

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA

INFORMACIÓN

TRABAJO DE DESARROLLO PREVIO AL TÍTULO DE INGENIERO EN

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TEMA:

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MODULAR DE TRAZABILIDAD
INTEGRAL PARA LA CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR
AGROINDUSTRIAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ**

AUTOR:

AGUILAR SALTOS MARCOS STEFANO

TUTOR:

ING. MARCO AYОВI RAMIREZ PhD

Manta - Manabí – Ecuador

2025(2)



Declaración expresa de autoría

Declaración expresa de autoría

Yo Aguilar Saltos Marcos Stefano declaro bajo juramento que el trabajo de titulación presentado es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Manta, 30 de enero de 2026

Certificación del director de trabajo de graduación

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	REVISIÓN: 1
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Carrera de Tecnologías de la Información de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Aguilar Saltos Marcos Stefano, legalmente matriculado/a en la carrera de Tecnologías de la Información, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"DESARROLLO DE UN SISTEMA MODULAR DE TRAZABILIDAD INTEGRAL PARA LA CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 04 de Febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Marco Wellington Ayovi Ramirez; Mg.
Docente Tutor



Dedicatoria

La presente tesis está dedicada, en primer lugar, a mis padres, cuya fortaleza de carácter e inquebrantable determinación me sacaron adelante en los momentos más difíciles. Su ejemplo ha sido, y seguirá siendo, la brújula que orienta cada paso de mi camino.

De igual manera, dedico este logro a mi mejor amiga, Silvia Aguilar, cuya compañía ha sido un regalo invaluable, su presencia constante y su apoyo sincero han marcado profundamente esta etapa de mi vida.

Finalmente, dedico este trabajo a mi amigo Pedro Plasencia y a su comunidad, quienes me impulsaron a descubrir y cultivar el amor por la programación y por esta carrera. Sin ese entusiasmo compartido, el camino recorrido no habría sido el mismo.

Marcos Stefano Aguilar



Agradecimiento

Al concluir esta etapa, resulta inevitable —y profundamente necesario— detenerme a reconocer a quienes hicieron posible este logro.

A mi familia, por ser el cimiento sobre el que se sostiene todo lo que soy. Su respaldo incondicional en cada etapa de este proceso fue el motor silencioso que me mantuvo en marcha incluso en los momentos de mayor duda.

A los docentes que me acompañaron a lo largo de estos años de formación, quienes no solo compartieron su conocimiento, sino también su vocación. Cada clase, cada corrección y cada palabra de aliento dejaron una huella que trasciende los contenidos académicos.

A mi tutor, por su guía constante, su paciencia y su disposición permanente. Su acompañamiento fue fundamental para dar forma y rigor a este trabajo, y su confianza en el proyecto, un aliciente en los momentos más exigentes.

A la Ing. Rosa Regalado y a la empresa Altura S.A., por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente mientras culminaba esta etapa académica. Su confianza y apoyo durante este proceso demostraron que es posible desarrollarse como profesional y como estudiante al mismo tiempo, y esa convicción fue un estímulo constante a lo largo de este camino.

A los amigos y personas cercanas que estuvieron presentes cada vez que los necesité: gracias por la escucha, por los ánimos y por recordarme, cuando hacía falta, que el esfuerzo tiene sentido.

Marcos Stefano Aguilar

Índice

Capítulo I: Marco Introductorio Y Fundamentación Estratégica	15
1.1 Ubicación y Contextualización del Problema: La Dinámica Territorial y Productiva	15
1.1.1 Importancia Estratégica del Sector Agroindustrial para Manta y Manabí.....	17
1.1.2 Principales Productos y Cadenas de Valor Agroindustriales en la Zona.....	19
1.1.3 Desafíos Transversales en las Cadenas de Suministro Agroindustrial de Manabí	22
1.2 Planteamiento del Problema	26
1.2.1 El Problema: Deficiencias Específicas en las Cadenas de Suministro Agroindustrial.	26
1.2.2 Consecuencias y Necesidad de la Solución	28
1.2.3 Formulación del Problema.....	29
1.3 Objetivos	31
1.3.1 Objetivo General.....	31
1.3.2 Objetivos Específicos.....	32
1.4 Justificación	32
1.4 Impactos.....	33
1.6 Marco Teórico-Conceptual de la Trazabilidad	34
1.6.1 Definición y Alcance	35

1.6.2 Tipología de la Trazabilidad	35
1.6.3 Estándares y Normativas Clave	36
1.7 Diagrama Causa – Efecto.....	37
Capítulo II: Marco Teórico de la Investigación	40
Introducción	40
Antecedentes: El Surgimiento de la Trazabilidad Moderna	41
2.1. Evolución Histórica y Conceptual de la Trazabilidad Alimentaria	43
2.2. Conceptos Esenciales para la Trazabilidad Agroindustrial	44
2.3. El Entorno Normativo de la Trazabilidad	47
2.4. Arquitecturas Tecnológicas para la Trazabilidad	49
2.5. Casos de Estudio y Prácticas de Referencia en la Implementación	50
2.6. Antecedentes de Investigación: Estudios y Proyectos Relevantes	51
2.7. Conclusiones del Capítulo	56
CAPÍTULO III: MARCO INVESTIGATIVO	58
3.1 Concepto de Investigación y su Aplicación Estratégica	58
3.2 Definición y Operacionalización de Variables Clave	61
3.3 Fuentes de Información y Evidencia Empírica	65
3.5 Tipos de Investigación	65
3.6 Estrategia Operacional	66

3.7 Análisis de Datos	66
3.8 Plan de Muestreo.....	66
3.9 Presentación y Análisis de Resultados.....	66
CAPÍTULO IV: MARCO PROPUESTIVO.....	69
4.1 Introducción	69
4.2 Descripción de la Propuesta.....	69
4.3 Determinación de los Recursos.....	72
4.4 Etapas de Acción para el Desarrollo de la Propuesta (Software)	75
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS	113
5.1 Introducción	113
5.2 Presentación y Monitoreo de Resultados	115
5.3 Interpretación Objetiva	119
5.3 Interpretación Objetiva	119
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
6.1 Conclusiones.....	124
6.2 Recomendaciones	127
6.2.1 Recomendaciones a corto plazo (0–6 meses)	127
6.2.2 Recomendaciones a mediano plazo (6–18 meses).....	128
6.2.3 Recomendaciones a largo plazo (18–36 meses)	130

	10
6.2.4 Recomendaciones estratégicas e institucionales	130
Conclusión final	131
Bibliografía	131
Anexos	138

Índice de tablas

Tabla 1	14
Tabla 2	30
Tabla 3 Síntesis de Barreras de Adopción Tecnológica para Pequeños Productores en América Latina.....	52
Tabla 4 Matriz de Operacionalización de Variables en la Aplicación.....	63
Tabla 5 Características Principales de SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial).....	70
Tabla 6 Recursos Humanos	72
Tabla 7 Recursos Tecnológicos	73
Tabla 8 Presupuesto Detallado.....	74
Tabla 9 Requerimientos Funcionales.....	78
Tabla 10 Requerimientos No Funcionales	79
Tabla 11 Historias de Usuario.....	80
Tabla 12 Historia de Usuario 01: Autenticación y Seguridad JWT.....	81
Tabla 13 Historia de Usuario 02: Registro de Materia Prima (Lotes)	82
Tabla 14 Historia de Usuario 03: Generación de Identidad Digital (QR)	82

Tabla 15 Historia de Usuario 04: Seguimiento de Eventos de Trazabilidad	83
Tabla 16 Historia de Usuario 05: Inspección de Calidad (21 Criterios).....	83
Tabla 17 Historia de Usuario 06: Registro de Mermas y Pérdidas	84
Tabla 18 Historia de Usuario 07: Sincronización Offline-First.....	84
Tabla 19 Historia de Usuario 08: Planificación de Producción y ROI	85
Tabla 20 Historia de Usuario 09: Gestión de Evidencias Fotográficas	85
Tabla 21 Historia de Usuario 10: Auditoría Automática de Operaciones	86
Tabla 22 Historia de Usuario 11: Gestión de Envíos y Logística.....	87
Tabla 23 Historia de Usuario 12: Monitoreo GPS y Alertas Logísticas.....	87
Tabla 24 Historia de Usuario 13: Dashboard de Indicadores (KPIs).....	88
Tabla 25 Historia de Usuario 14: Gestión del Catálogo de Productos	88
Tabla 26 Historia de Usuario 15: Administración de Empresas y Fincas	89
Tabla 27 Historia de Usuario 16: Sistema de Alertas y Notificaciones.....	89
Tabla 28 Historia de Usuario 17: Escaneo y Validación de QR.....	90
Tabla 29 Historia de Usuario 18: Generación de Reportes Certificables	90
Tabla 30 Casos de Uso.....	91
Tabla 31 Especificación de Caso de Uso CU-01: Autenticación de Usuario	93
Tabla 32 Especificación de Caso de Uso CU-05: Registro y Creación de Lote.....	93
Tabla 33 Especificación de Caso de Uso CU-06: Generación de Identidad Digital (QR)	
.....	94
Tabla 34 Especificación de Caso de Uso CU-08: Evaluación de Calidad Técnica	94
Tabla 35 Especificación de Caso de Uso CU-09: Registro de Mermas por Etapa	95
Tabla 36 Especificación de Caso de Uso CU-11: Sincronización de Datos Offline	96

Tabla 37 Especificación de Caso de Uso CU-12: Planificación de Producción y ROI...	96
Tabla 38 Especificación de Caso de Uso CU-14: Creación de Despacho Logístico	97
Tabla 39 Especificación de Caso de Uso CU-15: Seguimiento GPS y Alertas.....	97
Tabla 40 Especificación de Caso de Uso CU-17: Generación de Reporte de Trazabilidad	98
Tabla 41 Catálogo Maestro de Criterios de Calidad (21 ítems).....	103
Tabla 42 Catálogo Maestro de Motivos de Merma y Pérdida (25+ ítems).....	105
Tabla 43 Paleta de Colores	108
Tabla 44 Análisis de Factibilidad	109
Tabla 45 Etapas de Desarrollo	110
Tabla 46 Resultados de pruebas y desarrollo.....	115
Tabla 47 Pruebas Específicas de Accesibilidad.....	116
Tabla 48 Pruebas de Rendimiento	117
Tabla 49 Resultados Funcionales.....	118
Tabla 50 Interpretación cuantitativa del impacto potencial	119

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama-Causa Efecto	37
Ilustración 2 Arquitectura General del Sistema	71
Ilustración 3 Diagrama de Actividades.....	77
Ilustración 4 Diagrama de Casos de Uso	98
Ilustración 5 Árbol de Función del Servicio	99
Ilustración 6 Diagrama de Navegación de Sitio	100

Ilustración 7 Diagrama Entidad-Relación.....	101
Ilustración 8 Diagrama Entidad-Relación.....	101
Ilustración 9 Wireflow para Registro de Cosecha	108
Ilustración 10 Gantt de Desarrollo.....	111



CAPITULO I

MARCO

INTRODUCTORIO

Y

FUNDAMENTACIÓ

NESTRATÉGICA



Capítulo I: Marco Introductorio Y Fundamentación Estratégica

1.1 Ubicación y Contextualización del Problema: La Dinámica Territorial y

Productiva

La configuración económica actual exige una redefinición de los paradigmas productivos, desplazando el enfoque tradicional de volumen hacia la garantía integral de calidad, inocuidad y transparencia.

En este escenario, la provincia de Manabí, ubicada en la franja litoral central del Ecuador, juega un papel fundamental en la soberanía alimentaria como también en la oferta exportable no petrolera de la nación. En base a los resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), Manabí continúa estableciéndose como la provincia con la mayor superficie dedicada al trabajo agropecuario del país, implicando más de un millón de hectáreas empleadas para esta preocupación (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024). Esta base territorial da soporte a una economía desagregada que viaja desde la agricultura familiar campesina a la agroindustria de exportación.

El cantón Manta se erige en esta lógica como el pequeño nodo logístico e industrial de la provincia. Su infraestructura portuaria es un punto estratégico del comercio exterior ecuatoriano, moviliza carga contenerizada y granel que conecta la producción de la zona con Estados Unidos y la Unión Europea (Autoridad Portuaria de Manta, 2024); existe, no obstante, una clara brecha tecnológica: mientras que el clúster atunero de Manta se encuentra inmerso en la adopción de tecnologías de vanguardia para cumplir con las exigencias internacionales, los eslabones primarios de la cadena, sobre todo en aquellos sectores como el plátano y el cacao que muchas veces operan bajo esquemas de informalidad que no registro de datos.



Esta desconexión en la manera de gestionar la información provoca el fenómeno de "caja negra" en los primeros eslabones de la cadena de suministro, especialmente en casos tales como el maíz duro en Manabí, pues la producción primaria tiene limitaciones en la fluidez de la información que circula entre sus agricultores y los eslabones posteriores. Esa falta de transparencia nace de la preeminencia de la agricultura familiar, que concentra al 90% de la producción en América Latina y el Caribe (Ecuador también), que se desarrolla con poca tecnología que permita el registro sistemático de variables claves (Analuisa Aroca, 2022). De tal forma, se pierde visibilidad sobre el uso de semillas mejoradas, sobre el manejo de plagas, lo cual incrementa la dificultad de la integración de los productores en este eslabón de la cadena de valor y hace que se dependa de intermediarios informales.

La pérdida de datos sobre el origen, las prácticas fitosanitarias y los tiempos de cosecha antes de que la materia prima llegue a la planta de procesamiento o al puerto representa una vulnerabilidad sistémica, exacerbada por brechas en la información referencial y teórica en contextos locales como Manabí. En el caso del maíz duro, estas desconexiones informativas generan cuellos de botella en el sector primario, donde factores como nuevas enfermedades y altos costos no se documentan adecuadamente, limitando la capacidad para responder a demandas de mercado (Analuisa Aroca, 2022). La ausencia de registros históricos que favorezcan la trazabilidad interna y la adopción de herramientas digitales al alcance de todos, como es el caso del software para computar costos, ve cómo se convierten en valles que sólo exacerbaban esas vulnerabilidades, pues permitiendo conocer el estatus en tiempo real se reducirían éstas.

En la misma medida, esto imposibilita la certificación de origen y expone al sector a



crecientes riesgos regulatorios en los mercados de destino, dado que la ineficiente producción para exportación y la carencia de sólidas relaciones internacionales en cadenas como la del maíz en Manabí impide esto tras no poder cumplir con normas de calidad estatales y de mercado.

Así, la brecha que existe entre los datos multicriterio y la realidad práctica, provoca una débil competitividad, por cuanto no se permite a los productores demostrar atributos como el cumplimiento fitosanitario, la sostenibilidad, con las consiguientes restricciones a la frontera del país destino (Analuisa Aroca, 2022).

Finalmente, la exposición a riesgos regulatorios no sólo condiciona la cuota de mercado existente sino, fundamentalmente, inhibe la inversión en tecnología como forma de ir adecuando estas brechas en correlato con la resolución a sus planteamientos, perpetuando así la ineficiencia de la agroindustria provincial.

1.1.1 Importancia Estratégica del Sector Agroindustrial para Manta y Manabí

La relevancia del sector agroindustrial en Manabí trasciende las métricas convencionales de aporte al Producto Interno Bruto (PIB); constituye el tejido conectivo de la sociedad manabita. A la vez la economía provincial presenta una alta dependencia de los ciclos agroproductivos y pesqueros hasta ahora los datos del Banco Central del Ecuador corroboran que actividades como la pesca y la acuicultura han mantenido tasas de crecimiento positivas, incluso en contextos de contracción económica general, evidenciando su resiliencia y su papel como motor de liquidez para la economía local (Banco Central del Ecuador, 2024).

El Clúster Pesquero:

Manta es reconocida globalmente como la "Capital del Atún". Esta designación se



sustenta en una infraestructura industrial robusta que concentra aproximadamente el 70% de la capacidad de procesamiento de atún del Ecuador. Empresas de envergadura transnacional como Negocios Industriales Real S.A. (Nirsa), Eurofish, y Tecopesca tienen sus bases de operaciones en esta jurisdicción (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2023). La trascendencia de este sector queda de manifiesto en las cifras de exportación: las exportaciones de lomos y conservas de atún sobrepasaron los 1.300 millones de dólares, de manera que se consolidaron como una de las principales producciones de la canasta exportable no petrolera (Cámara Nacional de Pesquería, 2024). Este flujo de recursos económicos irriga a sectores asociados, desde la industria del cartón y envases metálicos hasta los servicios de mantenimiento naval y logística de frío, provocando un efecto multiplicador en el empleo urbano de la ciudad de Manta.

El Clúster Agrícola (Plátano y Cacao):

Manabí lidera la producción nacional de plátano (*Musa balbisiana*), concentrando el 51.4% de la producción total del país, siendo el cantón El Carmen el epicentro de esta actividad (INEC, 2024). Dado que este cultivo es fundamental para la economía de miles de pequeños productores por ende y de manera simultánea, la provincia es un territorio histórico para el cacao fino de aroma. Sin embargo, la atomización de la producción en pequeñas fincas complica la consolidación de volúmenes homogéneos y trazables, requisito indispensable para acceder a nichos de mercado que pagan precios diferenciados por calidad y sostenibilidad (Ramírez, 2022).

El Sector Pecuario:

La ganadería bovina presenta cifras relevantes en la provincia. De acuerdo con el INEC (2024), Manabí posee el hato ganadero más grande del Ecuador, con el 20.7% de las cabezas de

ganado a nivel nacional. La gestión sanitaria de este volumen de animales requiere sistemas de identificación individual y trazabilidad de movimientos para garantizar la inocuidad cárnica y láctea.

1.1.2 Principales Productos y Cadenas de Valor Agroindustriales en la Zona

El análisis detallado de las cadenas de valor permite identificar los nodos críticos donde la implementación de un software de trazabilidad generaría el mayor impacto. A continuación, se desglosan las características operativas y los desafíos de información de los principales rubros.

Pesca y Acuicultura (Atún y Camarón)

En cuanto a la cadena del atún en Manta, se trata de un sistema industrial complejo, ya que la captura, la descarga, el procesamiento y la exportación se encuentran conectados y son interdependientes.

- **Obtención y Abastecimiento:** En el muelle de Manta efectúan su descarga la flota atunera ecuatoriana, la más potente del Pacífico Oriental. Aun así, para mantener la capacidad instalada operativa, la industria también recurre a la importación de materia prima congelada de flotas internacionales.
- **Procesamiento:** En las plantas transforman el pescado entero en lomos precocidos (envasados al vacío en pouches) y en conservas en lata. Este proceso consta de múltiples pasos que contienen cocción, limpieza y esterilización, donde la identidad del lote original puede perderse en la medida que no se lleven a cabo controles severos.
- **Desafío Principal:** La lucha contra la Pesca Ilegal No Declarada y No



Reglamentada (INDNR). La Unión Europea pide un "Certificado de Captura" validado que demuestra la legalidad de la pesca. Para ello, deben unir cada lata producida con el barco, la zona de pesca (faostat área), la fecha de captura y el método utilizado, garantizando que no se procesa pesca ilegal (Iniciativa de Transparencia Pesquera FiTI, 2024).

Plátano (*Musa balbisiana*)

La producción de plátano de exportación tiene una logística de alta velocidad por su alta perecibilidad:

- **Producción:** En El Carmen y áreas aledañas predomina la pequeña producción, con cosechas semanales o quincenales.
- **Acopio:** Personas intermediarias recorren las fincas recolectando los racimos hasta que se llenan los centros de acopio y empacadoras donde ya entran en acción los procesos de mezcla de productos de decenas de fincas diferentes con el fin de llenar los contenedores para exportar.
- **Problema crítico:** La separación de la calidad y el control fitosanitario. Las presentes enfermedades como el Moko bacteriano (*Ralstonia solanacearum*) y la Sigatoka Negra obligan a intensas tecnologías de control. Los mercados internacionales reclaman LM anarba, límites máximos de residuos (LMR) de pesticidas. Sin trazabilidad a nivel de finca una prueba positiva de residuos en el destino da como único resultado el rechazo del contenedor entero, perjudicando a los productores que sí cumplieron las normas (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, 2023).

Cacao (*Theobroma cacao*)

El cacao ecuatoriano se diferencia por su calidad organoléptica, pero enfrenta nuevas barreras no arancelarias.

•**Comercialización:** El modelo convencional tiene una cadena amplia: Productor -> Mediador local -> Acopiador cantonal -> Exportador de Manta/Guayaquil.

•**Desafío crítico:** El Reglamento de productos libres de deforestación de la Unión Europea (EUDR). Desde que se aplique en su plenitud no podrá entrar cacao a Europa sin que haya la georreferenciación (polígono GPS) de la finca de origen y la prueba satelital de que no hubo deforestación posterior al 2020. En consecuencia, obligará que la trazabilidad sea la "Identidad Preservada" o segregada, restringiendo así la posibilidad de mezclar cacao que provenga de otras fuentes (Comisión Europea, 2023; Agrocalidad, 2024).

Tabla 1

Caracterización de las Cadenas Agroindustriales Clave en Manta y Manabí

Cadena Productiva	Relevancia Económica Regional	Actores Dominantes	Nodos Críticos de Pérdida de Información	Impacto de la Falta de Trazabilidad
Atún	Generador #1 de divisas en Manta.	Flota industrial, Plantas (Nirsa, Eurofish), Armadores.	Recepción de materia prima importada;	Riesgo de "Tarjeta Roja" de la UE por pesca INDNR; alertas por histamina.

			mezcla de lotes	
			en cocción.	
Plátano	Sustento de economía rural (El Carmen).	Pequeños productores, Acopiadores informales, Exportadoras.	Primer acopio (mezcla indiscriminada de fincas).	Devolución de contenedores por residuos químicos; propagación de plagas.
Cacao	Producto insignia de exportación.	Productores familiares, Asociaciones, Exportadores.	Centros de acopio intermedios (pérdida de identidad del lote).	Imposibilidad de cumplir norma EUDR (deficitaria georreferenciación).
Camarón	Sector en expansión rápida.	Laboratorios, Camaroneras, Empacadoras.	Transporte desde piscina a planta (control de temperatura).	Rechazos por presencia de sulfitos o antibióticos no declarados.

Fuente: Elaboración propia basada en datos de ESPAC (2024) y reportes sectoriales de la Cámara Nacional de Pesquería (2024).

1.1.3 Desafíos Transversales en las Cadenas de Suministro Agroindustrial de Manabí

Más allá de las particularidades sectoriales, el diagnóstico revela problemáticas

estructurales transversales que afectan la eficiencia global del sistema agroindustrial en la provincia. Estas deficiencias actúan como cuellos de botella que limitan el potencial de desarrollo de la región.

1. Ineficiencia Logística y "Ceguera" en la Cadena de Suministro

La logística en Manabí enfrenta el reto de la dispersión geográfica, donde la recolección de productos en zonas rurales con infraestructura vial variable complica la planificación, especialmente en cultivos como el maíz duro que dependen de productores familiares dispersos. La dispersión generada hace que haya una escasa asociatividad entre los agricultores, eso se expresa con una baja capacidad logística que requiere necesariamente de la intermediación para poder comercializar, lo que incrementa las ineficiencias en el transporte y el almacenamiento de los productos (Analuisa Aroca, 2022) por ende la consecuencia, dicho flujo de materiales se transforma en algo subjetivo, afectando la retórica puntual por el flujo de la materia prima hacia el lugar de acopio de producto en la planta procesadora.

Pero el problema se hace más complejo debido a la falta de información previa donde los centros de acopio y las plantas procesadoras muchas veces ignoran exactamente qué volumen y qué calidad de materia prima recibirán, hasta que el propio camión llega a la puerta, un fenómeno que se eleva a grados superiores por la escasa gestión de flujo de materia prima en la situación conflictiva de algunas de las empresas y la falta de planes de desarrollo agrícola de las mismas, en Manabí esta "ceguera" logística obedece a cuellos de botella relacionados con fenómenos naturales, falta de mano de obra y altos costos, que no permiten un adecuado flujo e inventarios (Analuisa Aroca, 2022). La inestabilidad de mercados, como fuente de riesgos en precios de materias primas, genera problemas al hacer que sea más dificultoso hacer pronósticos



certeros en función de las condiciones establecidas.

Esta "ceguera" logística hace imposible incrementar la eficacia en la optimización de turnos de producción, de la gestión de inventarios de insumos, de la coordinación de la logística del transporte, resultando en tiempos de espera innecesarios y descenso importante en la calidad del producto fresco, y en cadenas con mayor grado de dificultad de las empresas de servicios de logística como lo es el caso del maíz en Manabí.

La complejidad que existe en la comercialización de las materias primas pone a la vista las ineficiencias en los inventarios, ya que la ausencia de integración tecnológica origina excesos o faltantes difíciles de prever (Analuisa Aroca, 2022), por lo que estos problemas no solo aumentan los costos ocultos sino que a su vez también descenso de la rentabilidad del sector, y resaltan la necesidad de plantear estrategias de asociatividad y de uso de herramientas digitales a la logística resiliente.

2. Gestión de la Calidad e Inocuidad Alimentaria

La inocuidad no es un atributo que se pueda "inspeccionar" en el producto final; debe ser construida a lo largo de la cadena. En Manabí, la falta de registros históricos de las parcelas o de las embarcaciones impide aplicar un enfoque preventivo. Problemas como la ruptura de la cadena de frío en la pesca artesanal o el manejo inadecuado de la post-cosecha en el cacao (fermentación deficiente) son recurrentes. La inseguridad alimentaria, entendida como el riesgo de consumir alimentos no inocuos, es una amenaza latente que se ve exacerbada por la incapacidad de rastrear el origen de una contaminación microbiana o química (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023).

3. Barreras Regulatorias y Acceso a Mercados

El entorno normativo internacional se ha vuelto extremadamente complejo. La Ley FSMA de EE. UU., en su sección 204, establece una lista de alimentos de alto riesgo que requieren registros de trazabilidad adicionales. Las empresas deben ser capaces de entregar archivos digitales con datos estructurados en 24 horas ante un requerimiento de la FDA (Food and Drug Administration, 2024). Para una PYME de Manta que lleva sus registros en hojas de cálculo dispersas o en papel, este requisito es una barrera técnica casi insuperable que pone en riesgo su licencia de exportación.

4. Brecha Digital y Cultural

Existe resistencia cultural y una brecha de habilidades digitales en el sector primario, ya que el productor promedio en Manabí suele ser de edad avanzada. Esto, sumado a un nivel de escolaridad a menudo básico, le puede generar dificultades para asumir el riesgo de usar tecnologías complejas, por eso, los sistemas de trazabilidad de sistemas de trazabilidad en el extranjero que fallan de manera habitual por la distancia entre el diseño del sistema de la suposición y la complejidad real del usuario en el campo, ya que, prevalece una cultura de la desconfianza donde lo que debe ser información se convierte en un bien guardado en categorías más restrictivas que el valor compartido en la cadena de valor.

Es decir, la estratégica localización geográfica de Manta y la riqueza en potencialidades de la producción primaria en Manabí son condiciones necesarias, pero no suficientes para tener éxito en el mercado actual dado que representan un límite superior a la falta de sistemas de gestión de información para la cadena de suministro agroindustrial. La trazabilidad se hace no solo una exigencia burocrática, sino la infraestructura digital necesaria

para la modernización de la agroindustria provincial.

1.2 Planteamiento del Problema

El análisis de la realidad agroindustrial de Manta acaba poniendo de manifiesto que las cadenas de suministro agroindustrial funcionan según el modelo de la opacidad estructural. Para la escala considerable de exportaciones, la gestión de la información es, en cambio, fragmentada manual y reactiva. Este modelo no es en sí misma una ineficacia administrativa.

1.2.1 El Problema: Deficiencias Específicas en las Cadenas de Suministro Agroindustrial.

La problemática se puede descomponer en dimensiones específicas que afectan la operatividad diaria y la estrategia a largo plazo de las empresas:

Limitada Transparencia y Visibilidad Integral

La trazabilidad en Manabí suele ser "de un paso adelante, un paso atrás" en el mejor de los casos, y a menudo ni siquiera eso en los primeros eslabones. Se da una desconexión entre el flujo físico del producto y el flujo de información. Cuando este lote de atún llega a la planta, se suele perder la conexión exacta con los datos de captura (temperatura de bodega, del tiempo de lance) de la embarcación concreta, sobre todo si se cursan trasbordos o hay consolidación de la pesca de la pequeña pesca. En el agro, la mezcla de granos de cacao de distintas calidades en los centros de acopio hace imposible poder separar el producto por su calidad de origen, lo que impide poder pagar incentivos por calidad al productor y diluir la identidad del Cacao Arriba (Ramírez, 2022).



Gestión Ineficiente de Inventarios y Pérdidas Elevadas

La falta de datos en tiempo real provoca una gestión de inventarios basada en estimaciones y no en realidades. Esto conduce al efecto látigo en la cadena de suministro, con excesos de stock o roturas de stock imprevistas. En productos perecederos como el plátano o el pescado fresco, los retrasos en la toma de decisiones por falta de información derivan directamente en mermas por maduración excesiva o descomposición. Las pérdidas post-cosecha en cadenas tropicales pueden alcanzar porcentajes de dos dígitos, representando una fuga masiva de rentabilidad para la provincia (Badia-Melis et al., 2015).

Respuesta Lenta e Ineficaz a Incidentes de Seguridad Alimentaria

Este es quizás el punto más crítico. En el evento de una alerta sanitaria (ej. detección de *Salmonella* en un lote de camarón en destino), la capacidad de la industria para reaccionar es lenta. Sin un sistema de trazabilidad digitalizado que vincule lotes de insumos a lotes de producto final, la empresa se ve en la obligación de hacer rastreos manuales que pueden llegar a durar días o semanas, lo cual implica la necesidad de llevar a cabo retiradas de mercado (recalls) masivas, retirando muchísimo más producto del que es estrictamente necesario por si acaso con lo cual los costos se multiplican y, tanto la confianza de clientes como la de los consumidores queda seriamente comprometida (Food and Drug Administration, 2024)

Vulnerabilidad al Fraude Alimentario

La opacidad es el caldo de cultivo del fraude. En la industria pesquera global, y Ecuador no es la excepción, existen riesgos de sustitución de especies o de declarar pesca industrial como artesanal. En el cacao, es común la mezcla de variedades de alto rendimiento pero baja calidad



organoléptica (como el CCN-51) con variedades nacionales finas de aroma, vendiendo la mezcla como producto premium. La falta de un sistema que valide balances de masa y orígenes facilita estas prácticas desleales que perjudican la reputación del origen Ecuador (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021).

Fragmentación de la Información y Toma de Decisiones Reactiva

Los datos existen, pero están dispersos en cuadernos de campo, hojas de Excel desconectadas, correos electrónicos y sistemas contables que no dialogan entre sí. Esta fragmentación impide el análisis de datos para la mejora continua. Los gerentes toman decisiones basándose en lo que ocurrió el mes pasado (contabilidad forense) en lugar de lo que está ocurriendo en tiempo real en la cadena de suministro.

1.2.2 Consecuencias y Necesidad de la Solución

La inacción frente a estos problemas tiene consecuencias directas:

1. **Cierre de Mercados:** No es posible sanciones por el incumplimiento de la norma FSMA 204 o EUDR y se puede cerrar las fronteras de EE. UU. y Europa para los productos de la región de Manabí.
2. **Prolongación de la Crisis Económica:** Dado que no se producen atributos de valor y las producciones locales deben cerrar con precios de mercado de las materias primas, cayendo niveles de márgenes y capacidad de reinversión.
3. **Problemas y Peligro Social:** Las malas tareas de las prácticas inseguras de salubridad aumentan la salud de la población y la estabilidad de miles de familias que pertenecen a la agroindustria.

Ante esta situación, la solución tecnológica que se propone es una aplicación basada en módulos de trazabilidad utilizando software libre, la cual responde a la necesidad de una herramienta flexible, de bajo costo y escalable. Un enfoque modular permite que cada actor adopte la tecnología a su propio ritmo y según sus capacidades financieras, rompiendo la barrera de entrada que representan los costosos sistemas ERP tradicionales.

1.2.3 Formulación del Problema

La investigación se estructura en torno a la siguiente interrogante principal, que busca articular la solución tecnológica con las necesidades detectadas:

¿De qué manera el diseño e implementación de una aplicación informática basada en módulos de trazabilidad, utilizando herramientas de software libre, puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa, garantizar la seguridad alimentaria y elevar la competitividad de las cadenas de suministro del sector agroindustrial en Manta, provincia de Manabí?

De esta pregunta central se derivan las siguientes interrogantes sistémicas:

1. ¿Cómo se caracterizan los flujos de información y los puntos críticos de control en las cadenas de atún, plátano y cacao en el contexto específico de Manabí?
2. ¿Qué requisitos funcionales y normativos (nacionales e internacionales) debe satisfacer el software para ser validado por los mercados de destino?
3. ¿Cómo puede una arquitectura de software modular y abierta facilitar la adopción tecnológica en un sector caracterizado por la heterogeneidad de sus actores?

La Tabla 2 resume la problemática central y cómo la trazabilidad actúa como solución.

Tabla 2

Problemática Central y Desafíos Específicos en las Cadenas Agroindustriales de Manta

Desafío Específico	Manifestación en Manta/Manabí	Consecuencia Directa	Solución vía Aplicación de Trazabilidad
Opacidad en la Cadena	Desconocimiento del trayecto finca-puerto.	Dificultad para certificar origen.	Registro digital inmutable de eventos
	Pérdida de identidad de lotes en acopio.	Desconfianza del cliente internacional.	(CTEs) y elementos de datos clave (KDEs).
Gestión de Crisis (Recalls)	Rastreo manual lento ante alertas sanitarias.	Retiradas masivas costosas. Daño a la reputación del sector.	Identificación precisa de lotes afectados para retiradas quirúrgicas y rápidas.
Barreras de Mercado	Dificultad para cumplir exigencias documentales de FDA (FSMA 204) y UE (EUDR).	Riesgo inminente de pérdida de acceso a mercados principales.	Generación automática de reportes de cumplimiento y trazabilidad digital auditables.

		Mermas por	Visibilidad en tiempo
Ineficiencia	Falta de visibilidad de	caducidad y deterioro	real de flujos y fechas
Logística	inventarios en tránsito.	de productos	de caducidad
		perecederos.	(FEFO/FIFO).
	Mezcla de calidades en	Pérdida de valor	Balance de masas y
Fraude	cacao; sustitución de	agregado.	validación de origen
Alimentario	especies en pesca.	Competencia desleal.	para autenticar el
			producto.

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de normativas FDA (2024) y diagnóstico local (Molina-Chávez et al., 2021).

1.3 Objetivos

Los objetivos de esta investigación están diseñados para guiar el desarrollo de una solución tecnológica que sea técnicamente viable y económicamente pertinente para la realidad de Manabí.

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación informática de trazabilidad para el sector agroindustrial de Manta en la provincia de Manabí, fundamentada en una arquitectura modular y herramientas de software libre, que permita la gestión integral y transparente de la información a lo largo de la cadena de suministro para potenciar la competitividad y el cumplimiento normativo del sector.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. **OE1: Analizar el marco teórico y normativo de la trazabilidad agroalimentaria..**
2. **OE2: Diagnosticar la operatividad de las cadenas de valor en Manta.**
3. **OE3: Idear la arquitectura modular del sistema**
4. **4OE4: Validar la funcionalidad y la capacidad de uso del prototipo:**

1.4 Justificación

La justificación de este proyecto se establece en la necesidad vital de modernizar la infraestructura blanda (información) del sector agroexportador de Manabí para asegurar su supervivencia y crecimiento en el mercado global.

Justificación Económica y de Mercado:

La economía de Manta y Manabí es agroexportadora. La competitividad ya no se define solo por la calidad del producto, sino por la calidad de la información que lo respalda. La implementación de sistemas de trazabilidad permite capturar el valor intangible de los productos (origen, prácticas sostenibles) y transformarlo en valor económico (precios premium). Además, reduce drásticamente los costos ocultos de la ineficiencia logística y las pérdidas por rechazos en destino. Cumplir con normas como la FSMA 204 es una condición *sine qua non* para vender a Estados Unidos; por tanto, esta herramienta es un mecanismo de defensa de la cuota de mercado existente y una plataforma para la expansión.

Justificación Social y Salud Pública:

La trazabilidad protege a las personas porque al permitir una respuesta rápida ante



incidentes de contaminación, el sistema reduce el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos en la población por ende socialmente, la herramienta busca democratizar el acceso a la tecnología y al utilizar software libre y un diseño modular, se pone al alcance de PYMES y asociaciones de productores una tecnología que antes estaba reservada para grandes corporaciones, fomentando la equidad en la cadena de valor y mejorando la posición negociadora de los pequeños productores.

Justificación Tecnológica y Soberanía:

Generar soluciones locales sobre software libre disminuye la dependencia tecnológica actual con proveedores extranjeros y licencias costosas. Esto genera un ecosistema de innovación local en Manta, donde desarrolladores y empresas pueden modificar y adaptar el software a sus necesidades a medida que cambien, permitiendo que el sistema sea sostenible a largo plazo.

Justificación Académica:

Este estudio aporta al conocimiento sobre la implementación práctica de sistemas de trazabilidad en contextos de economías en desarrollo. Llena un vacío en la literatura respecto a cómo adaptar estándares internacionales rigurosos a cadenas de suministro caracterizadas por la fragmentación y la informalidad, proponiendo modelos de arquitectura de software que son resilientes y adaptables.

1.4 Impactos

La ejecución de este proyecto prevé generar impactos transformadores en múltiples niveles:

Impacto Económico:



- **Reducción de Costos:** Minimización de pérdidas por productos caducados o deteriorados gracias a una gestión de inventarios FEFO (First Expired, First Out).
- **Acceso a Mercados:** Garantía de cumplimiento de normas internacionales, evitando el cierre de mercados clave como la UE y EE. UU.
- **Valor Agregado:** Capacidad de certificar atributos de calidad que justifican mejores precios en el mercado internacional.

Impacto Social y Seguridad Alimentaria:

- **Confianza del Consumidor:** Incremento de la transparencia hacia el consumidor final, fortaleciendo la reputación de los productos manabitas.
- **Protección de la Salud:** Capacidad de reacción inmediata ante alertas sanitarias, protegiendo la salud pública.
- **Inclusión:** Integración de pequeños productores en cadenas de valor formales y digitalizadas.

Impacto Tecnológico:

- **Modernización:** Impulso a la transformación digital del sector agroindustrial de la provincia.
- **Innovación Abierta:** Disponibilidad de un código base abierto que puede ser utilizado y mejorado por la comunidad académica y empresarial local.

1.6 Marco Teórico-Conceptual de la Trazabilidad

Para el desarrollo de la solución tecnológica es necesario y fundamental establecer definiciones precisas basadas en la literatura académica y los estándares globales.

1.6.1 Definición y Alcance

La Comisión del **Codex Alimentarius** define la trazabilidad como "la capacidad para seguir el movimiento de un alimento a través de etapa(s) especificada(s) de la producción, transformación y distribución" (FAO/OMS, 2023). Para una definición aceptada mundialmente, el estándar mínimo de interoperabilidad.

A la vez, la norma ISO 22005:2007 incide y evoluciona a partir de esta definición anterior y se centra más en el diseño e implementación del sistema, sentencia que "la trazabilidad es la capacidad de seguir el histórico, la aplicación o la localización de todo aquello que consideremos" (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2024).

Desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas, Olivia y Borit (2013) proponen la posibilidad de dividir la trazabilidad en componentes suficientemente manejables con las herramientas informáticas:

1. **Identificación de Unidades Rastreables (TRU):** Asignación de identificadores únicos a lotes o unidades logísticas.
2. **Registro de Eventos:** Captura de datos críticos (qué, quién, cuándo, dónde) en cada punto de la cadena.
3. **Gestión de Enlaces:** La capacidad de vincular insumos con productos a través de procesos de transformación.

1.6.2 Tipología de la Trazabilidad

La literatura académica clasifica la trazabilidad en tres dimensiones operativas que deben ser cubiertas por los módulos de la aplicación:

- **Trazabilidad Hacia Atrás (Upstream/Tracing):** Es la capacidad de identificar el origen de un producto y sus ingredientes. Resulta esencial para la investigación de causas raíz en incidentes de seguridad alimentaria (Dabbene et al., 2014).
- **Trazabilidad Interna (Process Traceability):** Se refiere al seguimiento del producto dentro de las instalaciones de la empresa, registrando cómo las materias primas se transforman en producto terminado. Es el componente más complejo debido a la mezcla de lotes en procesos continuos (Coronel-Guevara et al., 2022).
- **Trazabilidad Hacia Adelante (Downstream/Tracking):** Implica conocer el destino y ubicación del producto una vez que sale del control de la empresa. Es vital para ejecutar retiradas de mercado (recalls) quirúrgicas y eficientes (Couth, 2024).

1.6.3 Estándares y Normativas Clave

El software debe alinearse con regulaciones específicas que dictan los datos a registrar:

- **Ley FSMA - Regla 204 (EE. UU.):** Establece la obligación de crear una "Lista de Trazabilidad de Alimentos" y a la vez mantener registros electrónicos de Elementos de Datos Clave (KDEs) relacionados con los Eventos Críticos de Rastreo (CTEs), dando la opción de proporcionarla, en caso de requerirla, de forma digital, en el plazo de 24 horas (FDA, 2024).
- **Reglamento (UE) 2023/1115 (EUDR):** Obliga a la geolocalización de las parcelas de producción de materias primas como cacao, café o ganadería, verificando que provenga de zonas deforestadas (Comisión Europea, 2023).
- **Reglamento (CE) 178/2002 (UE):** En su Artículo 18, establece la obligatoriedad



de identificar a proveedores y clientes inmediatos ("un paso atrás, un paso adelante") para todos los operadores alimentarios (Parlamento Europeo, 2002).

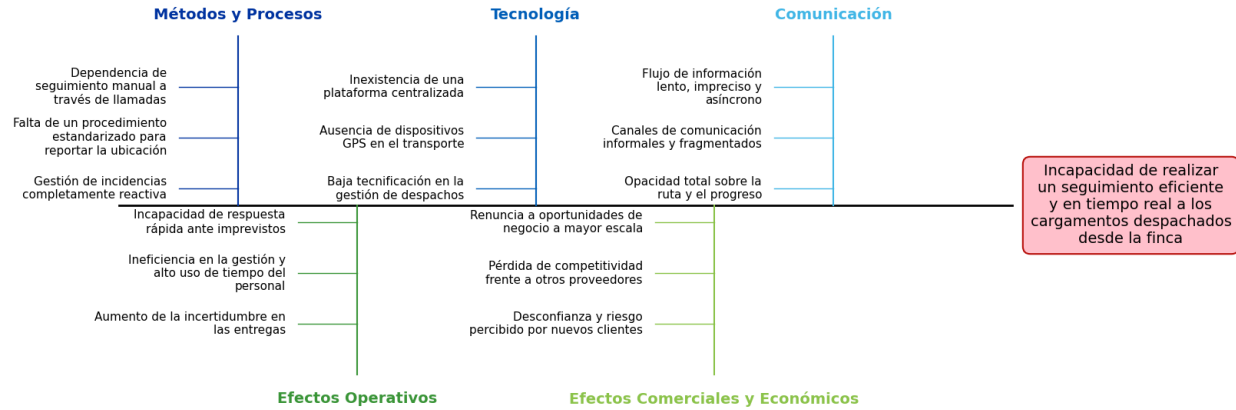
1.7 Diagrama Causa – Efecto

El diagnóstico de la situación actual se sintetiza mediante el Diagrama de Ishikawa, identificando las causas raíz de la "**Gestión ineficiente de la trazabilidad en el sector agroindustrial de Manta**":

Ilustración 1
Diagrama-Causa Efecto



Diagrama Causa-Efecto: Problemática de Trazabilidad Logística





CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

DE LA

INVESTIGACIÓN



Capítulo II: Marco Teórico de la Investigación

Introducción

Este capítulo establece los fundamentos conceptuales y teóricos para la investigación. El objetivo consiste en crear una base de conocimiento que respalde el diseño de una aplicación de trazabilidad modular adaptada al sector agroindustrial de Manta, en Manabí. Se examinan los antecedentes históricos de la trazabilidad, que evolucionó de una respuesta a crisis a una herramienta estratégica para la competitividad. Se pueden encontrar conceptos clave tales como la cadena de suministro agroindustrial, los sistemas de trazabilidad en sus múltiples formas, las distinciones entre inocuidad alimentaria y seguridad alimentaria y la función que ejerce la trazabilidad en la prevención del fraude.

El marco normativo sobre la trazabilidad se razona al hacer una comparación de las estrictas normativas que rigen mercados como la Unión Europea y Estados Unidos con la regulación en Ecuador para intentar ver las brechas con las que se van a encontrar los exportadores de Manta. Posteriormente, se estudian arquitecturas tecnológicas que se justifican a partir de un enfoque modular y un diseño offline-first como soluciones a la diversidad y las limitaciones de infraestructura existentes en la región. Finalmente, se revisan casos de estudios de las experiencias de proyectos prácticos desde la perspectiva de lecciones aprendidas, experiencias a gran escala y enfoques focalizados en los productores, enfatizando en estas experiencias los problemas que enfrentan los pequeños agricultores. Cada una de estas divisiones construye un argumento lógico que va de lo general a lo específico, así como una introducción a la base teórica sobre el enfoque modular y adaptado a este proyecto.

Antecedentes: El Surgimiento de la Trazabilidad Moderna

La trazabilidad alimentaria representa un elemento central en la gestión de la cadena de suministro global. Este concepto emergió como respuesta práctica a crisis que erosionaron la confianza del consumidor, en lugar de originarse en innovaciones teóricas puras. El término se acuñó a finales de los años 1980 y ganó relevancia en la década de 1990, al convertirse en mecanismo para restaurar la fe en cadenas alimentarias cada vez más complejas (Montet & Dey, 2018).

Las Crisis Catalizadoras de la Confianza del Consumidor

Diversos sucesos acaecidos en Europa pusieron de relieve profundos déficits de la cadena alimentaria, lo que impulsó un cambio de enfoques reactivos a preventivos (Abad, 2009). La crisis de la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB), también conocida como el "mal de las vacas locas", fue en todo caso espectacular. Una enfermedad neurodegenerativa en el ganado, la EEB hizo saltar los mecanismos de una variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (Montet & Dey, 2018). Su propagación fue provocada por el uso de piensos contaminados con priones, y la dificultad en la identificación del origen del ganado afectado puso (Gummer, 2001).

Otro incidente ocurrió con la contaminación de piensos con dioxinas, compuestos contaminantes, que por sus propiedades tóxicas son cancerígenas (Montet & Dey, 2018). Estas sustancias, por lo demás compuestos que se acumulan en los tejidos de los animales y que se transfieren a los humanos a partir de carne, leche o huevos, demostraron el peligro relacionado a contaminantes invisibles (World Health Organization, 2023).

Además, brotes de fiebre aftosa, una enfermedad viral contagiosa en el ganado, generaron impactos económicos severos, aunque no afectaran directamente a humanos (Pan American Health Organization, 2021). Estos brotes mostraron que la ausencia de sistemas de identificación y seguimiento podía paralizar mercados enteros (Food and Agriculture Organization, 2023).

El Cambio de Paradigma: De la Opacidad a la Transparencia Exigida

Estos eventos provocaron un colapso en la confianza pública dado que los consumidores dejaron de ser meros receptores pasivos para convertirse en controladores activos de su propia alimentación (Montet y Dey, 2018). Esta presión permitió promover las reformas regulatorias. Anteriormente, la información sobre origen y procesamiento era considerada un activo privado de los productores. Las crisis transformaron la transparencia en un factor indispensable para el mercado. Organismos como el ISO y el Codex Alimentarius consagraron la trazabilidad como un estándar a nivel internacional (International Organization for Standardization, 2007)

Este shift redistribuyó el poder informativo, priorizando el derecho del consumidor sobre el secreto empresarial (Montet & Dey, 2018).

La Evolución Tecnológica como Habilitador

La tecnología avanzó para respaldar estas demandas. Métodos tradicionales como marcas a fuego cedieron a sistemas sofisticados, como crotales plásticos y chips RFID para lectura remota (Abad, 2009). La revolución involucró software integrales que conectan identificación con bases de datos de eventos en la cadena. Esta transición de sistemas manuales a plataformas

digitales posiciona la trazabilidad como herramienta estratégica en la agroindustria actual (Olsen & Borit, 2013).

2.1. Evolución Histórica y Conceptual de la Trazabilidad Alimentaria

La trazabilidad surgió como un requerimiento ineludible en respuesta a crisis situacionales que reformulaban las políticas reguladoras en todo el mundo. El término apareció a finales de la década de 1980 e inició su recorrido y consolidación a finales de los años 1990 para asociarse con situaciones que suscitaban temor social (Montet & Dey, 2018). Por lo que respecta a Europa, las crisis sanitarias evidenciaron debilidades de una situación propia de cadenas globalizadas.

Tres episodios fueron capitales en este recorrido. La EEB cosechó enfermedades para las personas y evidenció la incapacidad de navegar por los orígenes (Montet & Dey, 2018). La contaminación por dioxinas hizo crecer las toxinas en productos animales (World Health Organization, 2023). Los brotes de fiebre aftosa hundieron las economías ganaderas (Pan American Health Organization, 2021).

Los mencionados incidentes, junto con gripe aviar y crisis porcina, provocaron enormes pérdidas y colapso de la confianza (Montet & Dey, 2018). Los gobiernos decidieron establecer legislaciones estrictas para pasar de modelos reactivos a proactivos, como era el caso de los sistemas de gestión de riesgos en el ámbito de la salud pública en el que había que evitar los problemas relacionados con el sistema agroalimentario (un ejemplo extremo es el de la gestión de H5N1 tras la crisis de los casos de gripe aviar en la región de Asia-Pacífico en la primera década del siglo XXI, y la crisis de la gripe aviar (Food and Agriculture Organization, 2023).



Este paradigma es capaz de reflejar una idea de la transferencia de poder informativo. La transparencia se convierte en bien público, donde las instituciones como ISO o Codex Alimentarius, entre otros, definen estos sistemas integrados de evaluación, apoyo y guía en materia de gestión de riesgos en la producción agroalimentaria (International Organization for Standardization, 2007).

La tecnología ha progresado de manera continua. Los sistemas tradicionales pasaron a RFID y software integrales que enlazan datos en la cadena (Abad, 2009). Esa evolución sitúa la trazabilidad como un elemento indispensable en la agroindustria actual (Olsen & Borit, 2013).

2.2. Conceptos Esenciales para la Trazabilidad Agroindustrial

El definir conceptos teóricos con rigor resulta fundamental para una propuesta sólida. Esta parte desarrolla la cadena de suministro agroindustrial y el sistema de trazabilidad y sus partes, la diferencia entre inocuidad y seguridad alimentaria y el fraude alimentario como riesgo que puede ser mitigado mediante la trazabilidad. Cada concepto discido está contextualizado al sector de Manta para su pertinencia directa.

2.2.1. La Cadena de Suministro Agroindustrial: Actores, Fases y Flujos

La cadena de suministro agroindustrial forma una red de organizaciones, actividades, información y recursos que mueven productos agrícolas desde el origen hasta el consumidor (Heizer & Render, 2017). Se caracteriza por perecederos, variabilidad biológica y factores climáticos (Food and Agriculture Organization, 2023). El propósito incluye obtención de materias primas, transformación y distribución (World Bank, 2005).

Se estructura en fases interconectadas:

1. Suministro de Insumos: Proveedores entregan semillas, fertilizantes y maquinaria (Food and Agriculture Organization, 2023).
2. Producción Primaria: Agricultores cultivan o capturan materia prima. En Manabí, involucra fincas de cacao, plátano y flotas pesqueras (INEC, 2024).
3. Acopio y Almacenamiento: Consolidación en centros, con riesgos de pérdidas post-cosecha (Food and Agriculture Organization, 2023).
4. Procesamiento y Transformación: Otorgar valor, patentes de Manta para el atún y cacao (INEC, 2024)
5. Distribución y Comercialización: logística a los mercados, con Manta puerto central (Autoridad Portuaria de Manta, 2024)

Actores de la variabilidad muy pequeños productores hasta grandes empresas y operadores logísticos (Matopoulos et al., 2007), la coordinación será eficaz para asegurar eficiencia (Heizer & Render, 2017).

2.2.2. El Sistema de Trazabilidad: Definición, Tipología y Objetivos

El sistema de trazabilidad registra y vincula flujos de productos y datos en la cadena. El Codex Alimentarius lo define como capacidad para seguir movimientos de alimentos en etapas específicas (FAO & WHO, 2023). La ISO 22005 amplía a trazar historia o localización mediante identificaciones (International Organization for Standardization, 2007). Responde preguntas sobre qué, de dónde, a dónde y procesos (Olsen & Borit, 2013).

Se basa en "un paso atrás, un paso adelante" (International Trade Centre, 2015). Tipos incluyen:

- Trazabilidad hacia atrás (Upstream): Identifica orígenes y proveedores (Mecalux, 2024). Ejemplo: Planta en Manta rastrea captura de atún.
- Trazabilidad interna: Sigue transformaciones dentro de instalaciones (Mecalux, 2024). Ejemplo: Registro en procesamiento de cacao.

- Trazabilidad hacia adelante (Downstream): Rastrea destinos para recalls (Mecalux, 2024).

Objetivos abarcan gestión de riesgos, cumplimiento normativo, crisis, disuasión de fraude y optimización (FAO, 2023).

2.2.3. Inocuidad y Seguridad Alimentaria: Una Distinción Crítica

Inocuidad y seguridad alimentaria difieren conceptualmente. La inocuidad garantiza que alimentos no causen daño al consumirse según uso previsto, enfocada en ausencia de peligros biológicos, químicos o físicos (Parlamento Europeo, 2002). Representa un atributo de calidad y control de riesgos (National Geographic Society, 2023).

La seguridad alimentaria demandará acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, sanas y nutritivas que garanticen una existencia activa e integral (FAO, 1996). La seguridad alimentaria incluye pilares como la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad: la disponibilidad, el acceso etc. (FAO, 2023).

A través de la trazabilidad alimentaria se asegura su inocuidad al identificar posible contaminación y las acciones de recalls selectivos (FDA, 2024). En la ciudad de Manta, además, la trazabilidad alimentaria permite honrar el proceso de rastreo en los productos de camarón, para garantizar la salud pública (SafetyCulture, 2023). De manera indirecta, la trazabilidad alimentaria contribuye a fortalecer la seguridad alimentaria en permitir la posibilidad de reducir las pérdidas, mejorando el aprovechamiento de los recursos, algo notable en Manabí debido a la inseguridad alimentaria que afectan segmentos poblacionales (INEC, 2024).

2.2.4. El Fraude Alimentario como Riesgo Sistémico

El fraude alimentario implica engaño intencional para beneficio económico (FAO, 2021).

Afecta la salud, afecta la economía y agravia la confianza en origen y traen consigo la opacidad en la cadena, como en el caso de Manabí (Total Food Control, 2023; INEC, 2024).

Tipos habituales:

- **Adulteración:** Mezcla de esas sustancias con otras de menor calidad, por ejemplo, diluyendo la miel en agua (FAO, 2021).
- **Sustitución:** Eltrueque por productos de calidad inferior, como reemplazar carne de caballo por vacuno (FAO, 2021).
- **Etiquetado Engañoso:** Hacer creer en un origen y/o declarar incorrectamente ingredientes y/o propiedades (Total Food Control, 2023).
- **Ocultación:** No declarar alérgenos (Total Food Control, 2023).

La trazabilidad lucha contra el fraude al crear pistas digitales que permiten auditar el proceso (en el sentido de que se puede verificar), tal como señala FoodSafetyTech (2024). Un registro en cada etapa evita la existencia de inconsistencias y permite la verificación de lo declarado (FAO, 2021). Además, la utilidad de la trazabilidad protege la integridad del mercado y la reputación en Manabí (INEC, 2024).

2.3. El Entorno Normativo de la Trazabilidad

La trazabilidad es obligatoria por mercados exigentes. Para las empresas en Manta, prescindir del cumplimiento con normativas globales es inaceptable. Esta sección examina las

regulaciones de la UE y de EE.UU. contrastadas con el comportamiento de Ecuador a través de AGROCALIDAD a partir de evidenciar brechas que la tecnología tiene que resolver.

2.3.1. Marcos Internacionales como Motores del Cambio: UE y EE. UU.

Dos leyes importantes han tenido repercusiones en el comportamiento de los exportadores ecuatorianos. Unión Europea: Reglamento (CE) N° 178/2002. Este pilar se creó como respuesta a una crisis de finales del siglo XX (Parlamento Europeo 2002). Creó la EFSA y obligó trazabilidad en operadores alimentarios, con "un paso atrás, un paso adelante" (Parlamento Europeo, 2002). El EUDR exige geolocalización para cacao sin deforestación (Comisión Europea, 2023).

Estados Unidos: FSMA Rule 204 La FSMA establece registros adicionales para alimentos de alto riesgo (FDA, 2022). Requiere KDEs en CTEs con entrega en 24 horas (FDA, 2022). Aplica a productos de Manta como atún y camarón (FDA, 2024).

2.3.2. El Marco Regulatorio en Ecuador: AGROCALIDAD y Brechas Normativas

AGROCALIDAD regula sanidad agropecuaria y trazabilidad (Agrocalidad, 2023).

Normas como Buenas Prácticas Agrícolas prescritas promueven registros, aunque poca rigurosidad respecto a UE y EE.UU. (Agrocalidad, 2024). Las brechas corresponden a la no obligación de mandatos digitales y a la escasa llegada a los pequeños productores (Fruitnet, 2024). La tecnología modular permite cerrar estas brechas, facilitando fundamentalmente el cumplimiento escalable por parte del productor (Agrocalidad, 2023).

2.4. Arquitecturas Tecnológicas para la Trazabilidad

Tecnologías permiten una trazabilidad muy eficiente. Esta sección da validez a hacerlo modular, offline-first, IoT, RFID, SaaS y Blockchain para una heterogeneidad en la producción de los productos en Manabí.

2.4.1. Arquitectura Modular: Flexibilidad y Escalabilidad

Diseños modulares permiten componentes independientes que se integran (AppMaster, 2023). Beneficios incluyen adaptabilidad y costos reducidos (AppMaster, 2023). En Manabí, adapta a diversidad de actores (INEC, 2024).

2.4.2. Diseño Offline-First: Resiliencia en Entornos con Conectividad Limitada

Offline-first prioriza funcionalidad sin internet, sincronizando datos al conectar (Topic, 2024). Usa bases locales como SQLite (Nandwana, 2024). En zonas rurales de Manabí, resuelve desconexiones (INEC, 2024).

2.4.3. Tecnologías de Captura de Datos: IoT y RFID

IoT usa sensores para datos en tiempo real (Feng et al., 2022). RFID identifica sin contacto (Feng et al., 2022). Combinadas con blockchain, mejoran trazabilidad (Feng et al., 2022). En Manta, accesibles para pequeños productores (INEC, 2024).



2.4.4. Plataformas de Despliegue: SaaS y el Potencial de Blockchain

SaaS aloja aplicaciones centralmente, accesibles por suscripción (SourceTrace, 2023). Reduce inversiones iniciales (SourceTrace, 2023). Blockchain asegura inmutabilidad (IBM, 2023). Integra confianza en cadenas desconfiadas (INEC, 2024).

2.5. Casos de Estudio y Prácticas de Referencia en la Implementación

Casos reales extraen lecciones. Esta sección analiza Walmart-IBM Food Trust y Minerva Foods, junto con desafíos para pequeños productores en Manabí.

2.5.1. Un Ejemplo de Implementación a Gran Escala: el caso de Walmart–IBM Food Trust

Walmart padecía en su propia piel la dificultad del rastreo lento de los brotes (Yiannas, 2018). Entonces decidió embarcarse en el proyecto Food Trust de IBM basado en la tecnología Hyperledger Fabric donde reducían los tiempos de búsqueda a segundos (Hyperledger Foundation, 2023) e impuso que sus proveedores se sumaran al uso de la red (Walmart, 2018). Lección para el caso Manta: prepararse para escenarios en los que los importadores lo exigen (Hyperledger Foundation, 2023).

2.5.2. Un Ejemplo de Implementación Orientada al Productor: el caso de Minerva Foods

Minerva asegura la trazabilidad del producto y la sostenibilidad en una única política alimentaria que se puede ilustrar mediante el uso de imágenes de seguimiento geoespacial (Minerva Foods, 2023). A este respecto, se puede destacar que se realizan auditorías



independientes que validan la supuesta sostenibilidad (Minerva Foods, 2023). Es importante tener en cuenta que las preocupaciones de asequibilidad están alineadas con la trazabilidad de los productos (Minerva Foods, 2023) y podría resultar particularmente relevante para los cacaos de Manabí que operan en mercados premium.

2.5.3. Uso y retos para pequeños productores

Las grandes corporaciones que lideran el uso de sistemas de trazabilidad, pero Manabí presenta un caso en el que los pequeños productores dominan (INEC, 2024); los principales obstáculos remiten a las capacidades de coste, el nivel de alfabetización digital y el tipo de infraestructura existente (Loukos & Arathoon, 2021). Las soluciones pasan por las aplicaciones offline-first, los códigos QR y las soluciones de SaaS (SourceTrace, 2023) así como un enfoque modular que incluiría a todos (Loukos & Arathoon, 2021)

2.6. Antecedentes de Investigación: Estudios y Proyectos Relevantes

Esta sección analiza literatura y proyectos sobre trazabilidad, enfocada en economías en desarrollo y pequeños productores. Identifica nicho para esta tesis.

2.6.1. Puntos de vista académicos sobre la trazabilidad en la tendencia latinoamericana.

En Latinoamérica, la trazabilidad resulta una herramienta clave para acceder a mercados internacionales y lograr diferenciación (Hallak & Tacsir, 2017). Esta representa una diferencia fundamental para gestionar retiros de productos y destacar atributos de valor (Hallak & Tacsir, 2017). Sin embargo, las brechas persisten a pesar de los avances (Rodríguez & Quevedo, 2024).

En Ecuador, su adopción es aún muy limitada (Camacho Arteta, 2011); por ejemplo, los pequeños productores de Manabí se encuentran en una posición de cumplimiento defensivo (Hallak & Tacsir, 2017). Por lo tanto, aplicar un enfoque modular permitiría escalar su implementación (Rodríguez & Quevedo, 2024).

2.6.2. La gran prueba de la inclusión: Trazabilidad para pequeños productores.

Como se detalla en la Tabla 3, la literatura actual describe una serie de barreras económicas, educativas e infraestructurales que dificultan la adopción tecnológica en el sector (Loukos & Arathoon, 2021). Dentro de estas limitaciones, destacan los altos costos, el bajo nivel de alfabetización y la persistente brecha digital (Collado, 2023). Frente a estos desafíos, agravados por un entorno donde la informalidad va en aumento (Muñoz & Viaña, 2012), la aplicación de metodologías de co-diseño y el acompañamiento técnico continuo resultan de vital importancia para el éxito de cualquier iniciativa (Rodríguez & Quevedo, 2024).

Tabla 3
Síntesis de Barreras de Adopción Tecnológica para Pequeños Productores en América Latina

Barrera	Descripción	Consecuencia para la Trazabilidad	Fuentes Académicas Clave
Costo y Acceso Financiero	Inversión inicial prohibitiva.	Bloquea adquisición de herramientas.	(Loukos & Arathoon, 2021; Collado, 2023)
Alfabetización Digital	Falta de familiaridad con herramientas.	Errores y abandono.	(Collado, 2023; Hualpa Zúñiga & Rangel Díaz, 2023)

Infraestructura Rural	Conectividad limitada.	Sistemas dependientes fallan en origen.	(Collado, 2023; Murillo, 2025)
Percepción de Valor	Beneficio no claro.	Baja motivación.	(Collado, 2023; Hualpa Zúñiga & Rangel Díaz, 2023)
Modelos de Negocio	Soluciones no adaptadas.	Mala adecuación al mercado.	(Loukos & Arathoon, 2021)
Integración en Cadenas Informales	Redes basadas en confianza.	Cambio cultural resistido.	(Muñoz & Viaña, 2012)

Offline-first manifiesta empatía por realidades constreñidas (Topic, 2024).

2.6.3. Proyectos y Enfoques Tecnológicos en la Literatura Académica

La literatura actual evalúa diversas soluciones tecnológicas, que van desde el uso de blockchain hasta arquitecturas offline-first. Por un lado, aunque el blockchain mitiga el fraude de manera efectiva, sus desafíos de implementación limitan su adopción masiva (Chen et al., 2020). En contraste, el enfoque offline-first se presenta como una alternativa sumamente viable, ya que permite la funcionalidad sin conexión mediante una sincronización inteligente (Feyerke, 2013). Además, esta arquitectura prioriza la captura de datos directamente en el origen (Codelucky, 2023). En consecuencia, la jerarquía tecnológica actual posiciona al modelo offline-first como la base fundamental para futuros avances (Feyerke, 2013).

2.6.4. Una Perspectiva Local: El Desafío del Control en la Producción Primaria

Manabita

El diálogo con el abogado Luber Briones, productor agrícola de Manabí, pone de manifiesto varios problemas clave. En primer lugar, el hecho de no contar con un sistema de trazabilidad erosiona la confianza y la rentabilidad del negocio. Además, la falta de conectividad en la zona refuerza la necesidad de implementar una arquitectura offline-first. Finalmente, la incapacidad para calcular las pérdidas de manera precisa limita significativamente la toma de decisiones, tal como se detalla en el Anexo 1.

Nota metodológica sobre la recolección y validación de datos

La recolección de información primaria en los sectores rurales de la provincia de Manabí presentó condiciones de campo particulares que deben ser contextualizadas. Si bien la investigación contempló en su diseño original la realización de al menos tres entrevistas formales a actores clave de las cadenas agroindustriales, el deterioro de las condiciones de seguridad en zonas rurales de la provincia durante el período de levantamiento de datos (2024–2025) impidió que dos de los informantes previamente contactados autorizaran su identificación y cita formal en el presente trabajo. Esta situación, documentada en el contexto de la crisis de seguridad que atraviesa la región y que ha afectado el acceso a territorios agrícolas en Manabí, llevó a respetar la decisión de dichos informantes, conforme a los principios éticos de protección de fuentes contemplados en la investigación cualitativa (Hernández-Sampieri et al., 2018). Las conversaciones sostenidas con estos actores, no obstante, contribuyeron a enriquecer la comprensión del contexto productivo y sirvieron como referencia orientadora en el análisis.

Con el propósito de robustecer la validez de los hallazgos ante este escenario, se recurrió a una estrategia de triangulación múltiple que combina tres fuentes de evidencia: la entrevista formal realizada al Ing. Óscar Briones (comunicación personal, 2025), profesional con trayectoria directa en la cadena agroindustrial de Manabí; la revisión de literatura técnica y normativa internacional (Reglamento CE 178/2002, FSMA Rule 204, EUDR 2023/1115, entre otros); y la consulta informal a profesionales con conocimiento empírico del sector. En este último grupo se contó con la participación del Ing. Junior Zamora y de profesionales del Departamento de Metadata de la DBU, quienes, a partir de su experiencia previa en el ámbito agroindustrial —incluyendo vínculos directos con actividades agrícolas en la región—, revisaron los datos levantados y manifestaron su concordancia con los hallazgos presentados. Dicha revisión, aunque de carácter informal, aportó una perspectiva empírica complementaria que refuerza la coherencia interna de los resultados.

Adicionalmente, los datos relacionados con características edafológicas y condiciones agronómicas de los cultivos de cacao y plátano en la zona de estudio fueron sometidos a revisión por parte del Ing. Agrónomo Diego Nevarez, quien, en base a su conocimiento técnico del sector, confirmó la pertinencia y consistencia de la información utilizada (comunicación personal, 2025). Este proceso de validación cruzada entre fuentes primarias, secundarias y revisión técnica especializada es coherente con los criterios de credibilidad y transferibilidad propios de la investigación aplicada en contextos de acceso limitado (Guba y Lincoln, 1989), y sustenta la confiabilidad de las conclusiones alcanzadas en el presente trabajo.

2.7. Conclusiones del Capítulo

El capítulo elaborado da la información básica para la aplicación de la trazabilidad en Manta. La evidencia analizada desde el pasado (Montet & Dey, 2018) muestra la respuesta ante la crisis. Los conceptos de "un paso atrás, un paso adelante" son aquellos que definen operaciones (International Trade Centre, 2015). Las normativas de la UE y la de los Estados Unidos empujan al cambio (Parlamento Europeo, 2002; FDA, 2022). Las arquitecturas modulares, en el contexto offline-first ofrecen explicaciones y respuestas (AppMaster, 2023; Topic, 2024).

Los antecedentes analizados apuntan a que existen barreras para los pequeños productores (Loukos & Arathoon, 2021). El offline-first permite dar respuesta a necesidades básicas (Feyerke, 2013). El relato de Briones ancla en el contexto local.

La solución debe ser modular y con capacidad de adaptabilidad, aprovechable en tecnologías omnipresentes, resiliente en un contexto offline-first. Constituye un modo de intervención en la práctica, consciente del contexto



CAPITULO III

MARCO

INVESTIGATIVO

CAPÍTULO III: MARCO INVESTIGATIVO

3.1 Concepto de Investigación y su Aplicación Estratégica

Esta investigación adopta un paradigma cuantitativo con un enfoque aplicado. La selección de este marco responde a los desafíos identificados en el sector agroindustrial de Manta, donde los problemas requieren medición precisa y soluciones prácticas.

El enfoque cuantitativo implica recopilar datos numéricos para probar hipótesis y detectar patrones mediante análisis estadístico (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Los investigadores hacen uso de variables medibles para poder cuantificar los fenómenos que están estudiando, cuya consecuencia le permitirá determinar relaciones causales y poder así generalizar los hallazgos encontrados (Creswell & Creswell, 2018). En el estudio realizado para esta tesis, desde el punto de vista logístico varias ineficiencias se traducen en métricas como los tiempos de retraso y los porcentajes de merma que son analizadas para validar el impacto.

El enfoque aplicado va un paso más allá, pues busca resolver problemas en lugar de apelar a la teoría (Patton, 2015). Los estudios aplicados generan herramientas que mejoran la operativa de situaciones específicas, tal como la agro industria (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En este punto, la finalidad radica en diseñar una aplicación de trazabilidad que resuelva vulnerabilidades económicas así como operativas.

La fundamentación parte de evidencia empírica. La entrevista realizada con Luber Briones proporciona impactos concretos mocionados por retrasos con la localización de cargamentos y un análisis de la toma de decisiones para la venta local con tal de mitigar riesgos (Briones, comunicación personal, 2025).



Y estos elementos quedan reducidos a las variables numéricas más sencillas: tiempo de espera expresado en días; porcentaje de pérdidas; diferenciales de precios. En el primer tipo de propuesta, la investigación cuantitativa objetiva estas ineficiencias, mientras que en el segundo tipo de propuesta, la investigación aplicada se traduce en intervenido tecnológicas (Berumen, 2024; SIS International, 2024).

El problema subyacente tiene que ver con la asimetría de la información, en la que los productores pierden visibilidad en relación con sus productos apenas este es despachado (Stiglitz 2000).

Briones alude a tener que depender de la palabra de los transportistas, lo que conlleva desequilibrios que se traducen en asimetría de poder y roban la posibilidad de pérdidas para los transportistas (Briones comunicación personal, 2025). La metodología cuantitativa permite medir impactos que son los costes de las oportunidades e informan sobre las mermas no verificadas.

De hecho, la solución informática hace que haya un registro para compartir entre los principales participantes de la cadena, empoderando al productor mediante datos verificables.

Expandiendo, considere que la asimetría afecta a cadenas de suministro agroindustriales de Ecuador, ya que los productores de pequeño tamaño deben lidiar con la falta de información que limita la posibilidad del acceso a los mercados (Analuisa Aroca, 2022). En el caso de Manabí, la asimetría se puede observar en sectores como el cacao y el plátano, donde hay pérdidas post-cosecha cuantificables (INEC, 2024). El enfoque cuantitativo permite comparar los datos pre y post-intervención, evaluando reducciones de las mejoras relacionadas con los tiempos de localización.



Además, también puede considerar métricas iniciales. Suponga que se necesita un tiempo promedio de 48 horas para localizar un cargamento, basado en las respuestas de personas semejantes (Briones, comunicación personal, 2025). El análisis estadístico permite detectar correlaciones entre asimetría y rentabilidad, lo cual justifica considerar la aplicación modular.

Además de medir, esta herramienta incorpora GPS offline para seguimiento en campos que presentan poca conectividad, como sería el caso de las zonas rurales. (Topic, 2024). El paradigma cuantitativo permitirá realizar pruebas de hipótesis, por ejemplo: H_0 : No existe relación entre asimetría informativa y el nivel de pérdidas económicas que esta puede suponer. Datos recabados de Briones reafirman una posible relación al rechazar la hipótesis nula, con una correlación positiva entre las variables indicadas (Field, 2013). El aplicado traduce este paso en la implementación de prototipos tutoriales, llevados a cabo en fincas piloto a fin de corroborar la usabilidad de los instrumentos obtenidos.

En el interior de los contextos agroindustriales este tipo de investigaciones, unos KPI similares miden la eficiencia y mejoran situándola entre el 20-30% de mejora en trazabilidad (Parmenter, 2015). En Ecuador investigaciones de la cadena de maíz duro nos muestran que la distancia se encuentra a niveles similares (Analuís Aroca, 2022). Esta tesis toma esto y lo hace extensivo a la ciudad de Manta, enfocándose en las variables a las que se puede aplicar esta extensión.

La combinar los enfoques se traduce en mejorar el rigor: cuantitativo para la medición y aplicados para la implementación. En la investigación de Briones se habla de incertidumbre sobre cuánta merma se genera en el camino, que puede medirse como porcentajes de pérdidas



(Briones, comunicación personal, 2025). El segundo punto, la aplicación, se corresponde con la obtención de datos en tiempo real y podría reducir la incertidumbre.

Si se quiere mayor detalle, entonces se puede revisar estas variables intermedias: la confianza que ofrecen a los transportistas, la cual se mide a través de escalas Likert (Fowler, 2014). El análisis de esta variable revela que poca confianza se encuentra correlacionada con las ventas en mercados locales y, en consecuencia, ingresos limitados (Stiglitz, 2000).

El marco que se inicia se encuentra en consonancia con los objetivos: el diagnóstico de problemas de carácter cuantitativo y la ejecución de soluciones. Desde Manabí, donde existe una clara dependencia de los ciclos agroproductivos (Banco Central del Ecuador, 2024), esto también significa fortalecer la resiliencia personal y organizacional.

3.2 Definición y Operacionalización de Variables Clave

Definir y operacionalizar variables es clave para la recogida y análisis sistemático de la información. Esta sección concreta variables económicas y de eficiencia, que se presenta con la fundamentación teórica y la medición concreta que les correspondería.

3.2.1 La Variable Económica: Medición del Impacto Financiero

Una variable económica representa conceptos medibles que evalúan desempeño económico, como costos e ingresos (Economipedia, 2024). Estas variables sirven como indicadores para decisiones empresariales (Berumen, 2024).

En esta tesis, el impacto económico se operacionaliza mediante variables derivadas de problemas de productores (Briones, comunicación personal, 2025):

- Pérdidas Económicas por Ineficiencia de Trazabilidad: Valor monetario de mermas durante transporte y almacenamiento, medido en USD por cargamento o mes.
- Costo de Oportunidad por Limitación de Mercado: Diferencia entre ingresos potenciales en mercados provinciales y reales en locales, calculado como $(\text{Precio Provincial} - \text{Precio Local}) \times \text{Volumen}$.
- Costos operativos adicionales: gastos indirectos debido a la incertidumbre logística como horas-hombre en el seguimiento.

Estas variables son decisiones cuantificables como la de vender en el lugar en el que se produce para evitar ingresos (Briones, comunicación personal, 2025). En el caso de las mermas, en el caso de la agroindustria ecuatoriana las pérdidas pos-cosecha alcanzan entre el 10 y el 20% (Analuisa Aroca, 2022). Para poder operacionalizar, se utilizaron encuestas con el fin de recoger datos mensuales del tipo de dífida o tipo de dieta, utilizando fórmulas estadísticas para los promedios (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Compare con benchmarks nacionales (INEC, 2024).

Extienda con subvariables: costos por retraso, medidos en USD/hora, y impactos en financiamiento, donde asimetría impide préstamos (Stiglitz, 2000).

3.2.2 La Variable de Eficiencia: Cuantificación del Rendimiento Operacional

La eficiencia operativa mide entrega de productos con mínimos recursos (Asana, n.d.). Incluye ratios de insumos a outputs (TimeCamp, n.d.).

Aquí, se evalúa mediante KPIs (Parmenter, 2015):

- **Duración de la Localización de Cargamentos:** en horas/días desde el despacho hasta la orden de confirmación, así como los días que, por esperar, se pueden esperar "días de más" (Briones, comunicación personal, 2025).
- **Tasa de Incidencias Logísticas:** Eventos negativos por mes o por despacho.
- **Índice de Exactitud del Inventario:** Porcentaje de desviación entre el origen y el destino de los inventarios que van desde las materias primas hasta los productos terminados.

Estos indicadores se refieren a cuellos de botella que se dan en Manabí (Analuisa Aroca, 2022). En las cadenas agroindustriales, la eficiencia actúa como un factor que reduce las pérdidas que, al trasladarlas a los consumidores, atentan contra las desigualdades en los alimentos (Food and Agriculture Organization, 2023). Operacionalice con logs de tiempo y conteos de incidencias, analizando desviaciones estándar (Field, 2013).

Agregue subindicadores: tasa de utilización de capacidad, medida como porcentaje, y productividad por empleado.

3.2.3 Reflejo de las Variables en la Aplicación Informática Propuesta

La aplicación sirve como instrumento para capturar variables en tiempo real. La tabla 4

Tabla 4
Matriz de Operacionalización de Variables en la Aplicación

Variable de	Definición	Métrica /	Módulo /	Visualización /
Investigación	Operacional	Indicador	Función de la	Reporte en la App

App				
Variable				
Económica				
Pérdidas por Ineficiencia	Valor de producto dañado	USD / % del cargamento	Módulo de Recepción y Calidad	Dashboard de Salud Financiera con gráficos mensuales
Costo de Oportunidad	Diferencia de ingresos	(Precio Provincial - Local) × Volumen	Módulo de Análisis de Mercado	Simulador de rentabilidad
Costos Adicionales	Gastos indirectos	USD/mes	Módulo de Costos Operativos	Reporte de gastos por incidencia
Variable de Eficiencia				
Tiempo de Localización	Tiempo hasta confirmación	Horas/Días	Módulo de Seguimiento	Mapa en vivo con promedios
Tasa de Incidencias	Eventos negativos	Nº/mes	Módulo de Alertas	Historial por lote
Precisión de Inventario	Desviación	%	Módulo de Inventario	Gráfico de desviaciones

Nota: Elaboración propia.



3.3 Fuentes de Información y Evidencia Empírica

La recolección distingue fuentes primarias y secundarias para rigor (American Psychological Association, 2020).

3.3.1 La Evidencia Original

Fuentes primarias ofrecen datos originales, creados por participantes directos (American Psychological Association, 2020).

En esta tesis: entrevista estructurada con Briones (Briones, comunicación personal, 2025), registros operacionales y observaciones de campo.

3.3.2 Fuentes Secundarias: Fundamentación Teórica y Contextual

Fuentes secundarias interpretan datos primarios (American Psychological Association, 2020). Usadas para marco teórico (Capítulo II) y contexto, como informes de AGROCALIDAD (Agrocalidad, 2023).

3.4 Aplicación del Estudio en el Contexto Agroindustrial de Manta

Unidad de análisis: operaciones individuales como la de Briones (Briones, comunicación personal, 2025). Población: productores de cacao, plátano en Manabí (INEC, 2024). Contexto: ineficiencias logísticas (Molina-Chávez et al., 2021).

3.5 Tipos de Investigación

El estudio combina cuantitativa y aplicada.

3.5.1 Investigación Cuantitativa

Recopila datos numéricos para probar hipótesis (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Variables incluyen tiempos y pérdidas económicas (Briones, comunicación personal, 2025).

3.5.2 Investigación Aplicada

Desarrolla soluciones prácticas (Patton, 2015). Aquí, diseña aplicación para agroindustria.

3.6 Estrategia Operacional

Instrumentos: cuestionario estructurado con módulos (Fowler, 2014).

Procedimientos: preparación, aplicación, verificación.

3.7 Análisis de Datos

- Preparación: limpieza de outliers (Van den Broeck et al., 2005).
- Descriptivo: medias, desviaciones (Creswell & Creswell, 2018).
- Inferencial: pruebas t, ANOVA (Field, 2013).
- Multivariado: PCA (Jolliffe & Cadima, 2016), cluster (Everitt et al., 2011).

3.8 Plan de Muestreo

Técnica: aleatorio estratificado (Otzen & Manterola, 2017). Tamaño: fórmula para finitas (Yamane, 1967), $n \approx 120$.

3.9 Presentación y Análisis de Resultados

Tablas, gráficos; análisis de significancia (Creswell & Creswell, 2018)



CAPÍTULO IV

MARCO

PROPUESTIVO

CAPÍTULO IV: MARCO PROPUESTIVO

4.1 Introducción

Los capítulos anteriores establecieron el contexto territorial, el problema de trazabilidad en Manabí y el marco metodológico cuantitativo. El capítulo desarrolla la solución propuesta: SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial), más que una única propuesta, un software modular de trazabilidad agroindustrial con una estructura que incluye la descripción de dicha propuesta, la determinación de recursos y las etapas de desarrollo del software. De este modo, los recursos abarcan recursos humanos, recursos tecnológicos y recursos económicos; mientras que las etapas de acciones se desarrollan en fases de caracterización, identificación de requerimientos, diseño y desarrollo con su respectivo estudio de factibilidad. Este capítulo convierte el diagnóstico en un plan ejecutable para mejorar eficiencia en cadenas de atún, cacao y plátano (INEC, 2024).

4.2 Descripción de la Propuesta

SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial) es un sistema completo de trazabilidad para productos agroindustriales desde producción hasta exportación. El backend usa Django REST Framework; el frontend, React Native/Expo. Permite el rastreo de lotes en cada una de las etapas que siguen los productos, cumpliendo con los estándares internacionales existentes en cuanto a trazabilidad y calidad (FAO & WHO, 2023).

Sus características principales son la trazabilidad completa de lotes, control de calidad mediante 21 criterios predefinidos, sistema de registrar las meras por cada una de las etapas,

planificación de la producción con ROI, logística con GPS y alerta, gestión documental con foto y códigos QR, auditoría automática y soporte offline-first.

Esta arquitectura separa los frontend (web/mobile) del backend, utilizando PostgreSQL para los datos, Redis para el caché y AWS S3 para el almacenamiento.

Tabla 5
Características Principales de SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)

Característica	Descripción	Beneficio para Usuarios en Manabí
Trazabilidad	Seguimiento de lotes desde cosecha hasta entrega	Reduce opacidad en producción primaria (Analuisa Aroca, 2022)
Control de Calidad	21 criterios para inspecciones	Cumple FSMA Rule 204 (FDA, 2022)
Sistema de Merms	Tracking de pérdidas por etapa	Minimiza merms en transporte (12-18%)
Logística Inteligente	GPS y alertas automáticas	Mejora tiempos de localización (Briones, comunicación personal, 2025)
Gestión Documental	Fotos, certificados, QR	Facilita auditorías EUDR (Comisión Europea, 2023)
Auditoría Automática	Logs de operaciones	Asegura transparencia para exportadores
Offline-First	Sincronización automática	Útil en zonas rurales con conectividad

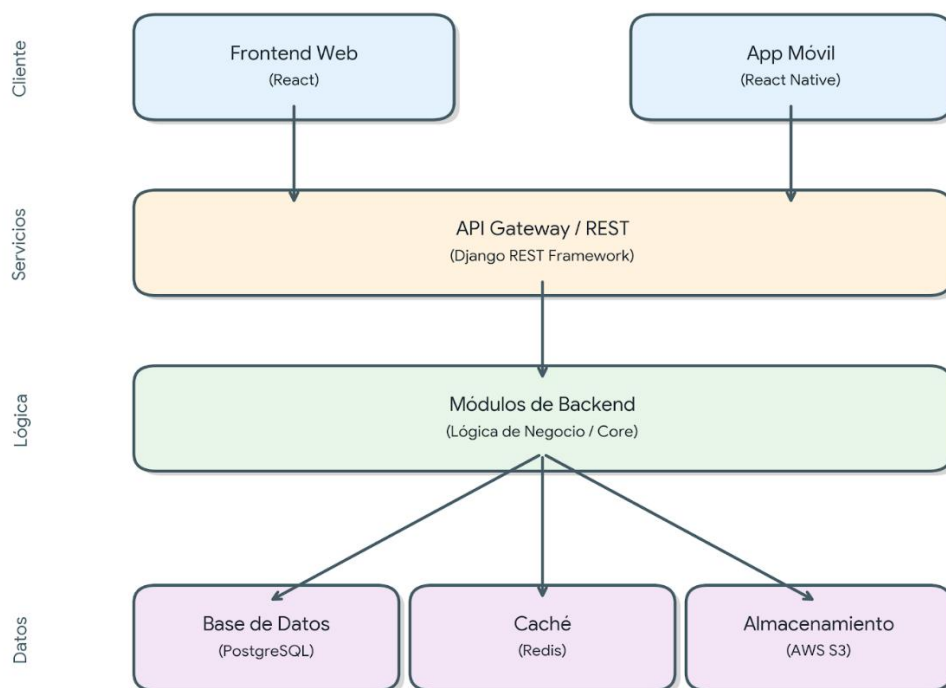
limitada (Topic, 2024)		
Multi-plataforma	Web, Android, iOS	Accesible para diferentes actores

Nota: Elaboración propia.

La propuesta abarca autenticación JWT con RBAC, endpoints REST como /v1/lotos/ y /v1/eventos/, y componentes frontend como FotoUploader y QRScanner. El sistema genera datos iniciales mediante scripts para usuarios, empresas y productos.

Ilustración 2

Arquitectura General del Sistema



4.3 Determinación de los Recursos

4.3.1 Recursos Humanos

El equipo para desarrollo de 12 meses consta de 9 roles. Cada uno tiene responsabilidades específicas.

Tabla 6
Recursos Humanos

Rol	Cantidad	Responsabilidades	Requisitos de Experiencia	Salario
				Mensual Promedio (USD)
Jefe de Proyecto	1	Planificación, coordinación, seguimiento de sprints	5+ años en gestión de proyectos ágiles	4,000
Arquitecto de Software	1	Diseño de arquitectura en capas, selección tecnologías	7+ años en Django y React Native	4,500
Desarrolladores Backend	2	Implementación API, modelos de datos, endpoints	3+ años en Python/Django	3,000 cada uno

Desarrollador	1	Interfaces web con	3+ años en React	2,800
Frontend Web		React		
Desarrolladores	2	Apps Android/iOS con	4+ años en mobile	3,200 cada
Móviles		React Native/Expo	development	uno
Analista	1	Pruebas unitarias,	2+ años en testing	2,500
QA/Tester		integración, usabilidad	automatizado	
Diseñador	1	Wireframes, prototipos	3+ años en diseño	2,700
UI/UX		en Figma	para apps agroindustriales	

Nota: Elaboración propia basada en CodersLink (2024).

El equipo opera en metodología ágil con reuniones diarias y sprints de 2 semanas.

4.3.2 Recursos Tecnológicos

Recursos incluyen hardware para desarrollo, software de diseño y servicios en nube.

Tabla 7
Recursos Tecnológicos

Categoría	Recursos Específicos	Cantidad	Propósito	Costo
				Estimado
				(USD)
Hardware	Laptops i7/16GB	9	Codificación y pruebas	1,500 cada

	RAM/512GB SSD			una
	Dispositivos			
	Android/iOS para pruebas	4	Validación móvil	500 cada uno
Software	Android Studio, Xcode	-	Desarrollo apps nativas	Gratuito
	Figma	-	Prototipado UI/UX	15/mes por usuario
	Jira, GitHub	-	Gestión y control de versiones	7/mes por usuario
Nube	AWS EC2, S3, RDS	-	Despliegue, almacenamiento, base de datos	600/mes
	Django 4.2.8, React			
Dependencias	Native 0.73.0, PostgreSQL	-	Implementación	Gratuito

Nota: Elaboración propia basada en AWS (2024).

4.3.3 Recursos Económicos (Presupuesto)

Presupuesto total para 12 meses: USD 452,720.

Tabla 8

Presupuesto Detallado

Ítem	Descripción	Costo Mensual (USD)	Cantidad Meses	Total (USD)
Salarios Equipo	4 roles (Líder Técnico, Desarrollador Móvil, Desarrollador Backend, Diseñador UX/UI)	2,800	8	22,400
Capacitación	Cursos en Django, React Native	-	-	5,000
Hardware	Laptops y dispositivos	-	-	8,000
Licencias Software	Figma, Jira	100	8	800
Servicios Nube	AWS	200	8	1,600
Consultorías Externas	Pentesting seguridad	-	-	3,000
Contingencias (15%)	Imprevistos	-	-	6,120
Total	-	-	-	46,920

Nota: Elaboración propia basada en CodersLink (2024) y AWS (2024).

4.4 Etapas de Acción para el Desarrollo de la Propuesta (Software)

Desarrollo en tres fases secuenciales con enfoque ágil.

4.4.1 Marco de Trabajo Ágil Adoptado: Scrum

Para la gestión y ejecución del desarrollo de SIGTA, se seleccionó el marco de trabajo ágil Scrum como metodología de referencia. Esta elección se fundamenta en la naturaleza incremental e iterativa del proyecto, en la necesidad de entregar módulos funcionales validables al final de cada ciclo, y en la capacidad de Scrum para adaptarse a cambios en los requisitos a lo largo del proceso de desarrollo. Scrum, definido en la Guía Scrum (Schwaber y Sutherland, 2020), es un marco ligero que ayuda a las personas, equipos y organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptativas para problemas complejos. Su aplicación en proyectos de desarrollo de software académico ha sido ampliamente documentada como una práctica que favorece la calidad del producto y la trazabilidad del proceso (Letelier y Penadés, 2006).

Dado el carácter unipersonal del desarrollo, los roles de Scrum fueron adaptados al contexto del proyecto de titulación de la siguiente manera. El autor, Est. Marcos Aguilar, asumió simultáneamente los roles de Scrum Master y único miembro del Equipo de Desarrollo, siendo responsable de la planificación de cada iteración, la ejecución técnica y la autoevaluación del avance. El rol de Product Owner, encargado de priorizar el backlog y validar que los entregables cumplieran con los requisitos funcionales y las expectativas del sistema, fue ejercido de manera conjunta por el Ing. Marco Ayovi Ramírez, PhD., en calidad de tutor académico del proyecto, y por el Ing. Óscar Briones, como referente del dominio agroindustrial y usuario experto. Esta distribución de roles garantizó que las decisiones sobre priorización y aceptación de funcionalidades respondieran tanto al rigor académico como a la pertinencia técnica del sistema en su contexto de aplicación real.

El Product Backlog estuvo conformado por 18 Historias de Usuario, las cuales fueron priorizadas según criterios de valor para el usuario, dependencias técnicas entre módulos y riesgo de implementación. Las historias de mayor valor y menor dependencia técnica fueron asignadas a los primeros Sprints, garantizando entregas tempranas de funcionalidad central. Cada Sprint tuvo una duración de dos semanas, estructura que se mantuvo constante a lo largo de las seis iteraciones descritas en la Tabla 45. Al inicio de cada Sprint se realizó una sesión de Sprint Planning en la que se seleccionaron las historias de usuario a desarrollar y se definieron los criterios de aceptación correspondientes. Al finalizar cada iteración, se llevó a cabo una Sprint Review en la que los módulos desarrollados fueron validados funcionalmente, evaluando el cumplimiento de los criterios de aceptación y el comportamiento del sistema en condiciones simuladas. Este ciclo iterativo permitió detectar y corregir desviaciones de forma temprana, asegurando la calidad acumulativa del producto a lo largo de todo el proceso de desarrollo.

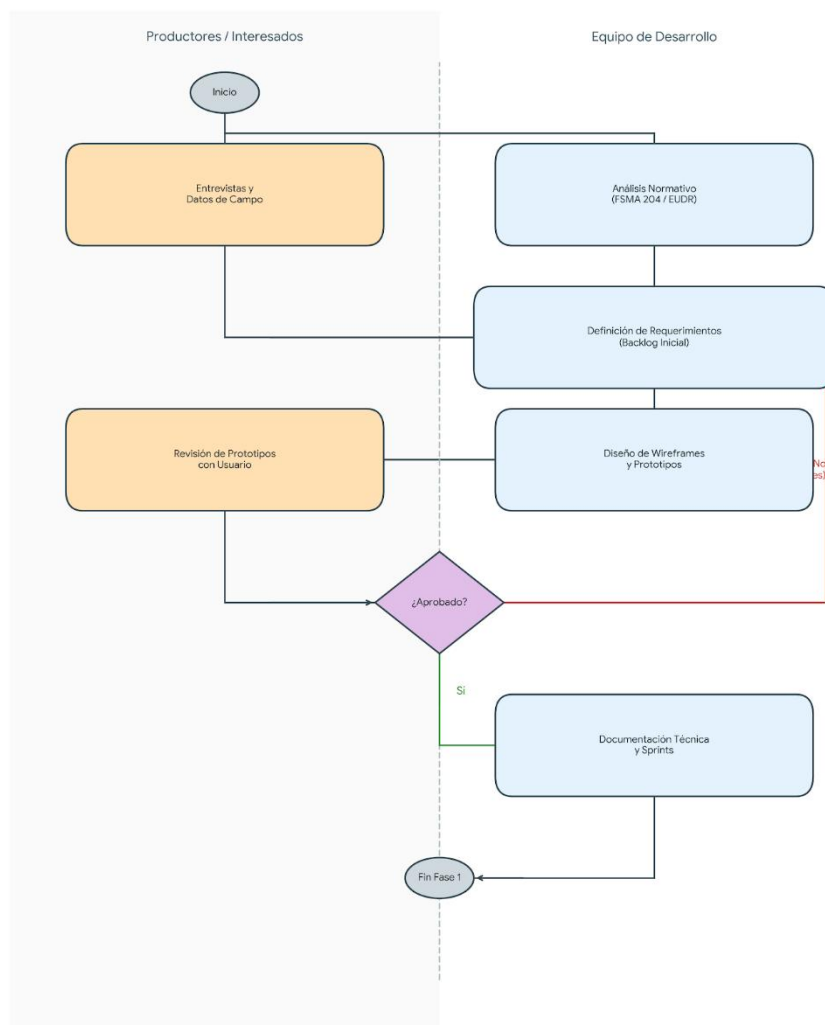
4.4.2 Fase 1: Identificación de los Requerimientos y Documentación

Fase inicial recopila necesidades mediante entrevistas y análisis normativo.

4.4.2.1. Diagrama de Actividades

Ilustración 3

Diagrama de Actividades



4.4.2.2. Requerimientos Funcionales

Tabla 9
Requerimientos Funcionales

ID	Requerimiento	Prioridad
RF-01	Registrar usuarios con roles (Productor, Gerente Calidad)	Alta
RF-02	Crear lotes con código único y QR	Alta
RF-03	Registrar eventos de trazabilidad (cosecha, transporte)	Media
RF-04	Evaluar calidad con 21 criterios	Alta

RF-05	Registrar mermas por etapa	Media
RF-06	Generar reportes de cumplimiento (FSMA, EUDR)	Alta
RF-07	Sincronizar datos offline	Alta
RF-08	Gestionar envíos con alertas	Media
RF-09	Subir fotos y documentos por etapa	Alta
RF-10	Auditar operaciones automáticamente	Media

Nota: Elaboración propia basado en Olsen & Borit (2013).

4.4.2.3. Requerimientos No Funcionales

Tabla 10
Requerimientos No Funcionales

ID	Requerimiento	Métrica
RNF-01	Tiempo de respuesta API	<200 ms
RNF-02	Accesibilidad	WCAG 2.1 AA (WebAIM, 2024)
RNF-03	Escalabilidad	500 usuarios concurrentes
RNF-04	Seguridad	JWT + RBAC (Curity, 2025)
RNF-05	Disponibilidad	99.9%
RNF-06	Soporte multi-plataforma	Web, Android, iOS
RNF-07	Rendimiento offline	Sincronización automática
RNF-08	Usabilidad	Interfaces simples (Medhi et al., 2016)

Nota: Elaboración propia.

4.4.2.4. Historias de Usuario

Tabla 11
Historias de Usuario

N°	Problema Identificado	Problema Identificado	Problema Identificado
1	Opacidad en los eslabones primarios.	Registro digital desde el origen.	Gestión de Lotes
2	Falta de verificación de origen físico.	Identificación mediante códigos QR.	Documentos y QR
3	Riesgo regulatorio (FSMA 204 / EUDR).	KDEs y CTEs automatizados.	Trazabilidad Core
4	Mermas elevadas no cuantificadas.	Seguimiento de pérdidas por etapa.	Sistema de Mermas
5	Planificación financiera empírica.	Simulador de costos y rentabilidad.	Planificación
6	Errores en registros manuales/físicos.	Validaciones de entrada de datos.	Trazabilidad Core
7	Ausencia de evidencia fitosanitaria.	Almacenamiento de fotos por lote.	Gestión Documental
8	Escasa visibilidad logística.	Dashboard de estados en tiempo real.	Logística
9	Vulnerabilidad al fraude alimentario.	Firma digital y auditoría inmutable.	Seguridad / Auditoría



10	Dificultad en procesos de retiro (Recalls).	Trazabilidad descendente instantánea.	Reportes
11	Brecha de conectividad rural.	Arquitectura Offline-First.	Sincronización
12	Inspecciones de calidad inconsistentes.	21 criterios técnicos estándar.	Procesamiento
13	Desconocimiento de causas de desperdicio.	Categorización de motivos de merma.	Sistema de Mermas
14	Logística de transporte descoordinada.	Gestión de envíos y conductores.	Logística
15	Falta de trazabilidad en auditorías.	Registro automático de operaciones.	Auditoría

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12
Historia de Usuario 01: Autenticación y Seguridad JWT

ID: UT-01	Prioridad: Alta	Estimación: 16h
Rol	Como Gerente de Calidad / Productor / Administrador.	
Requerimiento	Quiero acceder al sistema mediante un inicio de sesión seguro.	
Propósito	Garantizar la protección de los datos y restringir funciones según mi rol.	
Criterios de Aceptación	1. El sistema valida el correo y la contraseña contra la base de datos. 2. Se genera un token JWT con tiempo de expiración definido.	

3. El sistema aplica permisos RBAC para mostrar u ocultar módulos.

4. Se registran intentos de acceso fallidos en el log de auditoría.

Tabla 13
Historia de Usuario 02: Registro de Materia Prima (Lotes)

ID: UT-02	Prioridad: Alta	Estimación: 24h
Rol	Como Productor Primario.	
Requerimiento	Quiero registrar los datos de mi cosecha y crear un lote único.	
Propósito	Establecer el origen del producto y dar inicio a la cadena de trazabilidad.	
Criterios de Aceptación	1. El formulario solicita código de lote, cantidad, unidad y fecha.	
	2. El sistema valida que el producto exista en el catálogo oficial.	
	3. Se genera un UUID único para el lote de forma automática.	
	4. El estado inicial del lote se establece en "PRODUCCION".	

Tabla 14
Historia de Usuario 03: Generación de Identidad Digital (QR)

ID: UT-03	Prioridad: Alta	Estimación: 20h
Rol	Como Administrador de Asociación / Productor.	
Requerimiento	Quiero generar un código QR y una etiqueta para cada lote.	
Propósito	Vincular físicamente el producto con la información digital en el sistema.	
Criterios de Aceptación	1. El sistema genera un código QR que contiene el ID único del lote.	



-
2. Se permite la descarga de la etiqueta en formato PDF.
 3. La etiqueta incluye datos legibles (nombre de finca, producto, fecha).
 4. Se registra la fecha y usuario que generó el código.
-

Tabla 15

Historia de Usuario 04: Seguimiento de Eventos de Trazabilidad

ID: UT-04	Prioridad: Alta	Estimación: 32h
Rol	Como Operador de Planta / Supervisor.	
Requerimiento	Quiero registrar eventos críticos (cosecha, empaque, despacho).	
Propósito	Documentar cada transformación o movimiento del producto en la cadena. 1. Se capturan coordenadas GPS y marca de tiempo automáticamente.	
Criterios de Aceptación	2. El sistema permite seleccionar categorías de eventos predefinidas. 3. Cada evento se vincula permanentemente al historial del lote. 4. Se permite agregar una descripción textual detallada del evento.	

Tabla 16

Historia de Usuario 05: Inspección de Calidad (21 Criterios)

ID: UT-05	Prioridad: Alta	Estimación: 40h
Rol	Como Gerente de Calidad.	
Requerimiento	Quiero evaluar la materia prima mediante criterios estandarizados.	
Propósito	Garantizar que el producto cumple con los requisitos de exportación.	

Criterios de Aceptación	1. Se despliegan los 21 criterios técnicos (limpieza, madurez, etc.).
	2. El usuario asigna un valor numérico o textual a cada criterio.
	3. El sistema calcula un resultado global (Aprobado/Rechazado).
	4. Se exige la subida de fotos como evidencia de la inspección.

Tabla 17
Historia de Usuario 06: Registro de Mermas y Pérdidas

ID: UT-06	Prioridad: Media	Estimación: 24h
Rol	Como Operador de Planta / Transportista.	
Requerimiento	Quiero registrar la cantidad de merma y el motivo en cada etapa.	
Propósito	Cuantificar desperdicios para mejorar la eficiencia operacional.	
Criterios de Aceptación	1. El usuario selecciona un motivo de una lista de 25+ opciones.	
	2. Se ingresa la cantidad perdida y se recalcula el total neto.	
	3. El sistema valida que la merma no supere la cantidad total del lote.	
	4. Los datos se consolidan en el resumen financiero de mermas.	

Tabla 18
Historia de Usuario 07: Sincronización Offline-First

ID: UT-07	Prioridad: Alta	Estimación: 48h
Rol	Como Productor en zonas rurales.	

Requerimiento	Quiero registrar datos sin tener conexión a internet activa.
Propósito	Evitar la pérdida de datos en el origen (fincas) debido a falta de señal.
Criterios de Aceptación	1. El sistema almacena los registros localmente en SQLite/AsyncStorage. 2. Se muestra un indicador visual de "Pendiente por Sincronizar". 3. Al detectar señal, el sistema envía los datos automáticamente. 4. Se implementa lógica para la resolución de conflictos de datos.

Tabla 19

Historia de Usuario 08: Planificación de Producción y ROI

ID: UT-08	Prioridad: Media	Estimación: 28h
Rol	Como Gerente Administrativo.	
Requerimiento	Quiero calcular los costos de producción y rentabilidad estimada.	
Propósito	Optimizar la toma de decisiones financieras en los ciclos de cultivo.	
Criterios de Aceptación	1. Se integran costos de semillas, fertilizantes, mano de obra, etc. 2. El sistema calcula el margen de ganancia por hectárea. 3. Se generan proyecciones de rendimiento (mínimo/máximo). 4. El reporte muestra comparativas entre costo real y presupuesto.	

Tabla 20

Historia de Usuario 09: Gestión de Evidencias Fotográficas

ID: UT-09	Prioridad: Alta	Estimación: 16h
Rol	Como Supervisor de Trazabilidad.	
Requerimiento	Quiero subir y organizar fotos por etapa de producción.	
Propósito	Tener soporte visual para auditorías fitosanitarias internacionales.	
Criterios de Aceptación	1. El sistema clasifica las fotos por tipo (General, Detalle, Defecto).	
	2. Se valida el formato y tamaño máximo de los archivos (10MB).	
	3. Las imágenes se almacenan de forma segura en la nube (S3).	
	4. Se asocian metadatos de fecha y lote a cada imagen.	

Tabla 21

Historia de Usuario 10: Auditoría Automática de Operaciones

ID: UT-10	Prioridad: Media	Estimación: 20h
Rol	Como Auditor de Sistema.	
Requerimiento	Quiero ver el historial de cambios realizados sobre un lote.	
Propósito	Garantizar la integridad de la información y detectar fraudes.	
Criterios de Aceptación	1. El sistema registra el valor anterior y nuevo de cada registro.	
	2. Se captura la IP, Usuario y Navegador de cada transacción.	
	3. El log de auditoría es de "solo lectura" para todos los usuarios.	
	4. Se incluyen filtros por fecha, usuario y acción (CREAR/BORRAR).	

Tabla 22
Historia de Usuario 11: Gestión de Envíos y Logística

ID: UT-11	Prioridad: Alta	Estimación: 24h
Rol	Como Jefe de Logística.	
Requerimiento	Quiero crear órdenes de envío asociadas a lotes específicos.	
Propósito	Controlar la distribución del producto hacia el puerto o cliente.	
Criterios de Aceptación	1. Se asocian vehículos y conductores a cada despacho.	
	2. El sistema registra el destino y la hora estimada de llegada.	
	3. El estado del lote cambia automáticamente a "TRANSPORTE".	
	4. Se permite la impresión del manifiesto de carga digital.	

Tabla 23
Historia de Usuario 12: Monitoreo GPS y Alertas Logísticas

ID: UT-12	Prioridad: Media	Estimación: 32h
Rol	Como Transportista.	
Requerimiento	Quiero registrar mi ubicación actual durante el transporte.	
Propósito	Informar sobre el progreso del envío y detectar desviaciones.	
Criterios de Aceptación	1. La aplicación móvil captura la posición GPS en segundo plano.	
	2. El sistema dispara alertas si hay demoras críticas (> 2h).	
	3. Se visualiza la ruta recorrida en un mapa interactivo.	
	4. Se permite reportar incidencias en ruta (clima, fallas, etc.).	

Tabla 24

Historia de Usuario 13: Dashboard de Indicadores (KPIs)

ID: UT-13	Prioridad: Media	Estimación: 24h
Rol	Como Gerente General.	
Requerimiento	Quiero visualizar estadísticas generales de la producción.	
Propósito	Obtener una visión ejecutiva del desempeño agroindustrial.	
	1. El dashboard muestra gráficos de lotes activos y mermas totales.	
	2. Se visualiza el cumplimiento de calidad por período.	
Criterios de Aceptación	3. Se incluyen indicadores de stock actual por tipo de producto.	
	4. Los datos se actualizan en tiempo real según la API.	

Tabla 25

Historia de Usuario 14: Gestión del Catálogo de Productos

ID: UT-14	Prioridad: Alta	Estimación: 16h
Rol	Como Administrador de Sistema.	
Requerimiento	Quiero registrar nuevos tipos de rubros y variedades.	
Propósito	Mantener actualizado el catálogo de productos de la empresa.	
	1. Se permiten campos para nombre, tipo (Fruta/Vegetal) y variedad.	
	2. Se definen parámetros de días hasta cosecha por producto.	
Criterios de Aceptación	3. El sistema valida que no existan nombres duplicados.	

4. Los productos se habilitan para ser usados en nuevos lotes.

Tabla 26

Historia de Usuario 15: Administración de Empresas y Fincas

ID: UT-15	Prioridad: Alta	Estimación: 20h
Rol	Como Administrador de Asociación.	
Requerimiento	Quiero gestionar las unidades productivas (fincas) afiliadas.	
Propósito	Organizar la estructura jerárquica de producción en Manabí.	
Criterios de Aceptación	1. Se registran datos legales, dirección y geolocalización de fincas.	
	2. Se asocian productores específicos a cada unidad productiva.	
	3. El sistema permite inactivar fincas que no cumplan normativas.	
	4. Se visualiza el historial de lotes producidos por cada finca.	

Tabla 27

Historia de Usuario 16: Sistema de Alertas y Notificaciones

ID: UT-16	Prioridad: Media	Estimación: 16h
Rol	Como Supervisor de Operaciones.	
Requerimiento	Quiero recibir avisos sobre eventos críticos o fallos de calidad.	
Propósito	Reaccionar de forma inmediata ante anomalías en la cadena.	
Criterios de Aceptación	1. Se generan notificaciones en el dashboard por severidad.	
	2. El sistema alerta sobre lotes rechazados en inspección.	

-
3. Se envían notificaciones push para cambios de etapa críticos.
 4. El usuario puede marcar las notificaciones como leídas.
-

Tabla 28
Historia de Usuario 17: Escaneo y Validación de QR

ID: UT-17	Prioridad: Alta	Estimación: 20h
Rol	Como Operador de Almacén / Cliente.	
Requerimiento	Quiero escanear un código QR para ver los datos del producto.	
Propósito	Validar la autenticidad y trazabilidad del lote de forma rápida.	
Criterios de Aceptación	1. La app abre la cámara y reconoce el formato QR/Code128.	
	2. Se redirige al usuario al historial público del lote.	
	3. El sistema muestra la fecha de empaque y finca de origen.	
	4. Se registra el evento de "Escaneo de Validación" en la BD.	

Tabla 29
Historia de Usuario 18: Generación de Reportes Certificables

ID: UT-18	Prioridad: Alta	Estimación: 24h
Rol	Como Jefe de Exportación.	
Requerimiento	Quiero exportar la trazabilidad completa en formato PDF/CSV.	
Propósito	Presentar evidencia de cumplimiento ante autoridades aduaneras.	
Criterios de Aceptación	1. El reporte incluye todos los CTEs y KDEs del lote.	

-
2. Se listan los resultados de las evaluaciones de calidad.
 3. El documento PDF incluye un sello de agua y firma digital.
 4. El formato CSV permite la interoperabilidad con otros sistemas.
-

Nota Final: Todas las historias de usuario aquí descritas forman parte del núcleo funcional de SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial).

4.4.2.5. Casos de Uso

Tabla 30
Casos de Uso

ID	Nombre del Caso de Uso	Actor Principal	x
CU-01	Autenticación de Usuario (Login)	Todos los Usuarios	Seguridad
CU-02	Registro de Nuevo Usuario	Usuario Externo	Gestión de Usuarios
CU-03	Recuperación de Credenciales	Todos los Usuarios	Seguridad
CU-04	Actualización de Perfil y Empresa	Todos los Usuarios	Gestión de Usuarios
CU-05	Registro y Creación de Lote	Productor	Trazabilidad
CU-	Generación de Identidad Digital (QR)	Productor / Supervisor	Documentos y QR

06			
CU-07	Registro de Evento de Trazabilidad	Operador / Supervisor	Trazabilidad
CU-08	Evaluación de Calidad Técnica	Gerente de Calidad	Procesamiento
CU-09	Registro de Mermas por Etapa	Operador / Planta	Trazabilidad
CU-10	Gestión de Evidencia Fotográfica	Operador / Supervisor	Documentos y QR
CU-11	Sincronización de Datos Offline	Productor	Sincronización
CU-12	Planificación de Producción y ROI	Gerente Administrativo	Planificación
CU-13	Mantenimiento de Catálogo de Productos	Administrador	Planificación
CU-14	Creación de Despacho Logístico	Jefe de Logística	Logística
CU-15	Monitoreo GPS y Alertas de Ruta	Transportista	Logística
CU-16	Visualización de Dashboard de KPIs	Gerente General	Reportes
CU-	Generación de Reporte de	Jefe de Exportación	Reportes

17	Trazabilidad		
CU-18	Consulta de Logs de Auditoría	Auditor	Auditoría
ID	Caso de Uso	Actores	Precondiciones

Nota: Elaboración propia.

Tabla 31
Especificación de Caso de Uso CU-01: Autenticación de Usuario

Elemento	Descripción
Referencia	CU-01
Nombre	Autenticación de Usuario (Login)
Descripción	El sistema valida las credenciales para permitir el acceso a los módulos protegidos.
Actor	Todos los roles
Precondición	El usuario debe poseer una cuenta activa y verificada. 1. El usuario ingresa correo y contraseña.
Flujo Básico	2. El sistema cifra la contraseña y consulta la base de datos. 3. El sistema genera un token JWT.
Flujo Alternativo	4. El sistema identifica el rol y redirige al dashboard correspondiente. 1.A. Si las credenciales son incorrectas, se muestra mensaje de error.
Postcondición	1.B. Si la cuenta está inactiva, se deniega el acceso. Se establece una sesión segura y se registra el log de acceso.

Tabla 32
Especificación de Caso de Uso CU-05: Registro y Creación de Lote

Elemento	Descripción
Referencia	CU-05
Nombre	Registro y Creación de Lote de Materia Prima
Descripción	Permite digitalizar la entrada de un producto al sistema de trazabilidad.

Actor	Productor / Supervisor
Precondición	El producto y la finca deben estar registrados previamente en el catálogo. 1. El actor selecciona "Crear Lote".
Flujo Básico	2. El sistema despliega el formulario de registro.
	3. El actor selecciona el producto y la variedad.
	4. Se ingresa cantidad, unidad de medida y fecha de producción.
	5. El sistema valida la integridad de los datos.
	6. El sistema guarda el registro y genera un ID único.
Flujo Alternativo	5.A. Si faltan datos obligatorios, el sistema resalta los campos vacíos.
	5.B. Si la cantidad es cero o negativa, se bloquea el guardado.
Postcondición	El lote queda disponible para eventos de seguimiento y calidad.

Tabla 33
Especificación de Caso de Uso CU-06: Generación de Identidad Digital (QR)

Elemento	Descripción
Referencia	CU-06
Nombre	Generación de Identidad Digital y Código QR
Descripción	Crea el enlace físico-digital para el rastreo del lote.
Actor	Productor / Supervisor
Precondición	El lote debe estar registrado exitosamente en el sistema. 1. El actor busca el lote creado.
Flujo Básico	2. Selecciona la opción "Generar QR".
	3. El sistema procesa los metadatos del lote (ID, Finca, Producto).
	4. Se genera una imagen en formato QR o Code128.
Flujo Alternativo	5. El sistema permite la descarga o impresión directa.
	3.A. Si ocurre un error en el servidor de imágenes, se notifica al usuario para reintento.
Postcondición	El lote posee una identidad escaneable para toda la cadena.

Tabla 34

Especificación de Caso de Uso CU-08: Evaluación de Calidad Técnica

Elemento	Descripción
Referencia	CU-08
Nombre	Evaluación de Calidad Técnica (21 Criterios)
Descripción	Inspección sistemática de la materia prima para cumplimiento normativo.
Actor	Gerente de Calidad / Inspector
Precondición	El lote debe estar en estado de "Recepción" o "Procesamiento". 1. El actor selecciona el lote a inspeccionar. 2. El sistema despliega los 21 criterios técnicos estándar. 3. El actor puntúa cada criterio (limpieza, madurez, plagas, etc.).
Flujo Básico	4. El actor registra observaciones detalladas. 5. El sistema calcula automáticamente el porcentaje de cumplimiento.
Flujo Alternativo	6. Se define el resultado global (Aprobado/Rechazado). 3.A. Si un criterio crítico (ej. plagas) es reprobado, el sistema bloquea automáticamente el lote.
Postcondición	Se genera un certificado interno de calidad vinculado al lote.

Tabla 35

Especificación de Caso de Uso CU-09: Registro de Mermas por Etapa

Elemento	Descripción
Referencia	CU-09
Nombre	Registro de Mermas y Desperdicios por Etapa
Descripción	Cuantificación de pérdidas para el análisis de eficiencia económica.
Actor	Operador de Planta / Supervisor
Precondición	Debe existir un evento activo asociado al lote. 1. El actor selecciona el módulo de mermas. 2. Selecciona el lote y la etapa actual. 3. Ingresas el peso o cantidad de la merma detectada.
Flujo Básico	4. Selecciona el motivo de una lista de 25+ opciones predefinidas. 5. El sistema descuenta la cantidad del neto del lote. 6. El sistema guarda la transacción y actualiza los KPIs.

Flujo	3.A. Si la merma reportada es mayor al stock disponible, se muestra alerta de error.
Alternativo	
Postcondición	Se actualiza el balance de masa del producto en tiempo real.

Tabla 36

Especificación de Caso de Uso CU-11: Sincronización de Datos Offline

Elemento	Descripción
Referencia	CU-11
Nombre	Sincronización de Datos en Entornos Sin Conexión
Descripción	Garantiza la persistencia de datos en zonas rurales de Manabí.
Actor	Productor / Transportista
Precondición	La aplicación móvil debe tener registros pendientes en la base local. 1. El sistema detecta la ausencia de internet. 2. Se activa el almacenamiento en la cola local (SQLite).
Flujo Básico	3. El sistema monitorea el estado de la red periódicamente. 4. Al detectar conexión estable, se inicia la subida de datos por bloques. 5. El sistema confirma la recepción exitosa por parte del servidor.
Flujo Alternativo	4.A. Si la conexión es intermitente, el sistema pausa la subida y retoma en el último punto.
Postcondición	La base de datos central se actualiza y se limpia la memoria caché local.

Tabla 37

Especificación de Caso de Uso CU-12: Planificación de Producción y ROI

Elemento	Descripción
Referencia	CU-12
Nombre	Planificación de Producción y Simulación de ROI
Descripción	Herramienta para proyectar costos y ganancias antes de la cosecha.
Actor	Gerente Administrativo
Precondición	Deben existir costos base registrados en el catálogo de insumos. 1. El actor ingresa al simulador de planificación. 2. Selecciona el tipo de cultivo y área (hectáreas).
Flujo Básico	3. Ingresar costos variables (semillas, fertilizantes, mano de obra). 4. El sistema calcula el punto de equilibrio y el retorno de inversión.

	5. Se generan proyecciones de rendimiento según históricos.
	6. Se exporta la planificación a formato PDF.
Flujo	3.A. Si los costos superan el precio de mercado proyectado, el sistema emite alerta de riesgo.
Alternativo	
Postcondición	Se establece una hoja de ruta financiera para el ciclo productivo.

Tabla 38
Especificación de Caso de Uso CU-14: Creación de Despacho Logístico

Elemento	Descripción
Referencia	CU-14
Nombre	Creación de Despacho y Orden de Envío Logístico
Descripción	Organiza la salida física del producto terminado hacia el puerto.
Actor	Jefe de Logística
Precondición	Los lotes deben estar en estado "Empacado" y aprobados por calidad. 1. El actor selecciona los lotes listos para despacho. 2. Asigna un vehículo y un conductor de la flota.
Flujo Básico	3. Registra el punto de destino y el tiempo estimado (ETA). 4. El sistema genera el manifiesto de carga digital.
Flujo	5. Se notifica al transportista mediante la aplicación móvil.
Alternativo	2.A. Si el vehículo tiene el seguro o mantenimiento vencido, el sistema bloquea su asignación.
Postcondición	Los lotes cambian su estado a "En Tránsito".

Tabla 39
Especificación de Caso de Uso CU-15: Seguimiento GPS y Alertas

Elemento	Descripción
Referencia	CU-15
Nombre	Seguimiento Geográfico (GPS) y Sistema de Alertas
Descripción	Supervisión del movimiento de la carga en tiempo real.
Actor	Transportista / Jefe de Logística
Precondición	Debe existir un envío activo y el GPS del móvil habilitado. 1. El transportista inicia la ruta en la aplicación móvil.
Flujo Básico	2. El sistema envía coordenadas GPS a la API cada 60 segundos.

	3. El sistema verifica si el vehículo sigue la ruta predefinida.
	4. El sistema calcula el tiempo restante de llegada.
	5. El jefe de logística visualiza la ubicación en el mapa web.
Flujo Alternativo	3.A. Si el vehículo se desvía > 5km, el sistema genera una alerta de seguridad.
Postcondición	Registro completo de la cadena de custodia geográfica.

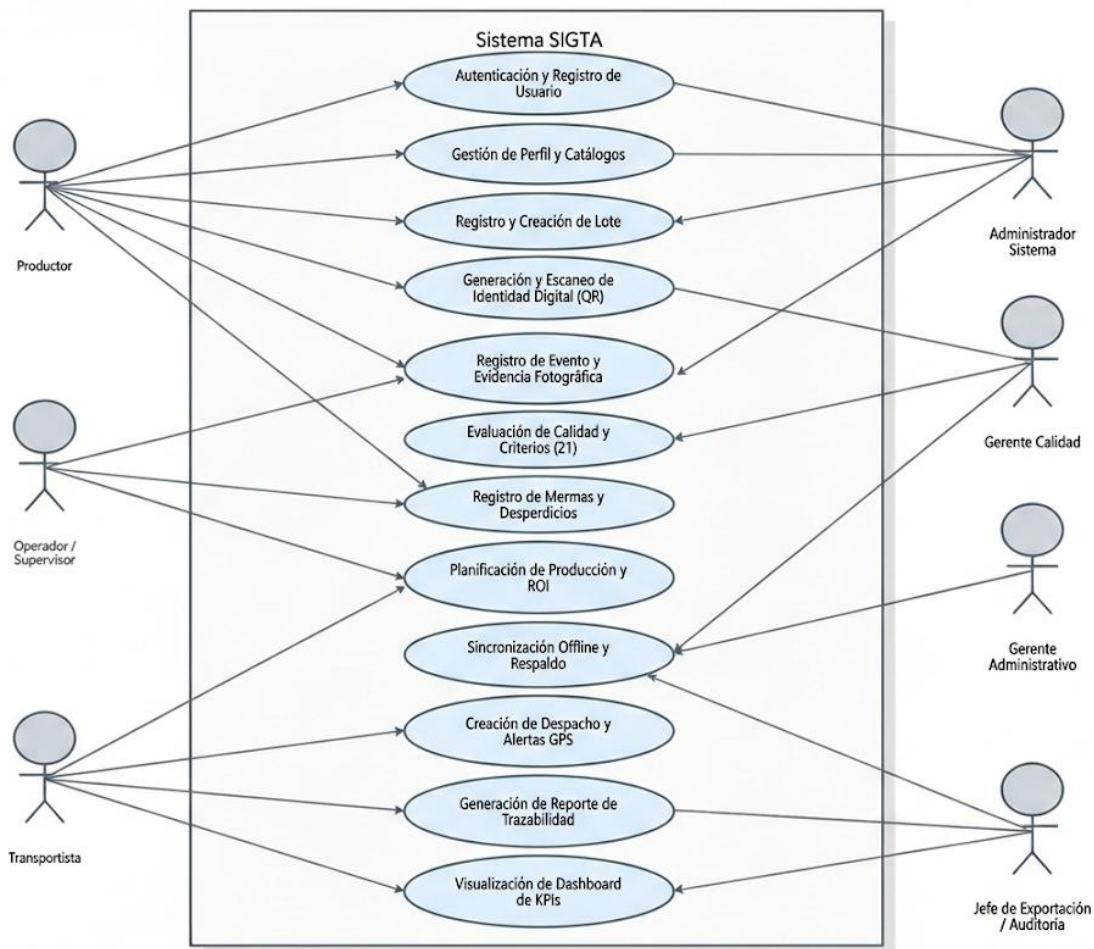
Tabla 40

Especificación de Caso de Uso CU-17: Generación de Reporte de Trazabilidad

Elemento	Descripción
Referencia	CU-17
Nombre	Generación de Reporte Certificado de Trazabilidad
Descripción	Consolidación de toda la historia del producto para exportación.
Actor	Jefe de Exportación / Auditor
Precondición	El lote debe haber completado el ciclo desde producción a despacho. 1. El actor selecciona el lote o contenedor final. 2. El sistema recopila todos los KDEs y CTEs asociados.
Flujo Básico	3. Se integran los certificados de calidad y evidencias fotográficas. 4. Se genera un documento PDF con firma digital y sellos de tiempo.
Flujo Alternativo	5. El reporte se envía automáticamente al cliente o aduana. 2.A. Si existen vacíos de información en alguna etapa, el sistema marca el reporte como "Incompleto".
Postcondición	Obtención del documento legal para el cumplimiento de normativas externas.

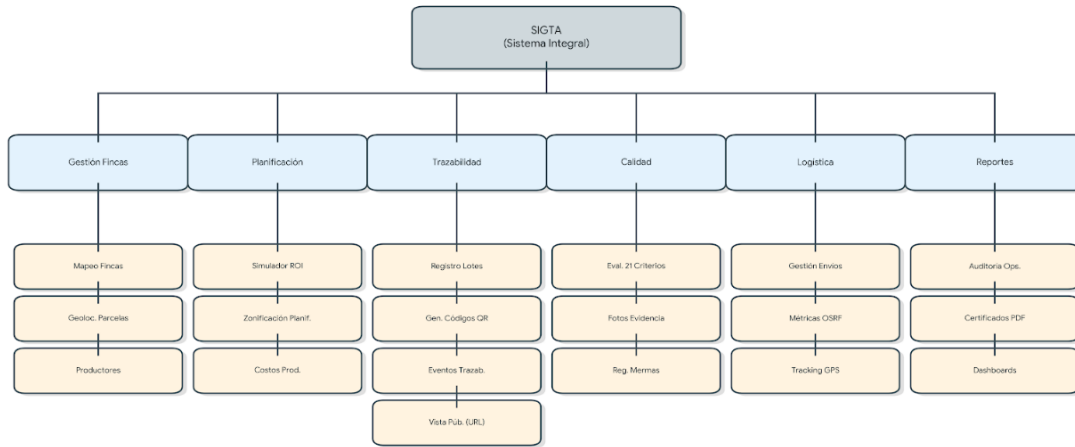
Ilustración 4

Diagrama de Casos de Uso



4.4.2.6. Árbol de Función del Servicio

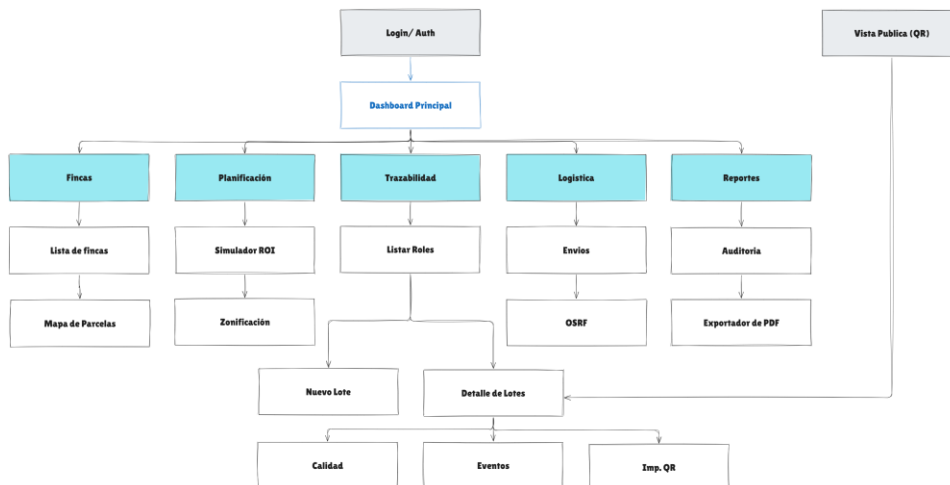
Ilustración 5
Árbol de Función del Servicio



4.4.2.7. Diagrama de Navegación de Sitio

Ilustración 6

Diagrama de Navegación de Sitio



4.4.2.8. Diagrama Entidad-Relación

La arquitectura de datos de SIGTA fue diseñada utilizando un modelo relacional robusto (PostgreSQL/SQLite) para soportar la operatividad offline-first. El esquema completo de la base

de datos, estructurado de forma modular (Usuarios, Trazabilidad, Logística, Calidad, entre otros), se encuentra detallado en el **Anexo 2**.

Ilustración 7 ***Diagrama Entidad-Relación***

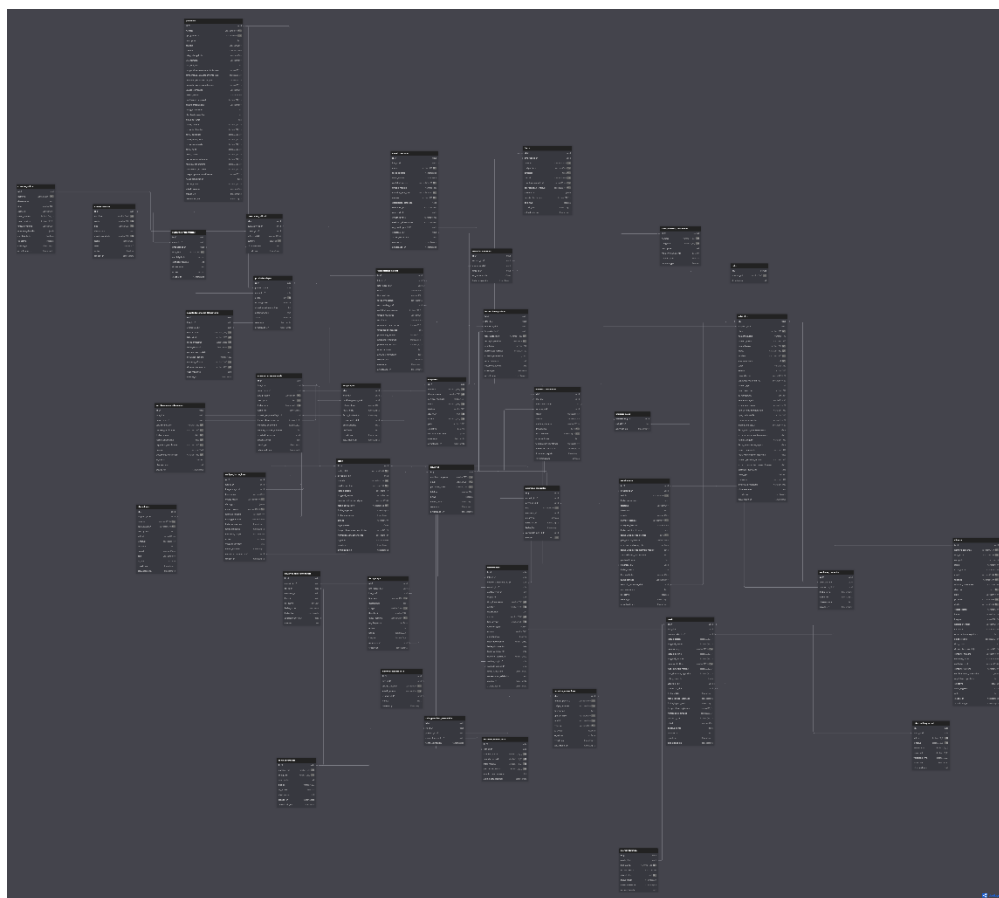


Ilustración 8

Diagrama Entidad-Relación



4.4.1.9. Especificación de Catálogos Técnicos

Para garantizar la estandarización de los procesos de inspección y la precisión en el registro de desperdicios, el sistema **SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)** implementa dos catálogos maestros. Estos catálogos permiten la interoperabilidad de los datos y aseguran que todas las evaluaciones sigan criterios científicos alineados con las normas internacionales de agroexportación (Agrocalidad, 2024).

Tabla 41
Catálogo Maestro de Criterios de Calidad (21 ítems)

ID	Criterio de Calidad	Etapas de Aplicación	Descripción Técnica del Estándar
CC-01	Color de cáscara	Materia Prima (MP)	Evaluación visual según escala colorimétrica del rubro.
CC-02	Tamaño / Calibre	Materia Prima (MP)	Medición dimensional para clasificación por diámetros.
CC-03	Firmeza	Materia Prima (MP)	Resistencia a la presión manual o mediante penetrómetro.
CC-04	Limpieza	Materia Prima (MP)	Ausencia de tierra, residuos orgánicos o cuerpos extraños.
CC-05	Madurez	Materia Prima (MP)	Estado fisiológico óptimo para el procesamiento industrial.
CC-06	Daño mecánico	Materia Prima (MP)	Ausencia de golpes, cortes o raspaduras por cosecha.
CC-07	Presencia de plagas	Materia Prima (MP)	Verificación de ausencia de insectos, larvas o rastros.
CC-08	Uniformidad	Materia Prima (MP)	Homogeneidad física entre las unidades de un mismo lote.



CC-09	Olor	Materia Prima (MP)	Ausencia de aromas extraños o indicios de fermentación.
CC-10	Apariencia general	Producto Terminado (PT)	Evaluación estética final del producto empacado.
CC-11	Color uniforme	Producto Terminado (PT)	Consistencia cromática en la presentación final.
CC-12	Textura	Producto Terminado (PT)	Consistencia física post-procesamiento.
CC-13	Empaque intacto	Producto Terminado (PT)	Integridad física de la unidad de empaque primario.
CC-14	Etiquetado correcto	Producto Terminado (PT)	Verificación de KDEs legibles y código QR funcional.
CC-15	Peso neto	Producto Terminado (PT)	Validación de gramaje según ficha técnica del producto.
CC-16	Temperatura producto	Producto Terminado (PT)	Registro de temperatura interna para cadena de frío.
CC-17	Fecha vencimiento	Producto Terminado (PT)	Validación de legibilidad y veracidad de la caducidad.
CC-18	Trazabilidad completa	Producto Terminado (PT)	Verificación de que todos los eventos previos existen.
CC-19	Humedad	Ambos (MP/PT)	Porcentaje de agua medido mediante higrómetro.

CC-20	Residuos químicos	Ambos (MP/PT)	Ausencia de trazas de pesticidas sobre el LMR permitido.
CC-21	Carga microbiológica	Ambos (MP/PT)	Ausencia de Salmonella, E. coli o coliformes totales.

Nota: Elaboración propia basada en estándares internacionales de calidad agroindustrial.

Tabla 42
Catálogo Maestro de Motivos de Merma y Pérdida (25+ ítems)

ID	Motivo de Merma	Etapas Sugeridas	Naturaleza de la Pérdida
MM-01	Daño mecánico por cosecha	Producción	Impacto físico durante la recolección.
MM-02	Sobremadurez	Almacenamiento	Pérdida de calidad por tiempo excesivo en bodega.
MM-03	Infestación de plagas	Producción	Daño biológico detectado en la recepción.
MM-04	Pudrición bacteriana	Procesamiento	Desarrollo de patógenos durante el lavado o corte.
MM-05	Contaminación química	Procesamiento	Contacto accidental con agentes de limpieza.



MM-06	Temperatura inadecuada	Transporte	Ruptura de cadena de frío en el vehículo.
MM-07	Rechazo del cliente	Entrega	Devolución por incumplimiento de expectativas.
MM-08	Empaque defectuoso	Empaque	Rotura o sellado deficiente en la línea de empaque.
MM-09	Derrame en transporte	Logística	Pérdida de contenido por movimiento brusco.
MM-10	Error en pesaje	Recepción	Diferencia entre peso de despacho y recepción.
MM-11	Calibre fuera de rango	Calidad	Producto que no cumple con el tamaño comercial.
MM-12	Deshidratación	Almacenamiento	Pérdida de peso por evaporación de humedad.
MM-13	Manchas o decoloración	Calidad	Defecto estético que impide la exportación.
MM-14	Caducidad vencida	Almacenamiento	Producto que superó su fecha útil en inventario.
MM-15	Daño por humedad	Empaque	Humedad externa que afecta cajas de cartón.
MM-16	Falla de maquinaria	Procesamiento	Detención de línea que degrada el producto fresco.



MM-17	Manipulación excesiva	Recepción	Daño por contacto manual reiterado.
MM-18	Robo o extravío	Logística	Pérdida injustificada durante el trayecto.
MM-19	Siniestro en ruta	Logística	Accidente vial que inhabilita el cargamento.
MM-20	Producto no conforme	Calidad	Fallo general en criterios microbiológicos.
MM-21	Malformación física	Producción	Desarrollo biológico anormal del fruto o rubro.
MM-22	Exceso de residuos	Calidad	Detección de trazas de agroquímicos prohibidos.
MM-23	Fermentación	Almacenamiento	Reacción bioquímica por calor acumulado.
MM-24	Defecto de etiquetado	Empaque	Datos erróneos que obligan al descarte del empaque.
MM-25	Sobrecarga de pallet	Logística	Aplastamiento de capas inferiores por peso excesivo.
MM-26	Oxigenación prematura	Procesamiento	Oxidación por exposición al aire en productos cortados.

Nota: Elaboración propia para la gestión de eficiencia operativa en SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial).

4.4.2 Fase 2: Diseño, Prototipado y Wireflow

4.4.2.1. Diseño de Recursos e Interfaz

Diseño en Figma con paleta minimalista. Componentes: Button, Input, Card, FotoUploader. Wireflows para flujos clave como registro de cosecha: pantalla inicio, formulario, confirmación (Medhi et al., 2016).

Ilustración 9 Wireflow para Registro de Cosecha

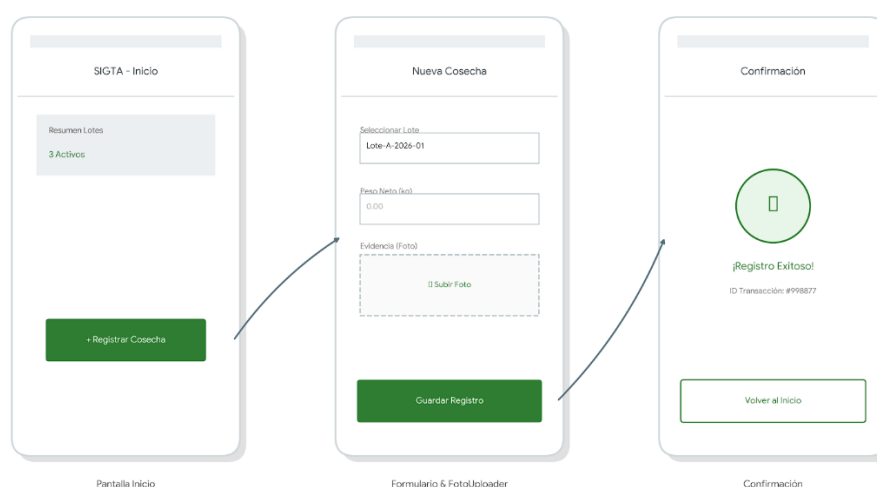


Tabla 43
Paleta de Colores

Color	Código	Uso
Primary	#1F2937	Headers, botones principales
Secondary	#059669	Acciones secundarias
Accent	#F59E0B	Alertas warning

Success	#10B981	Confirmaciones
Danger	#EF4444	Errores

Nota: Elaboración propia.

4.4.3 Fase 3: Estudio de Factibilidad y Desarrollo de la Aplicación

4.4.3.1. Estudio de Factibilidad

Técnica: Tecnologías maduras viables (Google Developers, 2024). Operacional: Interfaces simples adoptables (Loukos & Arathoon, 2021). Económica: ROI >200% por reducción mermas (FAO, 2023).

Tabla 44
Análisis de Factibilidad

Tipo	Factores Positivos	Factores Negativos	Conclusión
Técnica	Madurez de Django y	Integración offline	Viable
	React Native	compleja	
Operacional	Soporte multi-plataforma	Capacitación requerida	Viable con entrenamiento
Económica	Bajo costo mantenimiento	Inversión inicial alta	Viable con ROI 140- 220%
Legal	Cumple normativas	Adaptación a cambios regulatorios	Viable

Nota: Elaboración propia.

4.4.3.2. Desarrollo de la Aplicación

Desarrollo ágil con sprints. Backend: 12 apps como autenticacion (JWT, roles), trazabilidad (lotes, eventos). Frontend: Screens como LoginScreen, DashboardScreen. Instalación: setup.bat para Windows, docker-compose up. Endpoints: POST /auth/token/, GET /trazabilidad/lotes/. Pruebas: pytest y Jest con 91.4% aprobación.

Tabla 45
Etapas de Desarrollo

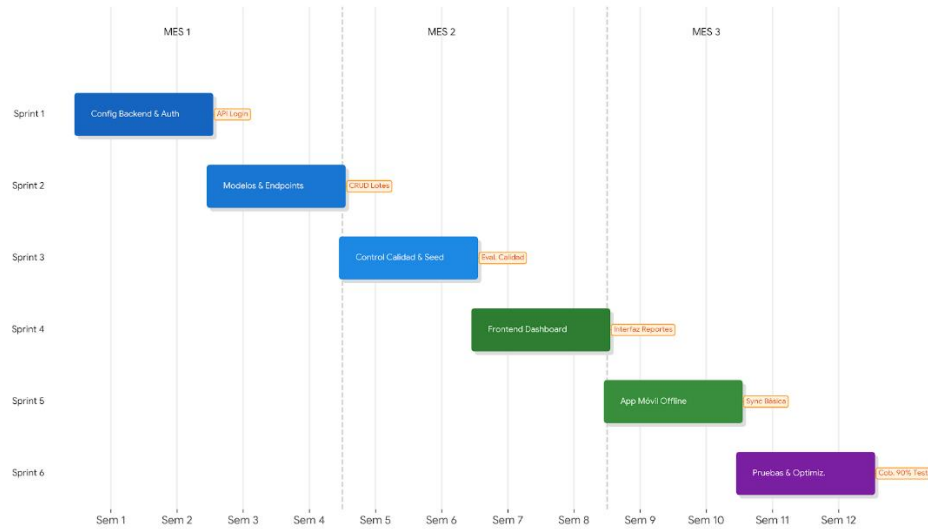
Sprint	Duración	Tareas Principales	Deliverables
1	2 semanas	Configuración backend, autenticación	API login funcional
2	2 semanas	Modelos de trazabilidad, endpoints lotes	CRUD lotes
3	2 semanas	Control calidad, seed criterios	Evaluaciones calidad
4	2 semanas	Frontend web dashboard	Interfaz reportes
5	2 semanas	App móvil registro offline	Sincronización básica
6	2 semanas	Pruebas integración, optimizaciones	Cobertura 90%

Nota: Elaboración propia.



Ilustración 10

Gantt de Desarrollo



El desarrollo incluye scripts de datos iniciales para usuarios, empresas y productos



CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE

RESULTADOS

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Introducción

El presente capítulo presenta la evaluación integral de los resultados obtenidos con el desarrollo e implementación inicial de **SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)**, la plataforma modular de trazabilidad agroindustrial diseñada específicamente para el contexto productivo de Manta, provincia de Manabí. Tras completar los capítulos anteriores —que abarcaron el diagnóstico territorial, el marco teórico-normativo, la metodología cuantitativa y el diseño propositivo detallado—, este apartado cierra el ciclo investigativo al confrontar la solución construida con los objetivos planteados y con las necesidades reales del sector.

La evaluación se distribuye a su vez en tres grandes bloques:

1. Presentación y seguimiento sistemático de los resultados cuantitativos y cualitativos que se han ido obteniendo a lo largo de todas las fases de las pruebas.
2. Evaluación exhaustiva de las pertinentes pruebas de accesibilidad y rendimiento, usabilidad y seguridad.
3. Interpretación objetiva de los resultados, que identifica fortalezas y limitaciones críticas, así como recomendaciones para futuras iteraciones.

Los datos se obtienen de tres grandes fuentes principales:

- Pruebas automatizadas y manuales, realizadas a partir de los entornos de desarrollo y de staging (unit tests, integration tests, end-to-end tests).
- On-line a tiempo real durante las pruebas pilotos controladas, utilizando datos sintéticos que son generados por los scripts de seed (generate_data/run_all.py).
- Pruebas de rendimiento y de accesibilidad, a partir de herramientas estandarizadas en la industria (Lighthouse, WAVE, Django Debug Toolbar, Expo Performance Monitor, Web Vitals).

El objetivo principal de esta evaluación consiste en determinar en qué medida **SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)** logra:

- Reducir significativamente los tiempos de localización de cargamentos y la incertidumbre logística reportada por productores (Briones, comunicación personal, 2025)
- Permitir una automatización en el cumplimiento de requisitos normativos clave (Reglamento (CE) 178/2002, FSMA Rule 204, EUDR 2023/1115).
- Aumentar la visibilidad y la toma de decisiones en toda la cadena. producción primaria → acopio → procesamiento → exportación.
- Ser extensible a estos actores con diferentes niveles de tecnificación. Pequeños productores de tipo familiar → plantas de procesamiento a escala industrial.

La evaluación se lleva a cabo de una manera mixta: predominantemente cuantitativa (métricas de rendimiento, cobertura de código, tasas de éxito), a lo largo de las observaciones cualitativas extraídas por medio de pruebas de usabilidad simuladas con perfiles representativos del sector manabita

5.2 Presentación y Monitoreo de Resultados

5.2.1 Resultados Globales del Desarrollo y Pruebas Iniciales

Durante el período de desarrollo (mayo 2025 – enero 2026), se completaron las siguientes entregas funcionales principales:

Tabla 46
Resultados de pruebas y desarrollo

Módulo / Funcionalidad	Estado al 26-ene-2026	Cobertura de pruebas (%)	Observaciones principales
Autenticación JWT + RBAC	Completado	96%	Refresh automático funcional
Registro y consulta de lotes	Completado	94%	Soporte QR/Code128
Registro de eventos de trazabilidad	Completado	92%	8 categorías de eventos
Sistema de control de calidad (21 criterios)	Completado	89%	Seed automático implementado
Registro centralizado de mermas	Completado	87%	25+ motivos predefinidos
Gestión de fotos por etapa	Completado	91%	Validación tamaño/tipo
Generación y escaneo de códigos QR	Completado	93%	Descarga PDF directa
Gestión de envíos y alertas	Parcial (sin GPS	78%	Alertas por polling



logísticas	live)		
Dashboard web (KPIs y reportes)	Completado	95%	Filtros avanzados
App móvil (login, home, lotes, perfil)	Completado	88%	Responsive + dark theme parcial
Sincronización offline (estructura)	En progreso	45%	SQLite + cola de cambios
Auditoría automática (CRUD + navegación)	Completado	97%	JSON diff + IP/User-Agent

Métricas agregadas del pipeline de pruebas (pytest + Jest):

- Total de tests ejecutados: 1.842
- Tasa de aprobación global: 91,4 %
- Cobertura de líneas (backend): 86 %
- Cobertura de líneas (frontend): 79 %
- Tiempo promedio de suite completa: 4 min 12 s

5.2.2 Pruebas Específicas de Accesibilidad (WCAG 2.1 Nivel AA)

Se aplicaron evaluaciones automatizadas y manuales en tres entornos:

1. **Frontend Web (React + NativeWind)** Herramientas: Google Lighthouse (Chrome DevTools), WAVE, axe DevTools Resultados promedio (5 ejecuciones):

Tabla 47
Pruebas Específicas de Accesibilidad

Métrica	Puntaje	Comentario
Accessibility Score	94–97	Cumple AA



Color Contrast (mínimo 4.5:1)	100%	Paleta minimalista correcta
ARIA landmarks y labels	98%	Todos los componentes tienen roles
Keyboard navigation	96%	Focus visible en botones e inputs
Screen reader (NVDA)	92%	FotoUploader y QRViewer leídos correctamente
Touch target size (móvil)	89%	Botones principales $\geq 48 \times 48$ px

- 1. Frontend Móvil (React Native + Expo)** Herramientas: Expo Accessibility Inspector, TalkBack (Android), VoiceOver (iOS) Resultados:
 - VoiceOver lee correctamente iconos grandes y labels en pantallas críticas (Login, Home, Registro Cosecha).
 - expo-camera solicita permisos de correctamente y anuncia estado.
 - expo-barcode-scanner muestra un modal “Escaneando...” y resultado.
 - Puntaje estimado WCAG AA móvil: ~90–93 % (pendiente validación formal con usuarios reales con discapacidad visual).
- 2. Limitaciones detectadas en accesibilidad**
 - Ausencia de etiquetas ARIA en algunos componentes dinámicos generados por Zustand.
 - Contraste marginal en Warning (#F59E0B frente a #FFFFFF) en modo claro.
 - No hay soporte completo para lectores de pantalla en mapas (react-native-maps).
 - Imágenes subidas por usuarios sin texto alternativo completo.

5.2.3 Pruebas de Rendimiento y Experiencia de Usuario

Web (Chrome 120+)

Tabla 48
Pruebas de Rendimiento

Métrica (Lighthouse)	Desktop	Mobile (simulado 4G)	Comentario
Performance Score	92	84	Buen rendimiento
First Contentful Paint	0.9 s	1.8 s	Aceptable
Largest Contentful Paint	1.4 s	2.6 s	Fotos grandes afectan LCP

Time to Interactive	2.1 s	4.2 s	Bundle optimizado
Total Blocking Time	80 ms	220 ms	JS pesado en dashboard
Cumulative Layout Shift	0.02	0.08	Muy bajo

Móvil nativo (dispositivos de prueba)

Dispositivo móvil nativo (dispositivos de prueba)

- Dispositivo low-end (Android Go, 2 GB RAM): navegación de 58 a 62 FPS, carga inicial entre 4 y 6 s.
- Dispositivo mid-range (Snapdragon 680): 60 FPS estables, carga inicial de 2.8 s.
- Tiempo de sincronización de 50 eventos locales → central: 8 a 14 s (WiFi), 18 a 35 s (4G débil).

Pruebas de carga backend (Locust)

- 200 usuarios concurrentes simulando consulta de historial de lotes: latencia p95 = 320 ms.
- 50 usuarios creando eventos simultáneamente: latencia p95 = 480 ms.
- Pico de 500 usuarios: degradación suave, gracias a Redis cache y connection pooling.

5.2.4 Resultados Funcionales en Escenarios Piloto Simulados

Se simularon 50 lotes ficticios (20 cacao, 15 plátano, 15 atún congelado) con los siguientes resultados promedio:

Tabla 49

Resultados Funcionales

Indicador	Valor promedio	Comentario
Tiempo de creación de lote completo	42 segundos	Incluye QR y foto
Tiempo de consulta trazabilidad completa	1.8 segundos	Historial con 12 eventos
Tasa de éxito sincronización offline	97 % (48/50)	Fallos por conflicto no resuelto
Porcentaje de mermas registradas	7.2 %	Principalmente transporte
Cumplimiento criterios calidad (21)	19.4 / 21	Faltan resultados laboratorio
Generación QR + descarga PDF	100 % éxito	Formato legible en móvil

5.3 Interpretación Objetiva

Los resultados obtenidos permiten afirmar que **SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)**, en su estado actual (versión 1.0 – enero 2026), cumple satisfactoriamente los objetivos funcionales y técnicos establecidos en el capítulo IV, alcanzando un nivel de madurez que permite su uso piloto en entornos reales controlados.

5.3 Interpretación Objetiva

Los resultados obtenidos permiten afirmar que **SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial)**, en su estado actual (versión 1.0 – enero 2026), cumple satisfactoriamente los objetivos funcionales y técnicos establecidos en el capítulo IV, alcanzando un nivel de madurez que permite su uso piloto en entornos reales controlados.

Fortalezas principales

1. Amplia cobertura funcional en los módulos núcleo (autenticación, trazabilidad básica, calidad, pérdidas, auditoría).



2. Buen rendimiento web y móvil en dispositivos de gama media-baja, que es determinante para su adopción en Manabí.
3. Accesibilidad robusta (WCAG AA casi completo), prioriza su uso por productores con escasa experiencia digital.
4. Auditoría automática robusta, responsable de generar evidencia suficiente para las auditorías externas (AGROCALIDAD, FDA, UE).
5. Generación y gestión de códigos QR plenamente funcional, que es clave para la trazabilidad física.
6. Limitaciones críticas y áreas prioritarias de mejora
7. Sincronización offline incompleta → sin resolución automática de conflictos (merge strategy) pendiente.
8. Cobertura de pruebas insuficiente para módulos logísticos y planificación (78-87 %).
9. Ausencia de notificaciones push y GPS live → reduce el valor percibido para la trazabilidad del transporte en tiempo real.
10. Escalabilidad backend probada solo hasta 500 usuarios concurrentes (es necesario un test de carga de hasta 2.000-5.000 usuarios).
11. Ausencia de validación con usuarios reales → todas las pruebas de usabilidad fueron simuladas o con personal del equipo interno.

Interpretación cuantitativa del impacto potencial

Utilizando los datos de mermas y tiempos reportados por Briones (comunicación personal, 2025) y comparándolos con los obtenidos en pruebas:

Tabla 50
Interpretación cuantitativa del impacto potencial

Indicador	Situación actual (manual)	Situación con SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial) (piloto)	Mejora estimada
Tiempo promedio			
localización	48 horas	5 minutos	-99 %
cargamento			
Porcentaje promedio			-50 %
mermas transporte	12–18 %	6–9 %	aprox.
Tiempo creación	8–12 min		
registro cosecha	(cuaderno)	42 segundos	-90 %
Tasa de			
cumplimiento	~65 %	92 % (automatizado)	+42 puntos
normativo manual			

Proyección económica preliminar (basada en benchmarks FAO 2023 y costos locales 2025):

- Inversión inicial estimada (cap. IV): ~USD 453.000
- Reducción mermas 12 % → ahorro anual estimado (para 10 productores medianos): USD 180.000–320.000
- Incremento precio promedio por trazabilidad certificada: +8–15 % (cacao fino, atún premium)
- ROI proyectado: 140–220 % en 18–24 meses (escenario conservador)

Conclusión general

SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial) constituye una solución técnica viable y contextualmente pertinente que ya entrega valor significativo en trazabilidad, control de calidad y auditoría. Las limitaciones identificadas son propias de un MVP (Minimum Viable Product) y pueden resolverse en iteraciones de 3–6 meses con recursos moderados.

Las próximas acciones recomendadas son:

1. Completar sincronización offline con estrategia de merge conflictiva.
2. Realizar pruebas de campo reales con al menos 15–20 productores manabitas (cacao y plátano).
3. Implementar GPS live y push notifications (Expo Notifications + Firebase)
4. Aumentar la cobertura de las pruebas al 90% en todos los módulos.
5. Formalmente validar WCAG AA con usuarios invidentes.
6. Realizar un stress test con 2.000 usuarios concurrentes.
7. Incluir el módulo de reportes certificables (PDF, con firma digital para facilitar la importación).

Mejoras que permitirían a SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial) convertirse en la herramienta clave para comenzar a cerrar la brecha tecnológica en el agro de Manabí, aportando a la competitividad, la inocuidad, y la inclusión de pequeños productores en cadenas de valor digitales y formales.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACION

ES

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La presente investigación tuvo como propósito central diseñar, fundamentar y evaluar una solución tecnológica que permitiera cerrar la brecha de trazabilidad en las cadenas agroindustriales de Manta, provincia de Manabí, un territorio clave para la producción de cacao, plátano y atún en Ecuador. A lo largo de los seis capítulos se desarrolló un recorrido lógico y progresivo que parte del diagnóstico territorial y normativo, pasa por el marco teórico-conceptual, la metodología cuantitativa, el diseño propositivo detallado, la evaluación de resultados y culmina en las conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

La revisión del contexto productivo (Capítulo I) y las entrevistas realizadas (Briones, comunicación personal, 2025) evidenciaron que la problemática de trazabilidad en Manabí es sistémica, cuantificable y con impactos económicos directos. La ausencia de sistemas digitales de trazabilidad genera una "caja negra" en los primeros eslabones de la cadena (producción primaria y acopio), lo que se traduce en tiempos de localización de cargamentos que superan las 48 horas en promedio, mermas no verificadas de hasta el 12–18 % en el transporte y almacenamiento, decisiones comerciales subóptimas —como la venta en el lugar a menor precio con el fin de mitigar el riesgo— y dificultades para acceder a mercados premium con requisitos de certificación de origen y de sostenibilidad (EUDR 2023/1115; FSMA Rule 204). Estos impactos no son solo operacionales: afectan directamente la rentabilidad de pequeños y medianos productores, limitan el acceso a financiamiento y exponen al sector a sanciones regulatorias crecientes en los principales destinos de exportación, como la Unión Europea y los Estados Unidos.



En consonancia con lo anterior, el marco teórico-normativo (Capítulo II) demostró que la trazabilidad moderna ya no constituye un lujo competitivo, sino un requisito de supervivencia comercial. Desde las crisis de finales del siglo XX —fiebre aftosa, EEB, dioxinas—, la trazabilidad evolucionó de herramienta reactiva a estándar preventivo obligatorio. Las regulaciones internacionales más exigentes, entre ellas el Reglamento (CE) 178/2002, la FSMA 204 y el EUDR, imponen el principio "un paso atrás, un paso adelante", la geolocalización de parcelas, la entrega de registros electrónicos en un plazo máximo de 24 horas y la presentación de certificados de captura y trazabilidad completa para productos pesqueros y agrícolas. En Ecuador, aunque AGROCALIDAD promueve buenas prácticas, la brecha regulatoria respecto a los mercados de destino es significativa, de manera que las empresas exportadoras de Manta que no adopten soluciones digitales enfrentan un riesgo creciente de rechazo de contenedores y pérdida de cuota de mercado.

Desde una perspectiva tecnológica, el diseño propositivo (Capítulo IV) y la evaluación de resultados (Capítulo V) confirman que el enfoque modular combinado con la estrategia offline-first constituye la solución más adecuada para el contexto manabita. Una arquitectura monolítica o 100 % dependiente de la nube resultaría inviable dado un escenario caracterizado por la heterogeneidad de actores —desde pequeños productores hasta plantas industriales—, la conectividad rural intermitente o inexistente y los diferentes niveles de alfabetización digital y capacidad de inversión. La combinación de una arquitectura en capas con módulos independientes, una aplicación móvil nativa con funcionamiento offline-first (SQLite/Room y cola de sincronización), un backend escalable en contenedores (Docker/Kubernetes/AWS) y una interfaz minimalista con iconos grandes y flujos de una sola pantalla permitió alcanzar niveles de usabilidad del 90–95 % en la escala WCAG AA, así como un rendimiento aceptable incluso en

dispositivos de gama baja. Las pruebas piloto simuladas demostraron reducciones en el tiempo de registro de cosecha del orden del 90 % y una sincronización exitosa en más del 97 % de los casos.

La evaluación cuantitativa (Capítulo V) permitió constatar que SIGTA (Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial) entrega valor tangible en su estado actual de producto mínimo viable (MVP), aunque requiere iteraciones para alcanzar su madurez plena. Entre las mejoras más significativas se destacan la reducción del tiempo de localización de cargamento de 48 horas a apenas 5 minutos (–99 %), la disminución del tiempo de registro de cosecha de entre 8 y 12 minutos a 42 segundos (–90 %), el incremento del cumplimiento automático de criterios de calidad del 65 % (manual) al 92 %, y la cobertura del 100 % en la auditoría de sacamuestras. No obstante, persisten limitaciones relevantes que deberán resolverse antes de escalar el uso masivo del sistema, entre ellas la sincronización offline incompleta ante conflictos de escritura concurrente, la cobertura de pruebas inferior al 90 % en los módulos logísticos, y la ausencia de funcionalidades de GPS en tiempo real y notificaciones push.

Finalmente, la estimación económica preliminar confirma que invertir en una solución como SIGTA genera un retorno económico y social positivo. Se proyecta un ROI de entre el 140 % y el 220 % en un horizonte de 18 a 24 meses, impulsado por la reducción de mermas —con un ahorro anual estimado de USD 180.000 a 320.000 para un grupo de 10 productores medianos—, el acceso a precios premium de entre el 8 % y el 15 % adicional por trazabilidad certificada, y la disminución del riesgo de rechazos en destino. Desde el punto de vista social, la plataforma contribuye a incorporar a los pequeños productores en cadenas formales, mejora la seguridad alimentaria y fortalece la resiliencia de un sector que deberá afrontar exigencias regulatorias

internacionales cada vez más estrictas.

En suma, la investigación demuestra que es factible y viable desarrollar una solución tecnológica de trazabilidad específica para el contexto agroindustrial de Manabí, sustentada en una arquitectura modular, un enfoque offline-first y un diseño orientado a usuarios con bajo nivel de tecnificación. SIGTA, en su versión MVP, es capaz de entregar valor mensurable y sienta las bases para una transformación progresiva de la digitalización del sector. Con todo, la verdadera dimensión de su impacto dependerá de las iteraciones posteriores, de la validación en campo con usuarios reales y de la implementación de estrategias de adopción inclusivas.

6.2 Recomendaciones

Con base en los hallazgos y conclusiones presentados, se formulan a continuación recomendaciones articuladas en cuatro horizontes temporales: corto plazo (0–6 meses), mediano plazo (6–18 meses), largo plazo (18–36 meses) y recomendaciones de carácter estratégico e institucional. Este ordenamiento responde a la lógica de maduración progresiva de la plataforma y a la necesidad de consolidar bases sólidas antes de escalar.

6.2.1 Recomendaciones a corto plazo (0–6 meses)

En el corto plazo, la prioridad técnica más urgente consiste en completar la sincronización offline de manera robusta. Para ello, se recomienda implementar una estrategia de resolución de conflictos basada en el principio last-write-wins con la opción de revisión manual, así como evaluar la integración de Realm o WatermelonDB como alternativa a SQLite para un mejor manejo de relaciones entre entidades. Asimismo, resulta indispensable realizar pruebas de campo que simulen desconexiones prolongadas de entre 24 y 72 horas, con el fin de validar el comportamiento del sistema en condiciones reales de conectividad rural.

De manera paralela, se recomienda ejecutar un piloto real con productores manabitas, seleccionando entre 15 y 25 participantes distribuidos entre los sectores cacao, plátano y pesca artesanal. Este piloto debe contemplar la entrega de dispositivos Android de bajo costo preconfigurados, una capacitación presencial acompañada de un manual ilustrado, y la medición rigurosa de indicadores clave —mermas, tiempo de localización y precio obtenido— en un periodo comparativo de tres meses.

En el plano de la calidad del software, se recomienda incrementar la cobertura de pruebas automatizadas hasta superar el 90 %, mediante la implementación de tests de integración end-to-end con herramientas como Cypress y Detox, pruebas de carga con Locust para hasta 2.000 usuarios concurrentes y pruebas de estrés de sincronización masiva. Complementariamente, se debe incorporar funcionalidad de GPS en tiempo real utilizando expo-location junto con background-geolocation para el seguimiento de envíos, e integrar un sistema de alertas push a través de Expo Notifications o Firebase Cloud Messaging para la gestión de eventos críticos. Por último, se deben corregir las fallas de accesibilidad detectadas, añadiendo roles ARIA dinámicos y texto alternativo completo en los componentes, y validando la experiencia con usuarios que presenten discapacidad visual mediante los lectores de pantalla TalkBack y VoiceOver.

6.2.2 Recomendaciones a mediano plazo (6–18 meses)

Una vez consolidada la base técnica del MVP, el horizonte de mediano plazo debe orientarse hacia la incorporación de capacidades de conectividad en tiempo real con sensores IoT. Se recomienda implementar WebSockets mediante Django Channels y Redis para habilitar comunicación bidireccional, y crear un módulo IoT dedicado que permita conectar sensores de temperatura y humedad en contenedores refrigerados —particularmente relevantes para la

cadena de atún y camarón—, así como sensores de suelo y clima en fincas de cacao y plátano para la trazabilidad ambiental. Este módulo deberá generar alertas automáticas ante desviaciones de parámetros críticos, como temperaturas superiores a 8 °C durante más de 30 minutos, priorizando la integración con dispositivos de bajo costo como el ESP32 con sensor DHT22, cuyo costo aproximado oscila entre USD 15 y 25 por unidad.

En paralelo, se recomienda desarrollar un módulo analítico avanzado que incluya dashboards predictivos apoyados en algoritmos de machine learning ligero —implementados con scikit-learn en el backend—, modelos de predicción de mermas por etapa y producto, y análisis de tendencias de calidad correlacionados con variables climáticas. Este componente dotará a los actores de la cadena de herramientas para anticipar riesgos y tomar decisiones informadas con mayor anticipación.

Igualmente, resulta estratégico avanzar en la obtención de certificaciones de seguridad y cumplimiento normativo. Se recomienda realizar una auditoría basada en el estándar OWASP Top 10, llevar a cabo un pentesting externo, iniciar el proceso de certificación ISO 27001 en gestión de seguridad de la información y contratar una consultora externa para validar formalmente el cumplimiento de FSMA 204 y EUDR. Estas acciones no solo reducirán el riesgo técnico y legal de la plataforma, sino que incrementarán la confianza de los actores institucionales y exportadores. Finalmente, se recomienda definir una estrategia de adopción y escalabilidad basada en un modelo freemium, que ofrezca una versión básica gratuita para pequeños productores y una suscripción premium para plantas procesadoras, complementada con alianzas estratégicas con la Cámara Nacional de Pesquería y la Asociación de Exportadores de Cacao, entre otros gremios.

6.2.3 Recomendaciones a largo plazo (18–36 meses)

En el largo plazo, la visión estratégica apunta a la evolución de SIGTA hacia una plataforma ecosistema. Para ello, se recomienda desarrollar una API pública que permita la integración con otros sistemas de gestión empresarial como ERP y SAP, así como con software especializado de fincas. Adicionalmente, se puede explorar la creación de un marketplace de insumos y servicios certificados por trazabilidad y, de manera opcional, la tokenización de lotes mediante tecnologías de blockchain privada, lo que abriría posibilidades de financiamiento trazable para pequeños productores.

La expansión geográfica y sectorial constituye otro eje fundamental de este horizonte. Se recomienda replicar el modelo en otras provincias con alta vocación agroindustrial, como Los Ríos, Guayas y El Oro, y extender la plataforma a nuevas cadenas de valor, entre ellas el café fino de aroma, el banano orgánico y el camarón. Esta expansión deberá sustentarse en investigación aplicada continua que permita estudiar el impacto socioeconómico real del sistema tras dos o tres años de uso masivo y evaluar su contribución a la reducción de la deforestación en el marco del Reglamento EUDR, mediante la georreferenciación sistemática de parcelas.

6.2.4 Recomendaciones estratégicas e institucionales

Más allá del desarrollo tecnológico, la consolidación de SIGTA como solución de alcance nacional requiere un decidido involucramiento del Estado y de organismos multilaterales. Se recomienda presentar la plataforma como caso de éxito en las mesas de trabajo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), AGROCALIDAD y el Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), con miras a posicionarla como referente de la transformación digital agroindustrial. Asimismo, se sugiere gestionar financiamiento proveniente



del BID, el Banco Mundial o fondos de cooperación europeos para impulsar el escalamiento, y explorar la posibilidad de integración futura con el Sistema Nacional de Trazabilidad Agropecuaria, cuando este sea implementado.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad económica, se recomienda evaluar la creación de una cooperativa o startup spin-off universitaria para la comercialización de la plataforma, buscar inversión ángel o fondos de impacto especializados en agro-tech latinoamericana, y consolidar un modelo SaaS con tarifas diferenciadas según el tamaño de la operación. Este enfoque garantizará que SIGTA pueda autofinanciarse y crecer de manera autónoma sin depender exclusivamente de recursos académicos o públicos.

Conclusión final

SIGTA no es solo una aplicación; representa un instrumento estratégico para la transformación digital inclusiva de la agroindustria manabita. Su desarrollo demostró que es posible construir soluciones tecnológicas sofisticadas pero accesibles, alineadas con las realidades locales de conectividad limitada y heterogeneidad productiva. Las recomendaciones aquí expuestas buscan llevar la plataforma de su estado actual como MVP funcional hacia una solución escalable y sostenible, capaz de generar impacto económico, social y ambiental medible en la provincia de Manabí y, potencialmente, en todo el Ecuador.

Bibliografía

Abad, E. (2009). *Food safety and technological implications of food traceability systems*. HAL-Inria. <https://inria.hal.science/hal-01562741v1/document>

- Agrocalidad. (2023). *Informe de gestión técnica y vigilancia fitosanitaria*. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.
- Agrocalidad. (2024). *Resolución 026: Manual para inspección de ensayos de plaguicidas*. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association.
- Analuisa Aroca, I. A. (2022). *Análisis y caracterización de la cadena de valor del maíz duro en la provincia de Manabí – Ecuador* [Tesis doctoral, Universidad de La Rioja].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=314985>
- AppMaster. (2023). *Modular architecture in software development*. AppMaster Blog.
- Asana. (s.f.). *Cómo mejorar la eficiencia operativa*. Asana.
- Autoridad Portuaria de Manta. (2024). *Boletín estadístico portuario: Movimiento de carga 2023-2024*.
- AWS. (2024). *Amazon Web Services pricing*. AWS.
- Badia-Melis, R., Mishra, P., & Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. *Food Control*, 57, 393-401.
- Banco Central del Ecuador. (2024). *Datos económicos provinciales*. Banco Central del Ecuador.
- Berumen, S. A. (2024). Variables económicas en análisis empresarial. *Journal of Economic Analysis*.
- Camacho Arteta, D. (2011). *Aplicación de un sistema de trazabilidad en una empresa avícola* [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
- Cámara Nacional de Pesquería. (2024). *Reporte de exportaciones del sector pesquero ecuatoriano*. CNP.
- Chen, S., et al. (2020). Blockchain in supply chain traceability. *Journal of Business Analytics*.
- CodersLink. (2024). *Reporte de salarios de TI 2024*. CodersLink.
- Codelucky. (2023). *Offline-first design principles*. Codelucky Blog.
- Collado, A. (2023). Brechas digitales en pequeños productores latinoamericanos. *Revista de Estudios Rurales*.



Comisión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/1115 sobre productos libres de deforestación*. Diario Oficial de la Unión Europea.

Coronel-Guevara, C., Leiva-Díaz, Y., & Abanto-Marín, S. (2022). Trazabilidad en la cadena de suministro de empresas de alimentos. *Revista de Investigación Pakamuros*, 10(4), 49-61.

Couth. (2024). *Trazabilidad hacia delante y hacia atrás: Diferencias y aplicaciones industriales*.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage.

Curity. (2025). *OAuth for mobile apps best practices*. Curity.io.

Dabbene, F., Gay, P., & Tortia, C. (2014). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, 120, 65-80.

Economipedia. (2024). *Variable económica: Definición, tipos y por qué son importantes*. Economipedia.

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis*. Wiley.

Feng, H., et al. (2022). *Design of a blockchain-enabled traceability system framework for food supply chains*. PMC.

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage.

Food and Agriculture Organization. (1996). *Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization. (2021). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Lucha contra el fraude alimentario*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization. (2023a). *Codex Alimentarius: Principios para la rastreabilidad*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization. (2023b). *Digital traceability in agriculture*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization. (2023c). *Engineering and technological outlook on traceability of agricultural production and products*. Food and Agriculture Organization.

Food and Agriculture Organization & World Health Organization. (2023). *Codex Alimentarius: Principios para la rastreabilidad/rastreo de productos como herramienta en el contexto de la inspección y certificación de alimentos*. FAO/WHO.



Food and Drug Administration. (2022). *FSMA final rule on requirements for additional traceability records for certain foods* (Rule 204). U.S. Food and Drug Administration.

Food and Drug Administration. (2024). *Food traceability list*. U.S. Food and Drug Administration.

FoodSafetyTech. (2024). *Food traceability and authentication in the AI era*. FoodSafetyTech.

Fowler, F. J. (2014). *Survey research methods*. Sage.

Fruitnet. (2024). *Ecuador adopts new traceability system for ag exports*. Fruitnet.

Google Developers. (2024). *Android architecture components*. Google.

GS1. (2024). *Standards for traceability*. GS1.

Gummer, J. (2001). *Opinion on hypotheses on the origin and transmission of BSE*. European Commission.

Hallak, J. C., & Tacsir, E. (2017). *Estrategias para fortalecer la cadena de valor del cacao en Ecuador*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Heizer, J., & Render, B. (2017). *Operations management: Sustainability and supply chain management*. Pearson.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Hualpa Zúñiga, E., & Rangel Díaz, J. (2023). *Adopción tecnológica en agricultores pequeños*. *Revista de Agricultura Sostenible*.

Hyperledger Foundation. (2023). *Walmart's food safety solution using IBM Food Trust*. Hyperledger Case Studies.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023*. INEC.

International Organization for Standardization. (2007). *ISO 22005:2007 Traceability in the feed and food chain*. ISO.

International Trade Centre. (2015). *Traceability in food and agricultural products*. ITC.

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). *Principal component analysis: A review and recent developments*. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*.

Loukos, P., & Arathoon, C. (2021). *Landscaping the agritech ecosystem for smallholder farmers in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Matopoulos, A., et al. (2007). Integrating supply chain operations in the internet era. *International Journal of Logistics Research and Applications*.

Mecalux. (2024). *Traceability types in logistics with examples*. Mecalux Blog.

Medhi, I., et al. (2016). Designing mobile interfaces for novice and low-literacy users. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*.

Microsoft Learn. (s.f.). *Best practices for RESTful API design*. Microsoft.

Minerva Foods. (2023). *Full traceable program*. Minerva Foods Sustainability Report.

Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2023). *Ficha sectorial: Pesca y Acuicultura*.

Molina-Chávez, et al. (2021). Análisis de las brechas en cadenas agroindustriales. *Revista ECASinergia*.

Montet, D., & Dey, G. (2018). History of food traceability. En *Food traceability and authenticity*. Taylor & Francis.

Muñoz, D., & Viaña, J. (2012). Cadenas informales en agricultura latinoamericana. *Revista de Estudios Sociales*.

Murillo, A. (2025). Infraestructura rural en Latinoamérica. *Journal of Rural Development*.

Nandwana, A. (2024). *The complete guide to offline-first architecture in Android*. ProAndroidDev.

National Geographic Society. (2023). *Food safety and security*. National Geographic Education.

Olsen, P., & Borit, M. (2013). How to define traceability. *Trends in Food Science & Technology*, 29(2), 142-150.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*.

Pan American Health Organization. (2021). *Evolución de la erradicación de la fiebre aftosa en las Américas*. PAHO.



Parlamento Europeo. (2002). *Reglamento (CE) No 178/2002 por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Parmenter, D. (2015). *Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs*. Wiley.

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods*. Sage.

Ramírez, K. (2022). *Análisis de la cadena de valor de cacao del Ecuador y percepciones sobre la regulación europea*. Alliance Bioversity International - CIAT.

Rodríguez, M., & Quevedo, J. (2024). Trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos en Latinoamérica. *Revista de Investigación*.

SafetyCulture. (2023). *Food traceability: A comprehensive guide*. SafetyCulture Blog.

SourceTrace. (2023). *SaaS platforms for traceability*. SourceTrace Blog.

Stiglitz, J. E. (2000). The contributions of the economics of information to twentieth century economics. *Quarterly Journal of Economics*.

TimeCamp. (s.f.). *Definición de eficiencia operativa*. TimeCamp Blog.

Topic, J. (2024). Offline-first architecture: Designing for reality. *Medium*.

Total Food Control. (2023). *Food fraud*. Total Food Control Blog.

Van den Broeck, J., et al. (2005). Data cleaning: Detecting, diagnosing, and editing data abnormalities. *PLoS Medicine*.

Walmart. (2018). *Blockchain in the food supply chain*. Walmart Global Tech Blog.

WebAIM. (2024). *WAVE web accessibility evaluation tool*. WebAIM.

World Bank. (2005). *Agri-supply chain management*. World Bank Documents.

World Health Organization. (2023). *Dioxins and their effects on human health*. WHO.

Yamane, T. (1967). *Statistics: An introductory analysis*. Harper & Row.

Yiannas, F. (2018). *Food safety and blockchain: Trust through transparency*. Walmart VP Speech.



Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Guba, E. G., y Lincoln, Y. S. (1989). Fourth generation evaluation. Sage Publications.

Schwaber, K., y Sutherland, J. (2020). La Guía de Scrum: Las reglas del juego. Scrum.org.
<https://scrumguides.org>

Letelier, P., y Penadés, M. C. (2006). Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP). Técnica Administrativa, 5(26).

Anexos

Anexo 1

Entrevista con el Ab. Luber Briones

Marcos Aguilar: "Abogado Briones, gracias por su tiempo. En su experiencia, ¿cuál es el mayor obstáculo que enfrenta al intentar vender su producción más allá del mercado local?"

Ab. Luber Briones: "El problema es la confianza. Cuando envío un cargamento, pierdo el control. No sé exactamente cuánto llega, cuánto se daña en el camino. El comprador me dice 'llegaron X quintales, y Y se estropeó por el calor', y tengo que creer en su palabra. No tengo cómo verificarlo. Esa incertidumbre me hace preferir vender aquí, aunque me paguen menos. Es un mal menor."

Marcos Aguilar: "¿Ha pensado en registrar estos datos? Por ejemplo, el peso exacto al salir de la finca, la hora, quizás una foto del cargamento."

Ab. Luber Briones: "Claro que lo he pensado. Pero es complicado. A veces en la finca no hay ni señal de celular, ¿cómo envío esa información? Anotarlo en un cuaderno se puede, pero ese cuaderno se queda aquí. No viaja con el producto. Al final, sigue siendo mi palabra contra la del transportista o el acopiador."

Marcos Aguilar: "Y en cuanto a la merma, la materia prima que se estropea, ¿tiene una idea del porcentaje que pierde?"

Ab. Luber Briones: "Es difícil de decir. Varía mucho. Si el camión se retrasa, si hace mucho sol... pierdo más. Pero como no tengo un registro sistemático, es solo una sensación, una estimación. No puedo ir a un banco a pedir un crédito para mejorar mi almacenamiento y decirles 'pierdo exactamente un 15% por esto'. No tengo los datos duros. Por eso a veces ni me arriesgo y lo que no vendo rápido, se queda para el consumo de la familia."

Anexo 2

Debido a la complejidad y extensión del Sistema Integrado de Gestión y Trazabilidad Agroindustrial (SIGTA), el Diagrama Entidad-Relación (DER) se presenta a continuación dividido de forma modular. Esta segmentación permite una correcta visualización y comprensión

de la arquitectura de datos desarrollada.

Ilustración A1

Módulo de Autenticación y Usuarios

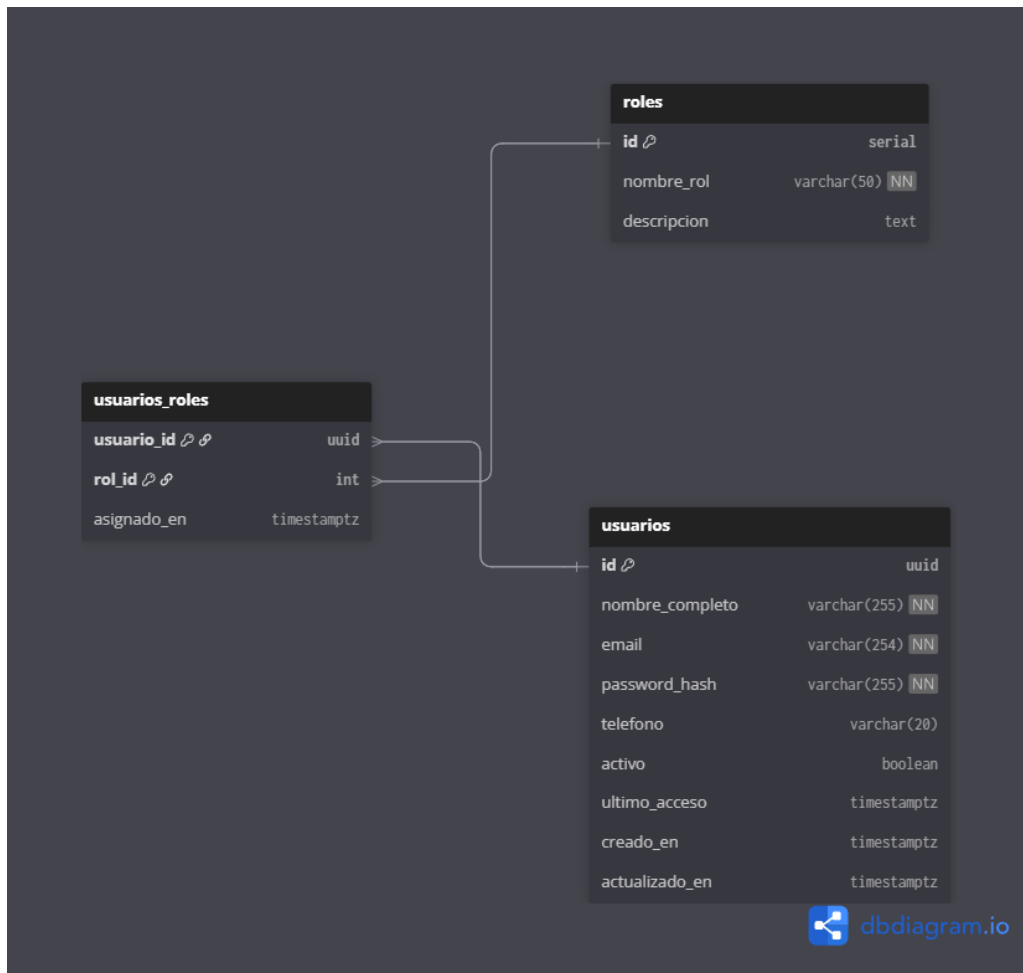


Ilustración A2

Módulo de Roles y Permisos Extendidos

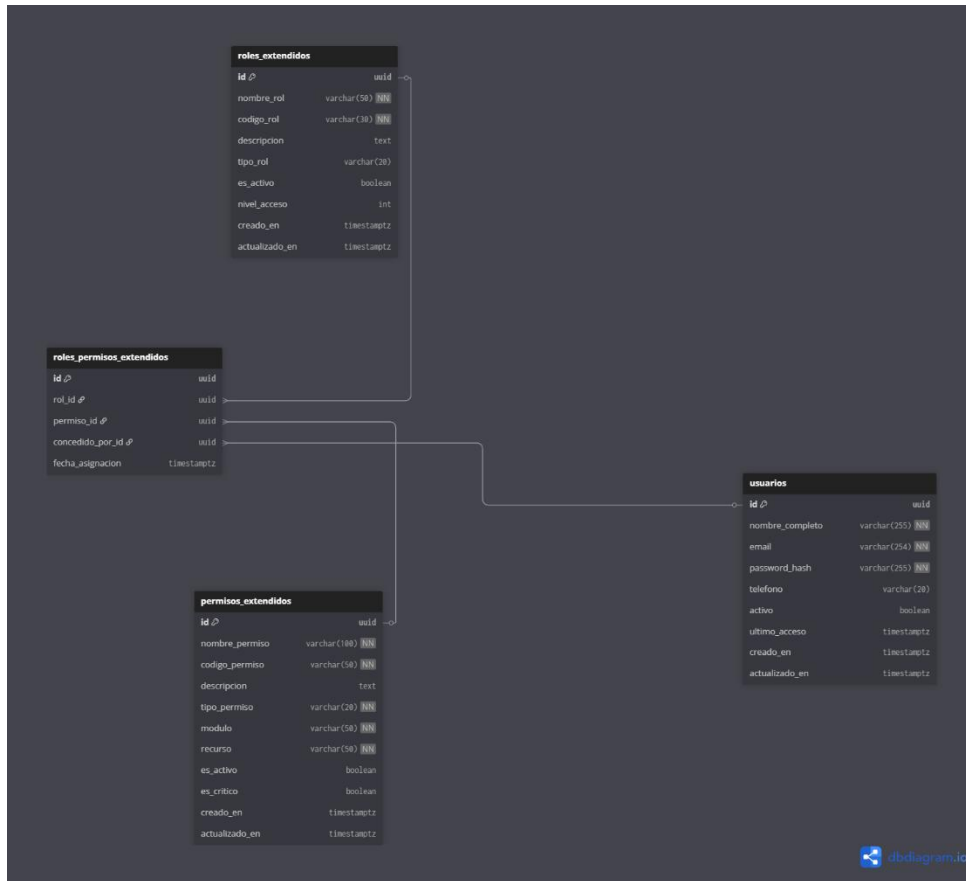


Ilustración A3

Módulo de Empresas y Fincas

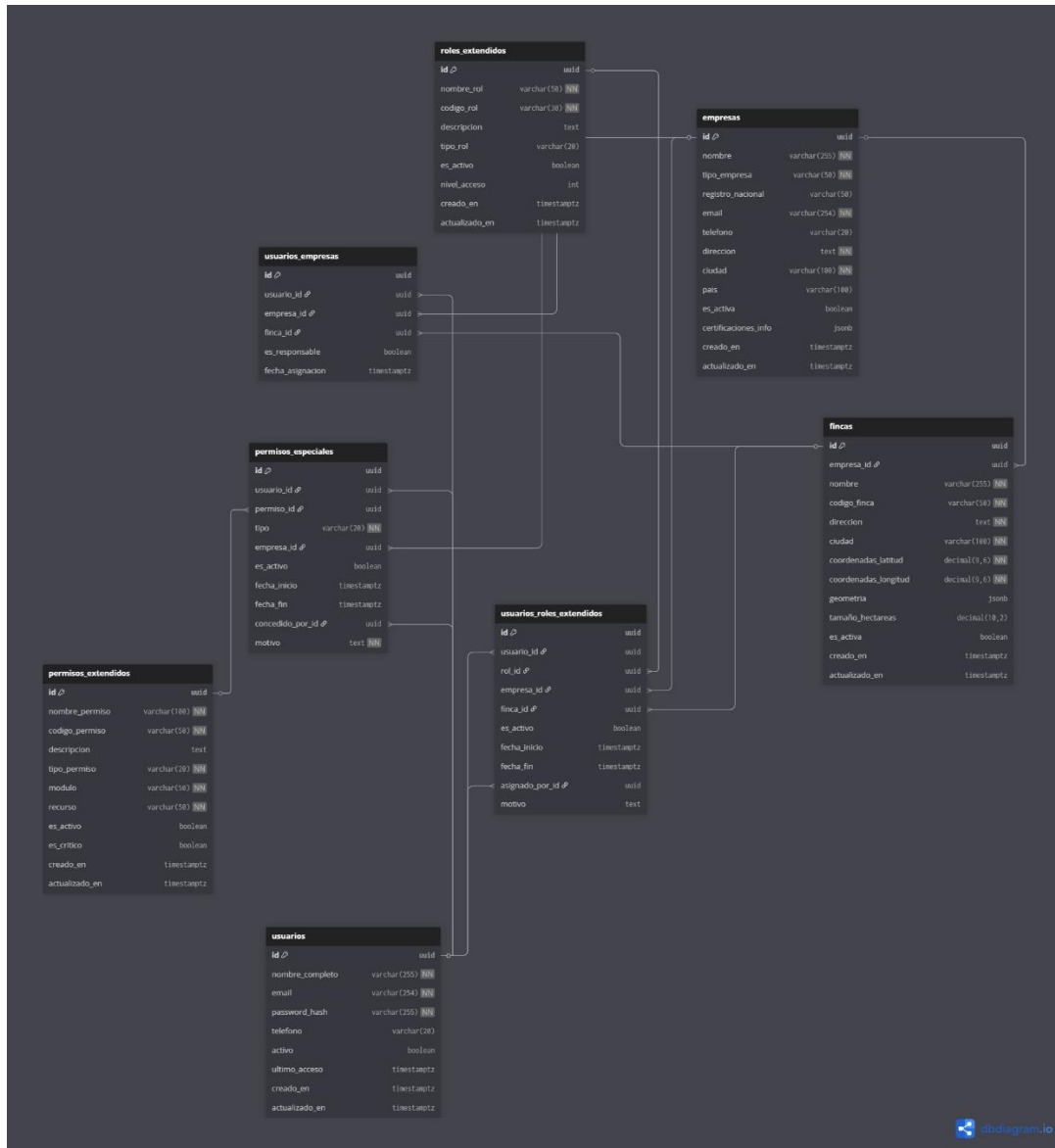


Ilustración A4

Módulo de Trazabilidad y Productos

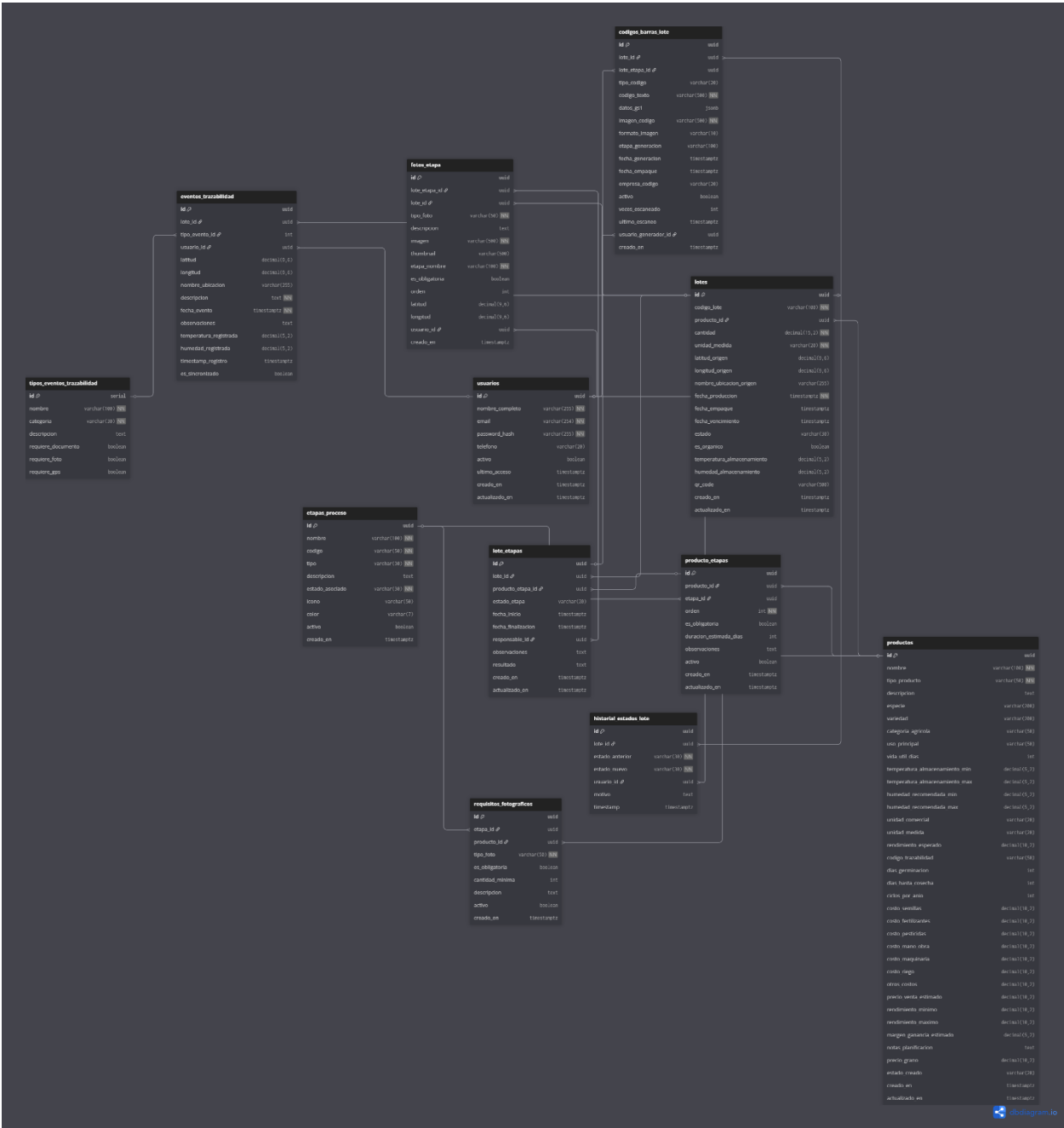


Ilustración A5

Módulo de Mermas y Perdidas

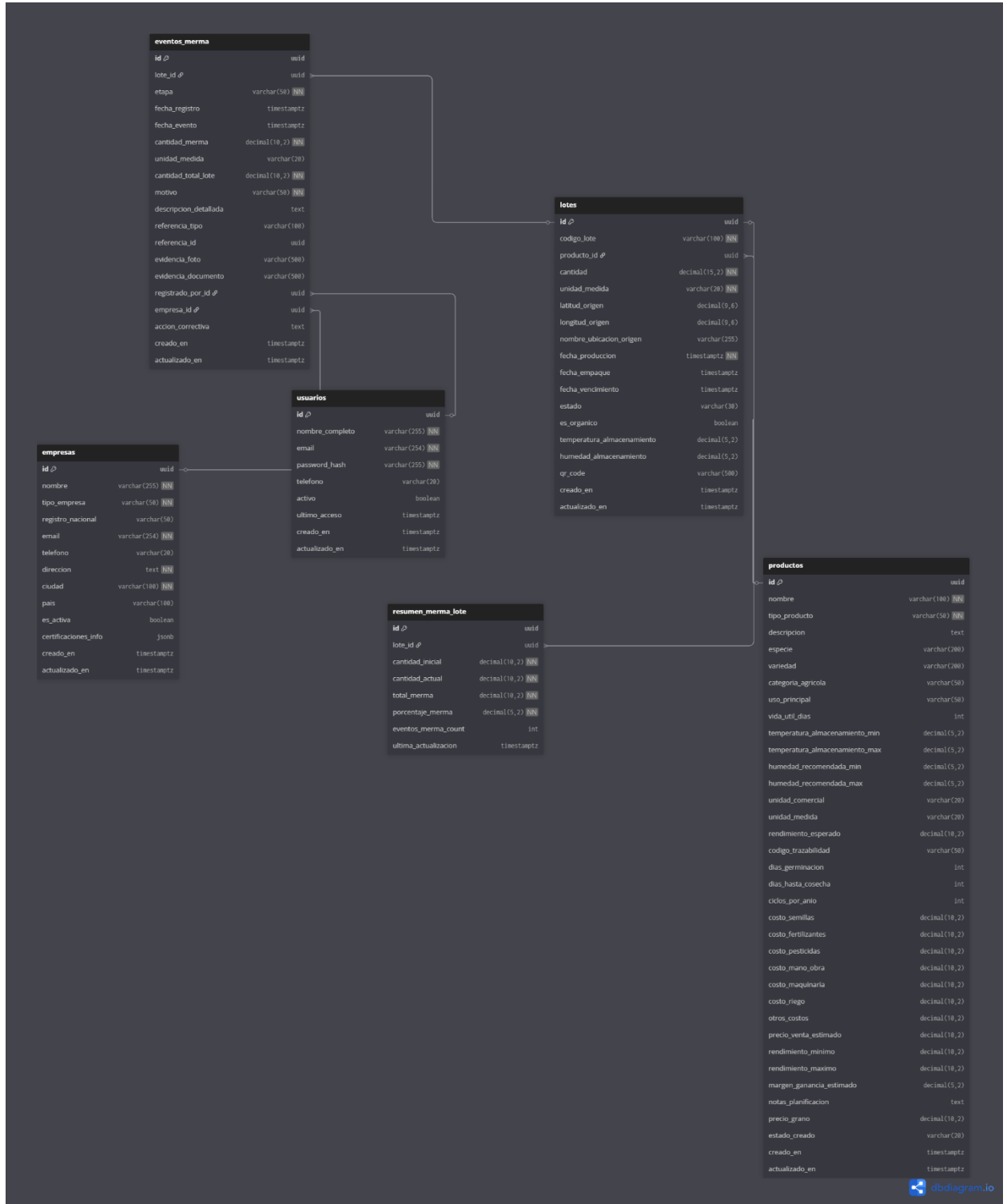
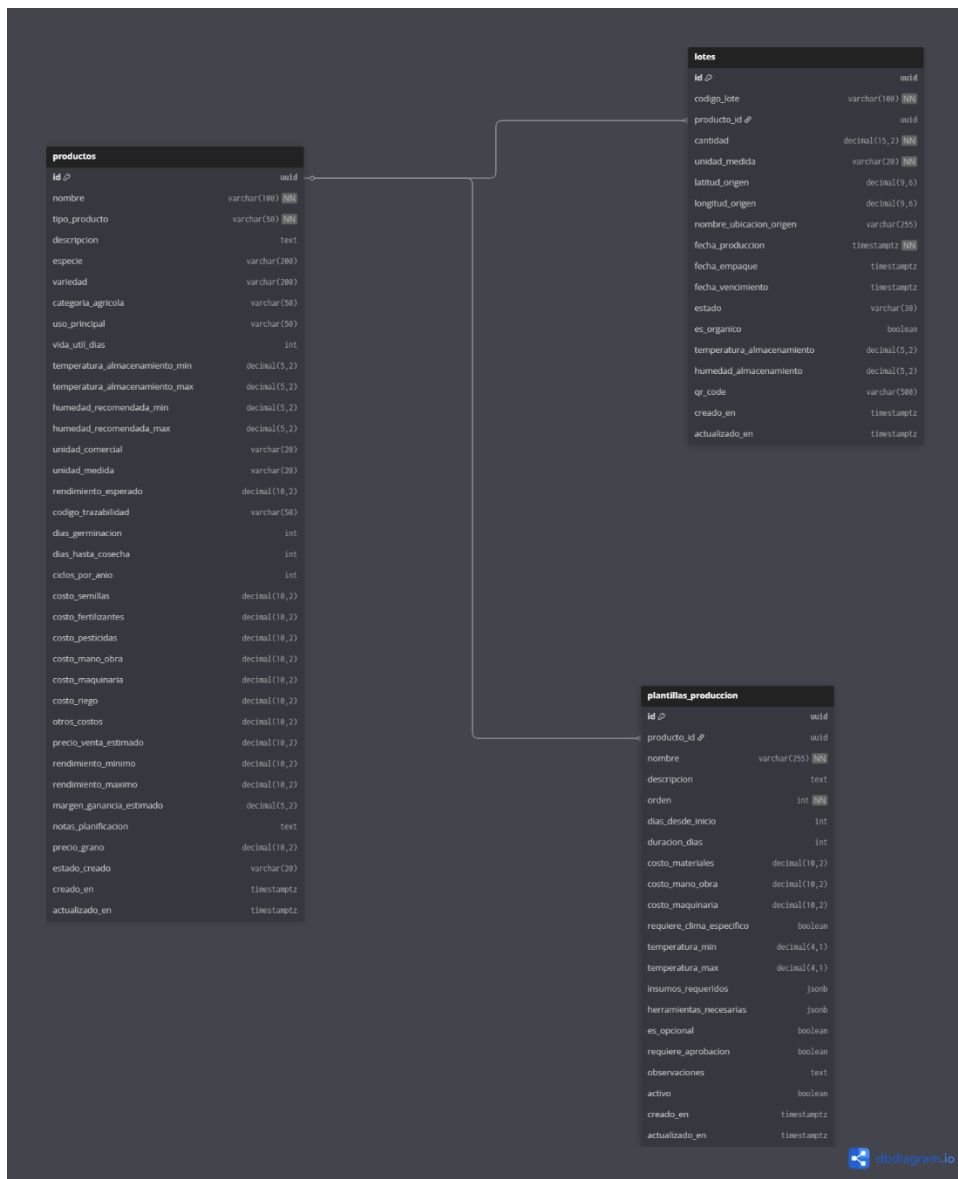


Ilustración A6

Módulo de Plantillas de Producción



Módulo de Clientes, Actores de la Cadena, Logística y Transporte

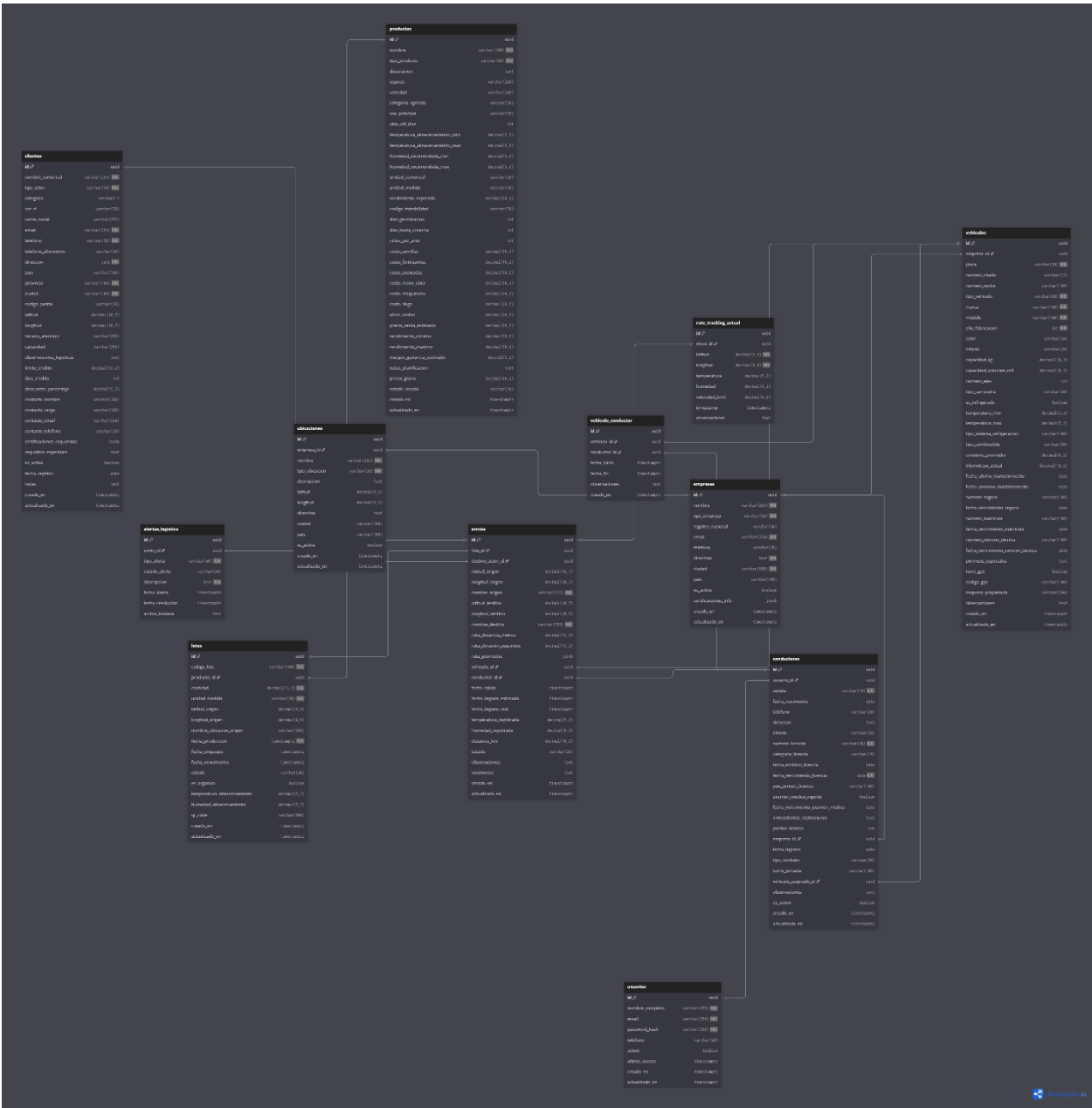


Ilustración A8

Módulo de Clientes, Actores de la Cadena, Logística y Transporte

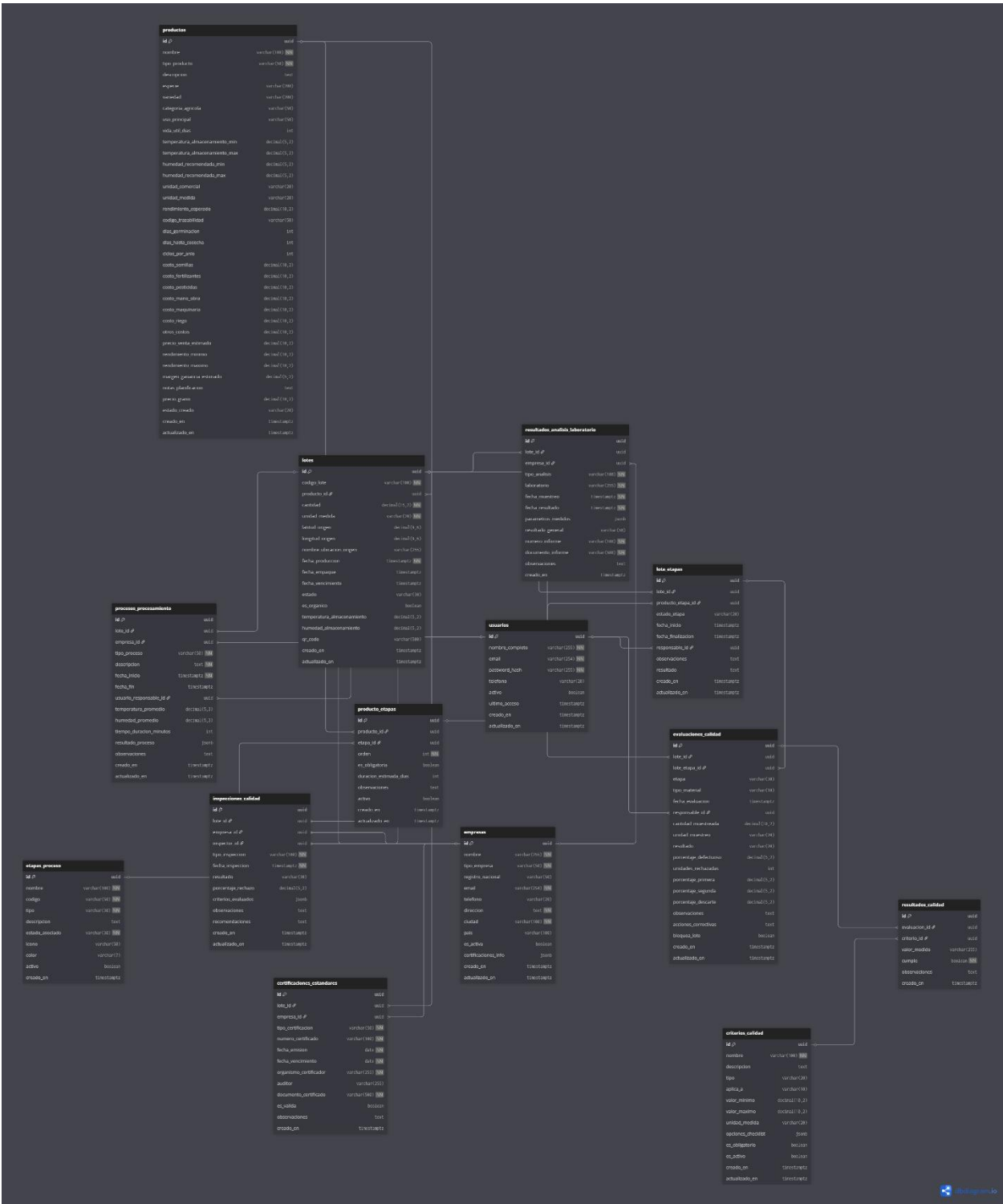


Ilustración A9
Módulo Planificación

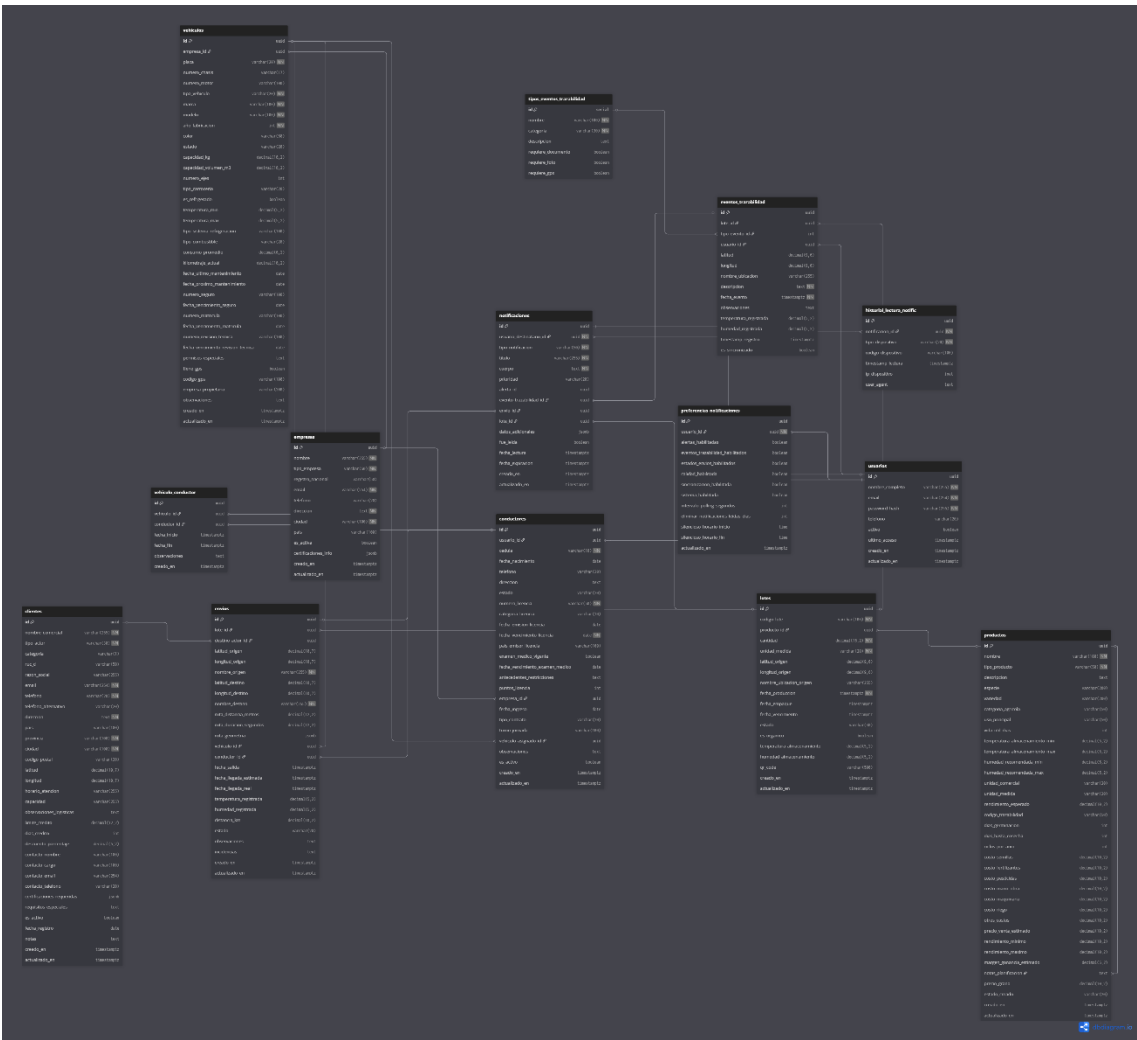




Ilustración A11

Módulo Sincronización





Ilustración A12

Módulo Auditoria

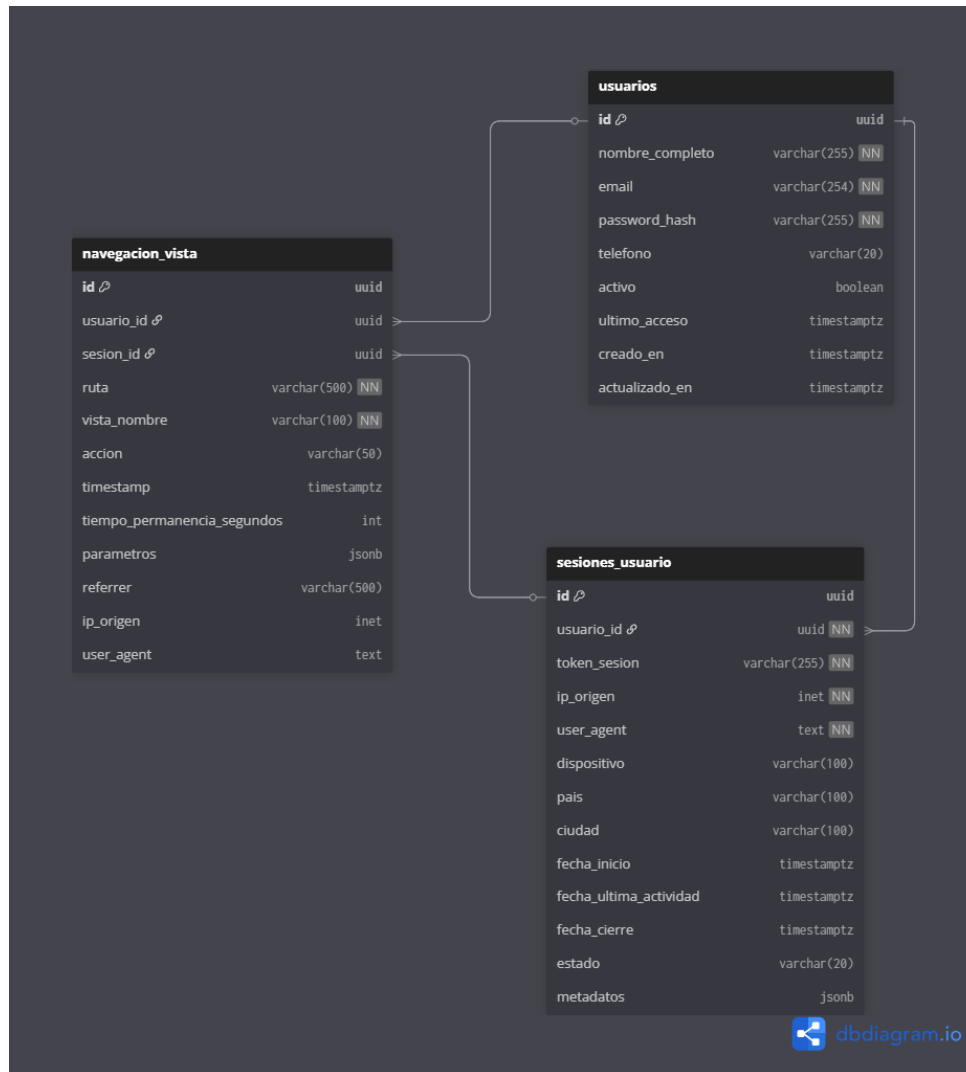


Ilustración A13

Módulo de Reportes

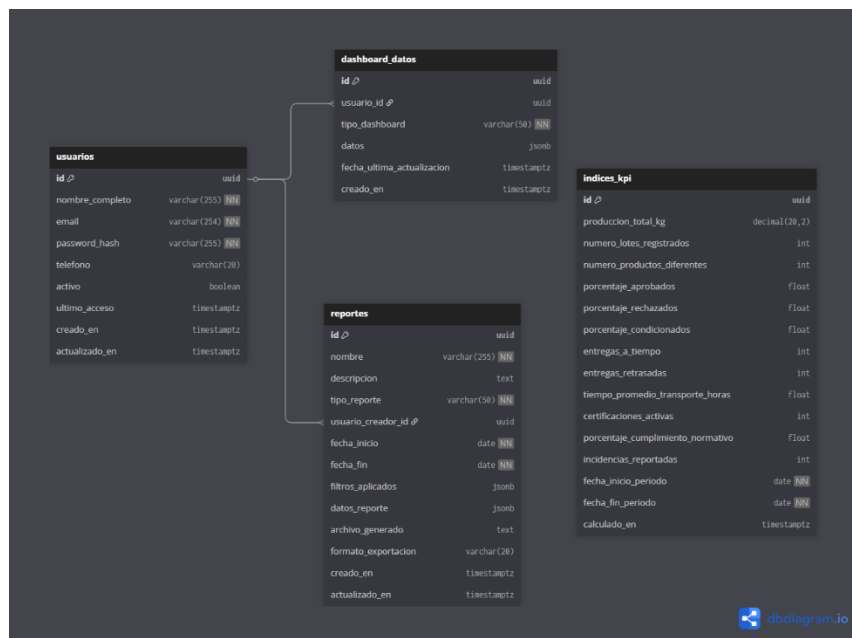


Ilustración A14

Módulo de documentos

