orden después de confirmada, el sistema gestiona modificaciones manteniendo trazabilidad.

### Postcondiciones:

- Orden de venta creada y vinculada a orígenes específicos.
- QR de lote generado con trazabilidad completa.
- Documentación de trazabilidad generada automáticamente.
- Inventarios actualizados reflejando venta.
- Comprador puede rastrear origen completo del producto adquirido.

### 2.6.6 Consulta de Trazabilidad

**Actores:** Productor, Técnico, Administrador, Comprador Internacional.

**Descripción:** Consultar la trazabilidad completa de un lote específico para verificar origen, proceso y destino, proporcionando transparencia completa en la cadena productiva.

**Precondiciones:**

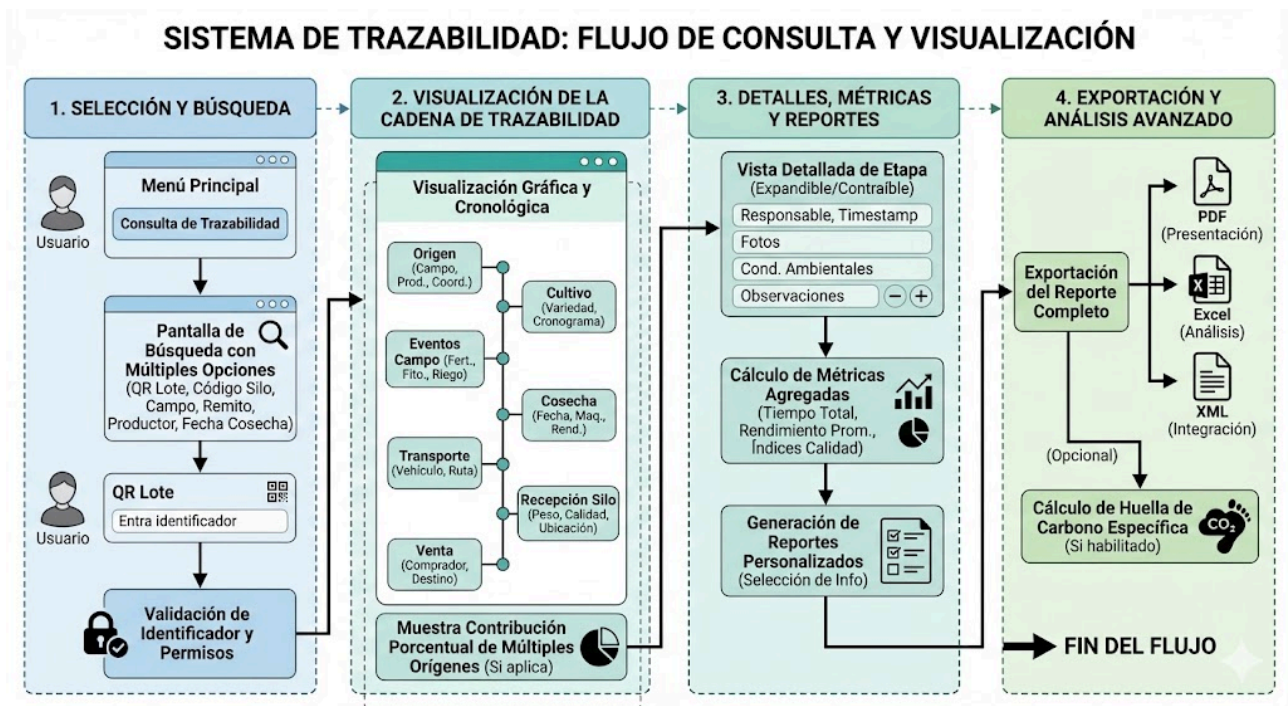
- Datos de trazabilidad completos registrados en el sistema.
- Usuario con permisos apropiados para consulta.
- Identificador válido para búsqueda (QR, número de lote, campo, etc.).

**Flujo principal:**

1. El usuario selecciona "Consulta de Trazabilidad" desde el menú principal.
2. El sistema presenta múltiples opciones de búsqueda: por QR de lote de venta, por código de silo específico, por campo de origen, por remito específico, por productor, por fecha de cosecha.
3. El usuario selecciona el criterio de búsqueda más conveniente e ingresa el identificador.
4. El sistema valida el identificador y confirma que el usuario tiene permisos para acceder a la información solicitada.
5. El sistema muestra la cadena completa de trazabilidad de manera visual y cronológica: información de origen (campo específico, coordenadas GPS, productor responsable), detalles del cultivo (variedad, fecha de siembra, cronograma de actividades ejecutadas), eventos de campo registrados (fertilizaciones, aplicaciones fitosanitarias, riegos, fechas y cantidades), información de cosecha (fecha, maquinaria utilizada, rendimiento obtenido), detalles de transporte (vehículo, conductor, ruta, tiempos), recepción en silo (fecha, peso, parámetros de calidad, ubicación de almacenamiento), movimientos internos si los hubo, información de venta (comprador, fecha, destino final).
6. Para cada etapa, el sistema muestra información detallada incluyendo: responsables de cada actividad, timestamps precisos, fotografías si están disponibles, condiciones ambientales registradas, observaciones especiales.
7. Si el lote está compuesto por múltiples orígenes, el sistema muestra la contribución porcentual de cada fuente.
8. El usuario puede expandir cualquier sección para ver detalles adicionales o contraer para vista resumida.
9. El sistema calcula automáticamente métricas agregadas: tiempo total desde siembra hasta venta, rendimiento promedio de campos contribuyentes, índices de calidad consolidados.
10. El usuario puede generar reportes personalizados seleccionando qué información incluir.

11. El sistema permite exportar el reporte completo de trazabilidad en múltiples formatos (PDF para presentación, Excel para análisis, XML para integración con otros sistemas).
12. Si está habilitado, el usuario puede calcular la huella de carbono específica del lote consultado.

Figura 6. Flujo de consulta y visualización



### Flujos alternativos:

- Si el usuario no tiene permisos para ver cierta información, el sistema muestra solo datos autorizados.
- Si hay lagunas en la trazabilidad, el sistema identifica claramente qué información falta y cuándo.
- Si el lote consultado está aún en proceso (no vendido), el sistema muestra el estado actual y ubicación.

### Postcondiciones:

- Información de trazabilidad mostrada completamente al usuario.
- Reporte generado y disponible para descarga si fue solicitado.
- Consulta registrada en log de auditoría.
- Usuario informado sobre completitud y confiabilidad de datos mostrados.

### 2.6.7 Cálculo de Huella de Carbono

**Actores:** Técnico, Analista de Datos, Productor, Comprador Internacional.

**Descripción:** Calcular automáticamente la huella de carbono de un lote específico utilizando los datos de trazabilidad ya capturados, proporcionando métricas de sostenibilidad para certificación internacional.

**Precondiciones:**

- Datos completos de trazabilidad disponibles para el lote.
- Factores de emisión configurados y actualizados.
- Metodología de cálculo seleccionada (ISO 14067, PAS 2050, etc.).
- Usuario con permisos para acceso a datos de sostenibilidad.

**Flujo principal:**

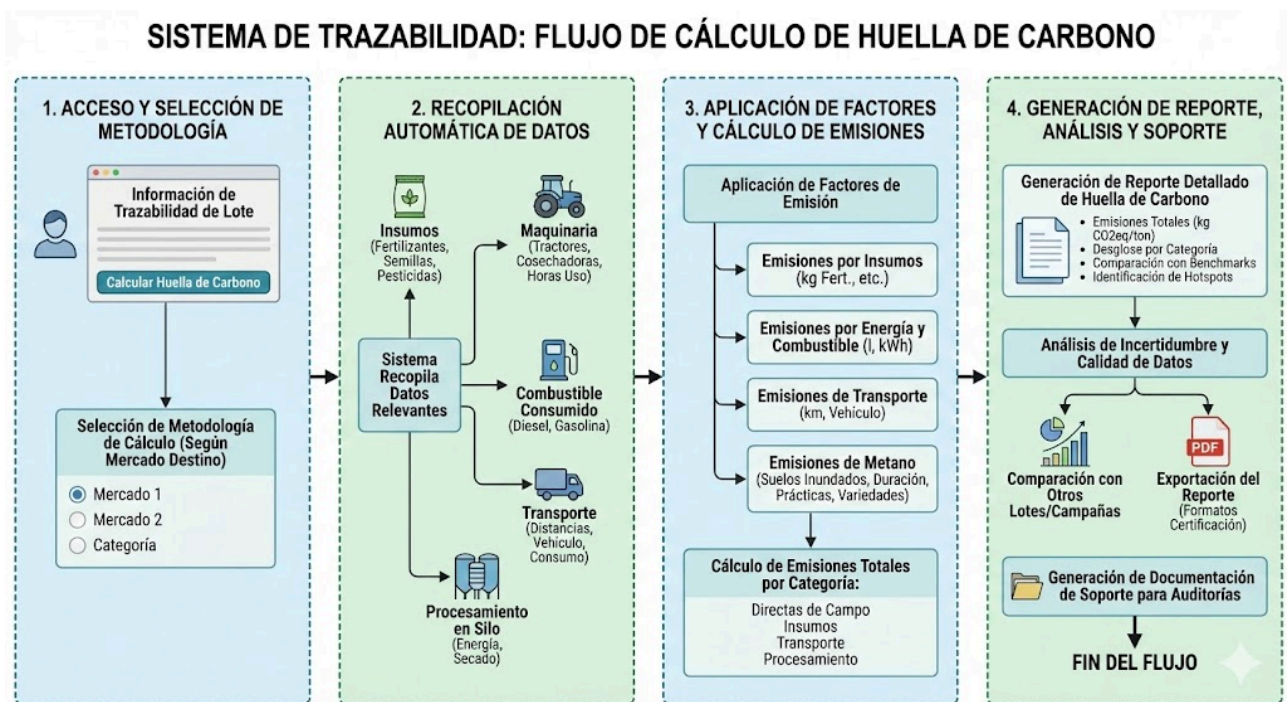
1. El usuario accede a la información de trazabilidad de un lote específico.
2. El usuario selecciona la opción "Calcular Huella de Carbono" desde el panel de análisis.
3. El sistema presenta las metodologías de cálculo disponibles y permite seleccionar la apropiada según requerimientos del mercado destino.
4. El sistema recopila automáticamente todos los datos relevantes desde la trazabilidad registrada: insumos utilizados (fertilizantes por tipo y cantidad, semillas, pesticidas por principio activo), maquinaria empleada (tractores, cosechadoras, implementos, horas de uso), combustible consumido (diesel, gasolina, estimado por actividad y maquinaria), transporte realizado (distancias, tipo de vehículo, consumo estimado), procesamiento en silo (energía eléctrica, secado, almacenamiento).
5. El sistema aplica los factores de emisión correspondientes a cada actividad: emisiones por kg de fertilizante aplicado según tipo, emisiones por litro de combustible consumido, emisiones por kWh de energía eléctrica utilizada, emisiones de transporte por km y tipo de vehículo, emisiones de metano por hectárea según condiciones de cultivo.
6. Para emisiones específicas del cultivo de arroz, el sistema considera: emisiones de metano de suelos inundados según tablas nacionales, duración del período de inundación, prácticas de manejo que afectan emisiones (secado intermitente, variedades, etc.).
7. El sistema calcula las emisiones totales por categoría: emisiones directas de campo, emisiones de insumos (scope 3 upstream), emisiones de transporte, emisiones de procesamiento.
8. El sistema genera un reporte detallado de huella de carbono incluyendo: emisiones totales en kg CO<sub>2</sub>eq por tonelada de arroz, desglose por categorías



de emisión, comparación con benchmarks sectoriales, identificación de hotspots de emisión.

9. El reporte incluye análisis de incertidumbre y calidad de datos utilizados.
10. El sistema permite comparar la huella calculada con otros lotes, productores, o campañas para identificar oportunidades de mejora.
11. El usuario puede exportar el reporte en formatos apropiados para certificación internacional.
12. Si es requerido, el sistema genera documentación de soporte para auditorías de terceros.

Figura 7. Flujo de cálculo de huella de carbono.



### Flujos alternativos:

- Si faltan datos para cálculo completo, el sistema identifica específicamente qué información adicional se requiere.
- Si hay múltiples metodologías aplicables, el sistema permite calcular según diferentes estándares para comparación.
- Si los valores calculados están fuera de rangos típicos, el sistema solicita verificación de datos de entrada.

### Postcondiciones:

- Huella de carbono calculada y almacenada vinculada al lote.
- Reporte detallado generado y disponible para descarga.
- Datos de sostenibilidad disponibles para certificación.
- Benchmarking actualizado con nuevo dato calculado.
- Oportunidades de mejora identificadas y documentadas.

### **3. Requerimientos del Frontend**

#### **3.1 Propósito del Frontend**

El frontend constituye la interfaz principal de interacción entre los usuarios y el sistema de trazabilidad de arroz, representando el punto de contacto crítico que determina la adopción y eficiencia del sistema. Está compuesto por una aplicación web responsive y una aplicación PWA (Progressive Web App) diseñadas para proporcionar acceso completo a las funcionalidades del sistema de trazabilidad, gestión de cultivos y análisis de datos, adaptándose a las necesidades específicas de cada tipo de usuario y contexto de uso.

El frontend debe proporcionar interfaces intuitivas y eficientes adaptadas a todos los roles de usuario del sistema, desde productores que requieren simplicidad y rapidez para registro de eventos en campo, hasta analistas que necesitan herramientas sofisticadas de visualización de datos. La diversidad de usuarios, desde operarios de campo con limitada experiencia tecnológica hasta técnicos especializados, requiere un diseño flexible que pueda adaptarse a diferentes niveles de competencia digital sin comprometer la funcionalidad.

La capacidad de soportar operaciones tanto online como offline es fundamental para garantizar continuidad operativa en entornos rurales con conectividad variable. Esta funcionalidad permite que las operaciones críticas como generación de remitos y registro de eventos continúen funcionando incluso sin conexión a internet, sincronizando automáticamente cuando se restablece la conectividad para mantener la integridad de los datos.

La integración con WhatsApp representa una innovación importante que aprovecha una plataforma de comunicación ya familiar para los usuarios del sector agropecuario uruguayo. Esta integración permitirá el envío automático de remitos y notificaciones, facilitando la comunicación entre actores de la cadena productiva y reduciendo la fricción en la adopción del sistema.

La arquitectura del frontend debe adaptarse eficientemente a diferentes dispositivos, desde estaciones de trabajo de escritorio hasta tablets y móviles utilizados en campo, facilitando la visualización de datos geoespaciales complejos y temporales de manera



clara y comprensible. El sistema debe permitir la gestión completa del flujo de trazabilidad manteniendo usabilidad óptima y rendimiento consistente en todas las plataformas.

### **3.2 Componentes del Frontend**

El frontend se estructura en tres componentes principales que trabajan de manera integrada pero optimizada para diferentes contextos de uso y tipos de dispositivos.

La aplicación web constituye la interfaz principal para gestión administrativa y análisis, proporcionando la funcionalidad completa para usuarios que trabajan desde oficinas, centros de acopio, o ubicaciones con acceso a computadoras de escritorio y tablets. Esta aplicación está optimizada para tareas que requieren pantallas más grandes, como análisis de datos complejos, generación de reportes detallados, configuración del sistema, y visualización de mapas con múltiples capas de información.

La aplicación web incluye dashboards personalizables que se adaptan al rol específico del usuario, herramientas avanzadas de búsqueda y filtrado, capacidades de exportación de datos en múltiples formatos, y funcionalidades administrativas para gestión de usuarios y configuración del sistema. La interfaz web está diseñada para maximizar la productividad en tareas complejas que requieren análisis detallado y toma de decisiones basada en información comprehensiva.

La PWA móvil está específicamente optimizada para uso en campo, donde las condiciones de trabajo son diferentes y la conectividad puede ser limitada o intermitente. Esta aplicación se enfoca en operaciones críticas que deben funcionar de manera confiable en entornos rurales, priorizando la simplicidad de uso, la velocidad de carga, y la robustez ante condiciones adversas.

La PWA incluye capacidades offline avanzadas que permiten que los operarios mantengan funcionalidad crítica incluso sin conexión a internet, registrando eventos, generando remitos, y consultando información previamente sincronizada. La aplicación se sincroniza inteligentemente cuando se restablece la conectividad, priorizando datos críticos para la trazabilidad y resolviendo automáticamente conflictos menores.

La integración con WhatsApp representa el tercer componente, actuando como canal de comunicación complementario que facilita el intercambio de información crítica entre actores de la cadena productiva. Esta integración aprovecha una plataforma ya ampliamente adoptada en el sector agropecuario uruguayo, reduciendo la resistencia al cambio y proporcionando un canal familiar para notificaciones importantes.

La integración permite envío automático de remitos generados, notificaciones de recepción en plantas, alertas sobre eventos críticos, y confirmaciones de actividades completadas. Los mensajes se envían utilizando plantillas configurables que pueden personalizarse según las necesidades específicas de cada organización o tipo de evento.

### 3.3 Requerimientos Funcionales del Frontend

Los requerimientos funcionales del frontend se organizan por componente específico, manteniendo la clasificación de prioridades establecida en el sistema general para garantizar que el desarrollo se enfoque en las funcionalidades más críticas para la operación básica del sistema.

#### 3.3.1 Interfaz Web Principal

La interfaz web principal debe proporcionar funcionalidades completas de gestión y análisis, optimizadas para uso en dispositivos con pantallas de mayor tamaño donde los usuarios pueden dedicar más tiempo a tareas complejas de análisis y administración. Esta interfaz permite el acceso a todas las funcionalidades del sistema con navegación intuitiva, visualizaciones avanzadas, y herramientas sofisticadas de análisis de datos.

**Tabla 12.** Requerimientos funcionales para interfaz web principal.

| ID        | Requerimiento                 | Descripción                                                                                                                                                                          | Prioridad |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-WEB-01 | Dashboard personalizable      | La interfaz debe mostrar dashboards adaptados por rol con información relevante, KPIs específicos, y accesos rápidos a funciones frecuentemente utilizadas por cada tipo de usuario. | Alta      |
| RF-WEB-02 | Mapas interactivos            | Visualización de campos en mapas con funcionalidades avanzadas de zoom, pan, medición, superposición de capas temáticas, y selección de múltiples elementos.                         | Alta      |
| RF-WEB-03 | Gestión de campos visual      | Interfaz para crear y editar polígonos de campos directamente en mapa, con herramientas de dibujo precisas, validación geométrica, y cálculo automático de áreas.                    | Alta      |
| RF-WEB-04 | Formularios inteligentes      | Formularios con validación en tiempo real, autocompletado basado en datos históricos, campos dependientes que se adaptan según selecciones previas.                                  | Alta      |
| RF-WEB-05 | Visualización de trazabilidad | Interfaz para consultar y visualizar cadena completa de trazabilidad mediante timelines interactivos, diagramas de flujo, y mapas de origen.                                         | Alta      |
| RF-WEB-06 | Reportes interactivos         | Generación y visualización de reportes con gráficos dinámicos, filtros interactivos, drill-down para análisis detallado, y capacidades de exportación.                               | Media     |
| RF-WEB-07 | Gestión de usuarios           | Interfaz completa para administración de usuarios, roles, permisos granulares, y monitoreo de actividad del sistema.                                                                 | Media     |
| RF-WEB-08 | Búsqueda global               | Buscador global inteligente que permita encontrar campos, remitos, silos, órdenes de venta, y productores mediante texto libre o filtros específicos.                                | Media     |
| RF-WEB-09 | Notificaciones en tiempo real | Sistema de notificaciones dentro de la aplicación web con categorización, priorización, y gestión de estado leído/no leído.                                                          | Baja      |
| RF-WEB-10 | Constructor de reportes       | Herramienta drag-and-drop para crear reportes personalizados seleccionando campos, filtros, y formatos de visualización.                                                             | Baja      |
| RF-WEB-11 | Análisis comparativo          | Herramientas para comparar rendimientos, calidad, y sostenibilidad entre diferentes entidades mediante gráficos lado-a-lado y análisis estadístico.                                  | Baja      |
| RF-WEB-12 | Exportación masiva            | Capacidad para exportar grandes volúmenes de datos en múltiples formatos con opciones de filtrado y selección de campos específicos.                                                 | Media     |

### 3.3.2 Aplicación PWA Móvil

La aplicación PWA móvil está diseñada específicamente para operaciones en campo, donde la conectividad puede ser limitada, las condiciones de trabajo son variables, y la eficiencia en tareas específicas es crítica. Esta aplicación debe mantener funcionalidad esencial offline y proporcionar interfaces optimizadas para uso rápido en dispositivos móviles.

**Tabla 13.** Requerimientos funcionales para aplicación PWA móvil.

| ID        | Requerimiento              | Descripción                                                                                                                                                             | Prioridad |
|-----------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-PWA-01 | Funcionamiento offline     | La PWA debe funcionar completamente sin conexión para funciones críticas, con sincronización inteligente posterior que prioriza datos de trazabilidad.                  | Alta      |
| RF-PWA-02 | Generación de remitos      | Interfaz simplificada y rápida para generar remitos desde campo, con mínimo número de pasos y validación automática de datos.                                           | Alta      |
| RF-PWA-03 | Escaneo de QR              | Capacidad de escanear códigos QR para recepción en silos, con reconocimiento rápido y mostrado automático de información relevante.                                     | Alta      |
| RF-PWA-04 | Geolocalización automática | Detección automática de ubicación para asociar eventos con campos específicos, con validación contra polígonos registrados.                                             | Media     |
| RF-PWA-05 | Registro de eventos móvil  | Formularios optimizados para registro rápido de eventos de campo, con opciones predefinidas y captura de fotografías.                                                   | Baja      |
| RF-PWA-06 | Sincronización inteligente | Priorización automática de datos críticos para sincronización, con resolución automática de conflictos menores y notificación de conflictos que requieren intervención. | Alta      |
| RF-PWA-07 | Notificaciones push        | Recepción de notificaciones importantes aunque la app esté cerrada, con categorización por urgencia y tipo de evento.                                                   | Baja      |
| RF-PWA-08 | Modo nocturno              | Interfaz optimizada para uso en condiciones de poca luz con esquemas de color apropiados y contraste mejorado.                                                          | Baja      |
| RF-PWA-09 | Caché inteligente          | Almacenamiento local de datos frecuentemente accedidos para mejorar rendimiento y reducir dependencia de conectividad.                                                  | Media     |
| RF-PWA-10 | Validación offline         | Capacidad de validar datos ingresados contra reglas de negocio almacenadas localmente, sin requerir conectividad.                                                       | Media     |

### 3.3.3 Integración con WhatsApp

La integración con WhatsApp aprovecha una plataforma de comunicación ampliamente utilizada en el sector agropecuario para facilitar el intercambio de información crítica entre actores de la cadena productiva, reduciendo la fricción en la adopción del sistema.

**Tabla 14.** Requerimientos funcionales para integración con WhatsApp.

| ID       | Requerimiento               | Descripción                                                                                                               | Prioridad |
|----------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-WA-01 | Envío de remitos            | Envío automático de remitos por WhatsApp al generar desde sistema, incluyendo código QR e información básica de la carga. | Media     |
| RF-WA-02 | Notificaciones de recepción | Envío de confirmaciones de recepción en silo vía WhatsApp con resumen de peso, calidad, y ubicación de almacenamiento.    | Media     |
| RF-WA-03 | Alertas personalizadas      | Configuración de alertas específicas para cada usuario según sus intereses y responsabilidades en el sistema.             | Baja      |
| RF-WA-04 | Compartir trazabilidad      | Capacidad de compartir información resumida de trazabilidad vía WhatsApp para comunicación con compradores o auditores.   | Baja      |
| RF-WA-05 | Plantillas configurables    | Posibilidad de personalizar mensajes según el tipo de evento, organización, y preferencias del usuario.                   | Baja      |
| RF-WA-06 | Gestión de errores          | Manejo robusto de errores en envío con reintentos automáticos y notificación de fallos persistentes.                      | Media     |
| RF-WA-07 | Confirmación de entrega     | Tracking de entrega de mensajes para confirmar recepción de información crítica.                                          | Baja      |

### 3.3.4 Visualización de Datos

La visualización de datos permite transformar la información compleja de trazabilidad en insights comprensibles para la toma de decisiones. Estas funcionalidades son especialmente importantes para técnicos y analistas que necesitan identificar patrones, tendencias, y oportunidades de mejora.

**Tabla 15.** Requerimientos funcionales para visualización de datos.

| ID       | Requerimiento                      | Descripción                                                                                                                                    | Prioridad |
|----------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RF-VD-01 | Gráficos interactivos              | Visualización de datos temporales y comparativos mediante gráficos interactivos con capacidades de zoom, filtrado, y drill-down.               | Media     |
| RF-VD-02 | Mapas de calor                     | Representación visual de rendimientos, calidad, huella de carbono, u otros indicadores por zonas geográficas mediante codificación de colores. | Media     |
| RF-VD-03 | Timeline de eventos                | Visualización cronológica de eventos por campo con capacidad de filtrar por tipo de evento y expandir detalles.                                | Media     |
| RF-VD-04 | Indicadores KPI                    | Dashboards con indicadores clave de rendimiento específicos por rol, con alertas automáticas cuando se superan umbrales.                       | Media     |
| RF-VD-05 | Comparativas visuales              | Herramientas para comparar visualmente rendimientos, calidad, y sostenibilidad entre diferentes entidades mediante gráficos lado-a-lado.       | Baja      |
| RF-VD-06 | Filtros avanzados                  | Sistema comprehensivo de filtros para datos por fecha, ubicación, variedad, productor, y otros criterios con guardado de filtros frecuentes.   | Media     |
| RF-VD-07 | Visualización de huella de carbono | Representación específica para datos de sostenibilidad con desglose por categorías de emisión y comparación con benchmarks.                    | Baja      |
| RF-VD-08 | Análisis de tendencias             | Identificación automática de tendencias en datos históricos con                                                                                | Baja      |

| ID | Requerimiento | Descripción                                       | Prioridad |
|----|---------------|---------------------------------------------------|-----------|
| 8  |               | proyecciones y alertas de cambios significativos. |           |

### 3.4 Requerimientos No Funcionales del Frontend

Los requerimientos no funcionales del frontend establecen los estándares de calidad técnica que debe cumplir la interfaz de usuario para garantizar una experiencia satisfactoria en diferentes condiciones de uso, dispositivos, y niveles de conectividad.

#### 3.4.1 Usabilidad y Experiencia de Usuario

La usabilidad es crítica para la adopción exitosa del sistema, especialmente considerando la diversidad de usuarios en el sector agropecuario y sus diferentes niveles de familiaridad con tecnología digital. El diseño debe ser inclusivo y accesible para maximizar la participación de todos los actores de la cadena productiva.

**Tabla 16.** Requerimientos no funcionales de usabilidad y experiencia de usuario.

| ID        | Requerimiento        | Descripción                                                                                                                             | Prioridad |
|-----------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-UX-01 | Diseño responsive    | La interfaz debe adaptarse automáticamente a pantallas desde 320px (móviles) hasta 1920px (desktop) manteniendo funcionalidad completa. | Media     |
| RNF-UX-02 | Tiempo de carga      | Las páginas principales deben cargar en menos de 3 segundos en conexiones 3G, con indicadores de progreso para operaciones más lentas.  | Media     |
| RNF-UX-03 | Navegación intuitiva | Máximo 3 clics para acceder a cualquier funcionalidad principal, con breadcrumbs claros y navegación contextual.                        | Media     |
| RNF-UX-04 | Consistencia visual  | Mantenimiento de identidad visual coherente y patrones de interacción consistentes en toda la aplicación.                               | Media     |
| RNF-UX-05 | Accesibilidad básica | Cumplimiento con estándares WCAG 2.1 nivel AA para garantizar usabilidad para usuarios con discapacidades.                              | Baja      |
| RNF-UX-06 | Idioma español       | Interfaz completamente en español rioplatense con terminología agropecuaria local apropiada.                                            | Alta      |
| RNF-UX-07 | Curva de aprendizaje | Un usuario nuevo debe poder realizar tareas básicas después de máximo 30 minutos de capacitación.                                       | Alta      |
| RNF-UX-08 | Tolerancia a errores | El sistema debe prevenir errores comunes y proporcionar recuperación fácil cuando ocurran errores.                                      | Media     |

#### 3.4.2 Rendimiento

El rendimiento del frontend es especialmente crítico en dispositivos móviles y conexiones lentas, condiciones comunes en el entorno rural donde opera el sistema. La optimización debe garantizar funcionalidad fluida incluso en condiciones adversas.

**Tabla 17.** Requerimientos no funcionales de rendimiento.

| ID        | Requerimiento             | Descripción                                                                                                         | Prioridad |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-PE-01 | Optimización para móviles | La PWA debe funcionar fluidamente en dispositivos con mínimo 2GB RAM y procesadores de gama media.                  | Alta      |
| RNF-PE-02 | Carga lazy de imágenes    | Carga diferida de imágenes y componentes pesados para mejorar tiempo de carga inicial.                              | Media     |
| RNF-PE-03 | Caché inteligente         | Implementación de estrategias de caché para minimizar transferencia de datos y mejorar rendimiento.                 | Media     |
| RNF-PE-04 | Optimización de recursos  | Minimización del tamaño de archivos JavaScript y CSS mediante compresión y eliminación de código no utilizado.      | Media     |
| RNF-PE-05 | Compresión de datos       | Compresión automática de datos transferidos para optimizar uso de ancho de banda en conexiones lentas.              | Media     |
| RNF-PE-06 | Rendering eficiente       | Optimización de rendering para mantener 60fps en animaciones y transiciones, especialmente en dispositivos móviles. | Baja      |

### 3.4.3 Compatibilidad

La compatibilidad amplia garantiza que el sistema pueda ser utilizado por todos los actores de la cadena productiva sin requerir inversiones adicionales en hardware o software, maximizando la adopción del sistema.

**Tabla 18.** Requerimientos no funcionales de compatibilidad.

| ID        | Requerimiento               | Descripción                                                                                                           | Prioridad |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNF-CO-01 | Navegadores modernos        | Soporte completo para Chrome 90+, Firefox 88+, Safari 14+, Edge 90+ con degradación elegante en versiones anteriores. | Alta      |
| RNF-CO-02 | Sistemas operativos móviles | Funcionamiento completo en Android 8+ e iOS 12+ con optimizaciones específicas para cada plataforma.                  | Alta      |
| RNF-CO-03 | Instalación PWA             | Capacidad de instalación como app nativa en dispositivos móviles y desktop con iconos apropiados.                     | Media     |
| RNF-CO-04 | Funcionamiento offline      | Funcionalidades críticas disponibles sin conexión con sincronización automática al recuperar conectividad.            | Media     |
| RNF-CO-05 | Degradación elegante        | El sistema debe funcionar con limitaciones aceptables cuando falten características avanzadas del navegador.          | Media     |
| RNF-CO-06 | Resoluciones de pantalla    | Soporte para resoluciones desde 320x568 (iPhone 5) hasta 2560x1440 (monitores QHD) manteniendo legibilidad.           | Media     |

## 4. Requerimientos del Backend

### 4.1 Propósito del Backend

El backend constituye el núcleo tecnológico del Sistema de Trazabilidad de Arroz, funcionando como la columna vertebral que sostiene todas las operaciones críticas del sistema. Su responsabilidad abarca la gestión integral de datos de trazabilidad, implementación de la lógica de negocio específica del dominio agrícola, autenticación y autorización granular de usuarios, y provisión de las APIs robustas necesarias para conectar el frontend web, la aplicación móvil, y actuar como middleware para integración con sistemas existentes de aglutinadores y plantas industriales.

El backend debe gestionar la trazabilidad completa del arroz desde el campo hasta la venta final, manteniendo la integridad y consistencia de los datos en todo momento, incluso durante períodos de alta concurrencia como la cosecha cuando cientos de usuarios pueden estar registrando información simultáneamente. La arquitectura debe garantizar que ningún dato crítico se pierda y que la vinculación entre diferentes etapas de la cadena productiva se mantenga precisa y verificable.

Su función como middleware es crítica para permitir la integración no intrusiva con sistemas existentes, facilitando la adopción del sistema sin requerir modificaciones significativas en las operaciones actuales de aglutinadores, plantas industriales, o sistemas de gestión de productores. Esta capacidad de integración debe ser flexible para acomodar diferentes arquitecturas tecnológicas y protocolos de comunicación utilizados por distintas organizaciones.

El sistema debe proporcionar APIs robustas y bien documentadas para aplicaciones frontend y móviles, garantizando la seguridad y privacidad de los datos mediante mecanismos de autenticación y autorización granulares que permitan control preciso sobre quién puede acceder a qué información. Adicionalmente, debe soportar el cálculo automático de huella de carbono utilizando metodologías internacionalmente reconocidas y facilitar la integración con sistemas de terceros para expandir las capacidades del sistema.

## **4.2 Arquitectura General**

El sistema adoptará una arquitectura de microservicios moderna que permite escalabilidad independiente de componentes, facilitando el mantenimiento, la evolución del sistema, y la implementación de nuevas funcionalidades sin afectar componentes existentes. Esta arquitectura proporciona integración flexible con sistemas existentes sin comprometer la estabilidad de las operaciones actuales, permitiendo que diferentes organizaciones adopten el sistema a su propio ritmo y según sus capacidades tecnológicas específicas.

La modularidad del diseño permite despliegue y mantenimiento independiente de cada componente, reduciendo significativamente los riesgos operativos durante actualizaciones, mejoras, o expansiones del sistema. Cada microservicio puede escalar

independientemente según la demanda específica, optimizando el uso de recursos y garantizando rendimiento consistente incluso durante picos de actividad.

La tolerancia a fallos aislados garantiza que problemas en un componente específico no comprometan la operación general del sistema, implementando patrones de circuit breaker, retry, y fallback que mantienen la continuidad operativa incluso cuando algunos servicios experimentan problemas temporales.

Esta arquitectura facilita la implementación gradual del sistema, permitiendo que diferentes módulos se pongan en funcionamiento de manera incremental según las prioridades operativas, la disponibilidad de recursos, y la preparación de las organizaciones participantes. Esta aproximación reduce riesgos de implementación y permite ajustes basados en feedback real de usuarios.

### 4.3 Requerimientos Funcionales del Backend

#### 4.3.1 Gestión de Datos y Persistencia

La gestión de datos constituye la base fundamental del sistema de trazabilidad, requiriendo almacenamiento confiable, eficiente, y escalable de toda la información crítica. El sistema debe manejar datos geoespaciales complejos con precisión submétrica, optimizar el almacenamiento de series temporales para garantizar rendimiento adecuado en consultas frecuentes, y mantener integridad referencial absoluta para preservar la confiabilidad de la trazabilidad.

**Tabla 19.** Requerimientos funcionales para gestión de datos y persistencia.

| ID       | Requerimiento                           | Descripción                                                                                                                                                             | Prioridad |
|----------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-GD-01 | Almacenamiento de datos de trazabilidad | El backend debe almacenar toda la información crítica para trazabilidad completa del arroz, incluyendo eventos de campo, transporte, procesamiento, y comercialización. | Alta      |
| RB-GD-02 | Soporte para datos geoespaciales        | El backend debe manejar eficientemente polígonos de campos, rutas GPS, coordenadas precisas, y análisis espaciales complejos usando tecnologías GIS avanzadas.          | Alta      |
| RB-GD-03 | Gestión de series temporales            | El backend debe optimizar el almacenamiento y consulta de datos temporales (eventos, tracking GPS, mediciones) con indexación temporal eficiente.                       | Media     |
| RB-GD-04 | Integridad referencial                  | El backend debe garantizar la consistencia de datos entre todas las entidades relacionadas mediante constraints, triggers, y validaciones automáticas.                  | Alta      |
| RB-GD-05 | Versionado de datos críticos            | El backend debe mantener versiones históricas de cambios en datos críticos para auditoría, con timestamps y responsables de modificaciones.                             | Media     |
| RB-GD-06 | Respaldo y recuperación                 | El backend debe implementar mecanismos de respaldo automático incremental y completo con verificación de integridad y pruebas de recuperación.                          | Alta      |
| RB-GD-07 | Particionamiento de datos               | El backend debe implementar particionamiento de datos por fecha y región para optimizar rendimiento de consultas en grandes volúmenes.                                  | Media     |



| ID       | Requerimiento        | Descripción                                                                                                                               | Prioridad |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-GD-08 | Archivado automático | El backend debe archivar automáticamente datos antiguos manteniendo accesibilidad para consultas históricas según políticas de retención. | Baja      |

#### 4.3.2 APIs y Servicios Web

Las APIs constituyen la interfaz principal de comunicación entre el backend y los diferentes componentes del sistema, incluyendo aplicaciones frontend, móviles, y sistemas externos. Deben proporcionar acceso completo a las funcionalidades del sistema manteniendo estándares rigurosos de seguridad, rendimiento, y documentación.

**Tabla 20.** Requerimientos funcionales para APIs y servicios web.

| ID        | Requerimiento                             | Descripción                                                                                                                                                     | Prioridad |
|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-API-01 | API REST para operaciones CRUD            | El backend debe exponer APIs REST comprehensivas para todas las operaciones básicas de creación, lectura, actualización y eliminación con versionado apropiado. | Alta      |
| RB-API-02 | APIs para aplicación móvil                | El backend debe proporcionar endpoints específicos optimizados para la aplicación móvil de remitos con payloads minimizados y operaciones offline.              | Alta      |
| RB-API-03 | APIs de integración con sistemas externos | El backend debe exponer APIs estándar para integración con sistemas de aglutinadores y plantas industriales con autenticación segura.                           | Alta      |
| RB-API-04 | API de trazabilidad completa              | El backend debe proveer endpoints especializados para consultar trazabilidad hacia adelante y hacia atrás con rendimiento optimizado.                           | Alta      |
| RB-API-05 | APIs de reportes y análisis               | El backend debe ofrecer endpoints para generar reportes complejos y análisis de datos con capacidades de filtrado y paginación.                                 | Media     |
| RB-API-06 | API para cálculo de huella de carbono     | El backend debe exponer servicios para calcular automáticamente la huella de carbono según diferentes metodologías internacionales.                             | Media     |
| RB-API-07 | APIs de notificaciones                    | El backend debe proporcionar mecanismos para envío de notificaciones a usuarios mediante múltiples canales (email, SMS, push, WhatsApp).                        | Baja      |
| RB-API-08 | APIs de sincronización                    | El backend debe proporcionar endpoints especializados para sincronización eficiente de datos offline con resolución de conflictos.                              | Alta      |
| RB-API-09 | APIs de monitoreo                         | El backend debe exponer endpoints para monitoreo de salud, métricas de rendimiento, y estado de componentes del sistema.                                        | Media     |

#### 4.3.3 Funcionalidades de Middleware

Las funcionalidades de middleware permiten que el sistema actúe como intermediario inteligente entre diferentes plataformas existentes, facilitando la integración sin requerir

modificaciones disruptivas en sistemas operativos actuales mientras mantiene la integridad y consistencia de los datos.

**Tabla 21.** Requerimientos funcionales para middleware.

| ID       | Requerimiento                             | Descripción                                                                                                                                      | Prioridad |
|----------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-MW-01 | Integración con sistemas de aglutinadores | El backend debe actuar como middleware para conectar con sistemas existentes de diferentes aglutinadores, respetando sus protocolos específicos. | Alta      |
| RB-MW-02 | Sincronización de datos                   | El backend debe sincronizar datos entre el sistema central y sistemas externos sin duplicar información, manteniendo consistencia bidireccional. | Alta      |
| RB-MW-03 | Transformación de datos                   | El backend debe transformar datos entre diferentes formatos y estructuras de sistemas externos, implementando mapeo configurable de campos.      | Media     |
| RB-MW-04 | Enrutamiento de solicitudes               | El backend debe enrutar solicitudes hacia los sistemas apropiados según origen, tipo de datos, y reglas de negocio configurables.                | Media     |
| RB-MW-05 | Agregación de datos                       | El backend debe agregar datos provenientes de múltiples sistemas externos en una vista unificada manteniendo trazabilidad de origen.             | Media     |
| RB-MW-06 | Gestión de transacciones distribuidas     | El backend debe gestionar transacciones que abarcan múltiples sistemas externos garantizando consistencia mediante patrones saga o 2PC.          | Baja      |
| RB-MW-07 | Tolerancia a fallos de sistemas externos  | El backend debe continuar operando cuando sistemas externos fallan, implementando circuit breakers y fallbacks apropiados.                       | Media     |

#### 4.3.4 Lógica de Negocio

La lógica de negocio implementa las reglas específicas del dominio de trazabilidad de arroz, garantizando que todas las operaciones cumplan con los estándares establecidos, mantengan la coherencia de los datos, y reflejen claramente los procesos productivos reales del sector arrocero uruguayo.

**Tabla 22.** Requerimientos funcionales para la lógica de negocio.

| ID       | Requerimiento                        | Descripción                                                                                                                                                           | Prioridad |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-LN-01 | Validación de datos de entrada       | El backend debe validar todos los datos de entrada según reglas de negocio complejas, incluyendo rangos válidos, consistencia temporal, y relaciones entre entidades. | Alta      |
| RB-LN-02 | Generación de identificadores únicos | El backend debe generar códigos QR únicos y otros identificadores para remitos, órdenes de venta, y lotes con                                                         | Alta      |

| ID       | Requerimiento                        | Descripción                                                                                                                                               | Prioridad |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          |                                      | algoritmos que garanticen unicidad global.                                                                                                                |           |
| RB-LN-03 | Cálculos automáticos                 | El backend debe realizar cálculos automáticos de áreas, distancias, rendimientos, costos, y métricas derivadas con precisión y eficiencia.                | Media     |
| RB-LN-04 | Gestión de estados de workflow       | El backend debe manejar los estados complejos de remitos, órdenes de trabajo, procesos de cosecha, y otros workflows con transiciones válidas.            | Alta      |
| RB-LN-05 | Vinculación automática de datos      | El backend debe vincular automáticamente remitos con silos, órdenes de venta con lotes de origen, manteniendo integridad referencial completa.            | Alta      |
| RB-LN-06 | Cálculo de huella de carbono         | El backend debe calcular automáticamente la huella de carbono basada en datos de trazabilidad usando múltiples metodologías internacionales.              | Media     |
| RB-LN-07 | Análisis geoespacial                 | El backend debe realizar análisis geoespaciales como validación de ubicaciones, cálculo de rutas, detección de superposiciones, y análisis de proximidad. | Media     |
| RB-LN-08 | Priorización de datos automáticos    | El backend debe priorizar datos capturados automáticamente sobre registros manuales cuando ambos estén disponibles, con logging de discrepancias.         | Media     |
| RB-LN-09 | Validación cruzada automático-manual | El backend debe validar consistencia entre datos automáticos y manuales, alertando sobre discrepancias significativas que requieren investigación.        | Baja      |
| RB-LN-10 | Reglas de calidad de datos           | El backend debe implementar reglas de calidad de datos que identifiquen y marquen información incompleta, inconsistente, o sospechosa.                    | Media     |

#### 4.3.5 Gestión de Usuarios y Seguridad

La gestión de usuarios y seguridad proporciona los mecanismos necesarios para proteger la información del sistema y garantizar que cada usuario acceda únicamente a los datos y funcionalidades correspondientes a su rol específico, cumpliendo con regulaciones de protección de datos y estándares de seguridad internacionales.

**Tabla 23.** Requerimientos funcionales para gestión de usuarios y seguridad.

| ID       | Requerimiento                       | Descripción                                                                                                                  | Prioridad |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RB-US-01 | Autenticación de usuarios           | El backend debe autenticar usuarios mediante credenciales seguras con soporte para múltiples métodos (contraseña, 2FA, SSO). | Alta      |
| RB-US-02 | Autorización basada en roles        | El backend debe implementar control de acceso granular basado en roles y permisos específicos con herencia y delegación.     | Alta      |
| RB-US-03 | Gestión de sesiones                 | El backend debe manejar sesiones de usuario de forma segura con tokens JWT, expiración automática, y revocación inmediata.   | Alta      |
| RB-US-04 | Auditoría de acciones               | El backend debe registrar todas las acciones críticas para fines de auditoría con timestamps, usuarios, y contexto completo. | Alta      |
| RB-US-05 | Gestión de permisos de compartición | El backend debe manejar permisos complejos para compartición selectiva de datos entre usuarios con diferentes                | Media     |

| ID       | Requerimiento                     | Descripción                                                                                                                          | Prioridad |
|----------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          |                                   | niveles de acceso.                                                                                                                   |           |
| RB-US-06 | Recuperación de credenciales      | El backend debe proporcionar mecanismos seguros para recuperación de contraseñas con validación multi-factor y expiración de tokens. | Media     |
| RB-US-07 | Políticas de contraseñas          | El backend debe enforcing políticas de contraseñas robustas con complejidad mínima, rotación periódica, e historial de contraseñas.  | Media     |
| RB-US-08 | Detección de actividad sospechosa | El backend debe detectar patrones de actividad sospechosa como intentos de login múltiples, accesos desde ubicaciones inusuales.     | Baja      |

#### 4.4 Requerimientos No Funcionales del Backend

Los requerimientos no funcionales establecen los estándares de calidad técnica que debe cumplir el backend para garantizar operación confiable, eficiente, y segura en el entorno productivo uruguayo, considerando las características específicas del sector agrícola y las demandas de un sistema de trazabilidad nacional.

##### 4.4.1 Rendimiento y Escalabilidad

El rendimiento del backend es crítico para mantener la eficiencia operativa durante períodos de alta actividad como la cosecha, cuando múltiples usuarios acceden simultáneamente al sistema para registrar y consultar información. La escalabilidad debe acomodar el crecimiento futuro del sector y la potencial expansión a otros cultivos.

**Tabla 24.** Requerimientos no funcionales de rendimiento y escalabilidad.

| ID        | Requerimiento                           | Descripción                                                                                                                                       | Prioridad |
|-----------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNB-PE-01 | Tiempo de respuesta de APIs             | Las APIs deben responder en menos de 2 segundos para consultas básicas, 5 segundos para consultas complejas, y 10 segundos para reportes pesados. | Alta      |
| RNB-PE-02 | Concurrencia                            | El backend debe soportar al menos 1000 usuarios concurrentes sin degradación significativa, escalando hasta 2000 durante picos de cosecha.        | Alta      |
| RNB-PE-03 | Escalabilidad horizontal                | La arquitectura debe permitir escalado horizontal de microservicios independientes agregando instancias según demanda.                            | Media     |
| RNB-PE-04 | Optimización de consultas geoespaciales | Las consultas geoespaciales deben ejecutarse eficientemente para grandes volúmenes de datos usando índices espaciales y técnicas de optimización. | Media     |
| RNB-PE-05 | Manejo de grandes volúmenes             | El backend debe manejar eficientemente datos de al menos 150,000 hectáreas, 500,000 eventos anuales, y 100,000 remitos sin degradación.           | Alta      |
| RNB-PE-06 | Throughput de transacciones             | El sistema debe procesar al menos 100 transacciones por segundo durante operación normal y 500 TPS durante picos.                                 | Media     |
| RNB-PE-07 | Optimización de memoria                 | El backend debe gestionar eficientemente la memoria                                                                                               | Media     |

| ID | Requerimiento | Descripción                                                                        | Prioridad |
|----|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7  |               | evitando memory leaks y optimizando garbage collection para minimizar la latencia. |           |

#### 4.4.2 Disponibilidad y Confiabilidad

La disponibilidad del sistema es fundamental durante períodos críticos como la cosecha, donde cualquier interrupción puede afectar la continuidad de las operaciones y comprometer la trazabilidad de lotes completos, afectando la credibilidad del sistema nacional de trazabilidad.

**Tabla 25.** Requerimientos no funcionales de disponibilidad y confiabilidad.

| ID        | Requerimiento              | Descripción                                                                                                                      | Prioridad |
|-----------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNB-DC-01 | Disponibilidad del sistema | El backend debe mantener una disponibilidad mínima del 99.5% anual con objetivo de 99.9% durante períodos críticos de cosecha.   | Alta      |
| RNB-DC-02 | Tolerancia a fallos        | El sistema debe continuar operando aunque fallen componentes individuales, implementando redundancia y failover automático.      | Alta      |
| RNB-DC-03 | Recuperación automática    | El backend debe recuperarse automáticamente de fallos comunes sin intervención manual usando health checks y restart automático. | Media     |
| RNB-DC-04 | Balanceo de carga          | El sistema debe distribuir la carga automáticamente entre instancias disponibles con algoritmos de balanceo inteligentes.        | Media     |
| RNB-DC-05 | Degradación elegante       | El sistema debe degradar elegantemente bajo alta carga, priorizando funciones críticas sobre funciones opcionales.               | Media     |
| RNB-DC-06 | Tiempo de recuperación     | El sistema debe tener RTO (Recovery Time Objective) de máximo 2 horas y RPO (Recovery Point Objective) de máximo 15 minutos.     |           |

#### 4.4.3 Seguridad

La seguridad del backend protege información comercialmente sensible de los productores y garantiza la integridad de los datos de trazabilidad que pueden ser requeridos para cumplir con estándares internacionales y regulaciones de diferentes mercados de destino.

**Tabla 26.** Requerimientos no funcionales de seguridad.

| ID        | Requerimiento             | Descripción                                                                                                        | Prioridad |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RNB-SG-01 | Encriptación en tránsito  | Todas las comunicaciones deben estar encriptadas mediante HTTPS/TLS 1.3 mínimo con perfect forward secrecy.        | Alta      |
| RNB-SG-02 | Encriptación en reposo    | Los datos sensibles deben almacenarse encriptados en la base de datos usando AES-256 con gestión segura de claves. | Alta      |
| RNB-SG-03 | Protección contra ataques | El backend debe implementar protecciones comprehensivas contra ataques comunes (SQL injection, XSS, CSRF, DDoS).   | Alta      |
| RNB-SG-04 | Gestión segura de         | Las credenciales y secrets deben gestionarse usando                                                                | Alta      |

| ID        | Requerimiento            | Descripción                                                                                                                 | Prioridad |
|-----------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4         | credenciales             | servicios especializados con rotación automática y acceso auditado.                                                         |           |
| RNB-SG-05 | Logs de seguridad        | El sistema debe generar logs detallados e inmutables de eventos de seguridad con correlación de eventos sospechosos.        | Media     |
| RNB-SG-06 | Penetration testing      | El sistema debe someterse a pruebas de penetración regulares con remediación de vulnerabilidades identificadas.             | Media     |
| RNB-SG-07 | Cumplimiento regulatorio | El backend debe cumplir con regulaciones de protección de datos (GDPR, ley uruguaya) y estándares de seguridad (ISO 27001). | Media     |

## 5. Conclusiones Y Recomendaciones

### 5.1 Síntesis del Sistema Propuesto

El Sistema de Trazabilidad de Arroz para Uruguay representa una solución integral y estratégica que aborda las necesidades específicas del sector arrocero nacional, proporcionando capacidades completas de seguimiento desde el campo hasta la comercialización final. La arquitectura modular propuesta permite una implementación gradual y no intrusiva, facilitando la adopción por parte de todos los actores de la cadena productiva sin requerir inversiones masivas en nueva infraestructura tecnológica.

La solución propuesta reconoce la diversidad del sector arrocero uruguayo, desde pequeños productores familiares hasta grandes empresas integradas, proporcionando flexibilidad suficiente para acomodar diferentes niveles de tecnificación y capacidades operativas. El enfoque de implementación progresiva permite que cada organización adopte el sistema a su propio ritmo, minimizando interrupciones operativas mientras maximiza los beneficios de la trazabilidad completa.

### 5.2 Beneficios Estratégicos

La implementación del sistema proporciona beneficios estratégicos significativos tanto a nivel individual de productores como sectorial para todo el arroz uruguayo. A nivel comercial, la capacidad de proporcionar trazabilidad completa y certificación de sostenibilidad posiciona al arroz uruguayo ventajosamente en mercados internacionales que valoran estos atributos, potencialmente generando premiums de precio y acceso a nichos de mercado de alto valor.

La capacidad de cálculo automático de huella de carbono anticipa regulaciones futuras y tendencias de mercado hacia productos certificados como carbono neutro o de baja huella ambiental. Esta preparación proactiva garantiza que el sector arrocero uruguayo

mantenga su competitividad en mercados internacionales que implementan cada vez más regulaciones ambientales estrictas.

### **5.3 Implementación Recomendada**

La clasificación de requerimientos en tres niveles de prioridad permite enfocar los recursos de desarrollo en las funcionalidades críticas para la trazabilidad básica, mientras se mantiene flexibilidad para incorporar mejoras progresivas según evolucionen las necesidades del sector y la disponibilidad de recursos.

Se recomienda una implementación por fases que comience con un piloto en una región específica o con un grupo limitado de productores y aglutinadores, permitiendo ajustes basados en feedback real antes de la expansión nacional. Esta aproximación reduce riesgos de implementación y permite optimización del sistema basada en experiencia práctica.

### **5.4 Sostenibilidad y Gobernanza**

La preparación del sistema para futuras integraciones con tecnologías emergentes como IoT, blockchain, e inteligencia artificial garantiza su relevancia a largo plazo y evita obsolescencia tecnológica prematura. La arquitectura modular facilita la incorporación de nuevas tecnologías sin requerir rediseño fundamental del sistema.

La transición planificada hacia un modelo de gobernanza descentralizada administrado por instituciones reconocidas del sector agrícola uruguayo garantiza la sostenibilidad y credibilidad a largo plazo del sistema. Esta estructura institucional proporciona la estabilidad y continuidad necesarias para mantener un sistema de trazabilidad nacional efectivo.

### **5.5 Impacto Sectorial**

El enfoque en usabilidad y funcionamiento offline reconoce las realidades del entorno productivo uruguayo, donde la conectividad variable y la diversidad de usuarios requieren soluciones robustas y flexibles. La integración con plataformas familiares como WhatsApp facilita la adopción y mejora la comunicación entre actores, reduciendo la resistencia al cambio tecnológico.

La gestión granular de privacidad y compartición de datos protege los intereses comerciales de los productores mientras facilita la colaboración necesaria en la cadena productiva. Este equilibrio entre transparencia y privacidad es fundamental para generar confianza y garantizar la participación voluntaria sostenida en el sistema.

## **6 Recomendaciones Finales**

Para maximizar el éxito de la implementación, se recomienda establecer un programa comprehensivo de capacitación que acompañe el despliegue tecnológico, garantizando que todos los usuarios puedan aprovechar efectivamente las capacidades del sistema. Este programa debe adaptarse a los diferentes niveles de competencia tecnológica y roles específicos de cada tipo de usuario.

El desarrollo de alianzas estratégicas con organizaciones del sector, instituciones de investigación, y compradores internacionales facilitará la adopción del sistema y maximizará sus beneficios comerciales. Estas alianzas pueden proporcionar recursos adicionales, expertise técnico, y canales de comercialización que agreguen valor al sistema de trazabilidad.

La implementación debe acompañarse de un programa de monitoreo y evaluación continua que permita ajustes y mejoras basadas en experiencia real de uso, garantizando que el sistema evolucione según las necesidades cambiantes del sector y mantenga su relevancia y efectividad a largo plazo.