

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Computación

**Propuesta de una arquitectura de software para la gestión de una
Cadena de Suministro Agroalimentaria de los andes ecuatorianos alineada a la
Industria 5.0**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Ciencias de la Computación


Autores:

Sebastian Eduardo Gorotiza Sigüenza

William Alejandro Veliz Matute

Director:

Lorena Catalina Sigüenza Guzman

ORCID:  0000-0003-1367-5288

Cuenca, Ecuador

2024-04-15

Resumen

En el dinámico escenario de la gestión de una Cadena de Suministro Agrícola (CSA), este trabajo de titulación se concentra en la creación de una arquitectura de software en sintonía con los principios de la Industria 5.0. Para esto, siguiendo la metodología propuesta por Fink para una revisión sistemática de literatura, se exploraron en detalle tanto el estado tecnológico actual como las arquitecturas previas en el ámbito agrícola, identificando herramientas específicas y arquitecturas conceptuales con notorias carencias de integración.

La evaluación del estado tecnológico en los casos de estudio ubicados en Susudel y Riobamba, destacó sus deficiencias y evidenció una tendencia hacia puntuaciones más bajas. Aunque la evaluación se limitó a la Industria 4.0, proporcionó una visión inicial sobre cómo abordar estas carencias.

A partir de la revisión de la literatura y los casos prácticos, se formuló una arquitectura centrada en la integración de sistemas informáticos para la gestión de la CSA. El diseño se orientó hacia la integración efectiva de sistemas, enfatizando componentes clave como "Trazabilidad del Producto", "Rendición de Cuentas" y "Analíticas de Gestión".

La evaluación y refinamiento de la arquitectura incluyeron tanto una revisión teórica como la validación práctica a través de escenarios de casos reales. Decisiones críticas, como la adopción de una arquitectura distribuida, un API Gateway y un cache server, potenciaron la eficiencia operativa. Estos ajustes refuerzan de manera significativa el rendimiento global de la arquitectura, abordando desafíos identificados y estableciendo las bases para una gestión más robusta y eficiente de la CSA en un entorno dinámico.

Palabras clave del autor: integración de sistemas de software, arquitectura, tecnologías emergentes



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

In the dynamic scenario of Agricultural Supply Chain (ASC) management, this thesis focuses on the development of a software architecture in line with the principles of Industry 5.0. To achieve this, following the methodology proposed by Fink for a systematic literature review, both the current technological state and previous architectures in the agricultural domain were extensively explored. Specific tools and conceptual architectures with notable integration deficiencies were identified during this exploration.

The assessment of the technological state in the case studies located in Susudel and Riobamba highlighted their deficiencies and revealed a tendency towards lower scores. Although the evaluation was confined to Industry 4.0, it provided an initial insight into addressing these shortcomings.

Based on the literature review and practical cases, an architecture centered on the integration of information systems for ASC management was formulated. The design was oriented towards the effective integration of systems, emphasizing key components such as "Product Traceability," "Accountability," and "Management Analytics."

The evaluation and refinement of the architecture included both a theoretical review and practical validation through real-case scenarios. Critical decisions, such as the adoption of a distributed architecture, an API Gateway, and a cache server, enhanced operational efficiency. These adjustments significantly reinforce the overall performance of the architecture, addressing identified challenges and laying the groundwork for more robust and efficient management of the CSA in a dynamic environment.

Author Keywords: software systems integration, architecture, emerging technologies



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Introducción.....	9
1.1. Motivación y contexto.....	9
1.2. Planteamiento del problema.....	10
1.3. Justificación.....	11
1.4. Solución propuesta.....	13
1.5. Objetivos generales y específicos.....	15
1.5.1. Objetivo general.....	15
1.5.2. Objetivos específicos.....	15
1.6. Metodología de la investigación.....	16
2. Marco teórico.....	17
2.1. Industria 5.0.....	17
2.1.1. Definición de la Industria 5.0.....	17
2.1.2. Elementos de la Industria 5.0.....	18
2.2. Cadena de suministro agroalimentaria ecuatoriana.....	19
2.2.1. Cadena de suministro.....	19
2.2.2. Cadena de suministro agroalimentaria (CSA).....	21
2.2.3. Gestión de la cadena de suministro agroalimentaria.....	21
2.2.4. Trazabilidad.....	23
2.2.5. Rendición de cuentas.....	24
2.3. Estado del arte de sistemas/herramientas tecnológicas y arquitecturas para la gestión de la Cadena de Suministro.....	26
2.3.1. Metodología de revisión de literatura.....	26
2.3.2. Pregunta de Investigación 1: Herramientas tecnológicas para la gestión de la CSA.....	33
2.3.3. Pregunta de Investigación 2: Arquitecturas de software para la Gestión de la CSA.....	36
3. Evaluación del estado tecnológico.....	39
3.1. Marco teórico sobre evaluaciones del estado tecnológico.....	39
3.2. Descripción de los casos de estudio.....	40
3.3. Identificar y seleccionar un método de evaluación.....	41
3.3.1. Búsqueda y selección de un método de evaluación.....	41
3.3.2. Descripción del método de evaluación seleccionado.....	44
3.4. Adaptación y aplicación la evaluación del método de evaluación.....	46
3.5. Análisis de resultados.....	47
4. Diseño de la arquitectura.....	54
4.1. Materiales y métodos.....	54
4.1.1. Descripción general de la ISO/IEC/IEEE 42010.....	54
4.1.2. Identificación de Stakeholders.....	56
4.1.3. Identificación de preocupaciones.....	57

4.1.4. Puntos de vista de la Arquitectura	57
4.1.5. SCRUM	58
4.2. Análisis del dominio	63
4.2.1. Identificación de los stakeholders/actores y sus roles dentro de la cadena de suministros agroalimentaria.....	63
4.2.2. Preocupaciones por cada uno de los stakeholders.....	64
4.2.3. Análisis de los procesos y actividades involucradas en la CSA.....	64
4.3. Especificación de requisitos para el problema planteado	66
4.3.1. Subsistemas Clave en la Arquitectura para la Gestión de la Cadena de Suministros Agroalimentaria.....	66
4.3.2. Objetivos de negocio de la arquitectura de software.....	67
4.3.3. Requisitos por cada sistema para la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria.....	67
4.4. Diseño de la arquitectura.....	72
4.4.1. Implementación de la ISO/IEC/IEEE 42010	72
4.4.2. Diagrama de casos de uso	73
4.4.3. Punto de vista de despliegue.....	76
4.4.4. Punto de vista lógico.....	77
4.4.5. Punto de vista de proceso	81
4.4.6. Diagrama de base de datos conceptual.....	83
5. Validación de la arquitectura propuesta	85
5.1. Conceptos claves de la metodología ATAM.....	85
5.2. Metodología de ATAM.....	86
5.2.1. Descripción por Grupos y Pasos de la metodología ATAM	87
5.3. Evaluación de la Arquitectura.....	88
5.3.1. Identificación de decisiones arquitectónicas	89
5.3.2. Elección de escenarios.....	90
5.3.3. Generación del árbol de utilidad	92
5.3.4. Análisis de las decisiones arquitectónicas	93
5.4. Análisis de resultados de evaluación.....	106
5.4.1. Conclusiones	106
6. Conclusiones.....	118
6.1. Trabajos Futuros.....	120

Índice de figuras

Figura 1. Elementos de la Industria 5.0, dimensión y categoría.....	18
Figura 2. Cadena de suministros inmediata para una empresa individual	20
Figura 3. Cadena de suministros inmediata para una empresa individual	23
Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología aplicada a las preguntas de investigación.....	31
Figura 5. Dimensiones del modelo de madurez	44
Figura 6. Niveles de madurez de las dimensiones del caso de estudio de Susudel en un gráfico de barras.....	50
Figura 7. Niveles de madurez de las dimensiones del caso de estudio de Riobamba en un gráfico de barras... ..	51
Figura 8. Elementos del modelo conceptual de una descripción de arquitectura	55
Figura 9. Modelo conceptual de elementos AD y correspondencias.....	56
Figura 10. Metodología del desarrollo del proyecto	58
Figura 11. Diagrama de componentes lógicos.....	73
Figura 12. Diagrama de flujo de datos.....	74
Figura 13. Fases de la evaluación de la arquitectura	76
Figura 14. Arquitectura con las decisiones arquitectónicas unificadas... ..	77
Figura 15. Diagrama de flujo de datos.....	81
Figura 16. Fases de la evaluación de la arquitectura	87
Figura 17. Arquitectura con las decisiones arquitectónicas unificadas... ..	107
Figura 18. Recomendación de tecnologías/plataformas para el desarrollo de la arquitectura	117

Índice de tablas

Tabla 1. Términos de búsqueda.....	28
Tabla 2. Criterios prácticos de selección	29
Tabla 3. Cantidad de artículos en relación a cada filtro aplicado para las preguntas de investigación.....	31
Tabla 4. Arquitecturas de Software para la CSA.....	36
Tabla 5. Modelos de madurez.....	42
Tabla 6. Descripción de los niveles de madurez.....	46
Tabla 7. Valores límite para los niveles de madurez.....	48
Tabla 8. Resultados a nivel de subdimensión para el caso de estudio de la parroquia de Susudel	49
Tabla 9. Resultados por subdimensión para el caso de estudio de Riobamba	50
Tabla 10. Roles y cargos dentro de la metodología de SCRUM.....	60
Tabla 11. Sprint #1 - Fase de requerimientos.....	60
Tabla 12. Sprint #2 - Fase de Diseño.....	60
Tabla 13. Sprint #3 - Fase de Diseño.....	61
Tabla 14. Sprint #4 - Fase de evaluación	61
Tabla 15. Objetivos de negocio de la arquitectura de software	67
Tabla 16. Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de trazabilidad.....	68
Tabla 17. Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de rendición de cuentas.....	68
Tabla 18. Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de inicio de sesión.....	69

Tabla 19. Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de analíticas de gestión	69
Tabla 20. Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de gestión de la seguridad	69
Tabla 21. Lista de requisitos para la arquitectura de software para los requisitos no funcionales.	70
Tabla 22. Lista de requisitos para la arquitectura de software para los requisitos de integración.....	70
Tabla 23. Árbol de Utilidad	92
Tabla 24. Descripción del análisis para el Escenario #1.....	94
Tabla 25. Descripción del análisis para el Escenario #2.....	98
Tabla 26. Descripción del análisis para el Escenario #3.....	99
Tabla 27. Descripción del análisis para el Escenario #4	101
Tabla 28. Descripción del análisis para el Escenario #5	104
Tabla 29. Recomendación de tecnologías/plataformas para el desarrollo de la arquitectura	116

1. Introducción

1.1. Motivación y contexto

La producción agrícola a nivel mundial enfrenta diversos retos originados por factores como el crecimiento de la población, la inseguridad alimentaria y la escasa inversión, lo que ha generado una mayor preocupación en la sociedad (Saxena et al., 2023). En la actualidad, la agricultura es de suma importancia en los países en desarrollo debido a su significativa contribución a la producción interna y el empleo (FAO, 2019; Freire et al., 2018). En Ecuador, el sector agrícola es de los sectores más importantes dado su potencial exportador, ya que satisface el 95% de la demanda interna de alimentos y emplea al 25% de la población económicamente activa (PEA), constituyéndose como el segundo mayor generador de divisas después del petróleo (Freire et al., 2018; Pino Peralta et al., 2018). Específicamente, la región andina ecuatoriana, es el centro de origen de diversos cultivos como la papa, el frijol, el tomate y el pimiento (FAO, 2016). Así, esta región es fundamental para el PIB (Producto Interno Bruto) nacional (Juca et al., 2021), representando un 26.92% de actividades de cultivo (INEC, 2022). No obstante, el sistema de producción agrícola en Ecuador enfrenta importantes retos como la necesidad de competir en el mercado globalizado y desarrollar el territorio rural para expandir las explotaciones agrícolas. Además, Ecuador enfrenta problemas en su sistema de producción agrícola relacionados con el escaso flujo de financiamiento, los bajos niveles de investigación y desarrollo tecnológico, y una débil institucionalidad (Viteri & Tapia, 2018). Estos factores contribuyen a que el sector sea considerado como sensible y vulnerable. Ante este escenario, la exploración de nuevas estrategias se vuelve imperativa para revitalizar la agricultura y enfrentar los desafíos contemporáneos. En este contexto, la adopción de tecnologías emergentes se presenta como una oportunidad clave, y es aquí donde la Industria 4.0 emerge como un enfoque relevante y prometedor.

La Industria 4.0 ha sido ampliamente discutida como un enfoque que busca aplicar nuevas tecnologías en los procesos industriales y satisfacer necesidades ecológicas relacionadas con la producción sostenible ([Breque et al., 2021](#)). Originalmente, el concepto de Industria 4.0 se enfocaba en la aplicación de tecnologías para abordar necesidades ecológicas relacionadas con la producción sostenible. Sin embargo, con el tiempo, este concepto se alejó de su enfoque en la sostenibilidad y se centró más en la eficiencia y flexibilidad de la producción. Para abordar las limitaciones de enfoque ecológico que se presentaron con el

concepto de Industria 4.0, surgió la Industria 5.0 ([Breque et al., 2021](#)). Esta nueva perspectiva busca transformar la dinámica al priorizar el bienestar de los trabajadores y posicionarlos en el centro del proceso de producción, manteniendo un fuerte enfoque en la sostenibilidad y añadiendo una dimensión adicional: los objetivos sociales ([Breque et al., 2021](#)). En este sentido, la Industria 5.0 recupera la importancia de los aspectos ecológicos mientras agrega un principio fundamental: la centralidad del ser humano. El enfoque de la Industria 5.0 tiene el potencial de contribuir significativamente a la reactivación económica de las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) ([Kumar et al., 2021](#)), permitiendo mejorar la productividad y la sostenibilidad de la producción. A diferencia de su predecesora, la Industria 4.0, este va más allá de mejorar la eficiencia y flexibilidad de la producción. También se centra en el bienestar de los trabajadores, respeta los límites ambientales y busca objetivos sociales. Además de enfocarse en el bienestar de los trabajadores y la sostenibilidad, la Industria 5.0 reconoce la resiliencia como un pilar fundamental. Al integrar tecnologías avanzadas con un enfoque centrado en el ser humano, esta nueva era industrial no solo optimiza la producción y respeta el medio ambiente, sino que también fortalece la capacidad de las empresas para adaptarse y prosperar frente a desafíos imprevistos ([ABB News, 2022](#)). Estos aspectos, junto con su potencial para reducir los costos de producción, prometen no solo mejorar la rentabilidad de las empresas agrícolas, sino también generar un impacto positivo en la sociedad y el medio ambiente. En este sentido, ayudaría a abordar los desafíos que enfrenta el sector agrícola, como la escasez de recursos naturales, la falta de acceso a tecnologías adecuadas y la necesidad de mejorar la calidad de vida de los trabajadores agrícolas. En este sentido, ayudaría a abordar los desafíos que enfrenta el sector agrícola, como la escasez de recursos naturales, la falta de acceso a tecnologías adecuadas y la necesidad de mejorar la calidad de vida de los trabajadores agrícolas.

1.2. Planteamiento del problema

La Cadena de Suministro Agroalimentaria (CSA) es esencial para la producción y cultivo de alimentos, ya que se encarga de gestionar los productos perecederos desde su producción hasta el consumo final. La CSA involucra múltiples procesos y actores, desde la producción hasta el almacenamiento, transporte y distribución de alimentos, lo que la convierte en un elemento crítico en la seguridad alimentaria y en la satisfacción de la demanda de alimentos (GutierrezPereyra, 2021).

En la actualidad, la gestión de la CSA sigue siendo un reto debido a la ineficiencia en los procesos, variabilidad de precios y los cambios en el comportamiento del consumidor (Crespo

& Machado, 2018; Fox et al., 2001). En Ecuador, la CSA es compleja y tiene limitaciones como un alto analfabetismo digital en sus actores, baja infraestructura tecnológica en sectores rurales y sus costos elevados de implementación, entre otros (FAO, 2019). Además, la gestión de la CSA implica el manejo de una gran cantidad de información y transacciones a lo largo de la cadena, lo que puede resultar en una complejidad significativa. Esta complejidad, a menudo debido a la diversidad de actores y actividades involucradas en el proceso de cadena de suministro, puede dar lugar a una falta de transparencia en la forma en que se realizan y registran estas transacciones. Esta limitación puede aumentar el riesgo de errores, retrasos en la toma de decisiones y, en última instancia, puede afectar la calidad y seguridad de los alimentos. Por lo tanto, gestionar la CSA potenciada por la tecnología contribuiría de gran manera a resolver los problemas antes mencionados, además de ofrecer beneficios adicionales como fiabilidad y transparencia (Anwar et al., 2022; Chen et al., 2021; Stenmarck et al., 2016).

En el marco de este escenario, la introducción de una plataforma tecnológica destinada a la integración de sistemas preexistentes emerge como una estrategia viable. Esta iniciativa no solo facilita la trazabilidad del producto, sino que también fortalecería la gestión analítica y la rendición de cuentas. Se postula que dicha implementación podría representar una contribución sustancial para abordar las problemáticas previamente expuestas en la CSA. Además, se anticipa que la adopción de esta tecnología conlleva beneficios suplementarios, tales como la mejora de la confiabilidad y la transparencia en el contexto de la CSA, así como el proponer una integración completa de la información de los sistemas existentes. Esta integración de datos no solo aspira a superar los desafíos inherentes, sino que también redefine la forma en que se gestionan y utilizan los recursos de información. La plataforma, al ser una herramienta unificadora, no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce la posibilidad de errores derivados de la falta de coordinación entre los sistemas preexistentes.

En resumen, la CSA enfrenta desafíos significativos, como la ineficiencia en procesos, variabilidad de precios y limitaciones en Ecuador, incluyendo el analfabetismo digital y la baja infraestructura tecnológica. Estos obstáculos generan complejidades en la gestión de información y transacciones a lo largo de la cadena, aumentando el riesgo de errores y afectando la calidad y seguridad de los alimentos. Sin embargo, la introducción de una plataforma tecnológica para la integración de sistemas preexistentes emerge como una estrategia viable. Esta iniciativa no solo aborda las problemáticas existentes, facilitando la trazabilidad y fortaleciendo la gestión analítica, sino que también promete beneficios

adicionales, como la mejora de la confiabilidad y transparencia en la CSA, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo posibles errores derivados de la falta de coordinación entre sistemas preexistentes.

1.3. Justificación

El presente trabajo de titulación se enmarca dentro del proyecto “Enhancing the AGRIfOod Supply chain towards Industry 5.0 (AGRO5) in the Ecuadorian Andes”. Este proyecto, ganador de la convocatoria TEAM 2022 del Consejo Interuniversitario Flamenco de Cooperación para el desarrollo universitario VLIR-UOS, tiene como objetivo mejorar la CSA hacia el enfoque de la Industria 5.0 mediante el desarrollo de un marco de referencia llamado AGRO5. Una de las principales contribuciones de este proyecto, es fomentar patrones de producción sostenibles que garanticen la soberanía alimentaria y el bienestar de los agricultores. El desarrollo del marco AGRO5 consta de cinco fases, denominadas cambios intermedios (IC), que buscan cumplir diferentes objetivos planteados por el proyecto. Este trabajo se vincula con el IC3, el cual propone el desarrollo de una plataforma informática que permita la integración de diferentes sistemas para apoyar varios procesos de la CSA.

Además, se busca establecer una arquitectura de software que apoye al IC3 del proyecto y sienta las bases para el desarrollo de la plataforma informática mencionada anteriormente. Esta plataforma tiene como meta la integración de mecanismos de trazabilidad y rendición de cuentas que apoyen el seguimiento agroalimentario y, a su vez, incentiven la adopción de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) por parte de los diferentes actores de la CSA.

Es importante destacar que el IC3 no se limita exclusivamente al desarrollo de la plataforma informática, sino que se trata de un marco de referencia más amplio que busca mejorar la CSA en la Industria 5.0. El desarrollo de la plataforma informática es una herramienta que se propone dentro de este marco para lograr dicho objetivo.

La presente investigación surge ante la necesidad de mejorar la gestión de la CSA y potenciar su eficiencia mediante el uso de tecnologías. Se abordan las limitaciones tecnológicas y de eficiencia en los procesos que impiden una gestión óptima. La implementación de una plataforma tecnológica permitirá la integración y optimización de la información de los sistemas existentes en la CSA, generando información valiosa para la toma de decisiones y mejorando la transparencia y la seguridad alimentaria. Además, se busca impulsar la transformación hacia una Industria 5.0 y una sociedad conectada, en la que los productores

agrícolas reconozcan los beneficios de la tecnología y se desarrolle una infraestructura para un mercado agroalimentario. En consecuencia, se propone una solución innovadora y necesaria en Ecuador para contribuir al desarrollo sostenible del sector agroalimentario en el país.

Solución propuesta

Considerando las problemáticas inherentes a la gestión de la CSA en Ecuador, la finalidad de este trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar una arquitectura de software que integre la información expuesta por los diferentes sistemas existentes en la CSA en una única plataforma integrada. Con el propósito de superar de manera efectiva las actuales limitaciones tecnológicas y asegurar la utilidad y accesibilidad generalizada de esta plataforma propuesta, resulta imperativo establecer criterios específicos.

En este sentido, la plataforma será concebida con un enfoque destacado en la simplicidad, la ligereza y la amigabilidad, abordando así los desafíos previamente señalados. De manera concordante con estos criterios, se orientará a optimizar la carga de datos y recursos, posibilitando el acceso incluso en entornos con conectividad a Internet limitada. Esta consideración asegura la inclusión de todos los actores de la CSA, independientemente de su nivel de familiaridad con la tecnología.

Además, la implementación de esta arquitectura de software, alineada con los principios fundamentales de la Industria 5.0, se proyecta como un medio propicio para potenciar procesos más sostenibles, resilientes y orientados al bienestar humano en los sectores productivos (Breque et al., 2021; Crespo & Machado, 2018; Fox et al., 2001). Cabe destacar que la plataforma no tiene como objetivo principal la imposición de estos procesos propios de la Industria 5.0, sino más bien se posiciona como un apoyo significativo para que, a través de su integración, estos puedan llegar a materializarse.

En términos de sostenibilidad, se proyecta que la arquitectura optimizará los recursos y reducirá los desechos mediante la mejora de la eficiencia en los procesos automatizados. La resiliencia, por su parte, se verá fortalecida al permitir una adaptación más ágil a los cambios del mercado o a perturbaciones externas, gracias a la flexibilidad y capacidad de respuesta que las tecnologías integradas proporcionan. Es esencial subrayar que la orientación hacia el ser humano de la Industria 5.0 asegura que la tecnología y la automatización no solo persiguen la eficiencia, sino que también buscan mejorar la calidad de vida de los trabajadores y fomentar un entorno laboral más seguro y satisfactorio.

Adicionalmente, se espera que la adopción de tecnologías emergentes en conjunto con esta arquitectura de software establezca un marco de conectividad, resultando en una mayor eficiencia, transparencia y seguridad en la gestión de la CSA en Ecuador. Es importante destacar que la plataforma no se presenta como una entidad que garantiza directamente estos resultados, sino como un medio facilitador que, al ser implementado de manera efectiva, contribuirá a mejorar la gestión de la CSA, beneficiando a todos los actores involucrados y promoviendo el desarrollo sostenible del sector agroalimentario en el país.

El diseño de la arquitectura propuesta se desarrolla en varias fases. En cada uno de los capítulos se explicará la metodología utilizada para el desarrollo del mismo. En la primera fase se conformará el marco teórico para comprender la CSA ecuatoriana y la Industria 5.0, así como las arquitecturas de software relevantes que tienen como finalidad la integración de tecnologías emergentes en una plataforma de gestión de la misma. En la segunda fase, se llevará a cabo una evaluación del estado tecnológico de dos casos de estudio, con el fin de identificar el estado actual de las empresas en relación a las tecnologías usadas por las mismas, de las cuales también se identificarán los stakeholders y requisitos para la arquitectura a ser diseñada. La tercera fase se centrará en el diseño de la arquitectura de software, que involucra la identificación de los actores y procesos de la CSA, la evaluación de las tecnologías disponibles y emergentes, y la especificación de requisitos para resolver el problema planteado. Finalmente, se realizará una evaluación de la arquitectura diseñada con el objetivo de validar su eficacia, eficiencia y alineación con los principios de la Industria 5.0, permitiendo identificar áreas de mejora. Los resultados de esta evaluación serán fundamentales para las conclusiones, recomendaciones y la definición de trabajos futuros, estableciendo un camino claro para la optimización continua y la adaptación a cambios y desafíos emergentes en el sector.

1.4. Objetivos generales y específicos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una arquitectura de software para la gestión de una CSA de los andes ecuatorianos mediante la integración de sistemas que aborden aspectos de la Industria 5.0.

1.4.2. Objetivos específicos

- Construir un marco de referencia que resuma y evalúe de manera sistemática la información disponible sobre las arquitecturas dirigidas a gestionar una cadena de suministro agroalimentaria.
- Obtener un diagnóstico tecnológico de dos cadenas de suministro caso de estudio utilizando una metodología de evaluación apropiada.
- Diseñar una arquitectura de software enfocada en la integración de sistemas para la gestión de una CSA alineada con Industria 5.0.
- Validar la arquitectura de software propuesta para determinar si cumple con los requisitos empleando información de los casos de estudio.

1.5. Metodología de la investigación

El presente trabajo de investigación requiere la integración de varias metodologías a lo largo de todo el proceso de desarrollo. En la primera fase, se debe establecer un marco conceptual y realizar una revisión exhaustiva del estado de la literatura existente en el tema. Para llevar a cabo esta tarea, se aplicó la metodología para revisión sistemática de literatura de Fink (2010), la cual consta de varios pasos que incluyen la identificación de los términos clave, la búsqueda de artículos relevantes, la evaluación de la calidad de los mismos y la síntesis de los resultados obtenidos.

Posteriormente, se lleva a cabo un levantamiento de información mediante la utilización de un método de evaluación y el desarrollo de herramientas específicas de levantamiento de datos. El objetivo de esta tarea es la determinación del estado tecnológico de la cadena de suministro y la identificación de los requerimientos específicos de dos casos de estudio que serán utilizados en el desarrollo de la arquitectura de software.

En la siguiente fase, se adoptó la metodología de Evaluación de la Arquitectura de Escenarios (ATAM, por sus siglas en inglés) para llevar a cabo un análisis detallado y sistemático de la arquitectura desarrollada. En este contexto, se identificaron y evaluaron los escenarios clave, se definieron los atributos de calidad pertinentes y se realizaron sesiones de evaluación con el stakeholder. Este enfoque facilitó la toma de decisiones informadas y la definición precisa de los requisitos específicos que orientaron el desarrollo de la arquitectura de software.

En cada uno de los capítulos, se aborda con más detalle cada una de las metodologías utilizadas a lo largo del proceso de desarrollo de la arquitectura de software. De esta forma, se brindará una comprensión detallada y completa de cada paso del proceso, lo que permitirá al lector tener una visión clara y profunda del trabajo realizado y los resultados obtenidos.

2. Marco teórico

En la sección 2.1, se ofrece una introducción a la Industria 5.0, proporcionando una definición detallada de este concepto junto con la identificación de sus elementos clave. La sección 2.2 se centra en la comprensión de la cadena de suministro (CS) y específicamente en el contexto agroalimentario (CSA), explorando la gestión de la CSA y conceptos fundamentales como la trazabilidad y la rendición de cuentas. Posteriormente, la sección 2.3 detalla el estado actual de las tecnologías, sistemas y arquitecturas relacionadas con la gestión de las CS. Este análisis sienta las bases para abordar el primer objetivo del presente trabajo de titulación.

2.1. Industria 5.0

El sector industrial ha sido pieza fundamental en el progreso de la humanidad desde hace siglos. A lo largo de la historia, la producción industrial ha experimentado distintos cambios significativos en su forma y en las tecnologías utilizadas, lo que ha dado lugar a diferentes revoluciones industriales.

La primera de estas revoluciones, conocida como la Industria 1.0, tuvo lugar en 1784 y se caracterizó por la mecanización de la producción a través de la utilización de máquinas por agua y vapor. La siguiente revolución, la Industria 2.0, ocurrió en la década de 1870 y se destacó por la producción en cadena y la utilización de la energía eléctrica. La llegada de la electrónica y las tecnologías de la información en la producción industrial marcó el inicio de la Industria 3.0, que transformó la manera en la que se automatizan los procesos industriales ([Echchakoui & Barka, 2020; Lu, 2017](#)).

En 2011, se produjo otra revolución industrial: la Industria 4.0. Esta revolución se enfoca en la utilización de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y la robótica, para lograr una mayor eficiencia y calidad en la producción, así como para permitir la producción de productos a gran escala ([Echchakoui & Barka, 2020; Lu, 2017](#)). Además, aborda temas relacionados con la necesidad ecológica, pero perdió este enfoque para centrarse en la aplicación de tecnologías para aumentar su producción ([Bregue et al., 2021](#)).

Actualmente, se está experimentando una evolución hacia la Industria 5.0, una nueva fase en la producción industrial. Esta nueva revolución industrial se caracteriza por la resiliencia al enfocarse no solo en la utilización de tecnologías, sino también en la consecución de objetivos sociales, la mejora de la calidad de vida de las personas, respetando el medio ambiente y poniendo a los trabajadores en el centro del proceso productivo ([Kumar et al., 2021](#)).

2.1.1. Definición de la Industria 5.0

Para definir la Industria 5.0, se va a hacer referencia al estudio de [\(Flores-Sigüenza et al., 2022\)](#), quienes realizan una revisión de la literatura existente en el campo de la Industria 5.0. Según las cinco definiciones recopiladas en este estudio, se puede concluir que la Industria 5.0 implica complementar y aprovechar las ventajas y la tecnología de la Industria 4.0, colocando al ser humano en el centro del desarrollo e integrando elementos de sostenibilidad y resiliencia para generar impactos positivos en las operaciones de las industrias. Por ejemplo, [\(Carayannis & Morawska-Jancelewicz, 2022\)](#) la definen a la Industria 5.0 como “la respuesta a la demanda de un renovado paradigma industrial centrado en el ser humano, partiendo de la reorganización de los procesos de producción para luego generar implicaciones positivas en primer lugar dentro de las perspectivas empresariales y en segundo lugar hacia todos los componentes pertenecientes al ecosistema de innovación. La Industria 5.0 se basa en tres elementos fundamentales: centrado en el humano, la sostenibilidad y la resiliencia.” Por otro lado, [\(Breque et al., 2021\)](#) la definen como “la potenciación del ser humano y su coexistencia con la automatización. Esta era de agitación industrial trata de llevar la Industria 4.0 a un nuevo hito mediante la integración de humanos y máquinas en la fábrica inteligente”.

Se puede concluir que, aunque existen distintas definiciones de la Industria 5.0, todas comparten la idea de que representa una evolución de la Industria 4.0, con un mayor enfoque en el bienestar humano, la resiliencia y la sostenibilidad. Para próximas consideraciones de la Industria 5.0 en este documento, se tendrá en cuenta la definición dada por Flores-Sigüenza et al. (2022).

2.1.2. Elementos de la Industria 5.0

La Industria 5.0 se enfoca en varios elementos clave, entre ellos, la sostenibilidad. Este término se refiere a un conjunto de estrategias diseñadas para alcanzar un equilibrio adecuado entre el rendimiento económico, el impacto ambiental y la inclusión social, con el objetivo de beneficiar tanto a las generaciones actuales como a las futuras (Breque et al., 2021). Otro de los elementos más importantes de la Industria 5.0 es el empoderamiento humano. En este enfoque, el ser humano es el centro de la producción y los procesos económicos, lo que establece una colaboración entre individuos altamente capacitados y la tecnología para crear productos y servicios únicos y personalizados. Por último, un elemento adicional en la Industria 5.0 es la resiliencia, la cual se define como la capacidad de adaptarse

a situaciones adversas y cambiantes, anticiparse, responder y adaptarse (Breque et al., 2021). En la Figura 1 se presentan de manera visual todos los elementos, junto con sus respectivas dimensiones y categorías detalladas (Flores-Sigüenza et al., 2022).

Figura 1

Elementos de la Industria 5.0, dimensión y categoría

Elemento	Dimensión	Categoría
Sostenibilidad	Economía	Rentabilidad. Liquidez. Gestión. Rentabilidad. Solvencia. Diversidad empresarial.
	Social	Relación laboral. Salarios justos. Salud y seguridad en el trabajo. Libertad de asociación y negociación colectiva.
	Medio ambiente	Gestión medioambiental. Energía. Agua. Materiales. Residuos. Emisiones. Efluentes. Ruido ambiental.
Empoderamiento Humano		Formación específica. Ergonomía física. Ergonomía cognitiva. Gestión.
Productos y servicios inteligentes		Activos y recursos. Competitividad dinámica. Aprendizaje y cultura. Infraestructura.

Nota. La tabla representa los elementos asociados a cada dimensión y su categoría. Tomando de *Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, por Breque et al., 2021.

2.2. Cadena de suministro agroalimentaria ecuatoriana

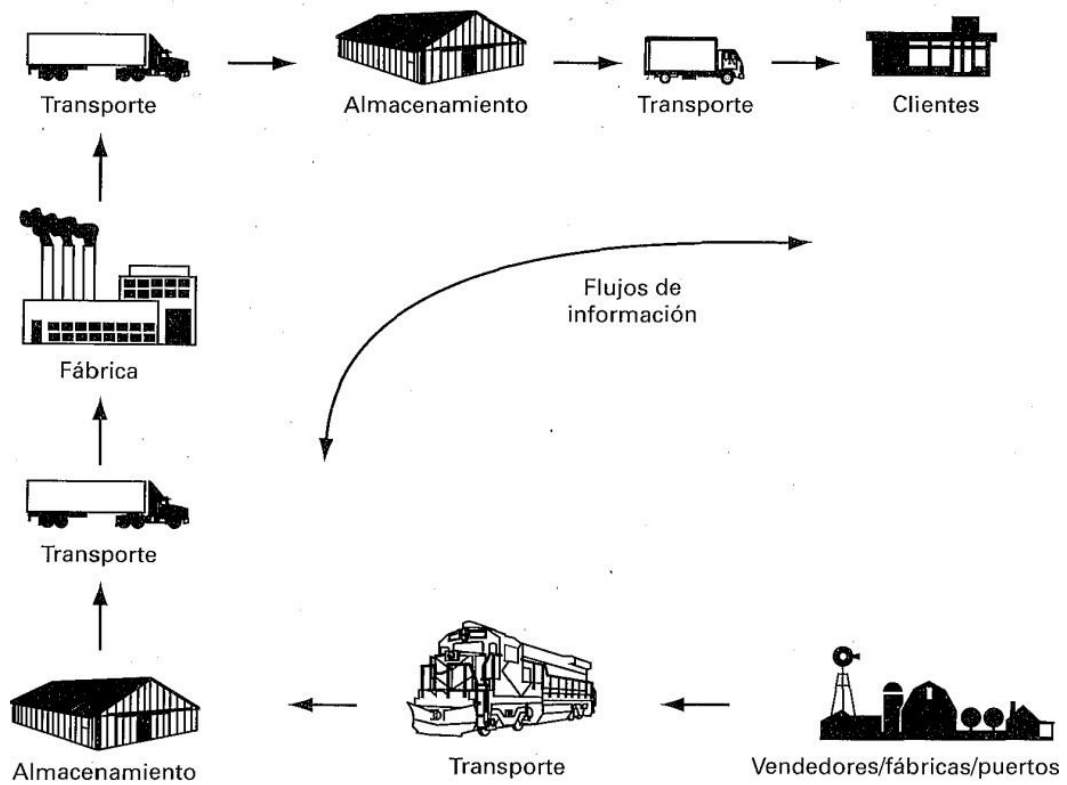
2.2.1. Cadena de suministro

En la actualidad, el concepto de cadena de suministro ha evolucionado hasta convertirse en un elemento considerado clave para el éxito empresarial, ya que su correcta gestión permite a las organizaciones mejorar la calidad de sus productos y servicios, optimizar los costos de producción y distribución, y establecer relaciones más sólidas y duraderas tanto con sus clientes como con sus proveedores ([Carvajal, 2021](#)). En un mundo cada vez más globalizado y competitivo, contar con una cadena de suministro eficiente y eficaz se ha convertido en un requisito indispensable, debido a que la naturaleza es compleja y dinámica de la cadena de suministro ([Wieland, 2021](#)).

El concepto de cadena de suministro, tal y como lo define Ballou (2004), hace referencia a un proceso continuo y complejo que involucra múltiples actividades funcionales, a lo largo del canal de flujo del producto. Esta definición destaca que la cadena de suministro no se limita únicamente al transporte y almacenamiento de materiales, sino que abarca todas las etapas necesarias para convertir la materia prima en productos terminados que agreguen valor al consumidor ([Ballou, 2004; Chavez & Torres-Rabello, 2012](#)). Además, es importante indicar que cada una de estas actividades funcionales es crucial para la correcta gestión de la cadena de suministro, ya que cualquier fallo o retraso en una de ellas puede tener consecuencias graves para el resto del proceso. Por tanto, la gestión eficiente de la cadena de suministro se convierte en una tarea fundamental para cualquier empresa que busque ser competitiva en un entorno cada vez más globalizado y exigente. En la Figura 2, se puede observar el flujo de información de la cadena de suministro inmediata para una empresa individual.

Figura 2

Cadena de suministros inmediata para una empresa individual



Nota. Adaptado de "Logística: administración de la cadena de suministro", por R. Ballou (2004).

2.2.2. Cadena de suministro agroalimentaria (CSA)

Para [\(Granillo-Macías et al., 2017\)](#), una CSA es un conjunto de actividades que abarcan desde la producción en la granja hasta la entrega al consumidor final. Esta cadena se compone de diferentes partes involucradas, como proveedores, granjeros, distribuidores, fabricantes y minoristas, que desempeñan diferentes acciones como manejo, procesamiento, distribución, transporte y almacenamiento, para transformar y llevar los productos alimentarios al mercado. Cada parte de la CSA desempeña un papel fundamental en la producción y distribución de alimentos de calidad. La eficiencia y efectividad de esta cadena dependen en gran medida de la interacción entre sus componentes. Es esencial destacar que la CSA presenta particularidades significativas en comparación con cadenas de suministro en otros sectores. En la CSA, la gestión y el transporte adecuado de los productos son imperativos para cumplir con las normas y regulaciones rigurosas que garantizan tanto la seguridad alimentaria como la protección de los consumidores.

Es clave destacar las características en las que se diferencian una CSA de una CS. La CSA se caracteriza por su enfoque específico en la producción, procesamiento, distribución y consumo de productos alimentarios. En contraste, la CS abarca la circulación de información, productos, materiales y fondos a través de diversas etapas para la creación y venta de una amplia variedad de productos o servicios. La complejidad y variabilidad constituyen otra diferencia sustancial. Las CSA se enfrentan a desafíos adicionales debido a la perecibilidad, estacionalidad y requisitos específicos de manipulación de productos alimentarios. En contraste, las CS generales pueden presentar complejidades que difieren según la naturaleza de los productos o servicios [\(Frederico, 2019; Tarver, 2023\)](#).

Otro aspecto relevante es la regulación. Mientras que las CSA están sujetas a normativas específicas relacionadas con la seguridad alimentaria, calidad, etiquetado y trazabilidad, las CS generales pueden tener regulaciones propias según la industria, pero no necesariamente con el mismo nivel de especificidad para productos alimentarios. Finalmente, los desafíos logísticos y de transporte diferenciados contribuyen a la singularidad de las CSA. Mientras que las CS generales también enfrentan sus propios desafíos logísticos y de transporte, es posible que no requieran el mismo nivel de atención a la calidad y seguridad de productos [\(Djekic et al., 2021; Tarver, 2023; Wallace & Manning, 2020\)](#).

2.2.3. Gestión de la cadena de suministro agroalimentaria

La gestión eficiente de la CSA es crucial para alcanzar la competitividad en la industria agroalimentaria. Dado que este proceso involucra la coordinación de múltiples actividades y agentes en diferentes etapas (Figura 3), su complejidad requiere de soluciones tecnológicas que permitan una mejor visibilidad y trazabilidad de los productos, una gestión de inventarios eficiente y un seguimiento en tiempo real de la calidad y seguridad de los productos. Por lo tanto, la implementación de estas soluciones tecnológicas resulta fundamental para la optimización de los procesos en la CSA y para garantizar la satisfacción de los clientes.

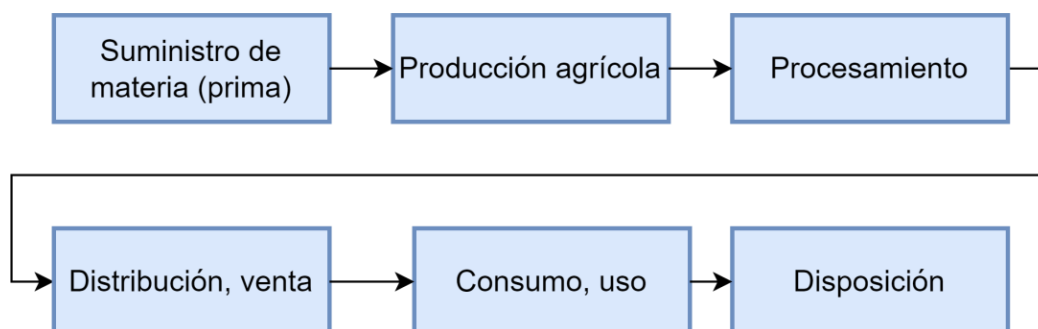
Para [\(Chavez & Torres-Rabello, 2012\)](#), la gestión de la CSA es un proceso amplio y complejo que implica la coordinación de todos los esfuerzos necesarios para producir y entregar un producto final a los clientes. Desde el proveedor hasta el cliente final, se deben realizar una serie de actividades y procesos para garantizar que el producto llegue a su destino final de manera eficiente y efectiva. Según Bowersox (1997), la gestión de la CSA se configura como una estrategia colaborativa que busca vincular las operaciones comerciales de diversas empresas con el objetivo de forjar una visión compartida de las oportunidades de negocio dentro del sector agroalimentario. Este autor sostiene que, al pertenecer a un entorno empresarial, cada compañía se halla inmersa en relaciones de cadena con otras, otorgando a la CSA un papel central en la estrategia empresarial. Lo que distingue el concepto de Bowersox según Chavez y Torres-Rabello es la naturaleza deliberada, intencional y planificada con la que se establecen estas relaciones. Es decir, las empresas no solo participan en estas interacciones de cadena, sino que las diseñan y gestionan estratégicamente para maximizar sus beneficios dentro del contexto específico de la CSA. Por su parte, Wieland (2021) subraya que la gestión de la cadena de suministro implica la supervisión de procesos que abarcan la producción y distribución de bienes y servicios en el ámbito agroalimentario. Además, implica coordinar y optimizar el flujo de materiales, información y finanzas desde los proveedores hasta los clientes en el contexto específico de la CSA. No obstante, señala que las teorías tradicionales sobre este tema tienden a adoptar una visión más reduccionista y estática de la cadena de suministro, obviando su entorno contextual más amplio y los fenómenos político-económicos y planetarios entrelazados que caracterizan a la CSA.

Para [Badole et al. \(2012\)](#) la logística es un elemento fundamental en la gestión de la CSA, que abarca desde la atención al cliente hasta la distribución de los productos. Los procesos logísticos más relevantes para la gestión de la CSA incluyen el transporte, el almacenamiento

de alimentos, el control de inventarios, la gestión de órdenes, la distribución, el manejo de materiales y los pronósticos de la demanda. La logística permite la coordinación y colaboración entre los diferentes actores involucrados en la CSA, asegurando la entrega oportuna y segura de alimentos de alta calidad al consumidor final. Además, la optimización de la eficiencia y el costo también son aspectos importantes en la gestión de la CSA a través de la logística. El diseño y operación de los procesos logísticos en una CSA han sido abordados a través de la aplicación de diversas técnicas y herramientas, enfocadas principalmente en la reducción de costos y tiempos en las operaciones de transporte y distribución ([Granillo-Macías et al., 2017](#)). La logística en la CSA implica una serie de actividades que van desde la producción hasta la entrega del producto final al consumidor. Para lograr una gestión eficiente de la CSA, se requiere una planificación estratégica y operativa adecuada, así como la aplicación de técnicas y herramientas que permitan optimizar los procesos logísticos.

Figura 3

Cadena de suministros para una empresa individual



Nota. Adaptado de “*Logística: administración de la cadena de suministro*”, por R. Balloue (2004).

En base a estos conceptos, la gestión de la cadena de suministro permite establecer relaciones colaborativas con otras empresas, potenciando los beneficios mediante la integración y la gestión estratégica de la CSA. Este enfoque capacita a las empresas involucradas para competir en el mercado y alcanzar ventajas competitivas.

2.2.4. Trazabilidad

Según Dionicio (2017), la trazabilidad de productos, como concepto, surgió en 1996 como respuesta a las demandas de consumidores preocupados por la seguridad alimentaria, especialmente tras la crisis de las Vacas Locas en Europa. Este interés se intensificó con el aumento de riesgos alimentarios, como la fiebre aftosa y la contaminación microbiana. La trazabilidad se convirtió en un elemento esencial para la confianza del consumidor, respaldado por leyes que hacen obligatoria su implementación.

En el ámbito agrícola, la trazabilidad se aplica a productos como frutas y verduras debido a normas de seguridad alimentaria y regulaciones de exportación. Se registra la historia completa del producto, desde la semilla hasta la entrega al cliente final, lo que incluye procesos como siembra, cosecha, transporte y almacenamiento. Este enfoque proporciona beneficios significativos a la industria alimentaria, permitiendo la gestión de la calidad y la consideración del impacto ambiental (Dionicio, 2017; FAO, 2019).

Las definiciones de trazabilidad varían, pero se destacan algunas. Según Clarke (2007) y la ISO (2001), se centra en la información necesaria para describir la historia de producción y en el cumplimiento de estándares. El Parlamento Europeo, en respuesta a la crisis de las Vacas Locas, define la trazabilidad como la capacidad de encontrar y seguir el rastro de un alimento a través de todas las etapas de producción. Opara (2003), la considera como la recolección y documentación de información en toda la cadena de suministro, brindando garantía a los consumidores y partes interesadas.

La trazabilidad es esencial para la seguridad alimentaria y la transparencia en la cadena de suministro. Estados Unidos y la Unión Europea han establecido leyes que hacen obligatoria la implementación de sistemas de trazabilidad, destacando la importancia de disponer de información detallada sobre la ubicación, origen y la historia de los productos en caso de problemas de seguridad o falta de calidad (Dionicio, 2017).

La trazabilidad de productos, desde su concepción como respuesta a las demandas de consumidores hasta su consagración como requisito legal en diversos contextos, se revela como un instrumento indispensable para garantizar la seguridad alimentaria y la integridad en la CSA. La aplicación de este proceso en el ámbito agrícola, con un enfoque detallado que abarca desde la producción hasta la entrega al consumidor final, no solo cumple con normativas de seguridad alimentaria y regulaciones de exportación, sino que también ofrece beneficios sustanciales a la industria, permitiendo una gestión de calidad eficiente y

considerando el impacto ambiental. Las diversas definiciones resaltan la importancia de la información detallada para describir la historia de producción, cumplir con estándares y brindar garantía a consumidores y partes interesadas. En este contexto, la trazabilidad se presenta como un componente esencial para la confianza del consumidor y la transparencia en la CSA, contribuyendo a la seguridad y calidad de los alimentos que llegan a nuestras mesas.

2.2.5. Rendición de cuentas

La rendición de cuentas se propone como un componente integral de la gestión de calidad, basado en los principios delineados por García García y Ruiz Cedeño (2021). Este proceso se convierte en un pilar esencial que sustenta la transparencia y la responsabilidad en la administración de recursos, así como en la toma de decisiones dentro de las instituciones públicas involucradas en la CSA de los Andes ecuatorianos.

La rendición de cuentas implica que las entidades e instituciones asociadas informen y justifiquen sus acciones de manera clara y accesible. Este enfoque garantiza el cumplimiento riguroso de los principios éticos y legales que gobiernan la gestión de la CSA. Al hacerlo, se establece una base sólida para fortalecer la confianza del público en el sistema, ya que se proporciona evidencia transparente y verificable de las operaciones y decisiones tomadas ([Clare Kohler & Bowra, 2020](#)).

Además de cumplir con exigencias éticas y legales, la rendición de cuentas va más allá al fomentar la participación ciudadana. Este aspecto es de vital importancia para nutrir la democracia y promover la eficiencia en la gestión pública. Al permitir que los ciudadanos tengan acceso a información relevante sobre la CSA, se empodera a la comunidad, se fomenta la responsabilidad colectiva y se posibilita una toma de decisiones más informada ([Jubayer, 2024](#)).

La rendición de cuentas no solo se trata de un proceso de cumplimiento normativo, sino que se posiciona como un elemento fundamental para fortalecer la confianza pública, fomentar la participación ciudadana y mejorar la eficiencia en la gestión de la CSA de los Andes ecuatorianos.

2.3. Estado del arte de sistemas/herramientas tecnológicas y arquitecturas para la gestión de la Cadena de Suministro

2.3.1. Metodología de revisión de literatura

En este apartado, se describe una revisión sistemática de la literatura llevada a cabo en base a la metodología de Fink ([2019](#)), con el propósito de alcanzar el primer objetivo establecido: la construcción de un marco de referencia integral. Se enfoca en la búsqueda exhaustiva, selección y análisis crítico de la literatura relevante para el tema de investigación en cuestión. El propósito principal de esta revisión sistemática es identificar, sintetizar y evaluar toda la evidencia disponible que se relaciona directamente con el problema de investigación, proporcionando así una base sólida y comprehensiva para el estudio. Los resultados obtenidos de esta revisión estarán presentes en las subsecciones siguientes, en donde se profundizará en cada uno de los temas abordados, a fin de proporcionar un análisis completo y detallado del marco teórico que sustenta el presente trabajo. La Metodología de Fink se compone de ocho pasos que garantizan el rigor y la calidad de los resultados, lo que fortalece aún más la validez y confiabilidad de la investigación. Estos pasos son:

1. Selección de preguntas de investigación: Definir las preguntas clave que guiarán la revisión sistemática de la literatura.
2. Elección de las fuentes de bases de datos bibliográficas: Identificar y seleccionar las bases de datos relevantes que proporcionarán las fuentes primarias y secundarias para la investigación.
3. Selección de términos de búsqueda: Determinar las palabras clave y términos de búsqueda que se utilizarán para recuperar la literatura relevante de las bases de datos seleccionadas.
4. Aplicación de criterios prácticos de selección: Establecer criterios prácticos para incluir o excluir fuentes, basándose en factores como la relevancia, la fecha de publicación, y la accesibilidad.
5. Aplicación de criterios metodológicos: Aplicar criterios metodológicos rigurosos para evaluar la calidad y la pertinencia de los estudios seleccionados.

6. Revisión de la bibliografía recopilada: Examinar y analizar de manera crítica la literatura recopilada para identificar patrones, temas, y lagunas en la investigación existente.
7. Síntesis del proceso: Integrar y sintetizar los hallazgos de la literatura revisada para construir una comprensión coherente del campo de estudio.
8. Reseña descriptiva: Elaborar una descripción detallada de los estudios incluidos, resumiendo sus hallazgos, metodologías, y contribuciones clave.

La implementación meticulosa de estos pasos asegura un enfoque sistemático y estructurado en la revisión de la literatura, lo que subyace a la solidez metodológica de la investigación.

1. Selección de preguntas de investigación:

- 1.1. ¿Qué herramientas tecnológicas de software existen para la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria y cuál es su finalidad?
- 1.2. ¿Cuáles han sido las arquitecturas de software enfocadas a la cadena de suministro agroalimentaria o similares?

La justificación detrás de la primera interrogante radica en la necesidad de obtener un panorama claro de las soluciones existentes en el mercado o la industria. Este conocimiento es fundamental antes de embarcarse en el desarrollo de una nueva arquitectura de software. El objetivo concreto de esta pregunta es recopilar información detallada sobre estas herramientas, destacando sus características clave y funciones específicas.

En cuanto a la segunda pregunta de investigación, su enfoque está dirigido a explorar las arquitecturas de software previamente implementadas en el ámbito de la CSA o en contextos similares. La justificación de esta indagación reside en la búsqueda de percepciones valiosas sobre enfoques exitosos, desafíos superados y lecciones aprendidas por otros en proyectos relacionados. Este conocimiento resulta esencial para evitar la duplicación de esfuerzos y para capitalizar las mejores prácticas existentes. El objetivo específico de esta pregunta es identificar y analizar arquitecturas de software previas, examinando su estructura, las tecnologías empleadas y cómo abordaron los desafíos particulares de este dominio específico.

2. Elección de las fuentes de bases de datos bibliográficas:

Las bases de datos Scopus, Scielo y Latindex Catálogo fueron seleccionadas por su relevancia y cobertura. Scopus es reconocida por su amplia base de publicaciones científicas de calidad, proporcionando acceso a investigaciones actuales y multidisciplinarias. Scielo aporta un enfoque regional, con literatura científica de América Latina, Portugal y España, crucial para entender contextos regionales. Latindex Catálogo, especializado en literatura académica latinoamericana, complementa las perspectivas de las otras bases, asegurando una visión completa y diversa del tema de estudio.

3. Selección de términos de búsqueda:

En el proceso de identificación y formulación de los términos de búsqueda, el enfoque se basó en seleccionar expresiones clave que abarquen de manera integral el ámbito de estudio de la gestión de la CSA, la tecnología aplicada a este sector y la arquitectura de software específica para el ámbito agroalimentario.

Los términos vinculados con la CSA engloban diversas formas de referirse a la gestión en el sector agroalimentario. Estos incluyen expresiones tanto específicas como genéricas, garantizando así una búsqueda integral que comprendan las diferentes facetas de la gestión en este contexto. Por otro lado, los términos relacionados con la tecnología exploran distintas dimensiones de la tecnología aplicada a la gestión de la CSA, abordando desde conceptos generales como "tecnología" hasta aspectos más específicos como "tecnología emergente" y "automatización". Esta variedad refleja la diversidad de avances tecnológicos en el sector agroalimentario.

Además, los términos vinculados al estado del arte tienen como objetivo identificar investigaciones y desarrollos más recientes en el ámbito de la gestión de la CSA. Este enfoque se centra en obtener información actualizada y relevante, permitiendo así mantenerse al tanto de las últimas tendencias y avances en este campo dinámico.

Finalmente, los términos adicionales utilizados en la segunda búsqueda, tales como "agroalimentario" y "arquitectura de software", complementan la exploración al enfocarse específicamente en la gestión de la CSA y la arquitectura de software en el contexto agroalimentario. Estos términos adicionales amplían la perspectiva de la investigación, asegurando una cobertura más completa de los aspectos relevantes para el desarrollo de la arquitectura de software en este ámbito específico.

Los términos de búsqueda se detallan en la Tabla 1. Estas palabras y frases permitieron obtener artículos y trabajos adecuados.

Tabla 1

Términos de búsqueda

#	Términos de búsqueda en Inglés	Términos de búsqueda en Español
1	("agri-food supply chain" OR "agricultural supply chain" OR "food supply chain" OR "agriculture supply chain" OR "food supply chain management" OR "agricultur e supply chain management") AND ("technology" OR "technological innovation" OR "information technology " OR "digital technology" OR "emerging technology" OR "advanced technology" OR "smart technology" OR "intelligent technology" OR "automation" OR "robotics")AND ("state of the art" OR "current state" OR "current status" OR "latest developments" OR "current trends" OR "recent advances"))	("cadena de suministro agroalimentario" OR "cadena de suministro agrícola" OR "cadena alimentaria" OR "cadena de suministro agrícola" OR "gestión de la cadena de suministr o agrícola" OR "gestión de la cadena de suministro alimentaria") AND ("tecnología" OR "innovación tecnológica" OR "tecnología de la información" OR "tecnología digital" OR "tecnología emergente" OR "tecnología avanzada" OR "tecnología inteligente" OR "automatización" OR "robótica") AND ("estado del arte" OR "estado actual" OR "situación actual" OR "últimos avances" OR "tendencias actuales" OR "avances recientes"))
2	("supply chain" OR "supply chain management") AND ("software architecture") AND ("Agri-food")	("cadena de suministro" OR "gestión de la cadena de suministro") AND ("arquitectura de software") AND ("Agroalimentario")

4. Aplicación de criterios prácticos de selección:

Las búsquedas de las diferentes bases de datos fueron filtradas aplicando los siguientes criterios detallados en la Tabla 2.

Tabla 2

Criterios prácticos de selección

Criterio	Detalle
Idioma	Español e inglés
Marco temporal	2017 - 2023
Bases de datos bibliográficas	Scopus; Scielo; Latindex Catálogo
Tipo de Documento	Artículos revista y/o Artículos de conferencia

La elección de criterios específicos para la estrategia de búsqueda se ha guiado por consideraciones clave para asegurar la relevancia y calidad de la información recopilada. En cuanto al idioma, se incluye tanto el español como inglés. La inclusión del inglés se

fundamenta en su condición de idioma universal, permitiendo acceder a una amplia gama de fuentes y asegurando la disponibilidad de investigaciones a nivel global. Por otro lado, la incorporación del español se justifica por ser el idioma predominante en el contexto geográfico y temático de la investigación, centrada en la región de Latinoamérica. Esta decisión busca garantizar que la información obtenida esté adaptada a las características específicas de este entorno, promoviendo una comprensión más profunda y aplicada de los conceptos abordados.

En cuanto al marco temporal, se delimitó la búsqueda a los años 2017 a 2023. Esta decisión se basa en la necesidad de acceder a información actualizada y relevante, reflejando los avances y tendencias más recientes en la gestión de la CSA. Limitar el marco temporal a estos años asegura que la información recopilada esté alineada con las dinámicas actuales del campo, proporcionando una visión más precisa y actualizada de la temática investigada.

En cuanto a la selección de las bases de datos bibliográficas, se encuentra una explicación más detallada en el segundo punto de esta sección, bajo el título "Elección de las fuentes de bases de datos bibliográficas".

5. Aplicación de criterios metodológicos

Además de los criterios previamente mencionados, se considerarán la validez del diseño de investigación, la confiabilidad de las fuentes de datos y la significancia de los resultados obtenidos en los estudios. Estos criterios son esenciales para garantizar que los estudios seleccionados sean de alta calidad y proporcionen información fiable y relevante para el tema de investigación en cuestión.

6. Revisión de la bibliografía recopilada

La muestra bibliográfica se analizó utilizando hojas de cálculo de Google Sheets. Esta elección se basó en la familiaridad con la herramienta y su capacidad para organizar y procesar datos de manera efectiva. En la hoja de cálculo, se registraron los detalles clave de cada artículo, como el año de publicación, el país de origen y otros aspectos relevantes. La revisión se centró en identificar tendencias, patrones y datos relevantes en arquitecturas de software. Este análisis exhaustivo permitió comprender mejor las prácticas actuales y las posibles áreas de innovación.

7. Síntesis del proceso

En la etapa inicial del proceso (Selección de preguntas de investigación) hasta la tercera etapa (Selección de términos de búsqueda), se llevó a cabo la identificación y selección de

un conjunto primario de 79 documentos relevantes para la primera pregunta de investigación, así como 116 para la segunda. Cada artículo seleccionado fue sometido a un análisis para discernir los elementos clave relacionados con las respectivas preguntas de investigación.

Posteriormente, tras aplicar criterios de exclusión (Aplicación de criterios prácticos de selección), tales como la eliminación de duplicados y observaciones académicas, se excluyeron un total de 7 artículos en relación con la primera pregunta, mientras que en la segunda no se llevó a cabo ninguna exclusión.

La siguiente fase del proceso (Aplicación de criterios metodológicos) consistió en revisar los títulos de los artículos seleccionados, focalizándose en su relación con las preguntas de investigación. Este filtrado resultó en 49 artículos pertinentes para la primera pregunta y 21 para la segunda.

Por otro lado, para asegurar la alineación total con las preguntas de investigación, se procedió a la lectura de los resúmenes y conclusiones de cada artículo, culminando en la obtención de 29 artículos para la primera pregunta y 13 para la segunda.

Por último, se llevó a cabo la lectura completa de cada artículo previamente seleccionado, lo que permitió un análisis más profundo y detallado. Como resultado, se consolidaron un total de 14 artículos para la primera pregunta de investigación y 11 para la segunda.

La Figura 4 resume el proceso que se llevó a cabo para las preguntas de investigación. Además, en la Tabla 3 se detalla la cantidad de artículos en cada filtro aplicado correspondiente a cada número que se presenta en la Figura 4.

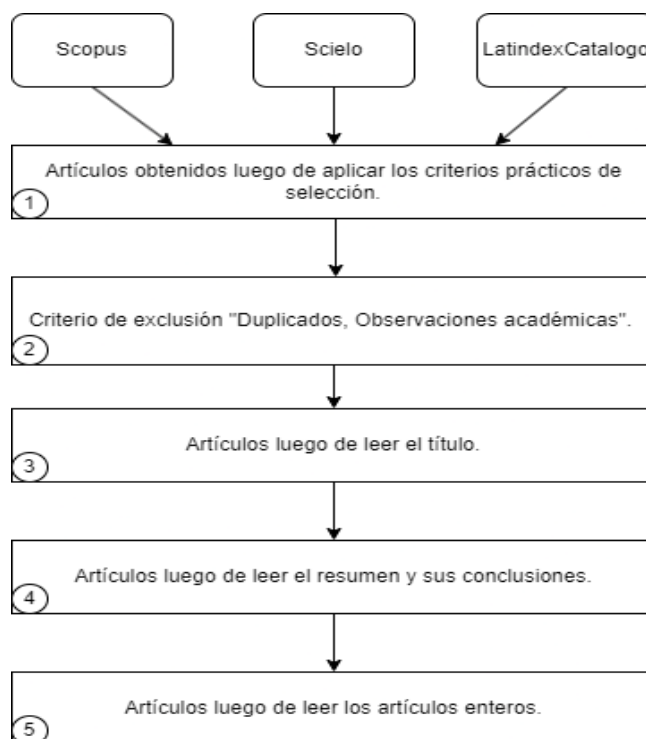
Tabla 3

Cantidad de artículos en relación a cada filtro aplicado para las preguntas de investigación

Filtro	Número de artículos	
	Pregunta #1	Pregunta #2
1 - Criterios prácticos de selección.	86	116
2 - Criterio de exclusión "Duplicados, Observaciones académicas".	79	116
3 - Lectura de título	49	31
4 - Lectura de resumen y conclusiones	29	13
5 - Lectura completa del artículo	14	11

Figura 4

Diagrama de flujo de la metodología aplicada a las preguntas de investigación de la Tabla 3.



8. Reseña descriptiva

El proceso de la revisión sistemática, enfocado en las preguntas de investigación seleccionadas, se ha desarrollado de manera estructurada y meticulosa, siguiendo los pasos de la metodología de Fink (2019). El objetivo principal era obtener una comprensión exhaustiva de las herramientas tecnológicas de software y las arquitecturas relacionadas con la gestión de la CSA.

La elección de las preguntas demuestra una orientación estratégica hacia la obtención de información esencial antes de abordar el desarrollo de nuevas soluciones. La primera pregunta se centra en las herramientas tecnológicas existentes, proporcionando una base sólida para la innovación. La segunda busca experiencias previas para aprender y evitar redundancias.

La selección de Scopus, Scielo y Latindex Catálogo demuestra una estrategia integral para abordar la diversidad de perspectivas y asegurar una visión completa y actualizada de la literatura científica en el campo.

La elección de términos refleja una comprensión profunda del ámbito de estudio, abarcando desde la gestión de la CSA hasta la tecnología aplicada y la arquitectura de software específica. La variedad de términos asegura una búsqueda contextualizada.

Por otro lado, la inclusión de inglés y español demuestra un enfoque equilibrado para adaptarse tanto a un contexto global como regional. La delimitación temporal de los años 2017 a 2023 refleja la necesidad de información actualizada y relevante. La elección de Google Sheets como herramienta para la revisión evidencia una eficiente organización de los detalles clave de cada artículo. El enfoque en identificar tendencias y patrones relacionados con la sostenibilidad destaca la atención a aspectos clave en la intersección de arquitecturas de software y la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria.

El análisis de las etapas anteriores revela un proceso riguroso que ha resultado en la identificación y selección de un conjunto de artículos relevantes y significativos para cada pregunta de investigación. La aplicación de criterios de exclusión, el filtrado por títulos, la lectura de resúmenes y conclusiones, y finalmente, la lectura completa, han permitido consolidar un conjunto final de 14 artículos para la primera pregunta y 11 para la segunda. La diversidad de perspectivas obtenidas hasta este punto ofrece una visión completa y enriquecedora del panorama en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria y la arquitectura de software asociada.

2.3.2. Pregunta de Investigación 1: Herramientas tecnológicas para la gestión de la CSA

Las herramientas de software enfocadas en la gestión de la CSA han tenido un gran impacto al permitir soluciones más avanzadas y adaptadas a las necesidades del sector. Como se mencionó en la sección anterior (2.2.3), la aplicación de las herramientas adecuadas permite una mejor planificación estratégica y operativa, lo que conduce a una gestión más eficiente de la CSA.

Se ha observado que solo dos de los 14 artículos analizados han presentado alguna implementación de una herramienta de software. Uno de ellos es el de Arena et al. (2019), quienes desarrollaron una aplicación basada en blockchain denominada BRUSCHETTA para la trazabilidad y certificación del aceite de oliva virgen extra. Este sistema permite garantizar la certificación del producto a través del seguimiento de toda la cadena de suministro, proporcionando al cliente final un historial del producto a prueba de manipulaciones y utilizando tecnologías IoT para controlar la calidad del aceite de oliva virgen extra (AOVE). Por su parte, Balamurugan et al. (2022) proponen el uso de tecnología blockchain e IoT para resolver problemas de seguridad, calidad y trazabilidad de productos alimentarios. Entre los beneficios de su implementación, destacan el intercambio y almacenamiento de datos en cualquier etapa de la cadena de suministro mediante un libro mayor de proveedores que garantiza la disponibilidad, trazabilidad y seguridad de los datos. Asimismo, ayuda a mejorar las normas de seguridad alimentaria entre las partes interesadas y a identificar alimentos inseguros para bloquear su acceso a la red.

Por otro lado, seis de los 14 artículos ([Caballero & Rivera, 2019](#); [Flores et al., 2021](#); [Krupitzer & Stein, 2021](#); [Liu et al., 2021](#); [Udalov et al., 2023](#); [Wünsche & Fernqvist, 2022](#)) coinciden en destacar el potencial de las tecnologías emergentes para mejorar la cadena de suministro agrícola. En particular, destacan el potencial de herramientas tecnológicas como la blockchain, la informática alimentaria, la IoT, la IA/ML y la Agricultura 4.0 que se refiere a la aplicación de distintas tecnologías, en distintas etapas del ciclo de producción agrícola para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad de la industria agrícola.

Los diferentes artículos resaltan la importancia de colaborar interdisciplinariamente entre los campos de la agricultura y la tecnología, lo que incurre en innovaciones más efectivas y prácticas para el sector agrícola. También, se identifican distintos retos y desventajas asociados con la implementación de estas tecnologías, como los costos y la falta de

incentivos para adoptarlas en todas las fases de la CS. Al mismo tiempo, sugieren que el adoptar estas tecnologías puede resultar beneficios adicionales más allá de aspectos como la trazabilidad y la eficiencia. Por ejemplo, se pueden reducir los residuos al mejorar las condiciones laborales en todas las fases de la producción de alimentos y promover hábitos de consumo más sostenibles entre los propios consumidores (Caballero & Rivera, 2019; Flores et al., 2021; Liu et al., 2021; Udalov et al., 2023; Wünsche & Fernqvist, 2022).

Los seis artículos restantes no se enfocan en resaltar el potencial de las tecnologías emergentes ni en destacar alguna implementación específica de herramientas de software. En cambio, estos estudios buscan mejorar la seguridad, eficiencia y transparencia en la CSA, identificando las limitaciones y oportunidades de diferentes enfoques tecnológicos y no tecnológicos. No ofrecen ningún producto o solución concreta, sino que su objetivo principal es el avance en los campos mencionados dentro del contexto de la CSA (Rejeb et al., 2021; Wallace & Manning, 2020; Tanwar et al., 2022; Tribis et al., 2021; Khan et al., 2020; [Seböket al., 2022](#)).

En el caso de la Realidad Aumentada (RA), se han identificado cinco áreas principales que podrían proporcionar un valor empresarial significativo. Estas áreas abarcan desde la optimización de la eficiencia de los procesos y la mejora de toma de decisiones a través de la visualización de datos, hasta la innovación en marketing mediante experiencias interactivas. Además, se destaca la facilitación de la formación virtual y, por último, el fortalecimiento de la seguridad alimentaria mediante monitoreo en tiempo real ([Rejeb et al., 2021](#)).

En otros estudios se toma como punto la tecnología blockchain, que ofrece la posibilidad de demostrar la procedencia de los alimentos y garantizar la transparencia a lo largo de la CSA. A través de la utilización de esta tecnología y los sistemas de información geográfica (SIG), se pueden ilustrar las oportunidades potenciales y las limitaciones de este enfoque, al tiempo que se consideran los aspectos de confianza del consumidor y los sistemas de gestión necesarios para implementar la transparencia en la CSA ([Wallace & Manning, 2020](#)). De la misma manera, se ha investigado el uso de blockchain en la cadena de suministro, con la identificación de temas de investigación, metodologías y soluciones existentes para eliminar los desafíos actuales. Además, se ha planteado la implementación de una estructura segura y descentralizada, fundamentada en esta tecnología, con el objetivo de abordar las preocupaciones sobre privacidad en el ámbito de la industria alimentaria (Tanwar et al., 2022; Tribis et al., 2021).

Otros de los enfoques investigados es el uso de algoritmos de redes neuronales recurrentes (RNN) para predecir la oferta y la demanda de alimentos utilizando IoT, blockchain y técnicas avanzadas de aprendizaje profundo. Este modelo híbrido podría ayudar a lograr la transparencia y la trazabilidad en la gestión de la cadena de suministro de la industria alimentaria ([Khan et al., 2020](#)).

En base a los artículos revisados, se observó que solo dos de los 14 artículos analizados presentan implementaciones de herramientas de software concretas utilizando distintas tecnologías. Esta observación subraya una brecha en la literatura existente, donde hay una limitada representación de aplicaciones prácticas en el campo. Este hallazgo resalta la necesidad de más investigaciones enfocadas en el desarrollo y aplicación práctica de tecnologías en la arquitectura de software, especialmente aquellas que integren innovaciones y soluciones sostenibles. Además, algunos de los desafíos y desventajas que se identificaron incluyen los altos costos y la falta de incentivos para adoptar las tecnologías en todas las fases de la CSA. Sin embargo, los beneficios potenciales van desde la reducción de residuos hasta la mejora de las condiciones laborales y la promoción de hábitos de consumo sostenibles entre consumidores.

En general, se reconoce la existencia de diversas herramientas y tecnologías que, si se implementan adecuadamente, podrían revolucionar la gestión de la CSA ([Arena et al., 2019](#)). Aunque la literatura actual resalta diversas iniciativas y puntos de oportunidad, es esencial notar que muchas de estas no se materializan en implementaciones concretas, sino que se quedan en el nivel de potencial o propuesta (Caballero & Rivera, 2019; Flores et al., 2021; Krupitzer & Stein, 2021; Liu et al., 2021; Udalov et al., 2023; Wünsche & Fernqvist, 2022; Rejeb et al., 2021; Wallace & Manning, 2020; Tanwar et al., 2022; Tribis et al., 2021; Khan et al., 2020; Sebök et al., 2022). Específicamente, hay una brecha notable cuando se trata de alinear estas tecnologías emergentes con los principios y demandas de la Industria 5.0, un paradigma que pone especial énfasis en la sostenibilidad, la centralidad humana y la resiliencia, al mismo tiempo que promueve la integración de tecnologías avanzadas.

Además, en nuestro contexto específico, el analfabetismo digital y las limitaciones en el acceso a las comunicaciones presentan desafíos adicionales. Estos factores pueden impedir la adopción y el aprovechamiento efectivo de las soluciones tecnológicas avanzadas, lo que subraya la necesidad de abordar no solo la disponibilidad de tecnología sino también la capacidad y las infraestructuras para utilizar estas herramientas eficazmente.

Por lo tanto, al considerar la trazabilidad, que implica establecer sistemas de seguimiento y registro de productos a lo largo de la CSA, y la rendición de cuentas, que requeriría módulos de auditoría para revisar transacciones a lo largo de la cadena, es crucial integrar en el análisis la alfabetización digital y el acceso a las comunicaciones. Esto no sólo es relevante para cumplir con regulaciones y estándares específicos en la industria agroalimentaria sino también para asegurar que la implementación de tecnologías sea efectiva, inclusiva y alineada con los principios de la Industria 5.0.

2.3.3. Pregunta de Investigación 2: Arquitecturas de software para la Gestión de la CSA

En esta sección, se explican los resultados sobre las arquitecturas de software propuestas ya sea conceptualizadas o implementadas, y cómo éstas se adaptan a las necesidades específicas de esta industria. Esta información se encuentra resumida en la Tabla 4, siendo I: Implementación, C: Conceptual, BC: Blockchain, CC: Cloud Computing, T: Trazabilidad e ID: Integridad de los Datos.

Tabla 4

Arquitecturas de Software para la CSA

Artículo	Tecnología				Aspectos			Enfoque			Tipo	Total
	BC	IoT	Big Data	CC	T	ID	Seguridad datos	Sostenibilidad	Resiliencia	Humano Céntrico		
Kamble et al. (2020)	x				x			x			C	3
Zhao et al. (2019)	x				x	x		x			C	4
Helo and Hao (2019)	x	x			x			x			I	4
Al-Rakhami and Al-Mashari (2021)	x	x			x			x			I	4

Visconti et al. (2020)		x			x			x			I	3
Xu et al. (2017)	x						x		x		C	3
Rubio et al. (2018)	x		x		x			x			C	4
Bayano-Tejero et al. (2019)	x				x			x			I	3
Zhang et al. (2022)		x		x	x					x	I	4
Chaudhari et al. (2021)	x						x			x	C	3
Li et al. (2020)	x				x						C	2
Total	9	4	1	1	9	1	2	7	1	2		

Por una parte, los estudios de Kamble et al. (2020), Zhao et al. (2019) y Xu et al. (2017) proponen arquitecturas conceptuales que integran blockchain para mejorar la gestión de la CS en distintos ámbitos, incluyendo la industria agropecuaria en India y la sostenibilidad económica y la seguridad en la gestión de datos. La integración de esta tecnología permitiría una gestión más eficiente y efectiva de la cadena de suministro, asegurando la trazabilidad, integridad y transparencia de los datos. Sin embargo, algunas propuestas aún se encuentran en etapas de prototipo en desarrollo y sería necesario implementarlas y evaluar su efectividad en un ambiente de producción real.

Ciertos investigadores han propuesto diferentes arquitecturas de implementación basadas en la integración de blockchain e IoT para mejorar la gestión de la CS. En particular, Helo y Hao (2019) y Al-Rakhmi y Al-Mashari (2021) se centran en la sostenibilidad económica y la trazabilidad de la CS mediante la integración de estas tecnologías. Mientras tanto, Visconti et al. (2020) se enfocan en la sostenibilidad económica, ambiental y social, y en la identificación y seguimiento de los productos en tiempo real. Aunque estos enfoques presentan diferentes limitaciones, todos ellos apuntan a la importancia de la transparencia y la trazabilidad en la gestión de la cadena de suministro.

De igual manera, varios trabajos proponen arquitecturas conceptuales para la gestión y trazabilidad de la CS utilizando blockchain como tecnología clave. Rubio et al. (2018) se centran en la sostenibilidad económica y la integración de Big Data para la recopilación y el análisis de datos. Chaudhari et al. (2021) proponen una arquitectura centrada en la seguridad

y la detección de fraudes en la venta de alimentos, mientras que Li et al. (2020) se centran en la trazabilidad y la transparencia, y sugieren soluciones para superar los desafíos de la implementación de blockchain en la CS. Sin embargo, la propuesta de Li et al. (2020) es específica para la CSA en China, por lo que su aplicabilidad a otras industrias y contextos puede ser limitada.

De igual manera, Bayano-Tejero et al. (2019) proponen una arquitectura con implementación enfocada en la sostenibilidad económica y la trazabilidad en la CSA, proporcionando una descripción detallada de los componentes y requisitos necesarios para implementar blockchain. Por otro lado, Zhang et al. (2022) proponen una arquitectura de implementación centrada en el ser humano que utiliza IoT y Cloud Computing para mejorar la eficiencia y transparencia, considerando las necesidades de los agricultores y los consumidores, y buscando crear una cadena más sostenible y resiliente. En el futuro, los autores tienen previsto integrar análisis de Big Data para mejorar la gestión de granjas inteligentes.

Luego de aplicar la metodología de Fink (2019) para hacer una revisión de las arquitecturas de software enfocadas a la cadena de suministro agroalimentaria, se puede concluir que la mayoría de estas arquitecturas son conceptuales, con muy pocas implementaciones reales. Por ello, sería necesaria la aplicación de una investigación empírica para corroborar su utilidad. Además, se observa que la mayoría de estas arquitecturas están enfocadas en tecnologías emergentes como Blockchain y en menor medida IoT, y su enfoque principal es la trazabilidad y la sostenibilidad en línea con los principios de la Industria 5.0. Sin embargo, se encuentra que hay muy pocos enfoques hacia la resiliencia y la centralidad del ser humano. De igual manera, aquellas arquitecturas que se encuentran implementadas son en países donde la tecnología y las prácticas agrícolas están en un punto de desarrollo muy lejano al caso del Ecuador, experimentando con esto una brecha para la aplicación de estas arquitecturas en nuestro caso. Además, la adopción de esta tecnología requiere una inversión significativa para los agricultores y las empresas, lo que puede ser una barrera para su adopción generalizada.

Por lo tanto, hay una necesidad de desarrollar una arquitectura de software integral que tenga en cuenta todos estos aspectos y se adapte a incorporación de sistemas ya existentes para la gestión de la CSA.

3. Evaluación del estado tecnológico

La evaluación del estado tecnológico es esencial, ya que permitirá comprender la situación actual de las cadenas de suministro de alimentos en Ecuador mediante el análisis de dos casos de estudio de diferentes regiones. En este capítulo se describe el proceso llevado a cabo para evaluar el nivel de madurez del estado tecnológico de dos casos de estudio. El primer caso de estudio se ubica en la parroquia de Susudel, en la provincia del Azuay, y el otro en la ciudad de Riobamba, perteneciente a la provincia de Chimborazo.

En este apartado, los resultados de la evaluación servirán como punto de referencia para contrastar con el diseño propuesto y determinar cómo se pueden mitigar los desafíos identificados en el proceso. Además, la evaluación permitirá identificar áreas de mejora específicas en la infraestructura tecnológica y las CSA, así como realizar un análisis detallado de las brechas entre el estado actual y el estado deseado en términos de tecnología y eficiencia.

En la Sección 3.1, se presenta un marco teórico que aborda diferentes métodos y aspectos relacionados con la evaluación del estado tecnológico. Posteriormente, se elige un concepto que servirá como punto de referencia para la alineación de la evaluación. Luego, en las Secciones 3.2 y 3.3, se explica cómo se seleccionó y adaptó el método de evaluación, respectivamente. La Sección 3.4 detalla el proceso de evaluación que se aplicó en ambos casos de estudio. Finalmente, en la Sección 3.5, se presentan los resultados del análisis de las evaluaciones realizadas en la CSA de los dos casos de estudio.

3.1. Marco teórico sobre evaluaciones del estado tecnológico

[Reyes Chacón \(2016\)](#) expresa que el estado tecnológico es un proceso que implica una evaluación detallada de los recursos de una empresa. Esto incluye los recursos tanto humanos como técnicos, materiales y financieros. Además de evaluar los recursos disponibles, el diagnóstico tecnológico también analiza la estructura y la competencia de la empresa, con el objetivo de determinar si la empresa está en condiciones de alcanzar márgenes favorables de producción y satisfacer la demanda del mercado.

De manera similar, [Marrugo Pinos \(2008\)](#) define a la evaluación del estado tecnológico como un proceso de análisis y evaluación de la trayectoria pasada y del estado actual de una empresa, incluyendo tanto sus recursos como su funcionamiento técnico y organizacional. Este proceso permite a la empresa identificar sus fortalezas y debilidades, así como las

oportunidades y amenazas que enfrenta en su entorno tecnológico y de mercado. Por su parte, [MartínezSegura \(2009\)](#), expresa que la evaluación del estado tecnológico de un sector o de una organización se refiere al conjunto de actividades contempladas en el Plan de Actuación Tecnológica (PAT). Este proceso implica la evaluación detallada de la situación actual del sector u organización, incluyendo la disponibilidad de recursos humanos, técnicos, financieros y materiales, así como su estructura organizativa y competitiva.

El diagnóstico tecnológico se lleva a cabo mediante la combinación de dos enfoques esenciales: el enfoque centrado en las tecnologías y el enfoque orientado a las empresas. El primero de estos enfoques supone que el desarrollo y evolución de la tecnología se produce de forma independiente a la empresa que la utiliza, mientras que el segundo busca conocer la manera en que otras organizaciones similares utilizan la tecnología ([Martínez Segura, 2009](#)).

Entre los diversos conceptos presentados anteriormente, se ha tomado la decisión de seleccionar el enfoque propuesto por Martínez Segura (2009) como el fundamento principal para la evaluación que se llevará a cabo. Este enfoque se ha elegido debido a su exhaustividad en la evaluación del estado tecnológico, que abarca tanto los recursos disponibles como la estructura y la competitividad de la organización o sector. Al adoptar este concepto como base teórica, se pretende garantizar una evaluación que permita identificar no solo las áreas de mejora, sino también las oportunidades estratégicas en el entorno tecnológico y de mercado.

3.2. Descripción de los casos de estudio

En esta sección, se presentan dos casos de estudio nacionales que desempeñan un papel fundamental para comprender el estado tecnológico de los mismos. Fueron seleccionados casos de estudio en virtud del convenio existente entre ellos y el proyecto AGRO5.

El primer caso de estudio se centra en una Fundación Agrícola Andina situada en la parroquia de Susudel, perteneciente al cantón San Felipe de Oña, en la provincia del Azuay. Esta iniciativa fue establecida en el año 2020 gracias al esfuerzo conjunto de 35 individuos, predominantemente adultos mayores, destacando que el 95% de los miembros son mujeres campesinas comprometidas con el desarrollo agrícola sostenible. Esta parroquia, con su rica herencia agrícola, ha sido testigo de una reciente tendencia hacia la implementación de empresas dedicadas a la producción de materiales de construcción, específicamente ladrillos. Este fenómeno plantea preocupaciones significativas en relación con la preservación de los

terrenos productivos, lo cual constituye un aspecto clave a analizar en nuestro estudio (Tenesaca Guamán & Rasco Gómez, 2017). En el ámbito del caso de estudio en cuestión, se está llevando a cabo un subproyecto de invernaderos demostrativos, como parte integral del proyecto AGRO5. Este esfuerzo se alinea con la visión de la Fundación Agrícola Andina para fomentar prácticas agrícolas innovadoras y sostenibles. La implementación de estos invernaderos busca no solo mejorar la productividad agrícola local, sino también enfrentar los desafíos planteados por la tendencia emergente de actividades no agrícolas en la región. Es esencial destacar que estos invernaderos se dedican a la cosecha de plantas medicinales, aportando una dimensión significativa a la iniciativa. Esta elección estratégica busca diversificar las actividades agrícolas y aprovechar el potencial de las plantas medicinales para la salud y el desarrollo económico sostenible.

Por otro lado, el segundo caso de estudio se ubica en la ciudad de Riobamba, en la provincia de Chimborazo, y responde al nombre de Kipa Amaranto. Esta iniciativa surge con la firme intención de desarrollar productos andinos saludables, centrándose específicamente en prácticas agrícolas tradicionales y promoviendo la responsabilidad social y ambiental. La misión de Kipa es producir y comercializar Granos Andinos y sus Derivados, fomentando productos saludables y nutritivos a través de la organización y formación de agricultores, guiados por principios de responsabilidad social, innovación y ética. Se especializa en granolas, harinas y productos a base de amaranto, quinua y granos andinos, colaborando con medianos y pequeños productores para garantizar precios locales razonables. Pero se destaca en la elaboración de productos saludables y nutritivos a base de quinua y amaranto. Su visión para el año 2025 es convertirse en líder en la producción y comercialización de estos productos, con un alto valor nutricional y una participación del 30% en el mercado regional, mediante técnicas apropiadas e innovación continua. Los objetivos estratégicos abarcan la producción agroecológica de granos andinos con agricultores organizados, el aumento de las ventas regionales y el fortalecimiento de la marca.

Ambos casos de estudio ilustran diferentes aspectos del compromiso con la sostenibilidad agrícola. Mientras que el primer caso se centra en la preservación de tierras destinadas a la producción agrícola frente a la creciente presión de actividades no agrícolas, el segundo destaca por su contribución a la producción de alimentos saludables y nutritivos. Por motivos de confidencialidad, los nombres de los casos de estudio no se divulgan. Estas iniciativas están vinculadas al proyecto AGRO5, lo que demuestra la diversidad de enfoques adaptados para abordar desafíos específicos en el ámbito agrícola.

3.3. Identificar y seleccionar un método de evaluación

3.3.1. Búsqueda y selección de un método de evaluación

En base a los conceptos establecidos en apartados anteriores, es posible comprender las implicaciones de una evaluación del estado tecnológico de una organización como un proceso fundamental para determinar su capacidad competitiva en el mercado. En este sentido, la selección del método de evaluación adecuado es esencial para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados, teniendo en cuenta la combinación del enfoque centrado en las tecnologías y el orientado a la empresa propuesto por [MartínezSegura \(2009\)](#). Con el objetivo de identificar el marco de evaluación más acertado para realizar la evaluación del estado tecnológico, se llevó a cabo una revisión de diversos trabajos que abordan esta temática. En esta sección se presenta la Tabla 5 que resume la información recopilada de cinco de los artículos más relevantes. Esta tabla presenta columnas como, referencia del artículo, la finalidad de cada investigación y el marco de evaluación empleado. Además, se tomó en cuenta si los trabajos proporcionaban instrumentos de evaluación que ayudarían a replicar y adaptar los propósitos de esta sección. A partir de la Tabla 5 se realiza un análisis comparativo de los diferentes métodos, permitiendo seleccionar el más apropiado para evaluar el estado tecnológico de los casos de estudio.

Tabla 5

Modelos de madurez

Artículo	Finalidad	Marco de evaluación	Incluye anexos de la evaluación
(Bibby & Dehe, 2018)	Evaluar el nivel de implantación de las tecnologías de la Industria 4.0 en las empresas.	Se basa en tres dimensiones: "Fábrica del futuro", "Personas y cultura" y "Estrategia"	No
(Akdil et al., 2018)	Evaluar el estado actual de la transformación de la Industria 4.0 de una empresa e identificar áreas de mejora.	Se basa en tres dimensiones de una empresa: estrategia, organización y tecnología.	Si
(Frederico, 2019)	Evaluar el nivel actual de madurez de las organizaciones y a desarrollar una hoja de ruta para alcanzar mayores niveles de madurez.	Se basa en cuatro niveles propuestos: Cadena de suministro tradicional, Cadena de suministro o conectada, Cadena de suministro inteligente y Cadena de suministro o autónoma.	No

(Lobo & Samaranayake, 2020)	Evaluar las prácticas de gestión de la innovación utilizando un marco de evaluación de la gestión de la innovación.	Se basa en la integración del modelo stage-gate y el diseño para lean six sigma.	No
(Granillo-Macías et al., 2017)	Evaluar el estado inicial de una empresa en términos de preparación para la Industria 4.0 y planificar una hoja de ruta de desarrollo.	Se basa en seis paneles basada en la escala IMPULS, respondiendo a los atributos definidos en cada nivel basado en la norma ISO 15504.	No

Resulta interesante señalar que el modelo propuesto por Bibby y Dehe (2018) evalúa el nivel de implantación de las tecnologías de la Industria 4.0, utilizando como caso de estudio una empresa de fabricación de material de defensa y 12 organizaciones de fabricación externas del sector de la defensa. El marco de esta evaluación se basa en tres dimensiones: "Fábrica del futuro", "Personas y cultura" y "Estrategia". La "Fábrica del futuro" es la dimensión principal, compuesta por ocho atributos.

Por otro lado, el método propuesto por Frederico (2019) se basa en los constructores centrales de la CS 4.0, donde el modelo consta de cuatro niveles de madurez, cada uno con conjunto de características y requisitos. El marco de evaluación además busca ayudar a las organizaciones a desarrollar una hoja de ruta para alcanzar niveles superiores de madurez y priorizar las áreas que requieren mejoras. Cada nivel representa una etapa diferente de la evolución hacia la CS 4.0, con niveles crecientes de integración, colaboración y tecnologías avanzadas.

En cuanto al enfoque integrado propuesto por Lobo y Samaranayake (2020) para evaluar prácticas de gestión de la innovación utiliza encuestas a participantes en empresas e incubadoras. Esta metodología abarca tanto entornos consolidados como dinámicos de incubación, proporcionando una visión directa de la experiencia de los involucrados. La encuesta se centra en evaluar decisiones en cada etapa del desarrollo de productos (modelo stage-gate) y en la implementación de herramientas de mejora continua y gestión de calidad (diseño para lean six sigma). Esta combinación ofrece un enfoque completo y práctico para mejorar la gestión de la innovación.

En contraste, Rafael et al. (2020) proponen un modelo de madurez para que las empresas de Máquina-Herramienta (MT) evalúen su preparación para las prácticas de la Industria 4.0. El modelo se basa en el modelo IMPULS, el cual consta de cinco niveles de madurez, cada uno con un mayor grado de preparación para la Industria 4.0. El modelo está diseñado para

adaptarse a las necesidades específicas de las empresas de MT y puede utilizarse como modelo estándar en el sector.

Como se destacó previamente, uno de los aspectos más importantes establecidos para seleccionar el método de evaluación era que el estudio debía incluir el detalle completo de los instrumentos de evaluación en anexos, de manera que pudiera replicarse. En este sentido, de la Tabla 5 se descartaron cuatro trabajos por este aspecto. Mientras que algunos modelos se centran en la evaluación del nivel de implantación de las tecnologías de la Industria 4.0 (Bibby & Dehe., 2018) o en la evaluación de las prácticas de gestión de la innovación (Lobo & Samaranayake., 2020), el modelo de madurez de los autores Akdil et al. (2018) se centra en la evaluación del estado actual de la transformación de la Industria 4.0 de una empresa y en la identificación de áreas de mejora.

Además, el modelo de Akdil et al. (2018) proporciona una hoja de ruta para que las empresas alcancen mayores niveles de madurez en su transformación de la Industria 4.0. El marco de evaluación del modelo de madurez se basa en una encuesta que incluye preguntas relacionadas con campos asociados al modelo. Las respuestas a la encuesta se evalúan en función de cuatro etapas: Ausencia, Existencia, Supervivencia y Madurez. Las preguntas de cada campo asociado se ponderan entre 0-"Ausencia" y 3-"Madurez" para determinar un nivel de madurez.

En comparación con el modelo de Frederico (2019), que se basa en los constructores centrales de la CS 4.0 y consta de cuatro niveles de madurez, cada uno con un conjunto de características y requisitos, el modelo de Akdil et al. (2018) se centra más en la evaluación de la capacidad de la empresa para transformarse digitalmente.

El modelo de madurez propuesto por Rafael et al. (2020) está diseñado para adaptarse a las necesidades específicas de las empresas de MT y puede utilizarse como modelo estándar en el sector. En comparación, el modelo de Akdil et al. (2018) es más general y aplicable a diferentes tipos de empresas.

Con esto en mente, el modelo de madurez de Akdil et al. (2018) se centra en la evaluación del estado actual de la transformación digital de una empresa, la identificación de áreas de mejora y la propuesta de una hoja de ruta para alcanzar mayores niveles de madurez. Mientras que otros modelos de madurez se centran en diferentes aspectos, como la evaluación del nivel de implantación de tecnologías de la Industria 4.0 (Bibby & Dehe., 2018), la evaluación de las prácticas de gestión de la innovación (Lobo & Samaranayake., 2020) o

la preparación de las empresas de MT para las prácticas de la Industria 4.0 (Rafael et al., 2020).

Después de realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos de evaluación del estado tecnológico y considerando los aspectos antes mencionados, se decidió seleccionar el método de madurez propuesto por Akdil et al. (2018) debido a su enfoque en evaluar el estado actual de la transformación de la Industria 4.0 de una empresa, identificar áreas de mejora y proporcionar una hoja de ruta para alcanzar mayores niveles de madurez en la transformación de la Industria 4.0.

3.3.2. Descripción del método de evaluación seleccionado

El método de evaluación seleccionado consiste en una encuesta que consta de cuatro niveles asociados. Cada pregunta dentro de cada campo asociado se pondera en una escala de 0 a 3, donde 0 representa "Ausencia" y 3 representa "Madurez". El resultado de la ponderación de las preguntas se utiliza para determinar el nivel de madurez de la empresa en cada uno de los 13 campos que están asociados a tres dimensiones del estado tecnológico. Estas dimensiones se muestran en detalle en la Figura 5, junto con las subdimensiones y los temas correspondientes.

Figura 5

Dimensiones del modelo de madurez

Dimensiones	Sub- dimensión	Campos asociados
Productos y servicios inteligentes		Productos y servicios inteligentes
	Producción y operaciones inteligentes	Producción, logística y compras I+D-Desarrollo de productos
Procesos empresariales inteligentes	Operaciones inteligentes de marketing y ventas	Servicio posventa Precios/Promoción Canales de venta y distribución
	Operaciones de apoyo	Recursos Humanos Tecnologías de la información Finanzas inteligentes
		Modelos de negocio Asociaciones estratégicas Inversiones tecnológicas Estructura organizativa y liderazgo
Estrategia y organización		

Nota. Tomando de Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy por Akdil et al. (2018).

La primera dimensión, "Productos y Servicios Inteligentes", evalúa la capacidad de la empresa para utilizar los datos de sus productos y servicios, interpretarlos para ofrecer servicios personalizados y desarrollar productos y servicios inteligentes habilitados por las tecnologías de la Industria 4.0.

La segunda dimensión, "Procesos Empresariales Inteligentes", se enfoca en la capacidad de la empresa para utilizar tecnologías desencadenantes como la automatización, la robótica y los gemelos digitales, y para integrar estas tecnologías en sus procesos empresariales. La evaluación de esta dimensión también incluye la capacidad de la empresa para optimizar sus procesos empresariales para la Industria 4.0.

Por último, la tercera dimensión, "Estrategia y Organización", se centra en la capacidad de la empresa para planificar y alinear su estrategia empresarial general con la Industria 4.0, así como en su liderazgo y compromiso con la transformación digital. La evaluación de esta dimensión incluye preguntas relacionadas con la comprensión de la empresa sobre la

Industria 4.0 y su planificación estratégica para la implementación de tecnologías y principios de la Industria 4.0.

En la Tabla 6, se detalla cada uno de los cuatro niveles de ponderación utilizados para calificar cada tema de la evaluación. Con el método de evaluación seleccionado, es posible obtener una visión detallada de la madurez de la empresa en cada una de las dimensiones evaluadas, lo que ayuda en la toma de decisiones y la planificación de la estrategia empresarial para la transformación digital.

Tabla 6

Descripción de los niveles de madurez

Nivel	Descripción
0: Ausencia	La empresa no dispone de procesos o prácticas relacionados con la cuestión.
1: Concienciación	La empresa es consciente de la importancia de la cuestión, pero aún no ha tomado ninguna medida.
2: Supervivencia	La empresa ha implantado algunos procesos o prácticas relacionados con la cuestión, pero aún no están totalmente integrados y optimizados.
3: Madurez	La empresa ha integrado y optimizado totalmente los procesos o prácticas relacionados con la cuestión.

3.4. Adaptación y aplicación la evaluación del método de evaluación

En esta sección, se abordará la adaptación y aplicación del método de evaluación seleccionado, es decir, se describe cómo se ha adaptado dicho método para su aplicación en el contexto específico de la evaluación.

Los cuestionarios utilizados y adaptados para el caso de estudio se encuentran en el Anexo 2. Dado que el llenado de cuestionarios no sería realizado de manera sincrónica, debido a las limitaciones de tiempo disponibles. Asimismo, esta elección se realizó con el objetivo de no obstaculizar el avance del trabajo de titulación. Por otro lado, al existir la posibilidad de observaciones por parte de los encuestados, se creó una sección de "observaciones" luego de cada pregunta. Este apartado permitiría incluir aclaraciones sobre la razón de una respuesta específica.

Adicionalmente, se incorporaron preguntas suplementarias que permiten la continuidad en caso de respuestas afirmativas. Este proceso se implementa, por ejemplo, en la Dimensión 2

y su subsección 1, específicamente en la pregunta: "¿Recopila información en la producción?" En el evento de una respuesta positiva, se facilita la posibilidad de continuar respondiendo las preguntas subsiguientes dentro de esa subsección.

Para clarificar este procedimiento, se añadió una nota indicativa. Por ejemplo, en el caso de seleccionar la opción "No" como respuesta, se sugiere emitir la siguiente pregunta pertinente y proceder con la siguiente pregunta disponible. Este enfoque se adopta para garantizar la coherencia y fluidez del cuestionario. Se consideró la posibilidad de dividir ciertas preguntas de ciertas dimensiones en otro cuestionario para que diferentes personas con distintos roles puedan responderlas si así fuese el caso.

La aplicación de los cuestionarios a los casos de estudio requirió un período de alrededor de una semana y media aproximadamente para cada caso de estudio. Por una parte, la responsabilidad del llenado del cuestionario en el caso de estudio de Riobamba recayó en el gerente general de la organización. En cuanto al caso de estudio de Susudel, se contó con la colaboración de una persona interna de la organización, así como con la participación activa de un miembro del proyecto de investigación. Este último desempeña el rol de estudiante de doctorado, encontrándose inmerso en los procesos que caracterizan este proyecto de investigación.

El procesamiento de los resultados se llevó a cabo con ayuda de hojas de cálculo, lo cual permitió facilitar los procesos matemáticos y realizar los análisis correspondientes. Estas hojas de cálculo se utilizaron para registrar y organizar los resultados obtenidos en la evaluación de los casos de estudio.

En cada hoja de cálculo, se registraron los resultados correspondientes a cada subdimensión evaluada en relación a cada caso de estudio. De esta manera, se pudo visualizar de manera clara y estructurada el nivel de madurez alcanzado en cada subdimensión por cada caso de estudio analizado.

Además, se incluyó un valor totalizado en cada hoja de cálculo, que reflejaba la puntuación global obtenida por cada caso de estudio. Esta puntuación global permitió tener una visión general del nivel de madurez.

Adicionalmente, se crearon hojas de cálculo específicas que desglosan los resultados de cada dimensión evaluada, asociando cada subdimensión correspondiente y su nivel de madurez. Estas hojas de cálculo proporcionaron un análisis más detallado y permitieron identificar áreas específicas de mejora en cada dimensión.

3.5. Análisis de resultados

El análisis de los resultados se llevó a cabo considerando las fórmulas propuestas en el trabajo de Akdil et al. (2018), las cuales se pueden observar en las ecuaciones 1, 2 y 3; estas se aplicaron teniendo en cuenta el significado de cada una de las variables.

$$M_{DAi} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{Aij}}{n} \text{ Ecuación (1)}$$

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^m M_{DAi}}{m} \text{ Ecuación (2)}$$

$$M_O = \min (M_1, M_2, M_3) \text{ Ecuación (3)}$$

Donde:

M: Representa la madurez

D: Es la dimensión

A: El campo asociado

Q: Número de pregunta

O: El total

n: Número total de preguntas

m: Número de campos asociados

Además, en el mismo trabajo se establecen ciertos valores límite para los niveles de madurez, los cuales se detallan en la Tabla 7. Estos valores límite varían de 0 a 3, ya que se emplean cuatro etapas para determinar el nivel de madurez, que son: "Ausencia", "Existencia", "Supervivencia" y "Madurez". Cada pregunta de cada categoría se evalúa en función de estos valores límite.

Tabla 7

Valores límite para los niveles de madurez

Nivel de madurez	Valores límite	
	Bajo	Alto
0: Ausencia	0.00	0.90
1: Concienciación	0.90	1.80
2: Supervivencia	1.80	2.70
3: Madurez	2.70	3.00

Nota. Adaptado de valores límite para los niveles de madurez por Akdil et al. (2018).

La evaluación del nivel de madurez global para cada organización se basa en la ecuación 1, 2 y 3, que determina dicho nivel a partir del mínimo encontrado entre las diversas dimensiones. Adicionalmente, se ofrecen detalladas perspectivas a nivel de cada subdimensión para cada caso de estudio, las cuales se exhiben en las correspondientes Tablas 8 y 9.

Tabla 8

Resultados a nivel de subdimensión para el caso de estudio de la parroquia de Susudel.

Dimensión	Subdimensión	Puntaje	Puntaje de madurez
Productos y servicios inteligentes	Productos y servicios inteligentes	0	0
Procesos empresariales inteligentes	Producción, logística y adquisiciones	0,125	0,015625
	Desarrollo de Productos	0	
	Servicios posventa	0	
	Precios/Promoción	0	
	Canales de venta y distribución	0	
	Tecnología de la información	0	
	Recursos Humanos	0	
	Finanzas inteligentes	0	
Estrategia y organización	Modelos de negocio	0	0,104175
	Asociaciones Estratégicas	0,4167	
	Inversiones en Tecnología	0	

	Estructura organizativa y liderazgo	0	
--	-------------------------------------	---	--

Los resultados del caso de estudio de Susudel muestran que las dimensiones "Productos y servicios inteligentes" y "Procesos empresariales inteligentes" se encuentran en el nivel de madurez "Nivel 0: Ausencia". Específicamente, "Productos y servicios inteligentes" obtuvo un puntaje de 0, lo que indica una ausencia de madurez en esta área. Por otro lado, "Procesos empresariales inteligentes" registró un puntaje ligeramente superior, alcanzando 0.015625, pero aún se mantiene en el nivel de madurez "Nivel 0: Ausencia". Para una mejor visualización de estos resultados se puede observar la Figura 6.

De igual manera, la dimensión "Estrategia y organización" mostró un puntaje de 0.104175, lo que también la coloca en el nivel de madurez "Nivel 0: Ausencia".

Esto significa que tanto "Productos y servicios inteligentes" como "Procesos empresariales inteligentes" presentan deficiencias significativas en su madurez, mientras que "Estrategia y organización" también se encuentra en el mismo nivel de ausencia en términos de madurez.

Figura 6

Niveles de madurez de las dimensiones del caso de estudio de Susudel en un gráfico de barras.



Tabla 9

Resultados por subdimensión para el caso de estudio de Riobamba.

Dimensión	Subdimensión	Puntaje	Puntaje de madurez
Productos y servicios inteligentes	Productos y servicios inteligentes	2	2
Procesos empresariales inteligentes	Producción, logística y adquisiciones	0,6142708333	0,7742218502
	Desarrollo de Productos	1,2	
	Servicios posventa	0,7723611111	
	Precios/Promoción	0,675	
	Canales de venta y distribución	0,8571428571	
	Tecnología de la información	0	
	Recursos Humanos	1,375	
	Finanzas inteligentes	0,7	
Estrategia y organización	Modelos de negocio	1	0,525
	Asociaciones Estratégicas	0,4166666667	
	Inversiones en Tecnología	0,0833333333	
	Estructura organizativa y liderazgo	0,6	

Al analizar los resultados del caso de estudio de Riobamba, se destaca que la dimensión de "Productos y servicios inteligentes" ha alcanzado un puntaje de 2, lo cual indica un nivel de madurez catalogado como "Nivel 2: Supervivencia". Esto significa que los productos y servicios inteligentes pueden gestionar datos en tiempo real y ser rastreados en diversas ubicaciones. Existe un equilibrio intermedio en las ofertas de servicios basados en datos, y los procesos de negocio muestran una integración y agilidad de nivel medio. La empresa se encuentra preparada para la descentralización, aplicando el principio de interoperabilidad en áreas específicas con respaldo tecnológico.

Sin embargo, tanto la dimensión de "Procesos empresariales inteligentes" como la dimensión de "Estrategia y organización" presentaron puntajes de 0.7742218502 y 0.525 respectivamente, lo que las coloca en el nivel de madurez "Nivel 0: Ausencia". En otras palabras, estas dos dimensiones muestran una falta significativa de desarrollo y madurez, lo que sugiere que hay áreas críticas que necesitan mejoras sustanciales para alcanzar un nivel de madurez más avanzado. La representación gráfica de los datos se encuentra en la Figura 7.

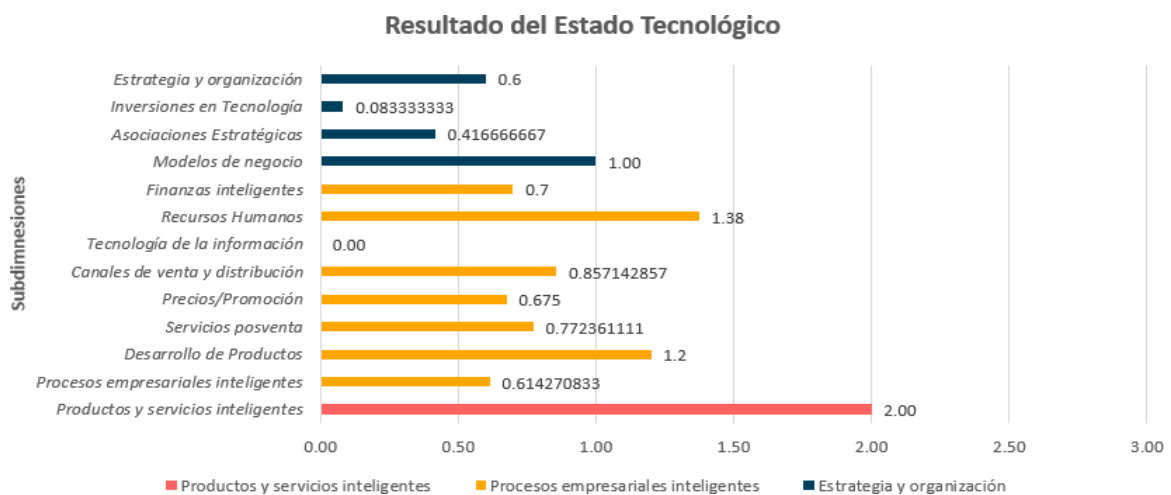
En el análisis integral del caso de estudio de Susudel, se revela que la empresa no satisface ninguno de los requisitos establecidos por Akdil et al. (2018) para la adopción de la Industria

4.0. Esta insuficiencia se traduce en una puntuación mínima de 0.015625, indicando una situación en la que las dimensiones de "Productos y servicios inteligentes" y "Procesos empresariales inteligentes" requieren mejoras sustanciales. La carencia de cumplimiento con los requisitos mínimos sugiere que la empresa no ha implementado tecnologías ni prácticas asociadas con la Industria 4.0. En el nivel 0, se insinúa que la empresa carece de procesos y productos inteligentes alineados con los estándares de la Industria 4.0, evidenciando la ausencia de elementos cruciales como la automatización avanzada y la conectividad de datos. Estas deficiencias señalan una necesidad urgente de mejoras para que la empresa alcance los estándares de madurez digital característicos de organizaciones más avanzadas en términos de transformación digital.

En el caso del estudio de Riobamba, se evidencia que la puntuación mínima de nivel de madurez es de 0.525, también calificando como "Nivel 0: Ausencia". Esta ausencia de madurez se manifiesta principalmente en la dimensión de "Estrategia y organización". Aquí, se identifican áreas críticas que demandan una atención y desarrollo significativos, que como se mencionó anteriormente, no está alineado a los lineamientos de la Industria 4.0.

Figura 7

Niveles de madurez de las dimensiones del caso de estudio de Riobamba en un gráfico de barras.



A pesar de compartir el mismo nivel con el caso de Susudel, el caso de Riobamba exhibe un nivel más avanzado por diversas razones significativas. En primer lugar, Riobamba cuenta con una mayor trayectoria en el mercado, lo que le ha permitido acumular experiencia y adaptarse progresivamente a las demandas cambiantes de la industria. Esta experiencia prolongada podría haber influido en su capacidad para abordar de manera más efectiva los desafíos relacionados con la madurez digital.

Además, se ha establecido con mayor firmeza en la transformación digital, evidenciando un compromiso y una capacidad para adoptar tecnologías emergentes de manera más efectiva. Este posicionamiento estratégico le brinda una ventaja en términos de madurez digital en comparación con Susudel, que se encuentra en una etapa inicial bastante temprana de su proceso de transformación.

Asimismo, este segundo caso de estudio ha logrado implementar productos y servicios inteligentes en varios aspectos, respaldados por una mayor inversión en tecnología. Esta inversión ha permitido avanzar más rápidamente en la integración de tecnologías digitales en comparación con Susudel, posicionándose así en un nivel más avanzado de madurez digital.

Luego de llevar a cabo el análisis de los resultados de ambos casos de estudio, se determinó que tanto la organización objeto de estudio de Susudel como en Riobamba presentan un nivel de madurez de "Nivel 0: Ausencia" en cuanto a la implementación del modelo propuesto por Akdil et al. (2018). Esto indica que aún hay mucho trabajo por hacer para alcanzar un nivel de madurez más avanzado.

En conclusión, los hallazgos de los casos de estudio subrayan el estado inicial de madurez de ambas organizaciones, evidenciando la realidad de las CSA en los Andes Ecuatorianos, caracterizadas por un limitado progreso tecnológico. Estos resultados indican la necesidad de implementar mejoras significativas en diversos aspectos. Esta información resulta crucial para ambas entidades, proporcionándoles una base sólida para definir los requisitos y especificaciones necesarios en su arquitectura de transformación.

En este contexto, reafirmar el propósito del proyecto de titulación cobra especial relevancia, ya que busca diseñar una arquitectura de software específica para la gestión de la CSA. Este enfoque se presenta como una respuesta directa a las deficiencias identificadas en el análisis de los resultados, demostrando un compromiso claro con la mejora y el fortalecimiento de las capacidades de las organizaciones involucradas en el manejo de la CSA en la región andina.

4. Diseño de la arquitectura

Este capítulo se dedica al diseño de la arquitectura de nuestro sistema integral para la gestión de la cadena de suministros agroalimentaria. Aquí, desglosamos la estructura y los componentes del sistema, delineando cómo cada elemento contribuye al conjunto cohesivo que cumple con los requisitos de trazabilidad, rendición de cuentas, seguridad, y analíticas de gestión. Se presentarán los fundamentos de diseño que informan la construcción de nuestra arquitectura, subrayando la forma en que las decisiones de diseño apoyan los objetivos de negocio y los requisitos funcionales del sistema.

4.1. Materiales y métodos

En el desarrollo de este capítulo, se emplearon metodologías y estándares de la industria específicamente seleccionados para el diseño arquitectónico y la gestión del proyecto. Las herramientas y metodologías aplicadas incluyen:

- IEEE 42010: Este estándar internacional fue adoptado como el marco de referencia principal para la arquitectura de sistemas y software, proporcionando las pautas para la definición y descripción de la arquitectura.
- Scrum: Se utilizó Scrum, una metodología ágil de desarrollo de software, para organizar el proceso de diseño y construcción del sistema en sprints iterativos y colaborativos, asegurando flexibilidad y entrega continua de valor.

Estos materiales y métodos se seleccionaron para su alineación con los objetivos del sistema y para facilitar un proceso de desarrollo estructurado y adaptable.

4.1.1. Descripción general de la ISO/IEC/IEEE 42010

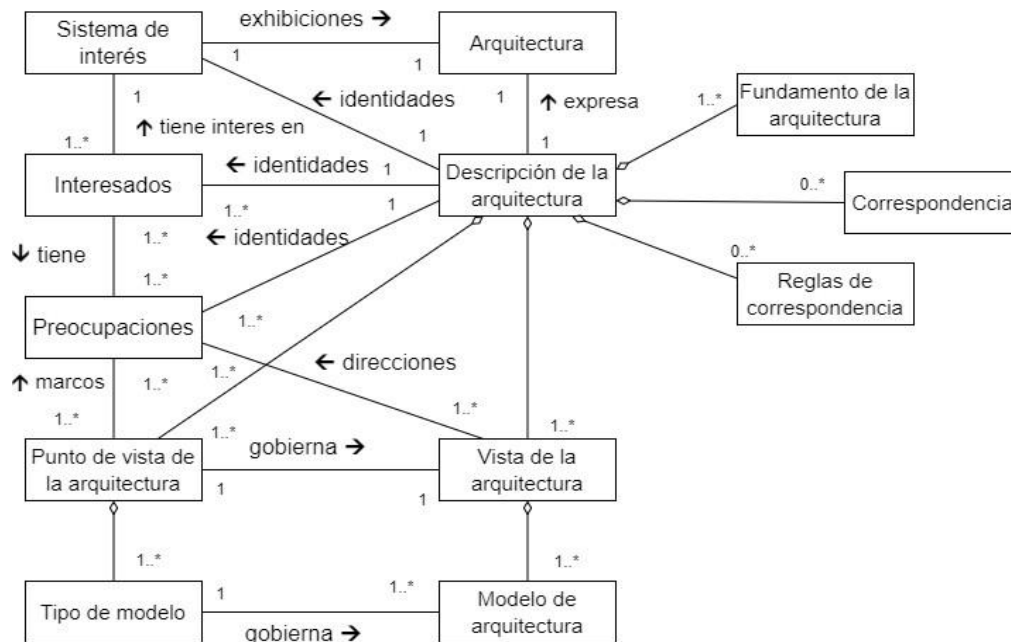
De acuerdo con la norma ISO/IEC/IEEE 42010, la arquitectura del software de un sistema, o de un Sistema de Sistemas (SoS por sus siglas en inglés), expresa lo esencial acerca de ese sistema en relación a su entorno, componentes o sistemas constituyentes (en el caso de un SoS), cómo interactúan, reglas de diseño, preocupaciones específicas, entre otros ([IEEE, 2011](#)). Según las características específicas que presentan los sistemas complejos, es necesario prestar una atención particular a la descripción de la arquitectura de software. Por lo tanto, se tiene como referencia la norma "ISO/IEC/IEEE 42010: Descripción de la arquitectura" para describir la arquitectura de sistemas complejos.

En esta sección, se presenta el modelo conceptual de la descripción de la arquitectura del estándar ISO/IEC/IEEE 42010. Se explican los pasos metodológicos propuestos por el estándar para la descripción precisa de la arquitectura del software, los cuales incluyen la identificación de los interesados y sus preocupaciones, la selección y definición de puntos de vista arquitectónicos pertinentes.

En la Figura 8, se ilustran los elementos del modelo conceptual de la descripción de la arquitectura presentada por la norma ISO 42010. Un sistema exhibe una arquitectura expresada por una descripción de la arquitectura, la cual identifica a los stakeholders y los concerns (preocupaciones) de este sistema. Un stakeholder puede ser una persona, un equipo o una organización que tenga interés en un sistema. La preocupación de un sistema es un tema de interés que se refiere a este sistema y es relevante para uno o más de sus stakeholders, como los propósitos del sistema, la viabilidad, la seguridad, el costo, etc. (Chaabane et al., 2019).

Figura 8

Elementos del modelo conceptual de una descripción de arquitectura



Nota. Elementos del modelo conceptual de una descripción de arquitectura según el estándar ISO/IEC/IEEE 42010. (IEEE, 2011)

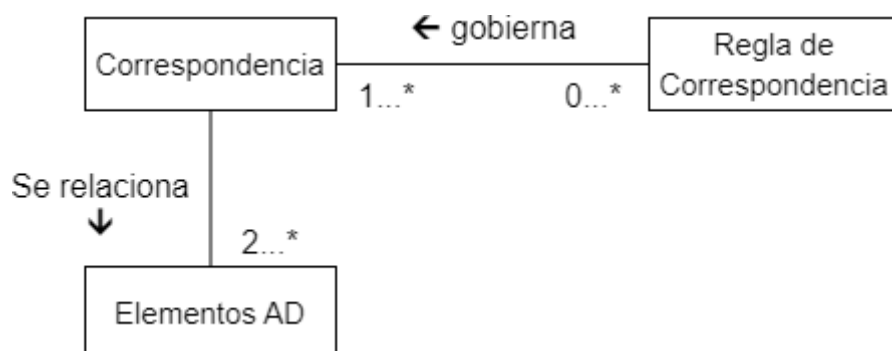
Adicionalmente, la descripción de la arquitectura se compone de vistas y puntos de vista arquitectónicos. Una vista es un conjunto de modelos arquitectónicos que expresan la arquitectura de un sistema desde la perspectiva de los intereses específicos del sistema, de acuerdo con un punto de vista. Un punto de vista es un conjunto de convenciones (como lenguajes, notaciones, reglas de diseño, etc.) para construir, interpretar y analizar las vistas arquitectónicas para abordar preocupaciones planteadas por ese punto de vista ([Li et al., 2016](#)).

La Figura 8, mediante el uso de las conexiones, se ilustra cómo un punto de vista se concreta mediante el uso de tipos específicos de modelos de arquitectura, tales como diagramas de clases, modelos de transición de estados, redes de Petri, entre otros, según las convenciones establecidas por Chaabane et al. (2019). Estos modelos, a su vez, forman las vistas que proporcionan perspectivas particulares de la arquitectura. Además, la descripción arquitectónica incluye correspondencias y reglas de correspondencia para asegurar la coherencia entre los modelos.

Según se muestra en la Figura 9, una correspondencia define una relación entre los elementos de la descripción de la arquitectura (stakeholder, concern, vista de arquitectura, modelos de arquitectura, etc.) para expresar relaciones entre ellos. Una correspondencia está gobernada por reglas de correspondencia que pueden utilizarse para hacer cumplir relaciones y garantizar la coherencia entre modelos, vistas y otros elementos de la descripción de la arquitectura ([Chaabane et al., 2019](#)).

Figura 9

Modelo conceptual de elementos AD y correspondencias



Nota. Adaptado de Modelo conceptual de elementos AD y correspondencias según el estándar ISO/IEC/IEEE 42010, (IEEE, 2011).

En los siguientes apartados se presentan los pasos propuestos para la norma ISO/IEC/IEEE 42010 ([IEEE, 2011](#)). Los primeros dos pasos consisten en identificar a los interesados y preocupaciones de un sistema considerados fundamentales por la norma. El tercer paso consiste en identificar los diferentes puntos de vista para enmarcar todas las preocupaciones del sistema. El cuarto paso trata sobre establecer reglas de correspondencia para hacer cumplir las relaciones que no pueden ser representadas por las convenciones de los tipos de modelos ([Chaabane et al., 2019](#)).

4.1.2. Identificación de Stakeholders

El primer paso, según el estándar, consiste en enumerar y definir los interesados que tienen preocupaciones fundamentales para la arquitectura de un sistema. El estándar presenta un conjunto de interesados considerados obligatorios; los usuarios, los operadores, los adquirentes, los propietarios, los proveedores, los desarrolladores, los constructores y los mantenedores ([IEEE, 2011](#)). Los interesados tienen una serie de preocupaciones consideradas obligatorias por el estándar.

4.1.3. Identificación de preocupaciones

El segundo paso consiste en definir las preocupaciones fundamentales para la arquitectura de un sistema. De manera similar, un conjunto de preocupaciones son consideradas obligatorias por el estándar; los propósitos del sistema, la adecuación de la arquitectura para lograr los propósitos del sistema, la viabilidad de implementar y desplegar el sistema, los posibles riesgos del sistema para sus partes interesadas durante todo su ciclo de vida, la mantenibilidad y la capacidad de evolución del sistema ([IEEE, 2011](#)).

4.1.4. Puntos de vista de la Arquitectura

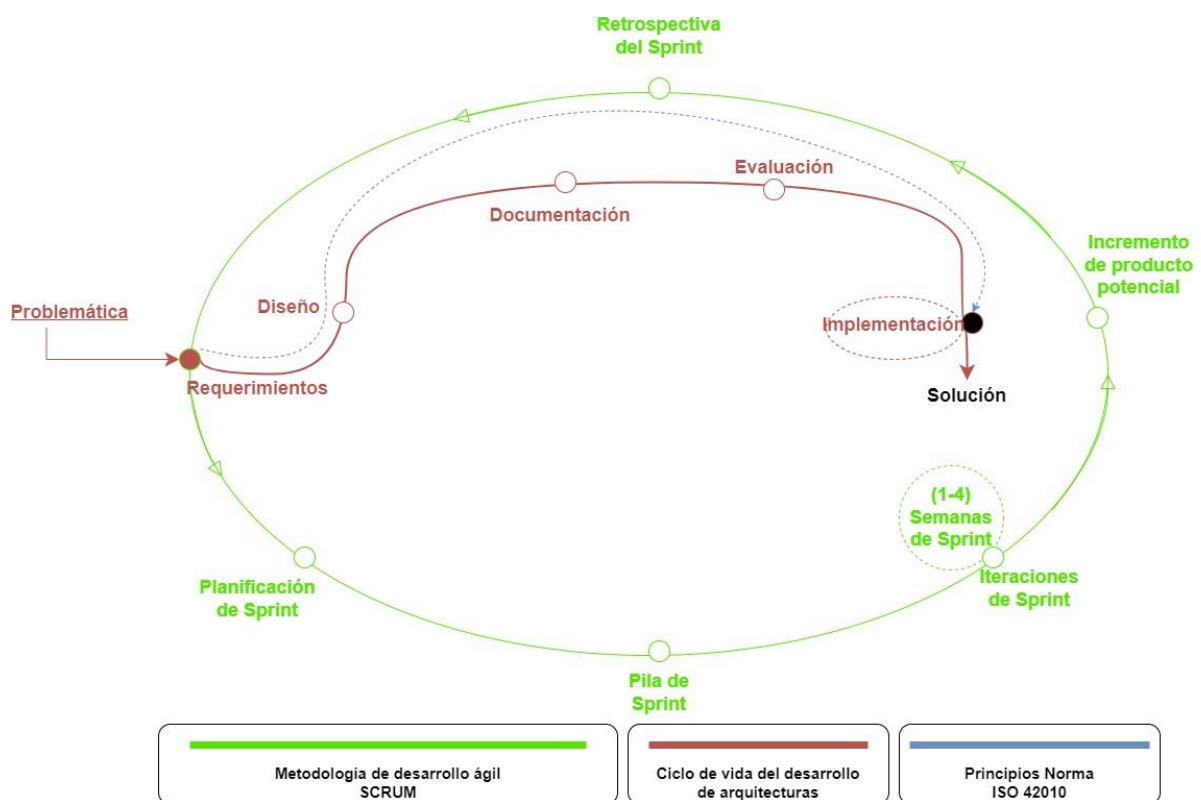
Tal como se indica en el estándar, el siguiente paso es identificar diferentes puntos de vista para describir la arquitectura del sistema; por ejemplo, el punto de vista estructural y el punto de vista de comportamiento. Un punto de vista es una forma de ver los sistemas; una vista es el resultado de aplicar un punto de vista a un sistema de interés particular ([IEEE, 2011](#)).

4.1.5. SCRUM

Para el desarrollo de este capítulo, se optó por utilizar un enfoque basado en metodologías ágiles. Se seleccionó SCRUM como marco de trabajo para el desarrollo del proyecto, debido a su naturaleza interactiva e incremental. Esta elección permitirá seguir un proceso dinámico en el diseño de la arquitectura tecnológica, en consonancia con los principios de la metodología ISO 42010, debido a que los artefactos proporcionados por esta metodología permite ser transversal en cada una de las etapas del ciclo de vida del desarrollo de la arquitectura. La metodología usada se describe en la Figura 10.

Figura 10

Metodología del desarrollo del proyecto



Nota. Adaptado de Metodología de desarrollo del proyecto por Padilla Jaramillo (2019).

En el proceso de planificación de los distintos Sprints, se adoptó un enfoque basado en el ciclo de vida de la arquitectura propuesto por Cervantes et al. (2015). Este ciclo de vida abarca diversas etapas cruciales, incluyendo la identificación de los requerimientos, el diseño detallado, la documentación exhaustiva y la evaluación rigurosa. Cada una de las etapas delineadas en el proceso se llevó a cabo a través de un Sprint individual, estableciendo un marco temporal de tres a cuatro semanas, dependiendo de la complejidad y alcance de las tareas involucradas. En la totalidad del trabajo de titulación, se llevaron a cabo un total de cuatro Sprints, cada uno enfocado en abordar de manera eficiente y efectiva las tareas correspondientes. Cada uno de los scripts ha sido catalogado desde la Tabla 11 hasta la Tabla 14, detallando información sobre el participante, la fase, la tarea específica y el periodo de tiempo dedicado a dicha tarea. La organización de las fases del proyecto se ha dispuesto de la siguiente manera:

- Fase de requerimientos: En esta etapa inicial, se identificaron y documentaron los requisitos del proyecto. Se realizaron reuniones con los stakeholders para comprender completamente sus necesidades y expectativas. La clarificación de los requisitos estableció las bases para el diseño y desarrollo subsiguientes.
- Fase de diseño: En esta etapa, además de basarse en las mejores prácticas de diseño, se incorporaron valiosos insumos provenientes de cuestionarios realizados a los casos de estudio. Estos cuestionarios proporcionaron información clave que influyó en la toma de decisiones del diseño. Además, se crearon casos de uso que detallan las interacciones del sistema, dando lugar a historias de usuario que representan las funcionalidades esenciales del proyecto. También se elaboró un detallado diagrama conceptual de la base de datos, estableciendo las relaciones y la estructura general del sistema.
- Fase de documentación: En esta fase, se generó un Manual Técnico siguiendo el formato del IEEE 830. Este manual, detallado y estructurado, incluye una descripción de los casos de uso, historias de usuario y aspectos técnicos del proyecto. Esto no solo proporciona una referencia completa para el desarrollo futuro, sino que también facilita la comprensión y colaboración entre equipos y stakeholders.
- Fase de evaluación: La metodología ATAM (Architectural Tradeoff Analysis Method) fue empleada en esta fase de evaluación. El proceso detallado de ATAM, descrito en el Capítulo 5, guió la evaluación del sistema. Se llevaron a cabo pruebas y revisiones detalladas para asegurar que la solución cumplía con los requisitos establecidos. Esta

metodología proporcionó un marco estructurado para identificar y abordar posibles riesgos arquitectónicos, garantizando la robustez y eficiencia del sistema.

Aunque en la Figura 10 se incluye una sección de Implementación, es importante destacar que, en este trabajo de titulación, se aborda la arquitectura de software en detalle. La sección "Solución" en la figura hace referencia a la arquitectura, que será posteriormente utilizada como base para el desarrollo del software.

Existen distintos roles en esta metodología, estos mismos se describen en la Tabla 10, donde se resume la información acerca de los roles y responsabilidades que se tienen para monitorear la implementación de Scrum como enfoque de desarrollo del proyecto. Además, se contempla la inclusión del rol de desarrolladores para futuros trabajos.

Tabla 10

Roles y cargos dentro de la metodología de SCRUM

Rol	Cargo
Product Owner	Gestionar el proyecto
Scrum Master	Dar seguimiento, acompañamiento de la metodología
Equipo del proyecto	Encargados del desarrollo de la arquitectura
Stakeholders	Validar incrementos potenciales
Usuarios	Usar el producto final

Nota. Adaptado de Metodología de desarrollo del proyecto por Padilla Jaramillo (2019).

Tabla 11

Sprint #1 - Fase de requerimientos

Participantes	Tarea	Tiempo (días)
Equipo del proyecto	Identificación de stakeholders/actores	5 días
Equipo del proyecto	Identificación de los objetivos de negocio	2 días
Equipo del proyecto	Especificación de requisitos	9 días
Equipo del proyecto	Preocupaciones de stakeholders	3 días

Equipo del proyecto	Análisis de los procesos y actividades involucradas en la CSA.	5 días
---------------------	--	--------

Tabla 12

Sprint #2 - Fase de Diseño

Participantes	Tarea	Tiempo (días)
Equipo del proyecto	Desarrollo de los casos de uso	4 días
Equipo del proyecto	Desarrollo de Historias de Usuario	8 días
Equipo del proyecto	Desarrollo de los puntos de vista de la IEEE 42010	5 días
Equipo del proyecto	Desarrollo del diagrama conceptual de base de datos	7 días
Equipo del proyecto	Desarrollo de Mockups	5 días

Tabla 13

Sprint #3 - Fase de Documentación

Participantes	Tarea	Tiempo (días)
Equipo del proyecto	Desarrollo de la Sección 1: Contexto del desarrollo	1 día
Equipo del proyecto	Desarrollo de la Sección 1: Historias de usuario	1 día
Equipo del proyecto	Desarrollo de la Sección 1: Desarrollo de casos de uso	1 día
Equipo del proyecto	Desarrollo de la Sección 2: Desarrollo de la descripción de la base de datos	1 día
Equipo del proyecto	Desarrollo de la Sección 3: Mockups	1 día

Tabla 14

Sprint #4 - Fase de evaluación

Participantes	Tarea	Tiempo (días)
Equipo del proyecto	Identificación de decisiones arquitectónicas	2 días
Equipo del proyecto	Selección de escenarios	8 días
Equipo del proyecto	Generación del árbol de utilidad	4 días
Equipo del proyecto	Análisis de los resultados de la evaluación	5 días
Equipo del proyecto	Recomendaciones de entorno de desarrollo	3 días

4.2. Análisis del dominio

4.2.1. Identificación de los stakeholders/actores y sus roles dentro de la cadena de suministros agroalimentaria

Las cadenas de suministro o abastecimiento se refieren a la combinación de recursos y actividades interconectados que son necesarios para la creación y entrega de productos y servicios a los clientes. Estas cadenas abarcan desde la obtención de los recursos naturales hasta el punto final de consumo (Hakanson, 2003). En la industria alimentaria, las cadenas de suministro son sistemas de gran complejidad que están en constante evolución y que involucran a múltiples participantes, incluyendo proveedores, productores, distribuidores, mayoristas, minoristas, entidades reguladoras, consumidores y otros actores (Robinson, 2009). En este caso, tomaremos como principales stakeholders/actores de la cadena de suministro agroalimentaria a: productores, distribuidores, mayoristas y minoristas, consumidores finales y representante de una empresa, añadiendo uno más obtenido de los cuestionarios realizados, el grupo de investigación. Los roles que desempeñan cada uno de estos actores serán descritos a continuación:

- Grupo de investigación: Desarrollar soluciones innovadoras para mejorar la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria en la Industria 5.0.
- Proveedores: Intervienen en el proceso de producción, transformación, distribución y venta. Pueden ser empresas, organizaciones o personas que proporcionan bienes o servicios.
- Productores: Encargados de producir los productos agroalimentarios. Incluyen ganaderos, pescadores y otros.
- Distribuidores: Encargados de transportar los productos agroalimentarios desde los productores hasta los puntos de venta. Pueden ser empresas de transporte, intermediarios o agentes de comercialización.
- Mayoristas y minoristas: Intermediarios que se encargan de comercializar los productos agroalimentarios al por mayor y al por menor, respectivamente. Los mayoristas compran grandes cantidades de productos a los productores o distribuidores y los venden a minoristas. Los minoristas, a su vez, venden los productos a los consumidores finales.

- Representante empresarial: Individuo encargado de representar a una empresa y participar activamente en los procesos de la CSA.
- Consumidor general: Persona que adquiere los productos agroalimentarios para su consumo. En el contexto actual del sistema, este actor tiene la capacidad de visualizar información relacionada con los productos, permitiéndole acceder a detalles pertinentes a la trazabilidad.

4.2.2. Preocupaciones por cada uno de los stakeholders

- Grupo de Investigación: Sus principales preocupaciones se centran en el desarrollo y la implementación de soluciones innovadoras y efectivas, enfocadas en la mejora de la gestión y eficiencia de la cadena de suministro agroalimentaria, alineadas con las directrices de la Industria 5.0. Están comprometidos con asegurar que las tecnologías y procesos propuestos no solo sean sostenibles y escalables, sino también intuitivos y de fácil adopción en el contexto local. Este enfoque garantiza que las herramientas sean ágiles y sencillas, permitiendo una integración sin contratiempos y una adaptación rápida a las cambiantes necesidades de la industria alimentaria.
- Productores: Los productores se preocupan por mantener la eficiencia y la rentabilidad de sus operaciones. Esto implica una gestión efectiva de los insumos, un control de calidad constante, y la capacidad de rastrear y verificar la procedencia de sus productos. También están interesados en cómo las tecnologías de trazabilidad pueden ayudarles a cumplir con regulaciones y estándares de la industria, así como a mejorar su relación con los distribuidores y consumidores.
- Distribuidores: Para los distribuidores, es esencial garantizar la eficiencia logística, minimizando los tiempos de entrega y maximizando la frescura y calidad de los productos agroalimentarios. Les preocupa cómo la trazabilidad puede optimizar la cadena de suministro, mejorar la transparencia y reducir los riesgos de problemas como el desperdicio de alimentos, las interrupciones en la cadena de suministro y las infracciones de seguridad.
- Mayoristas y Minoristas: Estos están preocupados por mantener un inventario adecuado, gestionar la relación con los proveedores y satisfacer las demandas de los consumidores. La trazabilidad les ofrece una forma de asegurar la autenticidad y calidad de los productos, mejorar la confianza del consumidor y adaptarse rápidamente a las tendencias y demandas cambiantes del mercado.

- Consumidores Finales: Los consumidores finales se preocupan principalmente por la calidad, seguridad y origen de los productos agroalimentarios que consumen. Desean tener acceso a información transparente y fiable sobre la trazabilidad de los productos, que les permita tomar decisiones de compra informadas y sentirse seguros sobre los alimentos que consumen.

4.2.3. Análisis de los procesos y actividades involucradas en la CSA.

La Cadena de Suministro Agroalimentaria (CSA) abarca diferentes procesos que tiene como encargados a los diferentes actores anteriormente nombrados. Estos procesos están conformados por el abastecimiento, producción, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos ([Gutierrez Pereyra, 2021](#)). Cada uno de estos procesos serán definidos a continuación:

- Abastecimiento: Este proceso implica la adquisición de los materiales necesarios para la producción de alimentos, incluyendo los ingredientes, los envases y otros suministros necesarios para la producción.
- Producción: Este proceso se refiere a la transformación de los materiales adquiridos en alimentos. Este proceso puede variar desde la elaboración de alimentos a partir de materias primas hasta la preparación de alimentos procesados y envasados.
- Almacenamiento: Una vez producidos los alimentos, estos deben ser almacenados para su posterior distribución. Es necesario garantizar la calidad y seguridad de los alimentos.
- Transporte: Este proceso se refiere al movimiento de los alimentos desde su lugar de producción o almacenamiento hasta su destino final. El transporte debe ser cuidadosamente planificado para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos.
- Distribución: Este proceso implica la entrega de los alimentos a los diferentes puntos de venta, como tiendas de comestibles, supermercados, restaurantes, entre otros.

Cada fase de la CSA, desde el abastecimiento hasta la distribución, juega un papel fundamental en la integridad y eficiencia de la cadena. Comprender en profundidad estos procesos permite identificar puntos críticos, relaciones y flujos de información esenciales para el funcionamiento adecuado. Este conocimiento detallado se convierte en un insumo invaluable para el diseño del modelo de datos.

En el diseño del modelo de datos, se deben considerar las diversas etapas y la interacción entre ellas. Por ejemplo, la relación entre los agricultores y los materiales en la fase de

abastecimiento, la transformación de materiales en la fase de producción, el almacenamiento y la logística en las etapas de almacenamiento y transporte, y finalmente, la distribución a los puntos de venta en la fase correspondiente.

Además, la incorporación de elementos como la trazabilidad de los alimentos, la gestión de inventarios y la garantía de calidad en el modelo de datos se convierte en un componente esencial. Es por esto que, considerar cuidadosamente cada fase en la arquitectura asegura no solo la funcionalidad del sistema, sino también la calidad, seguridad y eficacia en la gestión de la cadena agroalimentaria.

4.3. Especificación de requisitos para el problema planteado

Para una gestión eficaz de la cadena de suministro, se requiere una serie de subsistemas que optimicen los procesos y mejoren la toma de decisiones en todas las fases. En alineación con los requerimientos del proyecto y su primera versión, se han definido tres subsistemas fundamentales como componentes base: trazabilidad, rendición de cuentas y analíticas de gestión. Estos tres subsistemas son los pilares fundamentales y suficientes para abordar los requerimientos del proyecto debido a que cada uno se alinea con objetivos específicos de optimización y control. La trazabilidad garantiza la visibilidad integral de la cadena, la rendición de cuentas respalda la conformidad legal y normativa, y las analíticas de gestión promueven la eficiencia operativa y la mejora continua. Juntos, forman un marco robusto que atiende a las necesidades críticas del proyecto, asegurando cobertura completa sin redundancias, lo que justifica su elección y la exclusión de otros subsistemas adicionales. La siguiente subsección detalla los requisitos para cada subsistema, proporcionando un análisis exhaustivo de las necesidades clave para alcanzar una gestión óptima de la cadena de suministro.

4.3.1. Subsistemas Clave en la Arquitectura para la Gestión de la Cadena de Suministros Agroalimentaria

El diseño de la arquitectura de nuestro sistema para la gestión de la cadena de suministros agroalimentaria se ha enfocado en tres subsistemas clave: trazabilidad, rendición de cuentas, y analíticas de gestión. Esta estructura se elige como punto de partida debido a su capacidad para abordar de manera integral los desafíos más críticos en la gestión de la cadena de suministros, asegurando eficiencia, transparencia y adaptabilidad. A continuación, se presenta un resumen de cada subsistema:

- Subsistema de Trazabilidad: Facilita el seguimiento de los productos a lo largo de toda la cadena de suministro, desde su origen hasta el consumidor final, utilizando tecnologías como códigos de barras y RFID.
- Subsistema de Rendición de Cuentas: Se enfoca en garantizar la conformidad con los estándares y normativas aplicables, así como en la generación de informes detallados para una gestión transparente y ética.
- Subsistema de Analíticas de Gestión: Proporciona herramientas para la inteligencia comercial, incluyendo análisis de clientes/mercado, dinámica de

precios y selección de proveedores, lo que contribuye a una toma de decisiones estratégica y efectiva.

Este enfoque modular permite una implementación eficaz y una adaptación flexible a las necesidades cambiantes de la cadena de suministros agroalimentaria.

4.3.2. Objetivos de negocio de la arquitectura de software

Los objetivos de negocio para la arquitectura de software se han definido en base a una evaluación detallada de las necesidades del proyecto y considerando el estado tecnológico actual de los casos de estudio, que actualmente carecen de sistemas integrados. Estos objetivos reflejan el intento de abordar las carencias y las oportunidades identificadas en el ámbito de la cadena de suministro agroalimentaria. La Tabla 15 detalla los requerimientos obtenidos y cómo se alinean con los objetivos de negocio (ON). Cada objetivo ha sido cuidadosamente considerado para asegurar que la arquitectura propuesta responda de manera efectiva a los desafíos y demandas del sector agroalimentario, incorporando tecnologías avanzadas de la Industria 5.0 y atendiendo a criterios de sostenibilidad, resiliencia y centralidad en el ser humano.

Tabla 15

Objetivos de negocio de la arquitectura de software

ID	Descripción de los ON
ON-1	Diseñar una arquitectura de software que integre los diferentes sistemas existentes en la cadena de suministro agroalimentaria, considerando dos casos de estudio específicos.
ON-2	Desarrollar una arquitectura de software de una plataforma que integre módulos basados en las tecnologías IoT y Big Data.
ON-3	Implementar módulos de rendición de cuentas (accountability) y trazabilidad en la arquitectura de software, y garantizar su accesibilidad a diferentes actores a través de una página web.
ON-4	Integrar sistemas en la arquitectura de software para promover sostenibilidad y resiliencia mediante la gestión eficiente y la provisión de información en tiempo real, y centrar las decisiones en las necesidades humanas, reflejando así los principios de la Industria 5.0.

4.3.3. Requisitos por cada sistema para la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria

En esta sección, detallamos los Requisitos Específicos (RE), No Funcionales (RNF) y de Integración (RI) esenciales para el desarrollo de sistemas en la gestión de la CSA. Estos requisitos emergieron de un proceso exhaustivo y multifacético, que incorporó diversas perspectivas y métodos de análisis.

- Reuniones con Miembros del Equipo del Proyecto: Mediante reuniones regulares durante los sprints de desarrollo, se mantuvo un diálogo constante con un miembros del equipo de proyecto. Estas discusiones permitieron identificar y refinar los requisitos basados en las habilidades, experiencia y comprensión del equipo sobre las necesidades y desafíos del proyecto.
- Evaluación del Estado Tecnológico: Se realizó una evaluación detallada del estado tecnológico actual en los casos de estudio. Esta evaluación incluyó el análisis de las infraestructuras, sistemas y procesos existentes. A partir de este análisis, se identificaron áreas clave de mejora y se formularon requisitos que abordaban las brechas y oportunidades tecnológicas identificadas.
- Revisión del Estado del Arte: Se llevó a cabo una revisión exhaustiva del estado del arte de sistemas y arquitecturas de gestión de la CSA. Esta revisión ayudó a comprender las tendencias actuales, las mejores prácticas y los estándares de la industria, lo cual fue fundamental para establecer requisitos que no solo fueran relevantes y actualizados, sino que también alinearon nuestro proyecto con los avances y estándares de la industria.

Este enfoque integral aseguró que los requisitos definidos fueran completos, pertinentes y robustos, facilitando la creación de un sistema que responda efectivamente a las necesidades complejas de la gestión de la CSA.

Tabla 16

Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de trazabilidad.

Contexto	ID	Descripción
----------	----	-------------

Trazabilidad	RE-01	El sistema debe implementar distintos tipos de tecnologías de seguimiento como podrían ser, códigos de barras y RFID para la trazabilidad del producto.
	RE-02	El sistema debe contar con la capacidad de registrar diversa información en todas las etapas de la CSA para integrar la información y tener una gestión eficaz de la trazabilidad.
	RE-03	El sistema debe ofrecer herramientas de visualización y generación de informes detallados de trazabilidad.

Tabla 17

Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de rendición de cuentas

Contexto	ID	Descripción
Rendición de cuentas	RE-04	El sistema debe automatizar la generación de informes de rendición de cuentas.
	RE-05	El sistema debe incorporar módulos de certificación y verificación.
	RE-06	El sistema debe analizar las interacciones de los usuarios.

Tabla 18

Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de inicio de sesión.

Contexto	ID	Descripción
Inicio de Sesión	RE-07	El sistema debe gestionar de manera segura el inicio de sesión y la autenticación de usuarios.
	RE-08	El sistema debe mantener y supervisar las sesiones activas de manera eficiente.
	RE-09	El sistema debe implementar el manejo seguro de tokens de sesión.

Tabla 19

Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de analíticas de gestión

Contexto	ID	Descripción
Analíticas de Gestión	RE-10	El sistema debe proporcionar una API que facilite la obtención y el envío de información hacia y desde herramientas de análisis y gestión de datos externas.

Tabla 20

Lista de requisitos para la arquitectura de software para el subsistema de gestión de la seguridad.

Contexto	ID	Descripción
Gestión de la Seguridad	RE-11	El sistema debe garantizar la confidencialidad y seguridad de los datos personales y de la empresa, cumpliendo con las normativas de privacidad.
	RE-12	El sistema debe gestionar eficazmente los niveles de acceso y permisos de los usuarios para asegurar que solo las personas autorizadas tengan acceso a la información sensible.
	RE-13	El sistema debe ser capaz de identificar, responder y recuperarse de incidentes de seguridad de manera rápida y efectiva.
	RE-14	El sistema debe utilizar encriptación de datos y protocolos de seguridad para proteger la información almacenada y en tránsito.

Tabla 21

Lista de requisitos para la arquitectura de software para los requisitos no funcionales.

Contexto	ID	Descripción
RNF	RNF-01	Desplegarse en una infraestructura en la nube.
	RNF-02	Es necesario que el sistema incorpore mecanismos de seguridad informáticos avanzados para proteger los datos. Esto incluye la implementación de

		soluciones como autenticación de dos factores, control de acceso, encriptación de datos en tránsito y en reposo.
	RNF-03	Se requiere que los módulos/sistemas propuestos para la integración se basen preferentemente en software libre. Esto implica utilizar soluciones y componentes de software que estén disponibles bajo licencias de código abierto, permitiendo su acceso, modificación y distribución sin restricciones.
	RNF-04	Se requiere una integración sólida y eficiente con la plataforma de Procesos y Costos. Esto implica establecer una comunicación bidireccional y fluida entre el sistema y la plataforma de Procesos y Costos (Merchán et al., 2018), permitiendo la transferencia de datos, la sincronización de información relevante y la colaboración en tiempo real.
	RNF-05	El sistema debe estar basado en una plataforma web, lo que permitirá a los usuarios acceder a él de forma remota y utilizarlo a través de navegadores web.

Tabla 22

Lista de requisitos para la arquitectura de software para los requisitos de integración.

Contexto	ID	Descripción
RI	RI-01	El sistema se integrará de manera efectiva con el manual de diseño de layout para la organización de maquinaria en las plantas, permitiendo la evaluación de la resiliencia existente.
	RI-02	El sistema tendrá la capacidad de obtener y analizar de manera integral la responsabilidad social en la cadena de suministro, mediante una integración fluida y eficiente con el sistema de evaluación previamente desarrollado.
	RI-03	Se implementarán estándares y protocolos de comunicación compatibles, como HTTP y REST, para asegurar la integración fluida y eficiente del sistema con otras plataformas, permitiendo el intercambio seguro de datos en tiempo real.
	RI-04	El sistema deberá integrar una arquitectura de software ligera que asegure la interoperabilidad con tecnologías existentes, incluyendo compatibilidad con dispositivos móviles de generaciones anteriores. Esta especificación tiene como objetivo facilitar la inclusión y participación activa de todos los actores de la cadena de suministro, permitiendo el uso efectivo del sistema en una variedad amplia de dispositivos con diferentes capacidades técnicas.

4.4. Diseño de la arquitectura

La planificación y desarrollo de un sistema de software integral demanda una fase inicial crucial, en la cual se abordan aspectos fundamentales como la formulación de historias de usuario, diagramas de casos de uso y diagramas de la base de datos. Estos elementos desempeñan un papel fundamental como base estructural, permitiendo la construcción sólida de la plataforma propuesta.

La creación de historias de usuario marca el inicio de este proceso. Estas narrativas concisas, originadas desde la perspectiva del usuario final o en su defecto el stakeholder, encapsulan las interacciones esenciales entre los usuarios y el sistema, expresando los requisitos funcionales de manera detallada. Cada historia de usuario delineada proporciona una descripción clara de una funcionalidad específica del sistema, ofreciendo una comprensión detallada de las expectativas y necesidades del usuario final.

Simultáneamente, los diagramas de casos de uso emergen como herramientas visuales esenciales para representar las interacciones entre los actores y el sistema. Al proporcionar una visión visual y gráfica de las funciones del sistema, estos diagramas complementan y amplían la información contenida en las historias de usuario, ofreciendo una representación visual comprensible de los comportamientos esperados del sistema.

Simultáneamente, se lleva a cabo el diseño detallado de la base de datos, un componente crítico que sustenta la funcionalidad y estructura global del sistema. Los diagramas de la base de datos, al retratar la estructura de almacenamiento, relaciones y recuperación de información, ofrecen un marco sólido para la implementación eficiente y escalable de la base de datos.

Esta fase preliminar, orientada a la conceptualización y diseño, sienta las bases técnicas para el desarrollo subsiguiente. Facilita la elaboración de requisitos y el diseño del punto de vista lógico de la plataforma, asegurando la claridad y coherencia técnica en el sistema en su totalidad.

4.4.1. Implementación de la ISO/IEC/IEEE 42010

Habiendo culminado la fase de identificación de los actores involucrados del estudio, y tras haber definido exhaustivamente los requerimientos tanto funcionales como no funcionales que rigen nuestra arquitectura, es posible emprender la tarea de elaborar los puntos de vista de la arquitectura, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la normativa ISO/IEEE

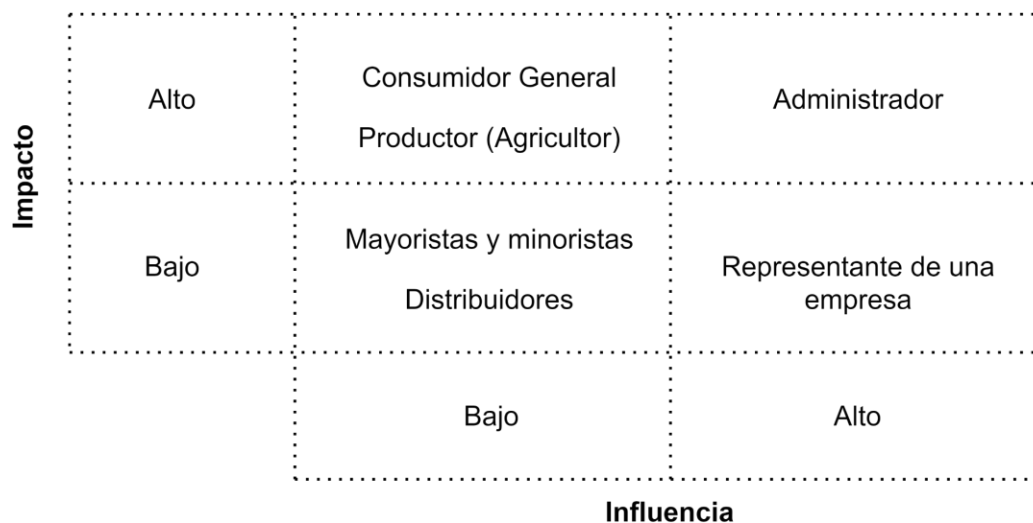
42010. Estos puntos de vista permiten visualizar y, de igual forma, comunicar de manera clara tanto la estructura como el comportamiento, las interacciones y las restricciones inherentes a nuestra arquitectura, brindando así una base sólida y fundamentada para el subsiguiente diseño y desarrollo de la aplicación en cuestión.

4.4.2. Diagrama de casos de uso

En la Sección 4.2.1 se han identificado diversos stakeholders o actores, totalizando seis en número. No obstante, no se había contemplado inicialmente la presencia del administrador de la plataforma, un actor que ostenta un rol esencial debido a su responsabilidad en la gestión y mantenimiento operativo de la plataforma. Reconociendo la importancia de este papel para el funcionamiento y la supervisión efectiva del sistema, se le ha incorporado como participante en los casos de uso correspondientes. Adicionalmente, para discernir qué otros stakeholders contribuirán con casos de uso que inciden en la plataforma, se ha recurrido a una matriz de influencia. En esta matriz, el nivel de interés se dispone en el eje horizontal y el nivel de influencia en el vertical, y la representación gráfica de dicha matriz se presenta en la Figura 11.

Figura 11

Matriz de influencia



Basándonos en esta matriz de influencia, se ha constatado que en el contexto de la CSA, el productor se ajusta de manera más pertinente a estos propósitos. Asimismo, se ha determinado que aquellos stakeholders caracterizados por una baja influencia e impacto no generarán casos de uso. Esta decisión se fundamenta en la premisa de que la contribución

de actores con estas características puede no ser significativa ni crítica para el desarrollo de casos de uso relevantes para la plataforma.

En el marco de la plataforma de CSA, diversos stakeholders desempeñan distintos roles, cada uno respaldado por casos de uso específicos. El Administrador, figura central en el control y mantenimiento del sistema, ejerce la capacidad de gestionar usuarios, administrar permisos, supervisar dashboards, actualizar datos de trazabilidad y administrar registros de logs, garantizando un control efectivo y la integridad de la plataforma.

Los Consumidores Generales, como destinatarios finales de los productos agroalimentarios, tienen acceso a casos de uso que les permiten visualizar el seguimiento detallado de los productos y buscar información específica, fomentando la transparencia y la toma de decisiones informadas. Por su parte, el Agricultor, como agente clave en la cadena de producción, utiliza casos de uso para registrar el estado del cultivo, gestionar la trazabilidad, registrar datos de producción, obtener pronósticos de cosecha, visualizar precios de mercado, cargar certificados de calidad y supervisar la distribución de los límites de tiempo, optimizando así los procesos agrícolas y de distribución.

El Representante de una Empresa, encargado de la gestión corporativa, desempeña funciones que incluyen asignar roles empresariales, supervisar la distribución de los límites de tiempo, gestionar certificados de calidad y sostenibilidad, verificar la validez de los certificados cargados por agricultores, generar informes de prácticas de sostenibilidad y trazabilidad, y registrar transacciones relacionadas con la producción, transporte y distribución de alimentos. Estos casos de uso respaldan la toma de decisiones estratégicas, la garantía de calidad y la transparencia en la CS, consolidando la eficacia y eficiencia de la plataforma CSA.

Asimismo, se hace constar que el desarrollo detallado de cada uno de los casos de uso mencionados se encuentra contenido en las Historias de Usuario, junto con sus respectivos escenarios y funcionalidades correspondientes. Estos documentos se hallan accesibles en el Anexo 1. Este anexo proporciona una exposición exhaustiva de las características y especificaciones técnicas de los casos de uso.

Figura 12

Diagrama de componentes lógicos



4.4.3. Punto de vista de despliegue

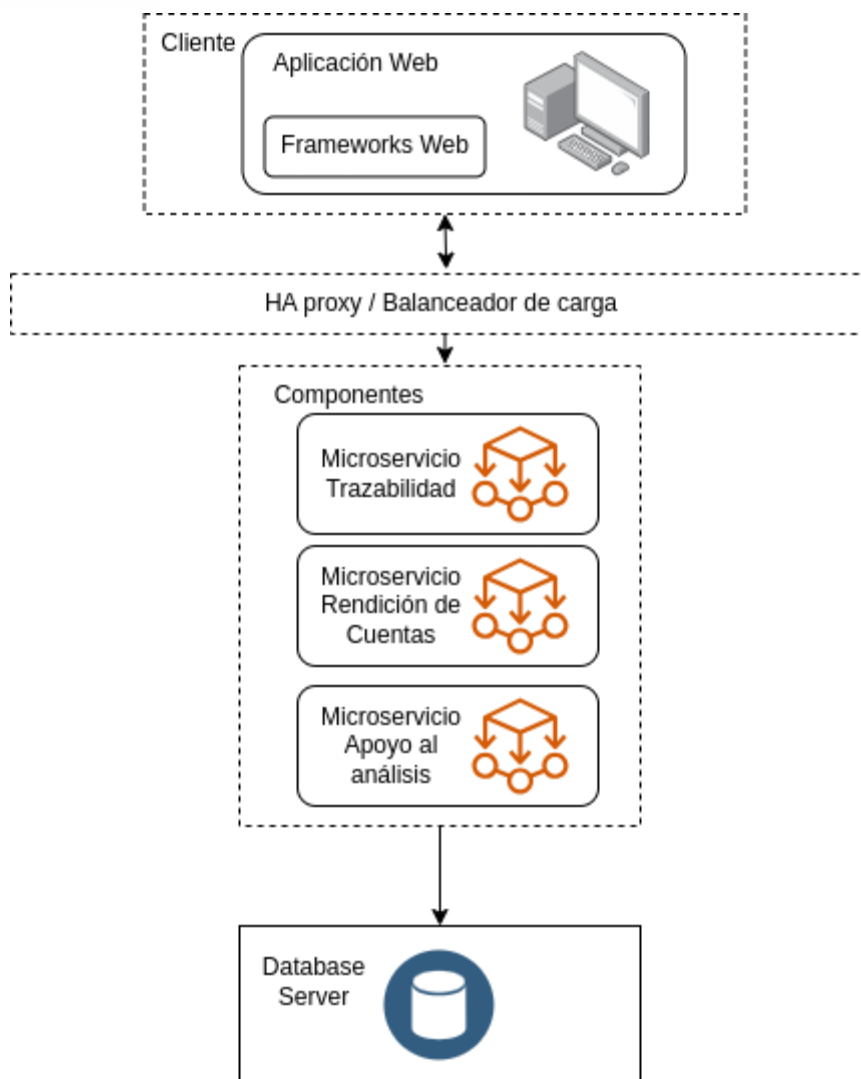
La Figura 13 ilustra el diagrama de despliegue de la arquitectura de software para la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria, que se compone de una serie de componentes interconectados diseñados para operar en un entorno distribuido. En la capa de cliente, la aplicación web se ha desarrollado utilizando frameworks web contemporáneos, seleccionados cuidadosamente por su flexibilidad y capacidad de proporcionar una experiencia de usuario final intuitiva y adaptativa. A pesar de su modernidad, estos frameworks están diseñados para ser retrocompatibles, asegurando así la funcionalidad adecuada incluso en dispositivos electrónicos de generaciones anteriores. La interfaz resultante sirve como el principal punto de acceso para los usuarios y establece la comunicación con los servicios de backend a través de un proxy de alta disponibilidad (HA) y un balanceador de carga. Esta configuración garantiza no solo una distribución equitativa del tráfico y la alta disponibilidad del sistema, sino también la inclusión de una base de usuarios más amplia, al abarcar dispositivos de variadas capacidades técnicas.

En el núcleo del sistema, residen tres microservicios especializados que representan los subsistemas funcionales de la arquitectura: Trazabilidad, Rendición de Cuentas y Apoyo al Análisis. Cada microservicio opera de forma independiente, lo que facilita la escalabilidad y el mantenimiento del sistema. El microservicio de *Trazabilidad* se encarga de registrar y proporcionar información detallada sobre el recorrido de los productos dentro de la cadena de suministro. Por otro lado, el microservicio de *Rendición de Cuentas* se centra en garantizar que todas las operaciones cumplan con las regulaciones y estándares vigentes. El microservicio de *Apoyo al Análisis* ofrece herramientas analíticas avanzadas para evaluar y optimizar las operaciones de la cadena de suministro.

Finalmente, todos los microservicios interactúan con un servidor de base de datos centralizado, que proporciona un repositorio unificado para la persistencia de datos. Este diseño modular y descentralizado mejora la resiliencia y eficiencia del sistema, ofreciendo una plataforma sólida para la gestión de datos críticos y la toma de decisiones basada en información precisa y actualizada. La arquitectura de despliegue presentada en la Figura 13 refleja un enfoque sistemático y bien organizado, alineado con las mejores prácticas en arquitectura de software para sistemas distribuidos.

Figura 13

Diagrama de punto de vista de despliegue

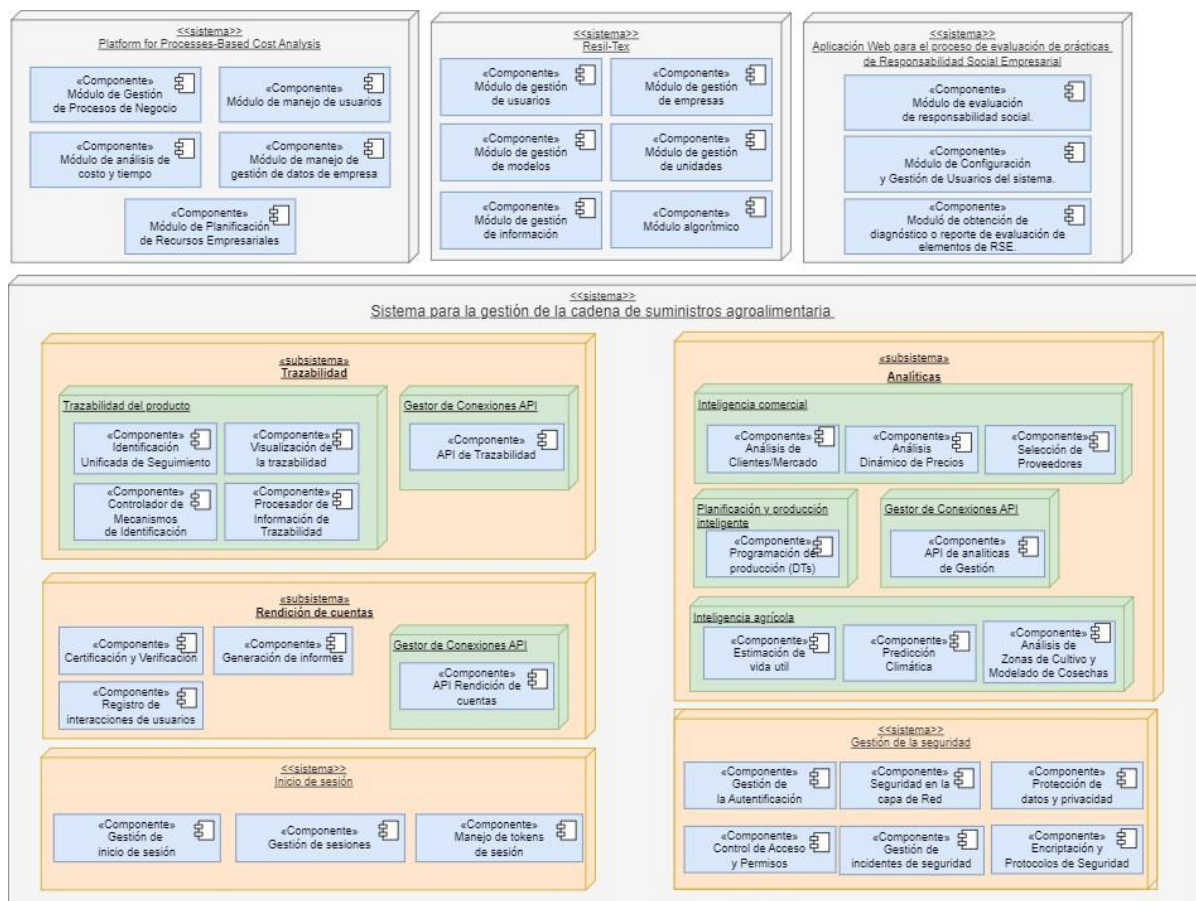


4.4.4. Punto de vista lógico

El punto de vista lógico de la arquitectura del sistema de gestión de la CSA, presentado en la Figura 14, se ha elegido por su capacidad para enfocarse en la organización y la lógica subyacente que rige la interacción de los componentes clave. Esta perspectiva es esencial para comprender cómo se integran y funcionan conjuntamente los diversos módulos dentro del sistema, especialmente al considerar la incorporación de tecnologías avanzadas de la Industria 5.0 y la interacción con sistemas externos que han sido desarrollados en fases previas de la investigación. Entre los módulos fundamentales identificados en esta arquitectura, se incluyen la infraestructura de tecnologías de la Industria 5.0, el sistema de control de acceso y permisos, la generación de informes, la verificación y certificación, entre otros. Cada módulo desempeña un papel vital en la eficacia y eficiencia de la gestión de la cadena de suministros, y su diseño lógico asegura una interacción coherente y funcional.

Figura 14

Diagrama de componentes lógicos



Nota. Los sistemas que se encuentran fuera del sistema de gestión de la CSA, son sistemas ya existentes que se conectarán con nuestra plataforma.

En el subsistema de *Trazabilidad*, destacan dos componentes esenciales. En primer lugar, nos encontramos con la "Trazabilidad del Producto", cuya función principal radica en proporcionar la identificación unificada de seguimiento. Este componente se distingue por su capacidad para visualizar de manera eficiente la trazabilidad del producto, así como por su habilidad para gestionar diversos mecanismos de identificación. En este contexto, se destaca la flexibilidad de la arquitectura al admitir la coexistencia de diferentes tipos de identificación, tales como códigos de barras, tecnología RFID, entre otros. También se integra un componente de "Gestor de Conexiones API"; este componente moderniza el subsistema al facilitar la interacción y el intercambio de datos con otros sistemas y aplicaciones. La API de trazabilidad permite una comunicación más fluida y segura, optimizando la gestión de la información de trazabilidad. Este avance representa un paso significativo hacia una mayor integración y eficiencia en el seguimiento y gestión de

productos.

El subsistema de *Rendición de Cuentas* en la arquitectura propuesta se caracteriza por sus componentes esenciales: Certificación y Verificación, Generación de Informes y Registro de Interacciones de Usuario. La Certificación y Verificación aseguran la conformidad con los estándares y normativas aplicables, fortaleciendo la integridad del sistema. La Generación de Informes es una herramienta clave para crear documentación detallada y transparente, esencial para operaciones éticas y responsables. El Registro de Interacciones de Usuario proporciona una trazabilidad precisa de las actividades, contribuyendo a la seguridad y fiabilidad del sistema. Además, se ha integrado un módulo gestor de conexiones API, que incluye la API de Rendición de Cuentas, mejorando la eficiencia en la comunicación y el intercambio de datos. Este enfoque integral permite una gestión de la cadena de suministro más transparente, responsable y conforme a los estándares actuales.

En el subsistema de *Análíticas de Gestión*, se destacan tres funciones fundamentales, siendo la primera la "Inteligencia Comercial". Esta funcionalidad se desglosa, a su vez, en tres componentes interrelacionados, que potencian la toma de decisiones estratégicas. En primer lugar, el "Análisis de Clientes/Mercado" se enfoca en examinar, a través de la producción de productos agroalimentarios, las tendencias y demandas del mercado. Esta perspectiva detallada permite una comprensión profunda de los patrones de consumo y preferencias de los clientes, facilitando así la adaptación de la cadena de suministro a las necesidades del mercado. En segundo lugar, el "Análisis de Dinámica de Precios" se integra de manera inseparable con la producción en la CSA. Este componente examina las fluctuaciones y tendencias de precios en el mercado, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con la producción, distribución y fijación de precios. La sincronización de la dinámica de precios con la producción fortalece la capacidad de la cadena de suministro para anticipar cambios y optimizar sus operaciones. Finalmente, el tercer componente de la "Inteligencia Comercial" es la "Selección de Proveedores". Este aspecto aborda la importancia estratégica de elegir proveedores adecuados, considerando factores como la calidad, la confiabilidad y la eficiencia. La optimización de la selección de proveedores contribuye directamente a mejorar la eficacia operativa y la calidad de los productos agroalimentarios ofrecidos.

La segunda función principal se centra en la "Planificación y Producción Inteligente". Dicha funcionalidad está respaldada por un componente específico conocido como "Programación de la Producción (DTs)", la cual desempeña un papel crucial al facilitar la coordinación y

optimización de las operaciones de producción. La "Programación de la Producción (DTs)" actúa como un facilitador esencial, proporcionando asistencia en la elaboración de planes de producción estratégicos. Su enfoque está orientado a maximizar la eficiencia operativa mediante la asignación inteligente de recursos, la gestión efectiva de plazos y la adaptación dinámica a las demandas del mercado. Este componente no solo ayuda en la planificación a corto plazo, sino que también contribuye a la visión a largo plazo de la cadena de suministro, permitiendo la anticipación de cambios en la demanda y la adaptación proactiva de las estrategias de producción. En última instancia, la "Planificación y Producción Inteligente" fortalece la capacidad de la cadena de suministro para responder de manera ágil y eficiente a las complejidades del entorno empresarial.

La tercera y última funcionalidad se centra en la "Inteligencia Agrícola", comprende tres componentes fundamentales. El primer componente es la "Estimación de Vida Útil", una capacidad esencial que se enfoca en la duración de los alimentos, destacando especialmente en el caso de productos perecederos. Este componente proporciona un enfoque integral para gestionar de manera eficaz la cadena de suministro de productos con periodos de caducidad limitados. El segundo componente aborda el "Análisis de Zonas de Cultivo y Modelado de Cosechas". Este aspecto considera la importancia de comprender las condiciones específicas de las áreas de cultivo, permitiendo un análisis detallado que optimiza la producción agrícola. La capacidad de modelar cosechas contribuye a la toma de decisiones informada, mejorando la eficiencia y la calidad en la cadena de suministro agrícola. Finalmente, el tercer componente se refiere a la "Predicción Climática". Este elemento anticipa cambios meteorológicos relevantes para la producción agrícola, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones anticipadas. La capacidad de prever condiciones climáticas favorece la planificación estratégica, minimizando riesgos y maximizando la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro.

El Subsistema de *Gestión de la Seguridad* es una parte integral de la arquitectura, diseñada para fortalecer la protección global del sistema. Comienza con la Gestión de la Autenticación, que verifica la identidad de los usuarios y controla el acceso al sistema. La Seguridad en la Capa de Red protege los datos en tránsito, previniendo accesos y alteraciones no autorizados. La Protección de Datos y Privacidad se centra en la confidencialidad y la integridad de la información. El Control de Acceso y Permisos regula los niveles de acceso de los usuarios a diferentes partes del sistema. La Gestión de Incidentes de Seguridad es esencial para responder de manera eficaz ante posibles brechas de seguridad. Finalmente, la Encriptación y los Protocolos de Seguridad aseguran que la información almacenada y

transmitida esté protegida de forma efectiva. Juntos, estos elementos conforman un escudo robusto contra amenazas de seguridad.

El Subsistema de *Inicio de Sesión* constituye una entidad crítica dentro de la arquitectura, dedicada a la gestión de la autenticación y las sesiones de los usuarios. Su finalidad primordial radica en asegurar un acceso seguro y personalizado a la plataforma, otorgando así una experiencia de usuario coherente y protegida. La gestión precisa de sesiones y tokens de sesión en este subsistema se erige como un aspecto esencial para preservar la integridad y seguridad de las interacciones de los usuarios con la plataforma, al prevenir accesos no autorizados y establecer una capa fundamental de seguridad.

Por último, existen tres subsistemas externos, el primero de los cuales es una *Aplicación Web diseñada específicamente para llevar a cabo la evaluación de prácticas de Responsabilidad Social Empresarial (RSE)* en pequeñas y medianas empresas textiles en Ecuador. Este sistema tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico preciso del estado de la RSE en este sector empresarial.

Otro subsistema externo es *Resil-Tex*, una Plataforma Web concebida para optimizar la distribución de planta en empresas textiles mediante la recopilación de datos y la aplicación de algoritmos matemáticos. Su propósito fundamental es abordar los desafíos asociados con la disposición física de los espacios de trabajo, permitiendo analizar diversas opciones de distribución sin necesidad de realizar cambios estructurales significativos.

Finalmente, se encuentra la *Plataforma de Análisis de Costos por Procesos*, un sistema integral destinado a la gestión de procesos y costos empresariales. Esta herramienta proporciona a las empresas la capacidad de aprovechar las ventajas derivadas del sistema de costos basados en el tiempo invertido por actividad. Su función principal radica en facilitar un análisis detallado de los costos asociados a cada proceso, posibilitando así una toma de decisiones informada y eficiente.

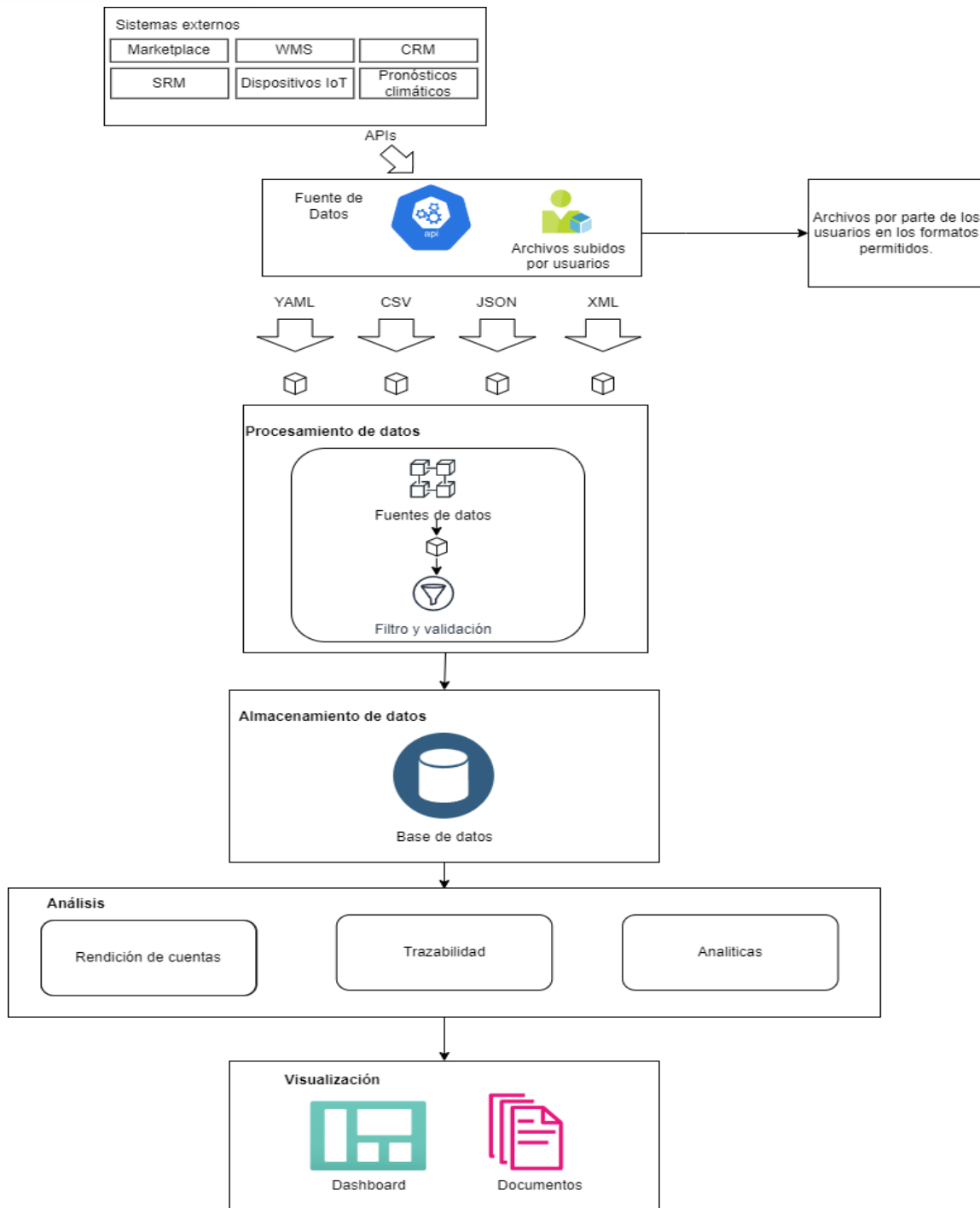
4.4.5. Punto de vista de proceso

En la Figura 15, se inicia con la categoría "Sistemas Externos", que engloba fuentes de datos provenientes de diferentes orígenes. Estos sistemas incluyen "Monitorización", "WMS" (Warehouse Management System), "CRM" (Customer Relationship Management), "SRM" (Supplier Relationship Management), "Dispositivos IoT" (Internet de las Cosas) y Pronósticos climáticos. Cada uno de estos componentes desempeña un papel fundamental en la recopilación de información relacionada con la cadena de suministros agroalimentaria.

Se utilizaron APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) para facilitar la adquisición de datos de diversas fuentes. Estas APIs están diseñadas para devolver datos, principalmente en formatos JSON o XML, que son ampliamente reconocidos por su compatibilidad y facilidad de integración. Además, el sistema está equipado para manejar múltiples tipos de archivos como YAML y CSV, lo que permite una mayor flexibilidad e interoperabilidad al procesar datos provenientes de diferentes orígenes y formatos. Este enfoque asegura una recopilación de datos eficiente y coherente, adaptándose a las variadas necesidades de la cadena de suministros agroalimentaria.

Figura 15

Diagrama de flujo de datos



La sección de "Procesamiento de Datos" representa el punto en el que las fuentes de datos son sometidas a procesos de "Filtro y Validación" para asegurar la calidad y confiabilidad de la información como serían la integridad de los datos, que no se encuentren incompletos o corruptos, entre otros. A continuación, los datos procesados se almacenan en una base de datos, donde se establece una sólida estructura para el almacenamiento de datos a largo plazo.

La salida de la base de datos se segmenta en tres componentes críticos: 'Rendición de Cuentas', 'Trazabilidad' y 'Analíticas', mismos que reflejan los elementos presentes en nuestro diagrama de punto de vista lógico descrito en la Sección 4.4.2. Estos componentes son fundamentales para la operación y el análisis de los datos dentro de la cadena de suministros agroalimentaria. 'Rendición de Cuentas' asegura la transparencia y responsabilidad en todas las acciones y transacciones, alineándose con los estándares de integridad y ética empresarial. 'Trazabilidad' proporciona un seguimiento detallado de los productos a lo largo de la cadena, asegurando la calidad y el cumplimiento normativo. Por último, 'Analíticas' ofrece "insights" críticos y apoya la toma de decisiones informadas, utilizando datos para guiar estrategias y mejorar operaciones. Cada uno de estos componentes es un reflejo directo de las estructuras definidas en nuestro diagrama de punto de vista lógico, ilustrando cómo se traduce la teoría en prácticas funcionales dentro del sistema.

Por último, el esquema muestra que los resultados del análisis se emplean en la "Visualización", donde se crean "Dashboards" y "Documentos" que permiten a los usuarios comprender de manera intuitiva la información y tomar decisiones basadas en datos precisos.

Este esquema refleja la compleja infraestructura subyacente de la arquitectura del sistema, donde la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos desempeñan un papel crucial en la gestión eficiente de la cadena de suministros agroalimentaria. La implementación de tecnologías avanzadas y la integración con sistemas externos son clave para lograr los objetivos de trazabilidad y rendición de cuentas en esta área crítica.

4.4.6. Diagrama de base de datos conceptual

El esquema de base de datos delineado en el diagrama proporciona una estructura organizada y lógica para la administración CSA. Dividido en dos secciones fundamentales, denominadas 'Información organizacional' e 'Información de producción', el modelo aborda las exigencias de datos inherentes al sistema.

En la sección 'Información organizacional', se concibió para capturar la estructura y dinámica de la organización, incluyendo entidades como 'Sector' y 'Organización', que albergan información sobre las divisiones y jerarquía organizativa. Asimismo, se contemplan entidades como 'Rol' y 'Privilegio', las cuales definen los permisos y responsabilidades de los usuarios en el sistema. Otras entidades específicas, como 'Tipo de Proceso' e 'Informe de Trazabilidad', facilitan la documentación y seguimiento de las operaciones y procesos.

En contraste, la sección 'Información de producción' se centra en el núcleo de la CSA, documentando aspectos que abarcan desde los 'Insumos' y 'Costos' asociados a la producción, hasta los detalles específicos de cada 'Producto' y 'Lote'. Esta sección resulta esencial para rastrear minuciosamente el recorrido de los productos agroalimentarios, desde su origen en los 'Cultivos', pasando por las 'Operaciones', hasta su distribución final. La inclusión de entidades relacionadas con las 'Condiciones Climáticas' y el 'Estado del Cultivo' resulta crucial para adaptar las prácticas agrícolas a las variables ambientales.

Adicionalmente, el modelo incorpora 'Logs_Plataforma', que registra la actividad del sistema para auditorías y seguimiento de la seguridad, y 'Propiedad', que vincula los atributos específicos de los productos con los procesos de producción. Este conjunto de entidades facilita la recopilación y almacenamiento de datos, al igual que también garantiza la trazabilidad y la integridad de la información a lo largo de toda la cadena de suministro, permitiendo así una gestión informada, efectiva y transparente. La descripción de esta base de datos, acompañada de sus atributos correspondientes, se presenta de manera visual en el Anexo 1 de la sección 2 - Diagrama de Base de Datos.

5. Validación de la arquitectura propuesta

En el presente apartado, se procede a detallar el proceso de evaluación de la arquitectura generada en la fase correspondiente al diseño arquitectónico. En este escenario específico, se optó por emplear el método conocido como ATAM (Architecture Tradeoff Analysis Method). Esta es una metodología diseñada para evaluar arquitecturas de software, centrándose principalmente en la adecuación de la arquitectura definida con respecto a los atributos de calidad especificados para el sistema (Delgado et. al, 2007).

En el subcapítulo 5.1, se despliega una exploración detallada de los conceptos clave de la metodología ATAM, proporcionando las bases conceptuales necesarias para entender la profundidad y el alcance de esta metodología en el contexto de la validación arquitectónica.

Procediendo al subcapítulo 5.2, se presenta una inmersión en la metodología ATAM propiamente dicha, delineando su estructura, etapas y componentes esenciales. Este segmento se concentra en articular el flujo metodológico y las prácticas asociadas a ATAM, facilitando un entendimiento claro de cómo se ejecuta la metodología en la práctica y la manera en que contribuye al análisis y mejora de la arquitectura propuesta.

Dentro del subcapítulo 5.3, se emprende un análisis exhaustivo de la evaluación de la arquitectura, estructurado en varios segmentos que desglosan el proceso en pasos manejables. Se inicia con la identificación de decisiones arquitectónicas clave, seguido por la elección de escenarios relevantes y la generación del árbol de utilidad.

Finalmente, el subcapítulo 5.4 se centra en el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación, donde se sintetizan los hallazgos y se extraen conclusiones valiosas. Este segmento es crucial para interpretar los resultados en el contexto del proyecto, proporcionando una perspectiva crítica y constructiva sobre la arquitectura propuesta y delineando pasos futuros para su refinamiento y optimización.

5.1. Conceptos claves de la metodología ATAM

El Architecture Tradeoff Analysis Method (ATAM) es una metodología diseñada para evaluar arquitecturas de software en función de los atributos de calidad especificados para el sistema. Para llevar a cabo esta evaluación, ATAM utiliza una caracterización detallada de los atributos de calidad, dividida en tres categorías: estímulo externo, decisiones arquitectónicas y respuestas. Estos atributos incluyen aspectos como rendimiento, modificabilidad, disponibilidad, usabilidad y seguridad (Delgado et. al, 2007).

Dado que los requerimientos específicos de atributos de calidad rara vez están completamente definidos, ATAM emplea escenarios para obtener una especificación precisa de los objetivos de calidad contra los cuales se evaluará la arquitectura. Los escenarios describen interacciones entre stakeholders y el sistema, abordando aspectos tanto de tiempo de desarrollo como de tiempo de ejecución. Se definen tres tipos de escenarios: Casos de Uso, escenarios de crecimiento y escenarios de exploración.

ATAM utiliza dos mecanismos para obtener y priorizar información de escenarios: árboles de utilidad y lluvia de ideas estructurada. Los árboles de utilidad, generados en colaboración con el arquitecto, traducen los requerimientos del negocio en escenarios concretos, priorizados según su importancia y dificultad. La lluvia de ideas implica a todos los stakeholders para identificar una amplia gama de escenarios, que luego se comparan y agregan a los árboles de utilidad.

La evaluación resultante de ATAM identifica riesgos, no riesgos, puntos de sensibilidad y puntos de concesión en la arquitectura. Los riesgos son decisiones arquitectónicas importantes pero no abordadas o comprendidas completamente. Los no riesgos son fortalezas de la arquitectura que cumplen con los requisitos de calidad. Los puntos de sensibilidad son parámetros de arquitectura fuertemente vinculados a atributos de calidad medibles, mientras que los puntos de concesión son aquellos donde un cambio en un parámetro afecta de manera diferente a múltiples atributos de calidad, ejemplificando la necesidad de concesiones en el diseño. Estos aspectos pueden orientar futuros esfuerzos de prototipado, diseño y análisis.

5.2. Metodología de ATAM

El núcleo de la Metodología ATAM implica la ejecución de nueve pasos, los cuales se distribuyen en cuatro grupos y se llevan a cabo a lo largo de cuatro fases distintas. A pesar de que la numeración de los pasos insinúa una secuencia lineal, la implementación no necesariamente sigue un proceso de cascada estricto. Es posible regresar a pasos anteriores, avanzar hacia pasos posteriores o incluso iterar entre pasos según las necesidades particulares del proyecto (Delgado et. al, 2007).

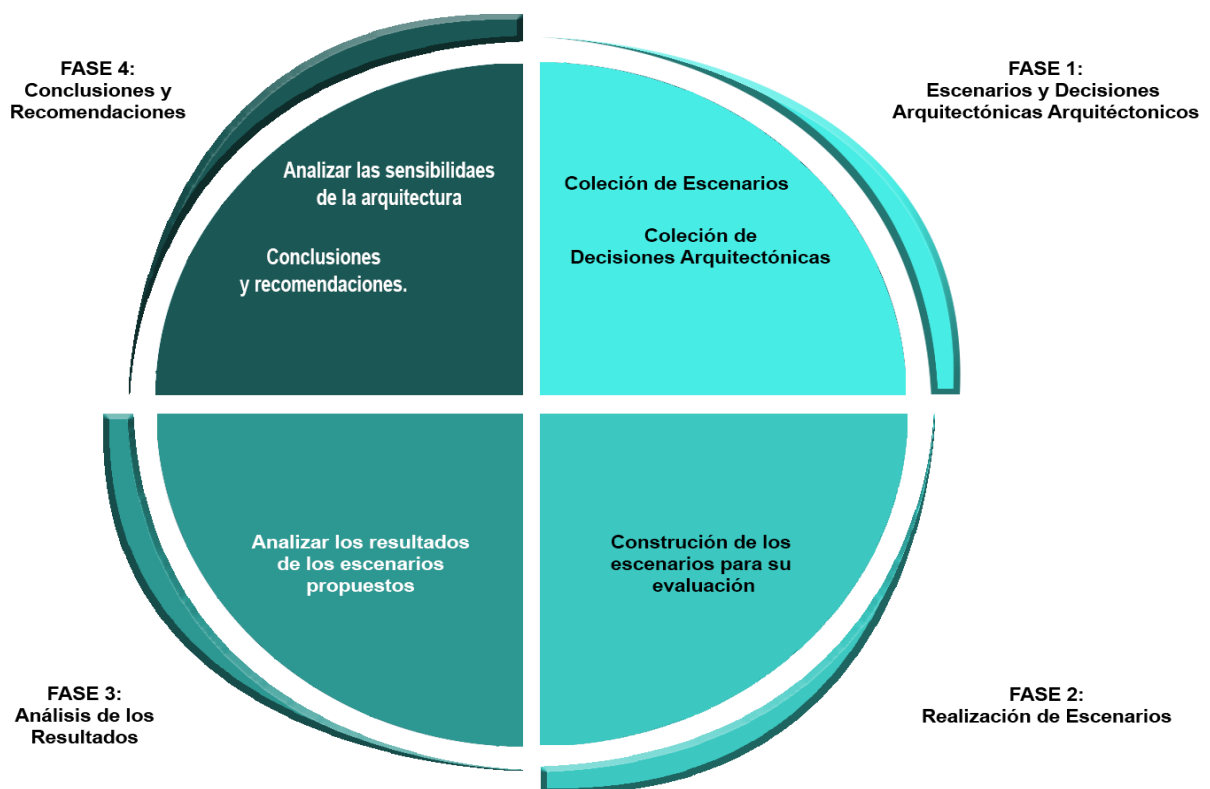
El primer grupo aborda la presentación, donde se intercambia información del sistema. El segundo grupo se enfoca en la investigación y análisis, evaluando meticulosamente los atributos de calidad con respecto a las propuestas arquitectónicas. El tercer grupo se dedica a las pruebas, revisando los resultados obtenidos en comparación con las necesidades

pertinentes de los stakeholders. El cuarto y último grupo se centra en la presentación de los resultados del ATAM.

El proceso de evaluación comienza con la Fase 0, donde se establecen los acuerdos preliminares que abarcan el tiempo, las fechas, los costos y el esfuerzo estimado. Esta fase también incluye la formación del equipo de evaluación. Posteriormente, y tomando como referencia la Figura 16, en las Fases 1 y 2, se lleva a cabo la evaluación propiamente dicha, siguiendo los nueve pasos establecidos por el método ATAM. Durante la Fase 3, se analizan los resultados obtenidos, se recopilan datos para evaluar y mejorar el proceso y se actualizan los repositorios con los productos generados. Finalmente, en la Fase 4, se concluye el proceso con la elaboración de conclusiones y recomendaciones, y se define el stack de desarrollo para la arquitectura, basado en los hallazgos de la evaluación.

Figura 16

Fases de la evaluación de la arquitectura



Nota. Adaptado de Making Tradeoffs and Choices por Evolute. (2018).

5.2.1. Descripción por Grupos y Pasos de la metodología ATAM.

- Grupo 1: Presentación
 - Paso 1: Selección del Panel: En esta fase inicial, se elige cuidadosamente un panel de evaluadores expertos y partes interesadas clave que participarán en el proceso de evaluación. En esta plataforma, el evaluador es el estudiante de Doctorado del Proyecto, la tutora del trabajo de titulación además de los miembros del proyecto AGRO5.
 - Paso 2: Introducción y Contexto: En esta etapa, se proporciona al evaluador una serie de diagramas de la plataforma para facilitar su comprensión del sistema a evaluar. Esta presentación visual establece un marco de referencia común y ayuda a los miembros del panel a familiarizarse con el contexto y la estructura del sistema.
- Grupo 2: Investigación y Análisis
 - Paso 3: Caracterización de Atributos: Se caracterizan los atributos de calidad pertinentes, tales como rendimiento, modificabilidad, disponibilidad, usabilidad y seguridad, esto se desglosa a mayor detalle en el árbol de utilidad de la Sección 5.3.3.
 - Paso 4: Generación de Escenarios: En esta fase, se elaboran escenarios detallados que especifican los objetivos de calidad, los cuales actúan como criterios clave para evaluar la arquitectura. Estos escenarios están documentados y pueden encontrarse en la Sección 5.3.2 de este trabajo, proporcionando un marco claro para la evaluación arquitectónica.
 - Paso 5: Evaluación de Propuestas Arquitectónicas: Se evalúan las propuestas arquitectónicas en relación con los atributos de calidad identificados, relacionando riesgos, no riesgos, puntos de sensibilidad y concesiones. Esto se encuentra detallado en la Sección 5.3.4.
- Grupo 3: Pruebas
 - Paso 6: Revisión de Resultados: Se examinan los resultados obtenidos en la evaluación, comparándolos con las necesidades y expectativas de los stakeholders relevantes.

- Grupo 4: Presentación de Resultados
 - Paso 7: Presentación de Resultados Preliminares: Se presentan los resultados preliminares al equipo y se obtiene su retroalimentación.
 - Paso 8: Reevaluación (Opcional): En esta etapa, se permite la reevaluación, regresando a pasos anteriores si es necesario, para abordar cualquier inquietud identificada durante la presentación de resultados preliminares.
 - Paso 9: Presentación de Resultados Finales: Para concluir, se presentan las conclusiones y recomendaciones finales, se recopila información para futuras mejoras del proceso y se actualizan los repositorios de productos generados.

Este enfoque modular y flexible de ATAM permite adaptarse a las particularidades de cada proyecto, facilitando una evaluación exhaustiva de la arquitectura de software y proporcionando valiosa retroalimentación para su mejora continua.

5.3. Evaluación de la Arquitectura

Luego de la conceptualización y diseño de la arquitectura para la gestión de la cadena de suministros agroalimentaria, es necesario llevar a cabo un proceso de evaluación. Este proceso busca garantizar que las decisiones tomadas previamente sean comprendidas y respaldadas tanto por los interesados como por los participantes involucrados.

5.3.1. Identificación de decisiones arquitectónicas

En el diseño de la arquitectura para el sistema de gestión de la cadena de suministros agroalimentaria, se han tomado decisiones arquitectónicas clave para garantizar la efectividad y la adaptabilidad del sistema. Algunas de estas decisiones son las siguientes:

1. Microservicios:

- Adoptar una arquitectura basada en microservicios para lograr una mayor modularidad. Cada microservicio se centrará en una funcionalidad específica, facilitando el desarrollo, la implementación y la escalabilidad.

2. Arquitectura distribuida:

- La implementación de una arquitectura distribuida donde los componentes o módulos del sistema se ejecutan en distintas máquinas que se encuentran interconectadas para lograr un mismo objetivo. De esta manera, a cada componente se le puede considerar como nodo y asignarle cierta carga de trabajo.

3. Almacenamiento de caché:

- El almacenamiento en caché es una técnica que se suele utilizar en arquitecturas de software para mejorar el rendimiento y la eficiencia; de esta manera, reduciendo el tiempo de acceso a los datos que se acceden con mayor frecuencia.

4. API Gateway

- Es una técnica que se utiliza para gestión de puntos de entrada, para posteriormente orquestar las comunicaciones entre diferentes servicios y clientes.

5. Uso de Mecanismos de Autenticación Estándar:

- La adopción de mecanismos de autenticación estándar es fundamental para garantizar la seguridad integral del sistema. La implementación de protocolos reconocidos y bien establecidos, como OAuth 2.0, asegura un proceso robusto de autenticación y autorización. Estos estándares permiten una integración segura con servicios externos, facilitando la gestión de identidades y garantizando que las credenciales de usuario se manejen con los más altos estándares de seguridad.

6. Tokens JWT (JSON Web Tokens):

- La utilización de tokens JWT establece un método conciso y autónomo para transmitir información segura entre distintas entidades, adoptando la forma de un objeto JSON.

7. Balanceo de Carga:

- El uso de un balanceador de carga para distribuir de forma equitativa las solicitudes provenientes desde el usuario entre varios servidores o recursos de un sistema de software, de esta manera, se mejora tanto el rendimiento como la disponibilidad. Además de optimizar los recursos.

Estas decisiones se complementan entre sí para satisfacer las necesidades específicas de la cadena de suministro, que incluyen modularidad, escalabilidad, rendimiento, seguridad, disponibilidad y cumplimiento de requisitos.

5.3.2. Elección de escenarios

La delineación de escenarios es un paso fundamental en la evaluación de la arquitectura de sistemas complejos. Los escenarios, en este contexto, representan situaciones de la vida real que los usuarios enfrentan al interactuar con el sistema. Estos actúan como casos de prueba específicos que permiten evaluar cómo la arquitectura responde a diferentes demandas y condiciones. Los escenarios capturan no sólo las funcionalidades esperadas del sistema, sino también los atributos de calidad críticos.

1. Escenario: El rendimiento del sistema, medido en términos de tiempo de respuesta y consumo de recursos, no debe degradarse más allá de un umbral definido durante la incorporación de nuevas funcionalidades.

- a. Atributos de Calidad: Mantenibilidad (Capacidad de ser modificado).
 - b. Prioridad: Media, Media.
2. Escenario: Después de un periodo de interacción continuada de una hora con la plataforma, el usuario deberá ser capaz de acceder fácilmente a los módulos requeridos sin tener que realizar búsquedas exhaustivas en la totalidad de la plataforma. La interfaz y la organización de la plataforma están diseñadas con el objetivo de optimizar la experiencia del usuario.
 - a. Atributos de Calidad: Usabilidad (Aprendizabilidad).
 - b. Prioridad: Alto, Media.
3. Escenario: La plataforma se puede adaptar a diferentes navegadores web, sin importar el dispositivo usado.
 - a. Atributos de Calidad: Usabilidad (Estética).
 - b. Prioridad: Media, Alto.
4. Escenario: El usuario lleva a cabo la navegación entre interfaces de la plataforma en menos de cinco segundos.
 - a. Atributos de Calidad: Eficiencia de desempeño (Capacidad).
 - b. Prioridad: Media, Alto.
5. Escenario: El usuario realiza una carga o descarga de archivos como json, yaml, csv o xml con un retraso máximo de 30 segundos.
 - a. Atributos de Calidad: Eficiencia de desempeño (Capacidad).
 - b. Prioridad: Alto, Media.
6. Escenario: Los usuarios deben contar con la capacidad de visualizar en tiempo real la trazabilidad de los productos, desde su origen hasta su destino final. Esto implica presentar de manera instantánea información actualizada sobre la cadena de suministro y el estado de los productos. Además, se requiere cumplir con estándares y normativas, generando informes detallados que fomenten una gestión transparente y ética.
 - a. Atributos de Calidad: Adecuación funcional (Complejidad funcional).
 - b. Prioridad: Alto, Alto.
7. Escenario: Un usuario previamente registrado, con una cuenta activa en la plataforma, inicia el proceso de acceso a la plataforma. Durante este proceso, el sistema verifica las credenciales del usuario para garantizar una autenticación segura y eficiente.
 - a. Atributos de Calidad: Seguridad (Autenticidad).
 - b. Prioridad: Alto, Alto.

8. Escenario: La plataforma debe recuperarse ante fallos en menos de 15 minutos todas las funcionalidades.
 - a. Atributos de Calidad: Fiabilidad (Tolerancia a fallos).
 - b. Prioridad: Media, Media.
9. Escenario: Si el sistema pierde red o comunicación, debe tener la capacidad de recuperarse en menos de 15 minutos.
 - a. Atributos de Calidad: Fiabilidad (Capacidad de recuperación).
 - b. Prioridad: Media, Media.

Al plantear escenarios detallados y realistas, se proporciona un marco sólido para la evaluación de la arquitectura. Estos escenarios actúan como indicadores clave para medir la capacidad del sistema para cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales. La priorización asignada a cada escenario destaca la importancia relativa de los atributos de calidad en diferentes contextos de uso. Este enfoque pragmático y basado en casos de uso mejora significativamente la capacidad de la evaluación para identificar fortalezas y debilidades, optimizando así la arquitectura del sistema en términos de rendimiento, eficiencia y satisfacción del usuario. La adaptación a la realidad de los agricultores y la consideración de los escenarios que se presentarán enriquecen la evaluación, proporcionando una visión más contextualizada y alineada con las necesidades y circunstancias específicas del entorno agrícola.

5.3.3. Generación del árbol de utilidad

Dentro de esta metodología, la creación del Árbol de Utilidad se destaca como una herramienta esencial para entender cómo las diversas características del sistema contribuyen a su utilidad global. El Árbol de Utilidad se presenta en la Tabla 23, detallando de manera efectiva las prioridades y la relevancia de los atributos de calidad para el sistema. Este formato tabular facilita una evaluación minuciosa y estructurada de cómo las decisiones arquitectónicas influyen en aspectos clave como la funcionalidad, usabilidad y rendimiento del sistema.

Tabla 23

Árbol de Utilidad

	Categoría	Atributo de Calidad	Descripción
--	-----------	---------------------	-------------

Utilidad	Mantenibilidad	Capacidad de ser modificado	El rendimiento del sistema, medido en términos de tiempo de respuesta y consumo de recursos, no debe degradarse más allá de un umbral definido durante la incorporación de nuevas funcionalidades. (Media, Media)
	Usabilidad	Aprendizabilidad	Después de un periodo de interacción continuada de una hora con la plataforma, el usuario deberá ser capaz de acceder fácilmente a los módulos requeridos sin tener que realizar búsquedas exhaustivas en la totalidad de la plataforma. La interfaz y la organización de la plataforma están diseñadas con el objetivo de optimizar la experiencia del usuario (Alto, Media).
		Estética	La plataforma se puede adaptar a diferentes navegadores web, sin importar el dispositivo usado (Media, Alto)
	Eficiencia de Desempeño	Capacidad	Usuario visualiza la navegación entre interfaces de la plataforma en menos de 5 segundos (Media, Alto).
			El usuario realiza una carga o descarga de archivos como json, yaml, csv o xml con un retraso máximo de 30 segundos (Alto, Media).
	Adecuación Funcional	Complejidad funcional	Los usuarios deben contar con la capacidad de visualizar en tiempo real la trazabilidad de los productos, desde su origen hasta su destino final. Esto implica presentar de manera instantánea información actualizada sobre la cadena de suministro y el estado de los productos. Además, se requiere cumplir con estándares y normativas, generando informes detallados que fomenten una gestión transparente y ética (Alto, Alto).
	Seguridad	Autenticidad	Un usuario previamente registrado, con una cuenta activa en la plataforma, inicia el proceso de acceso a la plataforma. Durante este proceso, el sistema verifica las credenciales del usuario para garantizar una autenticación segura y eficiente (Alto, Alto).
	Fiabilidad	Tolerancia a fallos	La plataforma debe recuperarse ante fallos en menos de 15 minutos todas las funcionalidades (Media, Media)
Capacidad de recuperación		Si el sistema pierde red o comunicación, debe tener la capacidad de recuperarse en menos de 15 minutos (Media, Media)	

5.3.4. Análisis de las decisiones arquitectónicas

En la selección de decisiones arquitectónicas presentada en este apartado, se ha realizado un ejercicio meticuloso para identificar y priorizar los escenarios más críticos que impactan directamente en el desarrollo y operatividad del negocio. La determinación de la criticidad se basa en una evaluación de impacto y frecuencia, donde cada escenario recibe una calificación

que refleja su importancia y urgencia. La calificación se establece según un umbral de criticidad definido, derivado de nuestro análisis de riesgos.

Antes de presentar los escenarios críticos identificados, es esencial comprender el formato de las tablas utilizadas para el análisis. Cada tabla abarca los siguientes campos:

- Escenario: Describe situaciones específicas en las que se evalúa la arquitectura.
- Atributos: Características de calidad relevantes para el escenario.
- Entorno: Contexto en el que ocurre el escenario.
- Estímulo: Evento que desencadena el escenario.
- Respuesta: Comportamiento esperado del sistema ante el estímulo.
- Decisiones Arquitectónicas Relacionadas: Decisiones de diseño que influyen en la respuesta del escenario.
- Punto de Sensibilidad: Aspectos de la arquitectura que son críticos para el escenario.
- Equilibrio: Compensaciones entre diferentes puntos de sensibilidad o atributos de calidad.
- Riesgo: Potenciales desafíos o problemas asociados con el escenario.
- No-riesgo: Aspectos que no presentan un desafío significativo para el escenario.
- Diagrama Arquitectónico Relacionado: Representaciones gráficas donde se ilustra la decisión arquitectónica tomada para ese escenario.

La metodología y el formato de las tablas se basan en los lineamientos establecidos por Guillermo y Quinde (2020), que proporcionan un marco para evaluar cómo las decisiones arquitectónicas se alinean con los objetivos de negocio y los requisitos del sistema. A continuación, se presentan los escenarios más críticos identificados para nuestra arquitectura, cada uno con su respectiva tabla de análisis:

- El usuario realiza una carga o descarga de archivos como json, yaml, csv o xml con un retraso máximo de 30 segundos (Alta, Media).
- La plataforma se puede adaptar a diferentes navegadores web, sin importar el dispositivo usado (Media, Alta).

- Un usuario previamente registrado, con una cuenta activa en la plataforma, inicia el proceso de acceso a la plataforma. Durante este proceso, el sistema verifica las credenciales del usuario para garantizar una autenticación segura y eficiente (Alta, Media).
- La plataforma debe recuperarse ante fallos en menos de 15 minutos todas las funcionalidades (Media, Media).
- Los usuarios deben contar con la capacidad de visualizar en tiempo real la trazabilidad de los productos, desde su origen hasta su destino final. Esto implica presentar de manera instantánea información actualizada sobre la cadena de suministro y el estado de los productos. Además, se requiere cumplir con estándares y normativas, generando informes detallados que fomenten una gestión transparente y ética (Alta, Alta).

En las Tablas 24 a 28, se presenta un análisis exhaustivo de cada escenario seleccionado. Este análisis comienza por desglosar los elementos fundamentales del escenario, incluyendo sus atributos, entorno, estímulos y respuestas. Luego, para cada decisión arquitectónica relevante, se realiza una evaluación detallada que contempla los puntos de sensibilidad y equilibrio, así como la identificación de riesgos potenciales y aspectos libres de riesgo. Este proceso meticuloso culmina con una reflexión articulada sobre las decisiones arquitectónicas tomadas, complementada visualmente por gráficos explicativos que demuestran cómo la arquitectura propuesta se alinea y da soporte a cada escenario analizado.

Tabla 24

Descripción del análisis para el Escenario #1

Análisis de enfoques arquitectónicos	
E s c e n a r i o 1	El usuario realiza una carga o descarga de archivos como json, yaml, csv o xml con un retraso máximo de 30 segundos.

A t r i b u t o s	Desempeño, Funcionalidad, Fiabilidad			
E n t o r n o	<p>El usuario registrado requiere realizar operaciones normales de gestión de archivos, como cargar o descargar documentos desde la interfaz web de la plataforma.</p> <p>Los pasos que se seguirían serían los siguientes:</p> <p>El usuario selecciona la opción "Cargar Datos" o "Descargar Datos" en la interfaz del sistema.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra un formulario o ventana para seleccionar los archivos de datos que se desean cargar. 2. El usuario selecciona los archivos y confirma la carga. 3. El sistema verifica los archivos, los procesa y los almacena en la base de datos. 			
E s t í m u l o	Petición de realizar operaciones de gestión de archivos.			
R e s p u e s t a	<p>Funcionalidad: La plataforma debe permitir al usuario realizar operaciones normales de gestión de archivos de manera eficiente, como cargar o descargar archivos. Esto implica la interacción con la base de datos y componentes de software asociados.</p> <p>Desempeño: El usuario, con el rol correspondiente, accede a la interfaz de la plataforma, navega a la sección de gestión de archivos y realiza las operaciones necesarias con una latencia máxima de 30 segundos.</p> <p>Fiabilidad: El sistema debe ejecutar las operaciones de gestión de archivos de manera confiable, garantizando la integridad de los datos y proporcionando mensajes de confirmación oportunos al usuario.</p>			
D e c i s i o n e s a r q u i t e c t ó n i	Punto de sensibilidad	Equilibrio	Riesgo	No-riesgo

c a s r e l a c i o n a d a s				
M i c r o s e r v i c i o s	La disponibilidad y rendimiento de los microservicios para la gestión de archivos son puntos sensibles debido a su importancia crítica. Problemas en estos servicios impactarían la operatividad, el rendimiento general y la experiencia del usuario, afectando la eficiencia y satisfacción.	Se busca un equilibrio entre la facilidad de uso para el usuario, la confiabilidad en la gestión de archivos y el rendimiento del sistema para garantizar una experiencia eficiente y satisfactoria. La facilidad de uso mejora la adopción, la confiabilidad asegura la integridad de los datos, y un rendimiento óptimo contribuye a la eficacia operativa.	<p>R1: Problemas potenciales con la disponibilidad o rendimiento de servicios web externos.</p> <p>R2: Carga excesiva en el servidor principal durante operaciones intensivas de gestión de archivos.</p> <p>R3: Se requiere la implementación de orquestador de microservicios, el cual puede resultar en un aumento de costos.</p>	<p>NR1: Escalabilidad debido a la separación de nodos y servicios.</p> <p>NR2: Mantenibilidad gracias a la arquitectura por capas.</p> <p>NR3: Usabilidad mejorada por la interfaz clara y la separación de responsabilidades.</p>
A r q u i t e c t u r a d i s t r i b u i d a	El punto de sensibilidad podría ser el número de servidores que se utilizan. Si el número de servidores es demasiado pequeño, la arquitectura distribuida puede no tener un impacto significativo en el rendimiento del sistema.	Los beneficios del uso de una arquitectura distribuida son la reducción del tiempo de respuesta del sistema, el aumento de la escalabilidad y la tolerancia a fallos.	<p>R1: Una arquitectura distribuida puede ser más compleja que una arquitectura monolítica, lo que puede dificultar su mantenimiento y evolución.</p> <p>R2: Implementar y mantener una arquitectura distribuida puede ser más costoso que implementar y mantener una arquitectura monolítica.</p> <p>R3: Si la red falla, los servidores pueden perderse y los datos pueden perderse o corromperse.</p>	N/A
A l m a c e n a m i e n t o	El punto de sensibilidad podría ser el tamaño de los archivos que se van	Los beneficios son la reducción del tiempo de respuesta del sistema y el aumento	R1: Pérdida de datos: Si el sistema falla, los datos almacenados en caché pueden perderse.	NR1: El uso de un almacenamiento en caché local, es menos susceptible a fallos y ataques que un

<p>c e n a m i e n t o d e c a c h é</p>	<p>a almacenar en caché. Si los archivos son muy grandes, el almacenamiento en caché puede tener un impacto negativo en el rendimiento del sistema, ya que se necesitaría más memoria para almacenarlos.</p>	<p>de la escalabilidad. Los riesgos son la pérdida de datos en caso de fallos del sistema y el aumento de la complejidad del sistema.</p>	<p>R2: Aumento de la complejidad: El almacenamiento en caché puede aumentar la complejidad del sistema, lo que puede dificultar su mantenimiento y evolución. R3: Seguridad: El almacenamiento en caché puede aumentar la superficie de ataque del sistema, lo que puede aumentar el riesgo de ataques cibernéticos.</p>	<p>almacenamiento en caché distribuido.</p>
<p>R a z o n a m i e n t o</p>	<p>Estas decisiones arquitectónicas optimizan el rendimiento de la arquitectura. Los microservicios fomentan la flexibilidad y escalabilidad, mejorando la comunicación entre componentes. Además, la arquitectura distribuida reduce el tiempo de respuesta y aumenta la tolerancia a fallos. La implementación de almacenamiento en caché acelera el acceso a datos, mejorando la eficiencia global. Estas mejoras respaldan una operación más eficaz y una experiencia de usuario más satisfactoria.</p> <p>En el contexto del sistema de trazabilidad y rendición de cuentas, las decisiones arquitectónicas adoptadas ejercen un impacto de notable relevancia. La preferencia por microservicios, por ejemplo, propicia la maleabilidad y escalabilidad, aspectos cruciales para ajustarse a las dinámicas transformaciones en los requisitos de trazabilidad. En paralelo, la arquitectura distribuida no solo disminuye el lapso de respuesta, sino que también fortalece la capacidad del sistema para gestionar con eficacia la información vinculada a la rendición de cuentas en diversos nodos.</p> <p>Adicionalmente, la implementación de almacenamiento en caché emerge como un componente esencial para acelerar el acceso a datos críticos en el ámbito de la trazabilidad, optimizando la eficacia en la recuperación y procesamiento de información clave para la rendición de cuentas.</p>			
<p>Diagrama arquitectónico relacionado</p>				

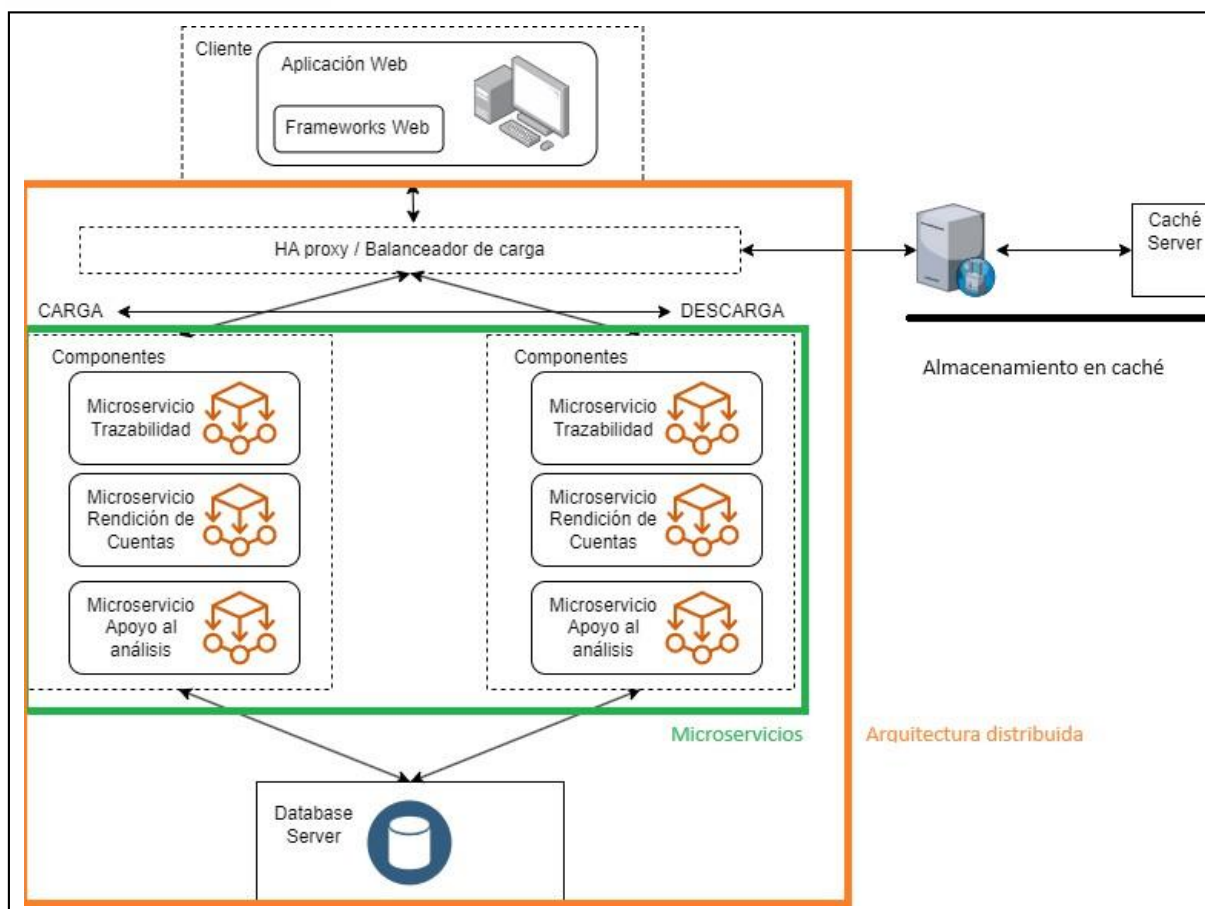


Tabla 25

Descripción del análisis para el Escenario #2

Análisis de enfoques arquitectónicos	
Escenario 2	La plataforma se puede adaptar a diferentes navegadores web, sin importar el dispositivo usado.
Atributos	Usabilidad, Portabilidad, Escalabilidad
Entorno	Usuarios acceden al sistema desde diferentes navegadores y dispositivos.
Estímulo	Acceso al sistema desde navegadores y dispositivos variados.
Respuesta	Usabilidad: La interfaz del sistema debe adaptarse de manera efectiva a diversos navegadores y dispositivos, proporcionando una experiencia de usuario consistente y fácil de usar. Portabilidad: El sistema debe ser accesible y funcional en distintos entornos, independientemente

del navegador utilizado o del tipo de dispositivo (móvil, tablet, computadora).				
Decisiones arquitectónicas	Punto de sensibilidad	Equilibrio	Riesgo	No-riesgo
Microservicios	El punto de sensibilidad de esta decisión arquitectónica es el número de microservicios que se implementan. Si el número de microservicios es demasiado pequeño, la plataforma puede no ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes navegadores y dispositivos.	El equilibrio en este apartado es la flexibilidad, ya que se adapta a lo que se necesita, sin afectar a los componentes. Además, existe también la escalabilidad debido a que se permite adaptar la plataforma a diferentes cargas de trabajo.	R1: Una arquitectura basada en microservicios puede ser más compleja que una arquitectura monolítica, lo que puede dificultar su desarrollo y mantenimiento. R2: Implementar y mantener una arquitectura basada en microservicios puede ser más costoso que implementar y mantener una arquitectura monolítica.	NR1: Uso de un número reducido de microservicios. Esto reduciría la complejidad y el coste de la arquitectura, pero también reduciría su flexibilidad y escalabilidad. NR2: Utilizar una arquitectura de microservicios permite la fácil integración de nuevos clientes, como aplicaciones, sin afectar la estructura existente, lo que facilita la expansión del sistema.
API Gateway	La gestión de la adaptación de solicitudes y respuestas a diferentes navegadores y dispositivos es el punto de sensibilidad.	El API Gateway ofrece un equilibrio entre la centralización del punto de entrada único y la necesidad de adaptarse a la diversidad de navegadores y dispositivos. Centralizar el manejo de solicitudes y respuestas facilita la implementación de adaptaciones.	R1: Existe el riesgo de que la centralización en el API Gateway pueda convertirse en un cuello de botella o introducir complejidad adicional.	NR1: La centralización en el API Gateway proporciona un punto de control unificado sin afectar directamente la lógica interna de los servicios.
Uso de Framework para el desarrollo del Frontend	La elección del framework para el desarrollo del Frontend se vuelve crítica en el contexto de la adaptabilidad a diversos navegadores. El punto sensible radica en la capacidad del framework para ofrecer compatibilidad universal y eficiente con distintos navegadores y dispositivos.	El equilibrio se encuentra en seleccionar un framework que brinde una estructura sólida y características avanzadas, sin sacrificar la flexibilidad necesaria para adaptarse a las particularidades de diferentes navegadores.	R1: El riesgo principal está asociado con la posibilidad de elegir un framework que no sea compatible con algunos navegadores específicos o que presente limitaciones en la adaptación a dispositivos particulares. Esto podría resultar en una experiencia de usuario degradada para ciertos segmentos.	NR1: La elección de un framework ampliamente adoptado y con historial probado en la gestión de la diversidad de navegadores y dispositivos minimiza el riesgo. La utilización de tecnologías bien respaldadas disminuye la probabilidad de problemas de compatibilidad.

Razonamiento: La arquitectura basada en microservicios, complementada con un Framework de Frontend cuidadosamente seleccionado, facilita la adaptabilidad a distintos navegadores y dispositivos, una característica esencial para las funcionalidades de trazabilidad y rendición de cuentas en la CSA. Esta modularidad posibilita el desarrollo eficaz de interfaces de usuario que proporcionan información detallada sobre la trazabilidad del producto y la transparencia en las operaciones, esenciales para la rendición de cuentas. Además, la incorporación de un API Gateway optimiza la comunicación de datos, garantizando que los usuarios puedan rastrear la procedencia y el estado de los productos de forma confiable y que las partes interesadas puedan acceder a los informes necesarios para la toma de decisiones. Este diseño arquitectónico no solo mejora la experiencia del usuario sino que también apoya directamente los procesos clave de trazabilidad y rendición de cuentas en la cadena de suministro agroalimentaria.

Diagrama arquitectónico relacionado

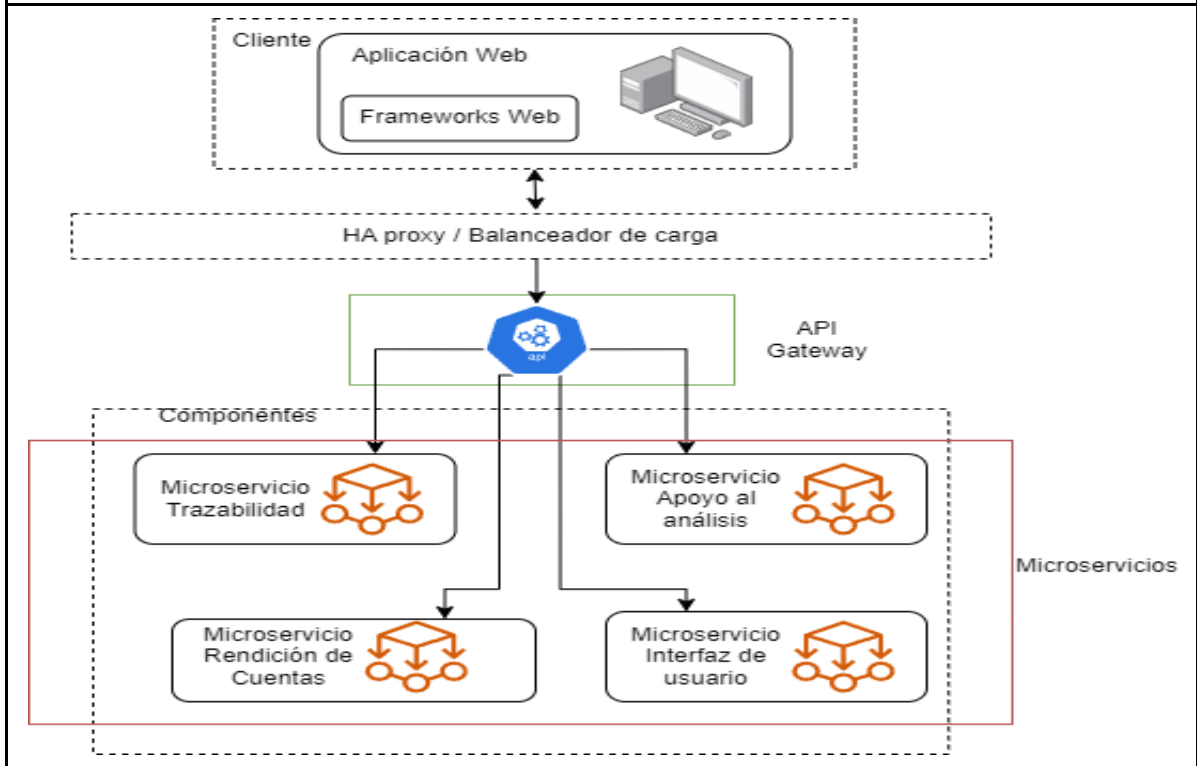


Tabla 26

Descripción del análisis para el Escenario #3

Análisis de enfoques arquitectónicos	
Escenario 3	Un usuario previamente registrado, con una cuenta activa en la plataforma, inicia el proceso de acceso a la plataforma. Durante este proceso, el sistema verifica las credenciales del usuario para garantizar una autenticación segura y eficiente.
Atributos	Confiabilidad, Disponibilidad, Seguridad
Entorno	Usuarios intentan acceder al sistema.

Estímulo	Intento de inicio de sesión de un usuario con cuenta activa en la plataforma.			
Respuesta	El sistema valida y autentica al usuario, proporcionando acceso a la plataforma.			
Decisiones arquitectónicas	Punto de sensibilidad	Equilibrio	Riesgo	No-riesgo
Uso de Mecanismos de Autenticación Estándar	Dependencia de estándares externos. Si los mecanismos estándar enfrentan problemas de seguridad o cambios significativos, podría afectar la autenticación en la plataforma.	Adoptar estándares bien establecidos que son ampliamente aceptados y revisados por la comunidad de seguridad. El beneficio de seguridad supera los posibles riesgos de dependencia.	R1: Posibilidad de cambios no compatibles con versiones anteriores en los estándares de autenticación. Esto podría requerir actualizaciones frecuentes en la plataforma.	NR1: La adopción de estándares reconocidos reduce el riesgo de vulnerabilidades de seguridad propias, proporcionando una base confiable
Tokens JWT (JSON Web Tokens)	El tamaño y complejidad de los tokens JWT podrían ser un punto sensible, ya que grandes cantidades de información en los tokens podrían afectar el rendimiento del sistema.	Aprovechar la compatibilidad de los tokens JWT y la facilidad de verificación. El tamaño controlado y la eficiencia en la transmisión compensan la complejidad.	R1: Posibilidad de vulnerabilidades si la implementación del manejo de JWT no sigue las mejores prácticas de seguridad.	NR1: capa adicional de seguridad. Siguiendo prácticas adecuadas, se minimiza el riesgo de manipulación de tokens.
Razonamiento	Las decisiones arquitectónicas, centradas en la seguridad y eficiencia del proceso de inicio de sesión, desempeñan un papel crucial en el escenario descrito. La adopción de Mecanismos de Autenticación Estándar asegura un alto nivel de seguridad al utilizar protocolos reconocidos, garantizando la fiabilidad en la verificación de la identidad del usuario durante el inicio de sesión. Complementariamente, la implementación de Tokens JWT (JSON Web Tokens) optimiza la transmisión y verificación de información entre el cliente y el servidor, proporcionando eficiencia y seguridad.			
Diagrama arquitectónico relacionado				

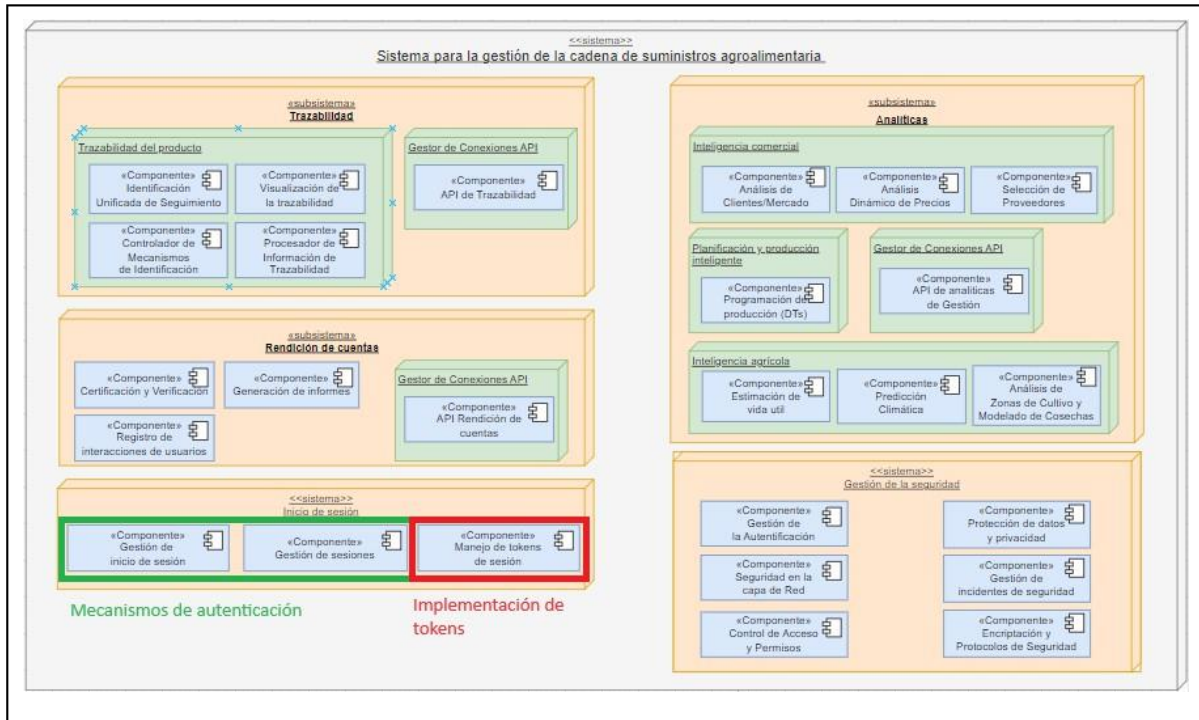


Tabla 27

Descripción del análisis para el Escenario #4

Análisis de enfoques arquitectónicos				
Escenario 4	La plataforma debe recuperarse ante fallos en menos de 15 minutos todas las funcionalidades.			
Atributos	Seguridad, Fiabilidad, Disponibilidad			
Entorno	Usuarios ejecutan distintas operaciones en la plataforma.			
Estímulo	El usuario tiene que realizar acciones sobre la plataforma.			
Respuesta	Seguridad - Integridad de información ante fallos: El sistema debe ser capaz de asegurar que todas las operaciones ejecutadas por el usuario se realicen correctamente con un mensaje de confirmación y que los si existe interrupciones hasta antes de la confirmación de la operación, se detalle y no afecte a los datos que tengan persistencia sobre la base de datos.			
Decisiones arquitectónicas	Punto de sensibilidad	Equilibrio	Riesgo	No-riesgo
Microservicios	La coordinación eficaz de las interdependencias entre microservicios.	La coordinación eficaz de las interdependencias entre	R1: Un desafío potencial en este contexto es la falta de coordinación	NR1: Mantener una coordinación efectiva entre microservicios, respaldada por una

	Asegurar una comunicación fluida y una orquestación adecuada entre los servicios distribuidos es crítico para mantener la integridad y el rendimiento óptimo del sistema.	microservicios es esencial para mantener un sistema robusto y eficiente. La adecuada comunicación y orquestación entre los servicios distribuidos en este punto de equilibrio garantiza la integridad y optimiza el rendimiento del sistema.	entre microservicios, lo que podría resultar en la degradación del rendimiento y la pérdida de integridad en el sistema. La ineficaz comunicación o una orquestación deficiente pueden dar lugar a problemas operativos y afectar la experiencia del usuario.	comunicación fluida y una orquestación adecuada, elimina el riesgo de pérdida de integridad y rendimiento en el sistema. Este enfoque sólido contribuye a la estabilidad y eficiencia del sistema distribuido.
Balaneo de Carga	El punto de sensibilidad podría estar en cómo el balanceador de carga afecta la capacidad de recuperación ante fallos.	Buscar un equilibrio entre la distribución de la carga para mejorar la disponibilidad y la posible complejidad en la gestión de la recuperación ante fallos.	R1: Los riesgos podrían incluir la posibilidad de que el balanceador de carga se convierta en un punto único de fallo si no se implementa adecuadamente.	NR1: Los aspectos no riesgosos podrían incluir la capacidad del balanceador de carga para distribuir la carga de manera eficiente en condiciones normales de funcionamiento, mejorando así la capacidad de recuperación.
Razonamiento	Las decisiones arquitectónicas adoptadas para la implementación de microservicios ofrecen notables beneficios. En primer lugar, la independencia funcional inherente a los microservicios los hace tolerantes a fallos, ya que la falla en un servicio no afecta directamente a otros. Además, la capacidad de desarrollar, implementar y escalar servicios de forma autónoma brinda una flexibilidad excepcional para adaptarse a cambios y requerimientos específicos de cada servicio. Por otro lado, la inclusión de un balanceador de carga como parte de la arquitectura se traduce en una distribución eficiente de la carga entre varios servidores. Esta decisión no solo mejora el rendimiento, sino que también proporciona una capa adicional de tolerancia a fallos. En caso de que un servidor presente algún problema, otros pueden asumir la carga, asegurando así la continuidad del servicio y optimizando la experiencia del usuario.			
Diseño arquitectónico relacionado				

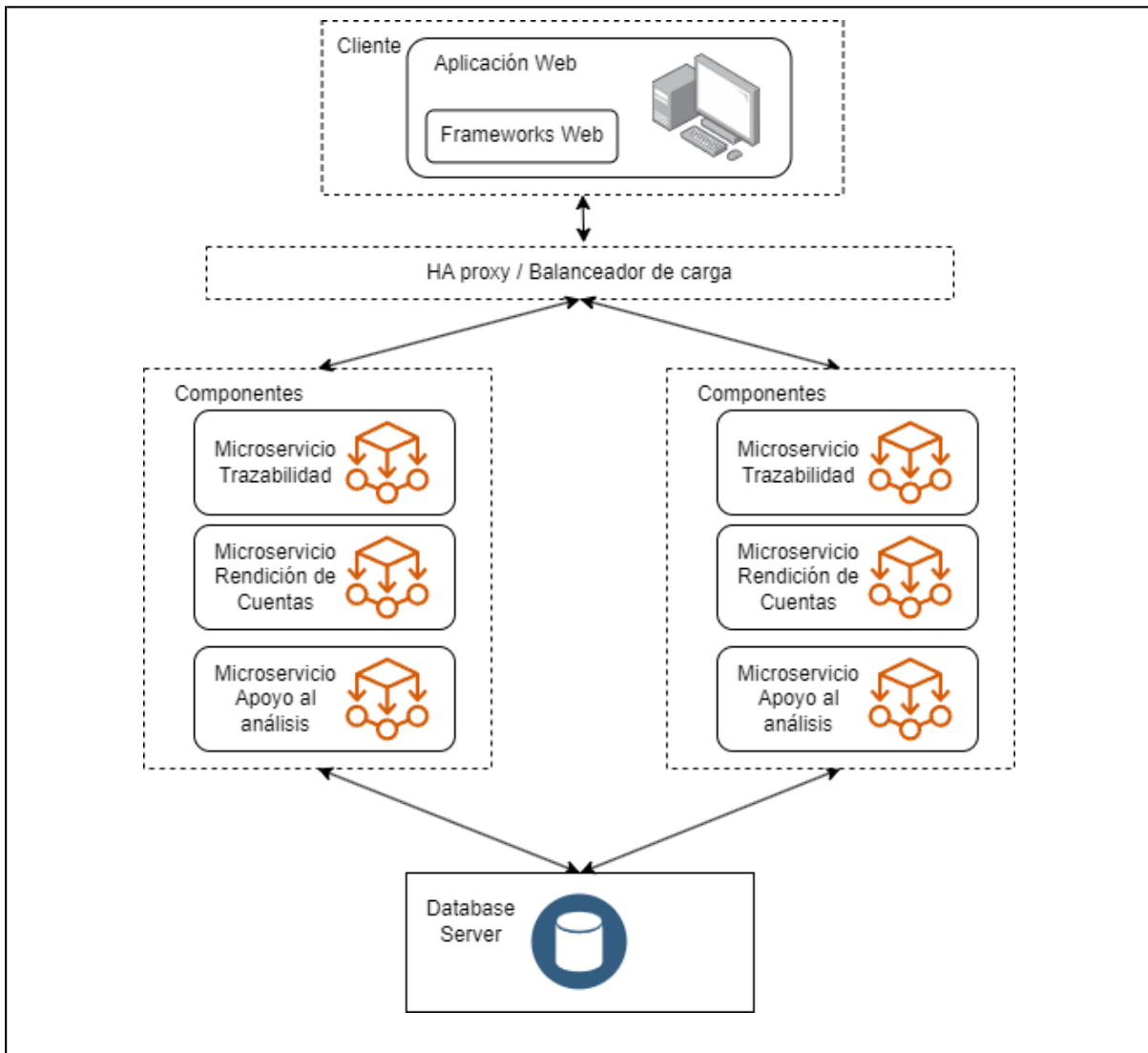
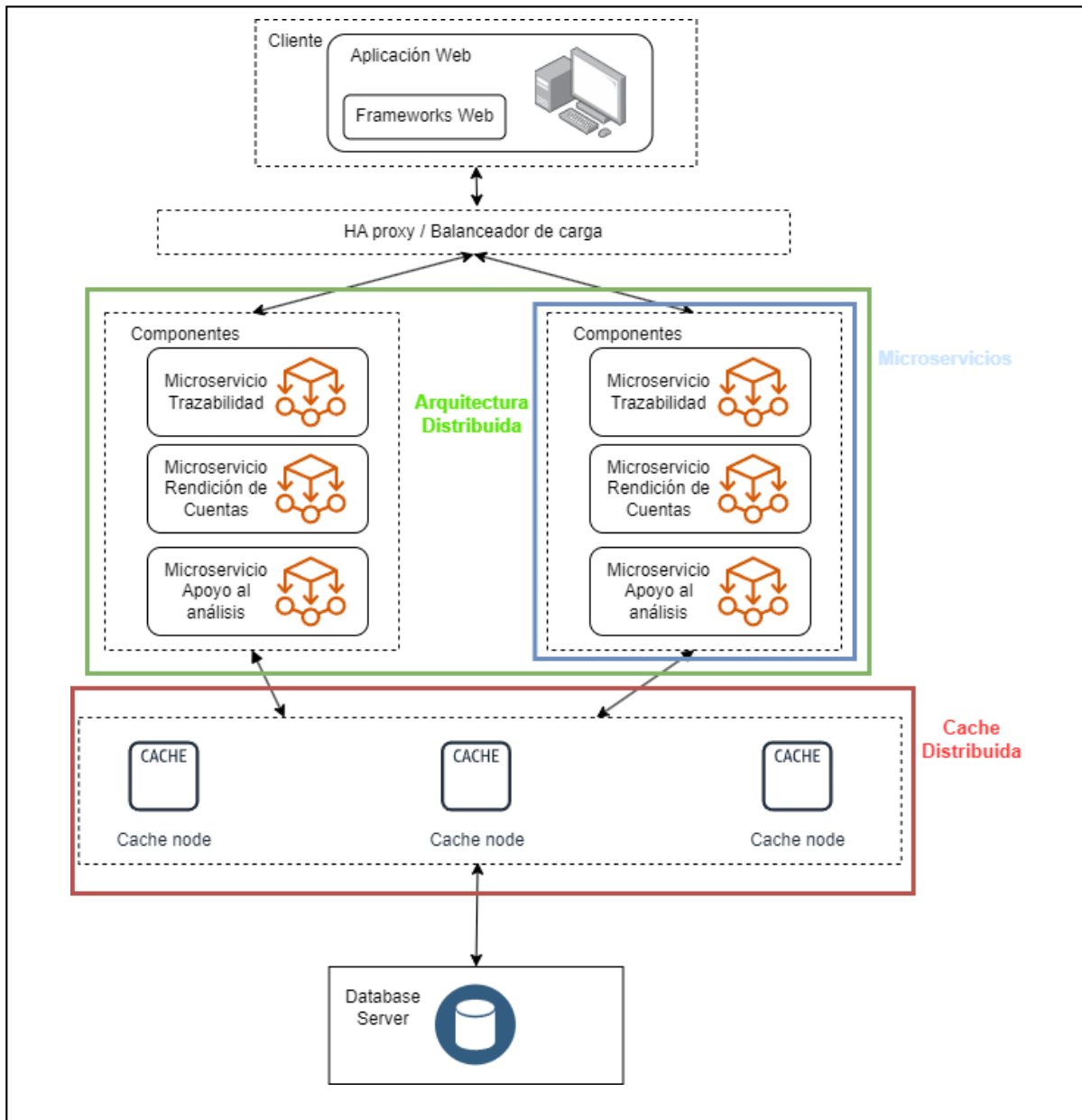


Tabla 28

Descripción del análisis para el Escenario #5

Análisis de enfoques arquitectónicos				
Escenario 5	Los usuarios deben tener la capacidad de visualizar los registros de trazabilidad de los productos, desde su origen hasta su destino final. Esto implica mostrar la información actualizada de la cadena de suministro y estado de los productos de manera instantánea.			
Atributos	Disponibilidad, Escalabilidad, Operabilidad			
Entorno	El usuario se dirige hacia la sección de trazabilidad del producto y selecciona uno en específico.			
Estímulo	Necesidad del usuario ver la trazabilidad de un producto.			
Respuesta	<p>Disponibilidad: La visualización en tiempo real debe estar disponible de manera constante, permitiendo a los usuarios acceder a la información de trazabilidad en cualquier momento sin interrupciones.</p> <p>Escalabilidad: Medida que aumenta la cantidad de productos y eventos de la cadena de suministro, el sistema debe escalar de manera efectiva para mantener un rendimiento óptimo en la visualización en tiempo real, evitando demoras significativas incluso en situaciones de carga elevada.</p> <p>Operabilidad: Los usuarios deben poder interactuar con la visualización en tiempo real, permitiéndoles realizar seguimientos detallados, explorar información adicional.</p>			
Decisiones arquitectónicas	Punto de sensibilidad	Equilibrio	Riesgo	No-riesgo
Microservicios	La escalabilidad y el despliegue independiente serán puntos de sensibilidad.	Aunque los microservicios ofrecen ventajas en escalabilidad y despliegue independiente, es importante equilibrar estos beneficios con la complejidad adicional de la gestión de múltiples servicios, la necesidad de coordinación entre ellos y la posible sobrecarga de red.	R1: La fragmentación de la lógica de negocio en múltiples microservicios podría aumentar la complejidad operativa y requerir un manejo especializado para la coordinación y la coherencia de los datos.	NR1: Los microservicios permiten una escalabilidad más fácil, facilitan el desarrollo y despliegue independiente, y pueden mejorar la resistencia del sistema a fallos, lo que resulta en un mantenimiento más sencillo y un tiempo de comercialización más rápido.
Arquitectura distribuida	La decisión de incorporar una caché distribuida impacta directamente en el rendimiento del sistema y en la latencia asociada al acceso a	Aunque la caché distribuida mejora el rendimiento al reducir la latencia en el acceso a datos, se debe equilibrar este	R1: La implementación de una caché distribuida introduce la posibilidad de inconsistencias entre los datos almacenados en la caché y los datos	NR1: El uso de una caché distribuida puede mejorar significativamente el rendimiento y reducir la carga en la fuente de datos,

	<p>los datos. Este punto de sensibilidad destaca la importancia crítica de garantizar respuestas rápidas a las consultas de los usuarios y minimizar el tiempo necesario para acceder a la información almacenada.</p>	<p>beneficio con la necesidad de mantener la consistencia de datos actualizados en la caché.</p>	<p>originales en la fuente de datos. La gestión inadecuada de la invalidación de la caché podría llevar a resultados obsoletos.</p>	<p>proporcionando respuestas más rápidas a las consultas frecuentes y mejorando la eficiencia global del sistema.</p>
<p>Razonamiento</p>	<p>La combinación de microservicios, arquitectura distribuida y caché distribuida se alinea directamente con el requisito de visualización en tiempo real. Los microservicios permiten la gestión especializada de diferentes aspectos de la trazabilidad, la arquitectura distribuida garantiza escalabilidad y rendimiento, y la caché distribuida mejora la eficiencia al proporcionar respuestas instantáneas a las consultas de los usuarios.</p>			
<p>Diagrama arquitectónico</p>				



5.4. Análisis de resultados de evaluación

5.4.1. Conclusiones

- Escenario 1 - Gestión de Archivos:

La Tabla 23 detalla los aspectos fundamentales de las decisiones arquitectónicas focalizadas en la eficiencia de la gestión de archivos. La adopción de microservicios muestra una estrategia modular que favorece la flexibilidad y escalabilidad, permitiendo operaciones eficientes. La arquitectura distribuida contribuye a la rapidez en el procesamiento, mientras que la implementación de caché mejora la eficiencia global. Sin embargo, los riesgos asociados con la complejidad de los microservicios y la posible pérdida de datos en la caché deben manejarse con medidas de monitoreo y seguridad robustas. La Tabla 23 describe en detalle cada uno de los aspectos mencionados anteriormente.

- Escenario 2 - Adaptabilidad a Navegadores y Dispositivos:

La Tabla 24 proporciona un análisis detallado de la estrategia de microservicios, enfocada en la flexibilidad para adaptarse a diversos entornos de navegación. Un elemento clave de esta estrategia es la inclusión de un API Gateway, que centraliza la gestión de solicitudes, mejorando la adaptabilidad sin afectar la lógica interna del sistema. La elección cuidadosa de un framework FrontEnd respalda eficazmente la experiencia del usuario en este contexto.

A pesar de los beneficios evidentes, es imperativo abordar la complejidad asociada con la arquitectura basada en microservicios de manera diligente. La gestión proactiva de esta complejidad es esencial para prevenir posibles obstáculos en el desarrollo y mantenimiento a largo plazo.

- Escenario 3 - Inicio de Sesión Seguro:

Haciendo referencia a la Tabla 25, se destaca que la adopción de mecanismos de autenticación estándar y tokens JWT refleja un enfoque prudente hacia la seguridad del inicio de sesión. La dependencia de estándares establecidos mejora la confiabilidad del sistema. Aunque existe el riesgo de cambios no compatibles con versiones anteriores en los estándares, este riesgo se minimiza mediante actualizaciones regulares. La implementación segura de JWT es crítica para garantizar la integridad del sistema.

- Escenario 4 - Recuperación Ante Fallos:

En relación con la Tabla 26, es esencial resaltar que la implementación de técnicas eficientes de enrutamiento, como el enrutamiento basado en contexto, ponderado y basado en contenido, desempeña un papel fundamental en la optimización del rendimiento del API Gateway. Estas estrategias no solo permiten una gestión dinámica y adaptativa del tráfico, sino que también contribuyen a la distribución equitativa y eficiente de las solicitudes entre los servicios subyacentes. La consideración detallada de estas técnicas en la arquitectura garantiza un flujo de datos eficiente entre los clientes y los servicios, mejorando así la capacidad de respuesta del sistema. Sin embargo, se debe tener precaución en la gestión de la complejidad inherente a estas estrategias para evitar posibles obstáculos en el desarrollo y mantenimiento a largo plazo, como se detalla en la Tabla 26.

- Escenario 5 - Trazabilidad en Tiempo Real:

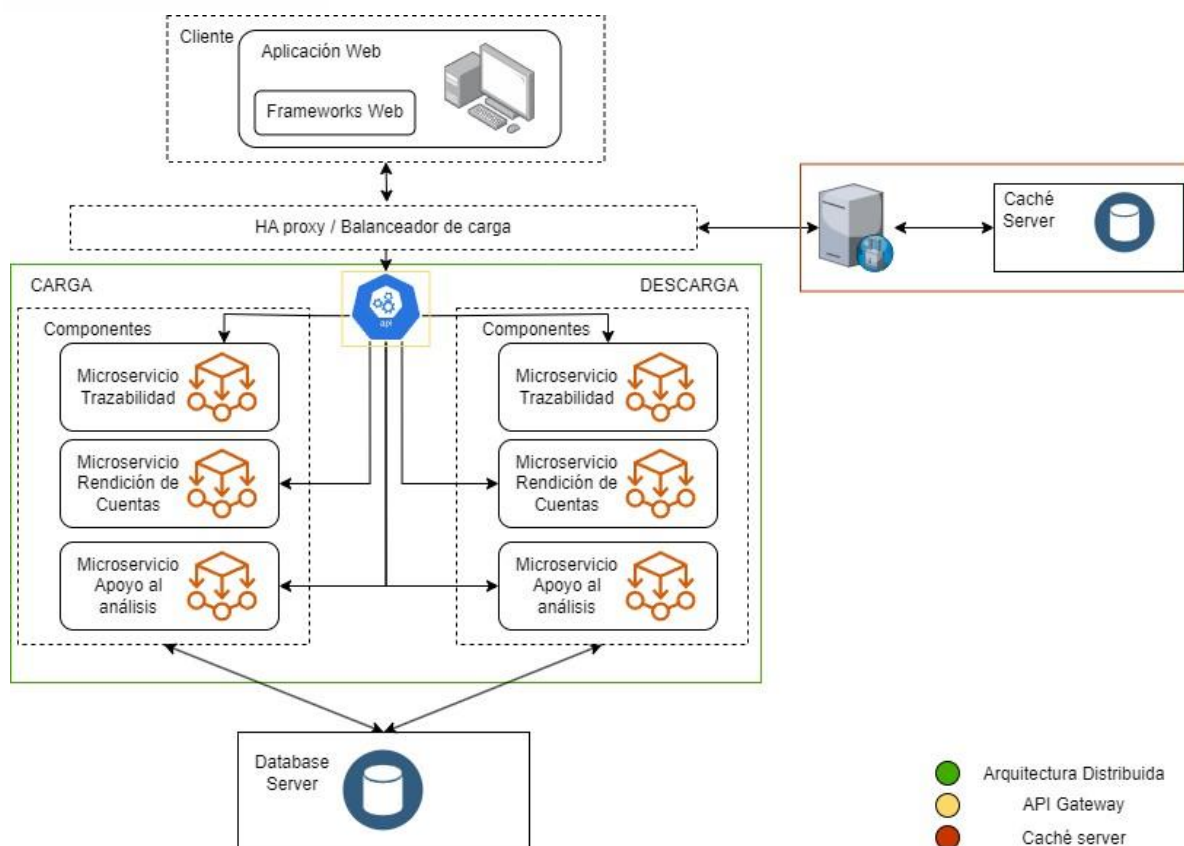
La estrategia de microservicios, arquitectura distribuida y caché distribuida se alinea eficazmente con la necesidad de visualización en tiempo real. La modularidad de los microservicios permite una gestión especializada de la trazabilidad. La arquitectura distribuida asegura escalabilidad, y la caché distribuida mejora la eficiencia de las consultas en tiempo real. Sin embargo, la complejidad operativa asociada con los microservicios debe manejarse cuidadosamente para garantizar la coherencia de los datos.

En todos los escenarios, se destaca la importancia de gestionar cuidadosa mente la complejidad introducida por las decisiones arquitectónicas. Además, la seguridad, la adaptabilidad y la eficiencia son factores clave que deben equilibrarse para garantizar el éxito a largo plazo de la plataforma, como se detalla en la Tabla 27.

Considerando estas premisas y evaluando las diversas decisiones arquitectónicas, se configura la arquitectura que se ilustra en la Figura 17. Cabe destacar que la única decisión arquitectónica que queda excluida de esta configuración es la referente a la caché distribuida. Esta omisión se justifica en virtud de la presencia de un servidor de caché preexistente, donde la implementación adicional de una caché distribuida podría tener redundancias innecesarias y potenciales complicaciones.

Figura 17

Arquitectura con las decisiones arquitectónicas unificadas



Para concluir esta sección, se lleva a cabo una breve comparación con la arquitectura originalmente concebida, la cual se muestra en la Figura 13. Al examinar dicha representación gráfica, se evidencia que, desde el inicio, se contemplaron los microservicios en una estructura monolítica, ya que inicialmente debían alojarse en un solo servidor. En ese contexto, la arquitectura distribuida no fue considerada, aunque sí se tuvo en cuenta la presencia de un balanceador de carga.

Es relevante señalar que, como resultado de la metodología ATAM, se introducen tres nuevas decisiones arquitectónicas al diseño original. Estas decisiones han sido formuladas con el objetivo de optimizar la arquitectura en términos de sus prestaciones y eficiencia. La adaptación de la arquitectura para acomodarse a los principios de microservicios, junto con las nuevas consideraciones derivadas del análisis ATAM, ha influido en la evolución de la estructura inicialmente propuesta. La Figura 17 ofrece una visualización de esta evolución y resalta las modificaciones introducidas para mejorar la arquitectura en función de los requisitos y metas establecidos.

5.4.2. Recomendaciones

En esta sección, se presentan una serie de recomendaciones clave que se derivan de la evaluación y análisis de la arquitectura de software propuesta. Estas recomendaciones abarcan diversas áreas, desde prácticas de desarrollo ágil hasta estrategias para la gestión de datos, pasando por consideraciones de seguridad y escalabilidad. Cada recomendación se enfoca en abordar riesgos específicos y optimizar la eficiencia y la confiabilidad del sistema de gestión de la cadena de suministro agroalimentaria. A continuación, se detallan estas recomendaciones para respaldar la implementación exitosa de la arquitectura.

Para manejar la carga excesiva en el servidor principal durante operaciones intensivas de gestión de archivos, la implementación de balanceadores de carga y el uso de servicios de almacenamiento en la nube son estrategias eficaces. Estas medidas ayudarán a distribuir la carga de manera más eficiente y mejorarán la escalabilidad del sistema.

La eficacia y mantenimiento continuo en una arquitectura distribuida se potencian mediante prácticas de desarrollo ágil focalizadas. La adopción de un enfoque iterativo e incremental permite el desarrollo constante de pequeñas iteraciones, facilitando la adaptación continua a cambios y la identificación temprana de problemas. La automatización de pruebas garantiza una validación constante, mientras que la colaboración estrecha entre equipos y stakeholders mejora la comprensión compartida del sistema, crucial en arquitecturas distribuidas.

Para la implementación y mantenimiento de una arquitectura basada en microservicios, se aconseja el uso de herramientas de orquestación eficientes como Kubernetes, Docker Swarm o Apache Mesos. Esto ayudará a reducir la complejidad operativa y a administrar la arquitectura de manera más efectiva.

En el caso de fallos en la red y la posible pérdida o corrupción de datos, la implementación de sistemas de respaldo y recuperación es esencial. Se recomienda implementar la técnica de replicación de datos, centrándonos específicamente en la replicación asíncrona. Esta técnica se puede lograr utilizando capacidades de replicación disponibles en sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) como MySQL, PostgreSQL, u otros que admitan replicación asíncrona. Esta elección se fundamenta en la necesidad de equilibrar la consistencia de los datos con la tolerancia a fallos, considerando la criticidad de la integridad y disponibilidad de la información en este entorno. La replicación asíncrona permitirá cierto grado de retraso entre las copias de datos, una característica que podría ser aceptable en términos de latencia, pero que proporciona una mayor flexibilidad y resistencia ante posibles fallos de red. Dada la naturaleza de la Cadena de Suministro Agroalimentaria, donde la

pérdida o corrupción de datos debido a fallas de red representa un riesgo considerable, esta estrategia se alinea con la necesidad de asegurar la continuidad operativa.

En primer lugar, se sugiere limitar el uso de caché a datos que realmente beneficien el rendimiento del sistema. Por ejemplo, en una cadena de suministro, podría considerarse la caché solo para datos críticos que experimentan un acceso frecuente, como la información de seguimiento de productos en tiempo real. Limitar la caché a estos datos esencialmente optimiza el rendimiento al garantizar que solo la información más relevante y de alto uso se almacene en caché, evitando así la redundancia innecesaria y garantizando la frescura de los datos almacenados. En una cadena de suministro, donde la velocidad y la precisión de la información son fundamentales, el enfoque selectivo en la caché puede mejorar significativamente la eficiencia. La identificación de datos críticos que experimentan un acceso frecuente y son menos propensos a cambios puede guiar la estrategia de caché, evitando la redundancia innecesaria y garantizando la frescura de la información almacenada. En segundo lugar, es esencial aplicar mecanismos de seguridad robustos a la caché. La encriptación de datos en la caché, la gestión adecuada de las políticas de expiración y la autenticación en el acceso a la información almacenada son prácticas recomendadas. Una recomendación adicional es considerar la implementación de un sistema de gestión de caché ampliamente utilizado, como Redis o Memcached, para aplicaciones de este tipo. Estos sistemas ofrecen capacidades avanzadas de almacenamiento en caché, administración de datos y control de expiración, lo que puede ser beneficioso para optimizar aún más el rendimiento y la seguridad de la caché en la arquitectura.

En el contexto del API Gateway, se proponen prácticas de diseño escalable que evitan que se convierta en un cuello de botella o introduzca complejidad adicional. La implementación de un diseño escalable implica la adopción de arquitecturas que puedan adaptarse eficientemente al crecimiento de la carga de trabajo y al volumen de solicitudes. En primer lugar, la implementación de un sistema redundante es esencial para garantizar la disponibilidad continua y prevenir puntos únicos de fallo. La redundancia se puede lograr mediante la configuración de instancias múltiples del API Gateway, distribuidas geográficamente para mejorar la resiliencia frente a fallas.

Finalmente, para manejar los riesgos asociados con estándares de autenticación y el manejo de JWT, es crucial mantenerse actualizado sobre los estándares y realizar auditorías de seguridad regulares. Implementar mecanismos de retrocompatibilidad y capacitar al personal en las mejores prácticas de seguridad garantizará un manejo seguro y actualizado de las identificaciones y tokens JWT.

5.4.3. Trade-Offs

En el diseño y la implementación de la arquitectura propuesta, se enfrentan diversas decisiones críticas que involucran trade-offs significativos. Estos trade-offs son esenciales para equilibrar aspectos clave como la flexibilidad, el rendimiento, la consistencia de datos y la disponibilidad en la arquitectura. En esta sección, se exploró estos trade-offs en detalle, analizando cómo afectan la adaptabilidad y la eficiencia del sistema. Cada uno de estos aspectos se considera cuidadosamente para lograr una arquitectura que sea capaz de responder a las demandas cambiantes del entorno y al mismo tiempo garantizar la integridad de los datos y la eficiencia operativa.

- Microservicios - Complejidad vs. Flexibilidad

La integración de microservicios como componente fundamental de la arquitectura propuesta implica una toma de decisiones crítica en la cual se busca equilibrar la flexibilidad con la complejidad operativa y de desarrollo asociada. Al considerar la escalabilidad a lo largo del tiempo, se evidencia que, a pesar de un aumento en la complejidad, la elección de microservicios puede resultar beneficiosa a largo plazo, especialmente frente a nuevos requisitos y demandas cambiantes del entorno. Estos nuevos requisitos pueden incluir la integración de módulos para analíticas de datos, optimizando la capacidad de análisis para una toma de decisiones más informada. Asimismo, la incorporación de procesos y registros de pedidos, la gestión de devoluciones y reembolsos, y la eficiente gestión del abastecimiento son aspectos clave que pueden surgir como demandas emergentes.

Desde la perspectiva de la escalabilidad, la arquitectura basada en microservicios ofrece la ventaja de adaptarse eficientemente a cambios en la carga de trabajo y demandas del sistema. Aunque esta flexibilidad se traduce en una mayor complejidad operativa, la capacidad de realizar actualizaciones y despliegues independientes de servicios.

En el ámbito del desarrollo, la adopción de microservicios, respaldada por la perspectiva previamente descrita, emerge como un facilitador clave para la implementación rápida de nuevas características. La independencia de los equipos de desarrollo, permitida por la naturaleza modular de los microservicios, acelera el proceso de desarrollo al posibilitar el trabajo simultáneo en diferentes servicios. Sin embargo, este beneficio inicial debe ponderarse frente al esfuerzo adicional necesario para garantizar la cohesión y compatibilidad entre los distintos servicios.

En conclusión, la elección entre complejidad y flexibilidad en la implementación de microservicios implica un análisis estratégico que considera no sólo las necesidades actuales, sino también la capacidad de adaptación a los desafíos futuros. La complejidad operativa y de desarrollo asociada a los microservicios puede ser un precio justificable cuando se valora la agilidad, escalabilidad y capacidad de respuesta a largo plazo.

- Almacenamiento en caché - Consistencia de Datos vs. Rendimiento

La arquitectura propuesta se enfrenta a un trade-off significativo entre mantener una fuerte consistencia entre los datos en caché y los datos en el almacenamiento principal, y el rendimiento operativo. Los datos que provienen de la CSA deben ser tratados con una fuerte consistencia para asegurar que los usuarios finales, puedan confiar plenamente en la veracidad y precisión de la información.

Sin embargo, este enfoque en la consistencia no viene sin desafíos. La constante validación y actualización de los datos en caché para garantizar la coherencia pueden introducir una carga adicional en el sistema. Esto es especialmente crítico en la CSA, donde la manipulación eficiente de grandes volúmenes de datos, como la trazabilidad de los alimentos a lo largo de la cadena de suministro, es esencial.

La búsqueda constante de la consistencia puede aumentar el tiempo de acceso a los datos, lo que podría impactar la capacidad de respuesta del sistema, especialmente en situaciones críticas que requieren toma de decisiones rápida. La gestión cuidadosa del trade-off entre consistencia y rendimiento es esencial en este contexto. Evaluar cómo las estrategias de caché afectan la eficiencia operativa, la capacidad de respuesta y, al mismo tiempo, cumplen con los rigurosos requisitos de integridad de datos.

- JSON Web Tokens (JWT) - Desempeño vs. Escalabilidad:

En el contexto de la implementación de la arquitectura, aunque la alta concurrencia no se perciba como un factor crítico en comparación con la seguridad proporcionada por JSON Web Tokens (JWT), la optimización, la gestión eficiente de claves y el uso estratégico de la caché se revelan como aspectos clave para abordar este trade-off de manera integral en el diseño de la arquitectura.

La elección de utilizar JWT ha sido motivada por su conveniencia en términos de autenticación y autorización, pero esta conveniencia no debe eclipsar la necesidad de garantizar un rendimiento robusto y una escalabilidad adecuada, especialmente en entornos

donde la carga de solicitudes concurrentes puede aumentar. Por ejemplo, si cada solicitud incluye una carga de datos significativa en el token, puede dar lugar a un aumento en el tamaño de las solicitudes y respuestas, afectando la eficiencia del intercambio de información entre el cliente y el servidor.

Además, en términos de escalabilidad, si la gestión y verificación de los tokens JWT se vuelve intensiva en recursos debido a un diseño ineficiente o a una gran cantidad de usuarios concurrentes, podría generar cuellos de botella en el rendimiento del sistema. Por lo tanto, es esencial equilibrar la conveniencia de JWT con la consideración cuidadosa del rendimiento y la escalabilidad en situaciones específicas. Esto implica no solo comprender las fortalezas de JWT en la autenticación y autorización, sino también evaluar cómo su implementación puede impactar el rendimiento y la escalabilidad en entornos de carga elevada.

- Arquitectura distribuida - Consistencia vs. Disponibilidad vs. Tolerancia a Particiones

En el contexto de la arquitectura distribuida, se enfrentan diversos trade-offs que impactan directamente en la implementación y el rendimiento del sistema. Uno de los trade-offs más significativos se centra en la consistencia de los datos entre los nodos distribuidos (Microservicios). La decisión de buscar una consistencia total, donde todos los nodos ven los mismos datos simultáneamente, se presenta como un desafío crucial debido al acceso concurrente. Este enfoque puede tener implicaciones directas en la disponibilidad y la tolerancia a particiones del sistema.

La consistencia total entre nodos puede afectar la disponibilidad del sistema, ya que, para garantizar que todos los nodos vean datos coherentes, podrían ser necesarias operaciones de coordinación y sincronización más complejas. Esto puede ralentizar las operaciones y aumentar la latencia, impactando negativamente la capacidad de respuesta del sistema. Garantizar que cada solicitud entrante reciba una respuesta, incluso cuando los nodos no están completamente sincronizados, es fundamental para mantener la operatividad del sistema. Sin embargo, este enfoque puede introducir inconsistencias en los datos entre los nodos, ya que algunos nodos pueden tener información más reciente que otros.

En términos de tolerancia a particiones, la arquitectura distribuida está diseñada para seguir siendo funcional incluso en situaciones donde se pierde la comunicación entre nodos. Este enfoque permite que la plataforma continúe operando, aunque algunos nodos estén aislados temporalmente. Sin embargo, esta tolerancia a particiones puede resultar en situaciones

donde los nodos operan de manera independiente, lo que podría conducir a datos no completamente consistentes entre ellos.

Una arquitectura distribuida implica tomar decisiones cuidadosas en relación con la consistencia, disponibilidad y tolerancia a particiones. El énfasis en la disponibilidad es clave para garantizar la capacidad de respuesta del sistema, pero esta elección puede venir acompañada de la aceptación de cierto grado de inconsistencia entre los nodos. Este trade-off es esencial para construir sistemas distribuidos que sean eficientes, resistentes y capaces de adaptarse a condiciones cambiantes en la red.

- API Gateway - Rendimiento vs. Flexibilidad

En el contexto del trade-off entre rendimiento y flexibilidad en la implementación de un API Gateway, es crucial profundizar en cómo las decisiones específicas pueden afectar estos dos aspectos clave de la arquitectura.

La optimización del rendimiento en un API Gateway implica la implementación de estrategias avanzadas para asegurar la eficiencia en el manejo de solicitudes y respuestas. Una estrategia común es la incorporación de un sistema de almacenamiento en caché, que permite almacenar temporalmente los resultados de operaciones costosas para evitar la necesidad de volver a calcularlos. Este enfoque puede ser altamente beneficioso para reducir la latencia y mejorar la velocidad de respuesta del API Gateway, especialmente al manejar solicitudes repetitivas.

Además, se considera en la arquitectura la utilización de técnicas de enrutamiento eficientes. Estas técnicas comprenden el enrutamiento basado en contexto, que ajusta dinámicamente rutas y destinos según la información contextual de la solicitud, como el tipo de solicitud o la ubicación del cliente. También, el enrutamiento ponderado para asignar ponderaciones a rutas o servicios según la carga del servidor o la disponibilidad, garantizando una distribución equitativa del tráfico. Asimismo, el enrutamiento basado en contenido para dirigir solicitudes a servicios específicos según el tipo de contenido o formato requerido, optimizando el procesamiento y la respuesta. Finalmente, el enrutamiento de fallback, que establece rutas alternativas o servicios de respaldo para gestionar situaciones de error o falla en los servicios principales, asegurando la continuidad operativa y mejorando la capacidad de respuesta del API Gateway en entornos dinámicos y de alta demanda.

Esto implica la implementación de algoritmos y patrones de enrutamiento que minimizan el tiempo de procesamiento y garantizan un flujo eficiente de datos entre los clientes y los servicios subyacentes.

El énfasis en el rendimiento a través de estrategias como el almacenamiento en caché y las técnicas de enrutamiento eficientes es esencial para lograr una arquitectura de API Gateway receptiva y de alto rendimiento. Sin embargo, es fundamental reconocer que estas optimizaciones pueden venir acompañadas de ciertas limitaciones en la flexibilidad. La clave reside en encontrar el equilibrio adecuado, adaptando las estrategias de rendimiento a los requisitos específicos del sistema y garantizando que la arquitectura pueda evolucionar de manera efectiva a medida que cambian las demandas del entorno.

5.4.4. Entorno de desarrollo

Con base en la información previamente expuesta, se ha configurado un entorno de desarrollo que refleja las decisiones arquitectónicas específicas de cada escenario y las conclusiones derivadas de estas elecciones. Este conjunto de herramientas proporciona una base robusta para la implementación de la arquitectura propuesta. Es importante destacar que el desarrollo de la plataforma puede enfrentar limitaciones tecnológicas; por lo tanto, el entorno de desarrollo se presenta como un ejemplo para su implementación futura. No obstante, conforme a lo delineado en los casos de estudio anteriores, se ha buscado un equilibrio entre la tecnología utilizada, las decisiones arquitectónicas y el contexto real de aplicación de la plataforma.

En el ámbito del backend, se recomienda la adopción del framework Quarkus con el lenguaje de programación Java. Es crucial destacar que se debe utilizar la versión más reciente de Java, específicamente la versión 17 y las posteriores, para aprovechar las últimas funcionalidades y mejoras. Quarkus ha sido seleccionado por su capacidad para respaldar el desarrollo de microservicios, así como su eficacia en términos de escalabilidad y gestión de archivos. Además, facilita la administración de una arquitectura distribuida.

En el aspecto visual, el frontend se beneficiará de la elección de React.js. Esta elección se justifica por la capacidad de React.js para favorecer la adaptabilidad a diversos entornos de navegación y dispositivos, brindando una experiencia de usuario dinámica y eficiente.

En cuanto a la gestión de datos, se presentan dos opciones para la base de datos. En primer lugar, PostgreSQL, una base de datos de código abierto reconocida por su robustez en diversos entornos operativos. Ofrece soporte para transacciones ACID, integridad referencial y una variedad de tipos de datos. Como alternativa, se propone MySQL, una opción ampliamente utilizada que destaca por su rendimiento rápido y eficiente, respaldado por una documentación sólida.

En el ámbito de la seguridad, se recomienda la implementación de OAuth 2.0 y JWT como mecanismos de autenticación. Estos se consideran excelentes opciones para garantizar un inicio de sesión seguro y confiable.

Adicionalmente, se destaca la importancia de la contenedorización mediante Docker, que facilita la implementación de microservicios. A su vez, se recomienda el uso de Kubernetes como orquestador de contenedores para gestionar eficientemente la escalabilidad y contribuir

a la tolerancia a fallos. En lo que respecta al API Gateway, se sugiere Apigee para centralizar y gestionar las solicitudes, mejorando así la adaptabilidad del sistema.

Para optimizar el rendimiento, se propone Redis como sistema de caché distribuida, mejorando la eficiencia en la implementación de la caché. Finalmente, para garantizar la disponibilidad continua y evitar puntos únicos de fallo, se incorpora Nginx como balanceador de carga en el stack.

Este entorno de desarrollo integral refleja una cuidadosa consideración de las decisiones arquitectónicas, garantizando un equilibrio entre eficiencia, adaptabilidad y seguridad en la implementación de la plataforma. Cada uno de las tecnologías/plataformas mencionadas, a forma de resumen en la Tabla 28. Además, en la Figura 18 se detalla en forma gráfica de cada uno de los elementos de la Tabla 28.

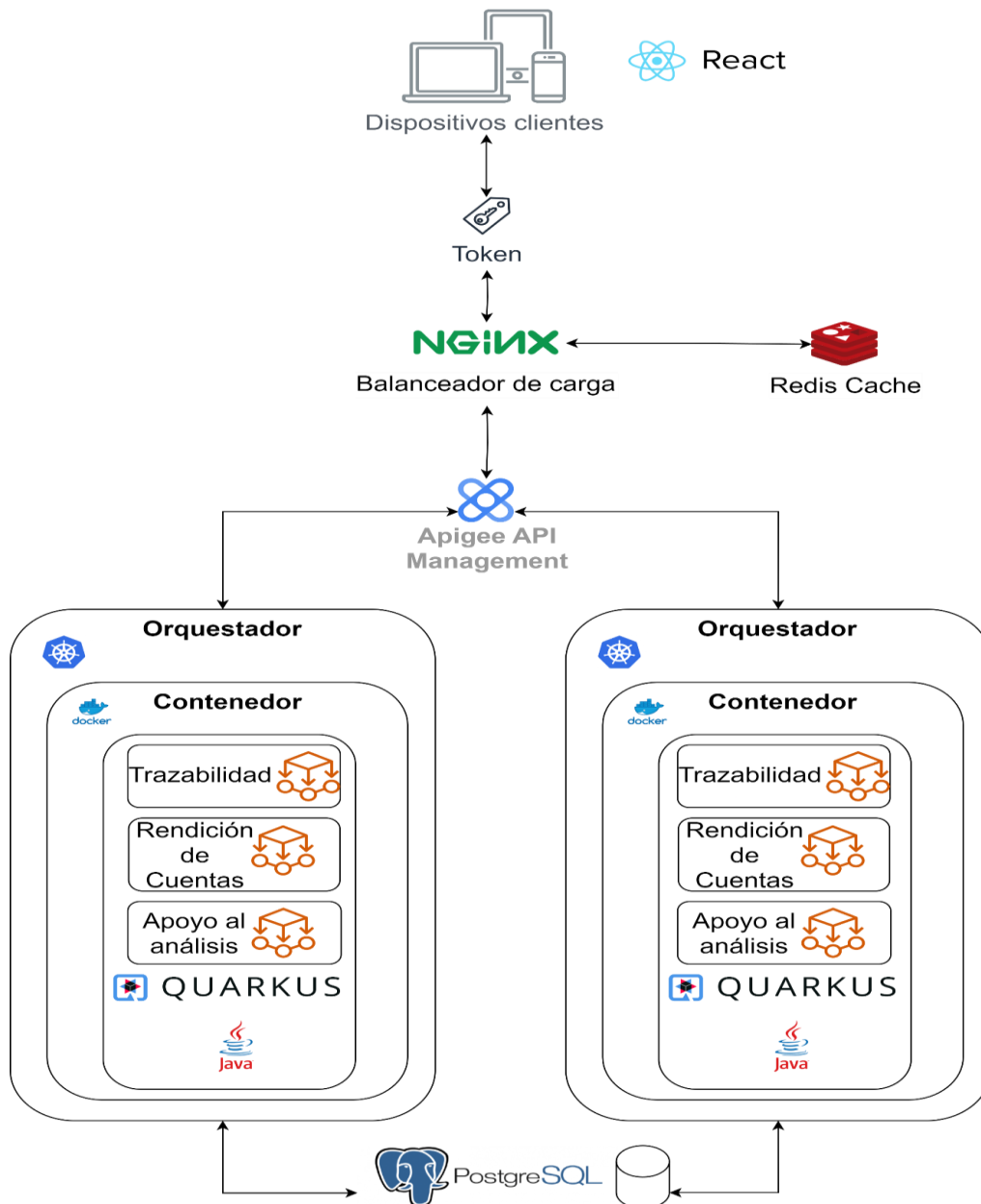
Tabla 29

Recomendación de tecnologías/plataformas para el desarrollo de la arquitectura

Ámbito	Tecnología/Plataforma
Backend	Quarkus con Java (versión 17 y posteriores)
Frontend	React.js
Sistema de Gestión de Base de Datos	PostgreSQL o MySQL
Seguridad en el inicio de sesión	OAuth 2.0
Seguridad en la validación de identidad	JWT
Contenedorización	Docker
Orquestador	Kubernetes
API Gateway	Apigee
Caché Distribuida	Redis
Balanceador de Carga	Nginx

Figura 18

Recomendación de tecnologías/plataformas para el desarrollo de la arquitectura



6. Conclusiones

En el dinámico entramado de la gestión de CSA, el proceso hacia la construcción de una arquitectura de software alineada con la Industria 5.0 ha trazado un recorrido notable. Un punto de partida crucial fue la aplicación de la metodología propuesta por Fink. Este enfoque metodológico, guiado por dos preguntas estratégicamente definidas por nuestra parte, permitió una inmersión profunda tanto en el estado tecnológico actual como en las arquitecturas previamente implementadas en el ámbito agrícola.

La exploración reveló la existencia de diversos tipos de herramientas de software con implementaciones específicas para abordar aspectos particulares de la CSA. Asimismo, se identificaron arquitecturas de software que, más que concretas, se revelaron como conceptuales, con implementaciones prácticas limitadas. Este análisis resaltó la dicotomía entre herramientas enfocadas en la trazabilidad y la sostenibilidad, pero de manera aislada en cada arquitectura y herramienta, sin integración holística.

Es fundamental destacar que las arquitecturas existentes y las implementaciones observadas a menudo dependían de recursos sustanciales para su funcionamiento. Esta dependencia de recursos robustos se convirtió en un factor limitante, ya que las implementaciones exitosas parecían estar condicionadas por la disponibilidad de estos recursos.

Otro aspecto de relevancia radica en comprender la perspectiva de nuestro entorno con respecto al trabajo de titulación. En este sentido, la aplicación de evaluaciones del estado tecnológico en dos casos de estudio, Susudel y Riobamba, generó un contraste significativo. El caso de Susudel, a pesar de tener una antigüedad notablemente menor en comparación con Riobamba, revela resultados que abarcan tanto implementaciones tecnológicas como estructuras organizativas, inversiones en tecnologías y estrategias de asociación con otros actores para alcanzar una madurez de manera más expedita.

En todos los casos mencionados, se observa una tendencia hacia una puntuación global inferior. Esto subraya la presencia de deficiencias que, al analizar la madurez presentada por estos casos, ofreció una perspectiva inicial sobre cómo abordar estas carencias dentro del marco de la arquitectura. Es crucial destacar que la evaluación aplicada se centra en el paradigma de la Industria 4.0, lo cual representa una limitación significativa respecto a nuestras aspiraciones, principalmente debido al temprano desarrollo de la Industria 5.0.

Con un contexto claro tanto en la revisión de la literatura como en la evaluación de casos prácticos, se ha logrado la concepción de una arquitectura cuyo propósito central reside en

la integración de sistemas para la gestión de la CSA, alineada con los principios de la Industria 5.0. El diseño de la arquitectura de software, se ha centrado en la integración efectiva de sistemas y la optimización de procesos. Esta arquitectura comienza con la creación de historias de usuario, que constituyen la base de las interacciones entre los usuarios y el sistema.

Desde un punto de vista lógico, se analizó cómo los módulos se conectan entre sí y cómo se procesan los datos. Esto incluye la integración con sistemas externos, asegurando la gestión y control efectivos de los flujos de información y manteniendo la transparencia y trazabilidad a lo largo de toda la CSA. Entre los componentes clave en el subsistema de trazabilidad se encuentra la "Trazabilidad del Producto", que permite una identificación unificada de seguimiento y visualización eficiente de la trazabilidad del producto. Este avance es crucial para una integración y eficiencia mejoradas en el seguimiento y gestión de productos.

El subsistema de Rendición de Cuentas incluye componentes como Certificación y Verificación, Generación de Informes, y Registro de Interacciones de Usuario, lo que asegura la conformidad con estándares y normativas, y contribuye a la integridad, seguridad y fiabilidad del sistema. En cuanto al subsistema de Analíticas de Gestión, la Inteligencia Comercial se despliega a través de funciones especializadas como el Análisis de Clientes/Mercado y Dinámica de Precios, lo cual permite una comprensión más profunda del entorno de mercado y una respuesta estratégica más informada. La optimización en la selección de proveedores y la Planificación y Producción Inteligente evidencian un diseño que aboga por la eficiencia operativa y la agilidad en la toma de decisiones. La Inteligencia Agrícola, con capacidades como la Estimación de Vida Útil y el Análisis de Zonas de Cultivo, refuerza la sostenibilidad y productividad de la cadena.

El proceso de "Filtro y Validación" en la sección de Procesamiento de Datos asegura la calidad y confiabilidad de la información, garantizando la integridad de los datos. Esta información procesada se almacena en una base de datos bien estructurada para el almacenamiento de datos a largo plazo, lo que es esencial para la gestión informada, efectiva y transparente de la cadena de suministros. Además, como está desarrollada la arquitectura se deja la posibilidad de seguir expandiendo hacia más funcionalidades, pudiendo así integrar otros sistemas.

La refinación del diseño arquitectónico fue sometida a un riguroso proceso de evaluación que no solo implicó la revisión teórica, sino también la validación práctica a través de escenarios de casos reales de los casos de uso. Esta estrategia proporcionó un contexto realista para

poner a prueba la eficacia y robustez de la arquitectura propuesta. En este contexto, se tomaron decisiones cruciales para elevar la eficiencia y capacidad operativa del sistema.

Tomando en consideración los resultados de esta evaluación, se procedió a una redefinición focalizada de ciertos aspectos críticos de la arquitectura. La integración de una arquitectura distribuida emergió como una respuesta estratégica, fortaleciendo la capacidad de gestión y procesamiento del sistema en entornos dinámicos y heterogéneos. Paralelamente, la incorporación de un API Gateway se reveló como un componente esencial para optimizar la interacción entre los diversos módulos, simplificando la complejidad inherente a la comunicación entre sistemas. Asimismo, la inclusión de un cache server se presenta como un pilar fundamental para mejorar la velocidad y eficiencia en el acceso a datos críticos, optimizando así el rendimiento general de la arquitectura.

Estas consideraciones y ajustes meticulosos no solo representan mejoras incrementales, sino que constituyen elementos fundamentales que fortalecen en gran medida el funcionamiento integral de la arquitectura. La redefinición estratégica, basada en la evaluación crítica de casos reales, no solo responde a los desafíos identificados, sino que también sienta las bases para una arquitectura más resistente, adaptable y eficiente en el contexto dinámico de la gestión de la CSA.

En conclusión, este estudio ha delineado un camino significativo hacia la construcción de una arquitectura de software alineada con la Industria 5.0 en el ámbito de la gestión de la CSA. La revisión exhaustiva de herramientas existentes y evaluaciones de casos prácticos reveló deficiencias en las arquitecturas previas, marcadas por la falta de integración holística y dependencia de recursos robustos. La nueva arquitectura propuesta se centra en la integración efectiva de sistemas y la optimización de procesos, destacando componentes clave como la "Trazabilidad del Producto", el subsistema de "Rendición de Cuentas" y el subsistema de "Análíticas de Gestión". La validación práctica a través del uso de los escenarios permitió refinamientos cruciales, como la adopción de una arquitectura distribuida, un API Gateway y un cache server, mejorando significativamente la eficiencia y adaptabilidad.

6.1. Trabajos Futuros

Como líneas de trabajo futuro vinculadas a la plataforma de gestión de la CSA se propone la integración de sistemas adicionales referentes al uso de tecnologías de blockchain, Big Data, entre otros. En respuesta a la necesidad de implementar tecnologías de vanguardia, se propone la integración de un módulo de 'Análisis Predictivo de Big Data' en el subsistema de

Analíticas de Gestión. Este módulo aprovechará algoritmos de inteligencia artificial para analizar grandes volúmenes de datos provenientes de toda la cadena de suministro. Su función será identificar patrones, predecir tendencias de mercado y optimizar la logística y el inventario. Esto permitirá una toma de decisiones más rápida y basada en datos, mejorando la eficiencia y la capacidad de respuesta ante las fluctuaciones del mercado.

Además, dentro del subsistema de Trazabilidad, se puede incorporar un 'Sistema de IA para la Optimización de Rutas de Distribución', que utilice técnicas avanzadas de aprendizaje automático para calcular las rutas más eficientes y sostenibles para la entrega de productos.

Estas adiciones específicas a la arquitectura propuesta demuestran un compromiso con la integración de soluciones inteligentes para enfrentar los retos complejos de la cadena de suministro agroalimentaria, asegurando que la arquitectura no solo sea contemporánea, sino también relevante y preparada para los avances futuros.

La incorporación de la tecnología blockchain se ha identificado como un avance estratégico en el subsistema de Trazabilidad de la plataforma. Se propone su implementación específicamente en la etapa de registro y verificación de transacciones y movimientos de productos. Al aplicar blockchain para documentar cada paso desde la producción hasta la entrega, se garantiza la inmutabilidad y la transparencia de los datos, lo que resulta en una confianza mejorada entre productores, distribuidores y consumidores finales.

También se plantea el desarrollo de una plataforma integrada de dispositivos IoT enfocada en la fase de cultivo. Este sistema deberá diseñarse para recopilar y analizar datos cruciales de trazabilidad en tiempo real, como condiciones climáticas, salud del cultivo y prácticas de manejo agronómico. La relevancia de esta plataforma se acentúa cuando se adapta a los casos de estudio del proyecto, enfocándose en aspectos de trazabilidad para los cultivos prioritarios. La investigación y el análisis subsiguiente de estos pilares de trazabilidad proporcionarán una base sólida para la optimización de las operaciones agrícolas y la mejora continua de la CSA.

Finalmente, sería esencial llevar a cabo estudios empíricos detallados una vez que la plataforma esté desplegada y operativa. Este tipo de evaluación empírica es crucial para confirmar la efectividad de la arquitectura en diferentes contextos operativos y regionales. La realización de dichos estudios no sólo afirmará la robustez y la capacidad de adaptación de la solución propuesta sino que también aportará significativamente a la sostenibilidad y la eficiencia de la CSA en condiciones reales de funcionamiento, debido a su aportación en la mejora de los procesos. Un estudio de seguimiento a largo plazo proporcionará información

valiosa sobre la evolución y el desempeño del sistema a lo largo del tiempo, lo que será fundamental para realizar ajustes y mejoras continuas.

Referencias

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100172>

ABB News. (2022). *La Industria 5.0, el nuevo paradigma de la transformación digital | ABB*.

<https://new.abb.com/news/es/detail/95539/la-industria-50-el-nuevo-paradigma-de-la-transformacion-digital>

Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry

4.0 Strategy. In A. Ustundag & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 61–94). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4

Arena, A., Bianchini, A., Perazzo, P., Vallati, C., & Dini, G. (2019). *BRUSCHETTA: An IoT blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain*.

<https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2019.00049>

Badole, C. M., Jain, D. R., Rathore, D. A. P. S., & Nepal, D. B. (2012). Research and

Opportunities in Supply Chain Modeling: A Review. *International Journal of Supply Chain Management*, 1(3), Article 3.

<https://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/662>

Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación.

Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030–1043.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1503355>

Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021, January 5). *Industry 5.0—Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry_en

- Caballero, R., & Rivera, B. (2019). Blockchain: An Alternative to Enable Traceability in the Agricultural Supply Chain in Panama. *2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)*, 46–51.
<https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00017>
- Carayannis, E. G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The Futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as Driving Forces of Future Universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(4), 3445–3471. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00854-2>
- Carvajal, L. F. (2021). Gestión de la cadena de suministro en la comercialización de productos agrícolas en Ecuador. *SUMMA. Revista disciplinaria en ciencias económicas y sociales*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.47666/summa.3.2.38>
- Chaabane, M., Bouassida Rodriguez, I., Colomo-Palacios, R., Gaaloul, W., & Jmaiel, M. (2019). A modeling approach for Systems-of-Systems by adapting ISO/IEC/IEEE 42010 Standard evaluated by Goal-Question-Metric. *Science of Computer Programming*, 184, 102305. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2019.102305>
- Chavez, J. H., & Torres-Rabello, R. (2012). *Supply Chain Management* (2a ed). RIL editores.
- Clare Kohler, J., & Bowra, A. (2020). *Exploring anti-corruption, transparency, and accountability in the World Health Organization, the United Nations Development Programme, the World Bank Group, and the Global Fund to Fight AIDS, Tuberculosis and Malaria | Globalization and Health*.
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12992-020-00629-5>
- Djekic, I., Batlle-Bayer, L., Bala, A., Fullana-i-Palmer, P., & Jambrak, A. R. (2021). Role of the Food Supply Chain Stakeholders in Achieving UN SDGs. *Sustainability*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su13169095>
- Echchakoui, S., & Barka, N. (2020). Industry 4.0 and its impact in plastics industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100172.

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100172>

Evolute. 2018. Making Tradeoffs and Choices. <https://www.evolute.be/thoughts/atam.html>

FAO (Ed.). (2019). *Moving forward on food loss and waste reduction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: La FAO promueve el uso y conservación de la agrobiodiversidad en cuatro provincias alto andinas de Ecuador | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/385299/>

Fink, A. (2019). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. SAGE Publications.

Flores, L., Sanchez, Y., Ramos, E., Sotelo, F., & Hamoud, N. (2021). Blockchain in Agribusiness Supply Chain Management: A Traceability Perspective. In T. Ahram (Ed.), *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering* (Vol. 1213, pp. 465–472). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51328-3_64

Flores-Sigüenza, P., Vásquez-Salinas, B., Sigüenza-Guzman, L., Arcentales-Carrion, R., & Sucozhañay, D. (2022). Indicators to Evaluate Elements of Industry 5.0 in the Textile Production of MSMEs. In J. Herrera-Tapia, G. Rodriguez-Morales, E. R. Fonseca C., & S. Berrezueta-Guzman (Eds.), *Information and Communication Technologies* (pp. 85–100). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18272-3_7

Frederico, G. F. (2019). Supply chain 4.0: Concepts, maturity and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0339>

Freire, C. E., Govea, K., & Arguello, J. (2018). Importancia de la agricultura en una

- economía dolarizada. *Revista ESPACIOS*, 39(16).
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n16/18391601.html>
- Granillo-Macías, R., Olivares-Benítez, E., Martínez-Flores, J. L., & Caballero-Morales, S. O. (2017). Gestión de operaciones en una cadena de suministro agroalimentaria. *Ciencias Holguín*, 23(4), 1–15.
- Guillermo & Quinde. (2020). Manual Técnico de la Arquitectura de Software propuesta para una plataforma de datos sobre movilidad activa y entorno urbano.
- GutierrezPereyra, G. A. (2021). Estudio de la cadena de suministro de alimentos perecederos. *Repositorio Institucional - Ulima*.
<https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/13303>
- IEEE. (2011). *Systems and software engineering- architecture description*.
<https://www.iso.org/standard/50508.html>
- INEC. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- Jubayer, Md. F. (2024). Food Politics, Governance, and Accountability of Food System Actors in Bangladesh Perspective. *Food Ethics*, 9(1), 2.
<https://doi.org/10.1007/s41055-023-00136-4>
- Juca, L. C., Aguirre, P. U., & Vivanco, N. A. (2021). Ecuador: Análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.547>
- Khan, P. W., Byun, Y.-C., & Park, N. (2020). IoT-Blockchain Enabled Optimized Provenance System for Food Industry 4.0 Using Advanced Deep Learning. *Sensors*, 20(10), 2990. <https://doi.org/10.3390/s20102990>
- Krupitzer, C., & Stein, A. (2021). Food Informatics—Review of the Current State-of-the-Art,

- Revised Definition, and Classification into the Research Landscape. *Foods*, 10(11), 2889. <https://doi.org/10.3390/foods10112889>
- Kumar, R., Gupta, P., Singh, S., & Jain, D. (2021). Human Empowerment by Industry 5.0 in Digital Era: Analysis of Enablers. In R. K. Phanden, K. Mathiyazhagan, R. Kumar, & J. Paulo Davim (Eds.), *Advances in Industrial and Production Engineering* (pp. 401–410). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_36
- Li, Z., Liang, P., & Avgeriou, P. (2016). Chapter 5—Architecture viewpoints for documenting architectural technical debt. In I. Mistrik, R. Soley, N. Ali, J. Grundy, & B. Tekinerdogan (Eds.), *Software Quality Assurance* (pp. 85–132). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802301-3.00005-3>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322–4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Lobo, S., & Samaranyake, P. (2020). An innovation management assessment framework. *Benchmarking: An International Journal*, 27(5), 1633–1656. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2019-0085>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Marrugo Pinos, J. (2008). *Análisis tecnológico (Diagnóstico tecnológico): Herramienta de toma de decisiones y gestión del conocimiento*.
- Martínez Segura, M. A. (2009). *Diagnóstico tecnológico del sector de los áridos y su aplicación a la Región de Murcia* [[Http://purl.org/dc/dcmitype/Text](http://purl.org/dc/dcmitype/Text), Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50213>
- Padilla Jaramillo, J. M. (2019). *Diseño de una arquitectura institucional tecnológica basada*

en el estándar ISO/IEC/IEEE 42010 que permita diversificar el modelo educativo dentro de la Universidad Técnica del Norte [bachelorThesis].

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9537>

Pino Peralta, S. L., Aguilar, H. R., Loayza Apolo, A. G. E., & Morejón Sisalema, L. A. (2018).

Contribution of the agricultural sector to the economy of Ecuador. Critical analysis of its evolution in the period of dollarization. Years 2000 – 2016. 39, 7–17.

Rejeb, A., Rejeb, K., & Keogh, J. G. (2021). Enablers of Augmented Reality in the Food

Supply Chain: A Systematic Literature Review. *Journal of Foodservice Business Research*, 24(4), 415–444. <https://doi.org/10.1080/15378020.2020.1859973>

Reyes Chacón, L. M. (2016). *Diagnóstico tecnológico de la cantera de materiales para la construcción Yarayabo de la provincia de Santiago de Cuba*. [Tesis, Departamento de Minería]. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2163>

Saxena, R., Joshi, A., Joshi, S., Borkotoky, S., Singh, K., Rai, P. K., Mueed, Z., & Sharma, R. (2023). Chapter 13—The role of artificial intelligence strategies to mitigate abiotic stress and climate change in crop production. In A. Srivastav, A. Dubey, A. Kumar, S. Kumar Narang, & M. Ali Khan (Eds.), *Visualization Techniques for Climate Change with Machine Learning and Artificial Intelligence* (pp. 273–293). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99714-0.00006-6>

Sebök, A., Varsányi, K., Kujáni, K., Xhakollari, V., Fricz, Á. S., Castellini, A., Gioia, D. D.,

Gaggia, F., & Canavari, M. (2022). Value propositions for improving the competitiveness of short food supply chains built on technological and non-technological innovations. *International Journal of Food Studies*, 11(0), Article 0.

<https://doi.org/10.7455/ijfs/11.SI.2022.a4>

Tarver, E. (2023, May 28). *Value Chain vs. Supply Chain: What's the Difference?*

Investopedia. <https://www.investopedia.com/ask/answers/043015/what-difference-between-value-chain-and-supply-chain.asp>

- Udalov, A., Udalova, Z., & Postnikova, L. (2023). Application of Blockchain Technologies in Digital Agriculture. In A. Guda (Ed.), *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles* (Vol. 509, pp. 1663–1673). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_169
- Wallace, C. A., & Manning, L. (2020). Food provenance: Assuring product integrity and identity. *CABI Reviews*, PAVSNNR202015032.
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015032>
- Wieland, A. (2021). Dancing the Supply Chain: Toward Transformative Supply Chain Management. *The Journal of Supply Chain Management*, 57(1), 58–73.
<https://doi.org/10.1111/jscm.12248>
- Wünsche, J. F., & Fernqvist, F. (2022). The Potential of Blockchain Technology in the Transition towards Sustainable Food Systems. *Sustainability*, 14(13), 7739.
<https://doi.org/10.3390/su14137739>

