|  |
| --- |
|  |

Especificación de requisitos de software

Proyecto PIA: OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHIN LERNING Y DEEP LESNING

Revisión 1.05

# Historial de Revisiones

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Fecha** | **Revisión** | **Descripción** | **Autor** |
| 15/08/2024 | 1.01 | Documento Vision. | Diego Fernando González Patarroyo |
| 02/08/2024 | 1.02 | Ajustes de Introducción y Posicionamiento. | Diego Fernando González Patarroyo |
| 15/09/2024 | 1.03 | Usurious y Visión General del Producto. | Diego Fernando González Patarroyo |
| 22/09/2024 | 1.04 | Ambiente de desarrollo, características de los usuarios, restricciones, suposiciones y dependencias,  evolución previsible del sistema, requisitos específicos, requisitos comunes de los interfaces,  interfaces de usuario, interfaces de hardware | Diego Fernando González Patarroyo |
| 09/11/2024 | 1.05 | Muckaups | Diego Fernando González Patarroyo |

Contenido

[Historial de Revisiones 2](#_Toc182398155)

[Introducción 9](#_Toc182398156)

[Planteamiento del Problema 10](#_Toc182398157)

[Objetivos 13](#_Toc182398158)

[Objetivo General 13](#_Toc182398159)

[Objetivos Específicos 13](#_Toc182398160)

[Evaluar y analizar 13](#_Toc182398161)

[Planificar la solución basada en IA 13](#_Toc182398162)

[Diseñar el sistema de optimización 13](#_Toc182398163)

[Implementar y validar 13](#_Toc182398164)

[Desplegar y monitorear 14](#_Toc182398165)

[Justificación 15](#_Toc182398166)

[Motivación intrínseca 16](#_Toc182398167)

[Personal involucrado 17](#_Toc182398168)

[Costos 18](#_Toc182398169)

[Historias de Usuario 20](#_Toc182398170)

[Agricultor 20](#_Toc182398171)

[Historia de Usuario 20](#_Toc182398172)

[Criterios de Aceptación 20](#_Toc182398173)

[Empresa Agrícola 20](#_Toc182398174)

[Historia de Usuario 20](#_Toc182398175)

[Criterios de Aceptación 20](#_Toc182398176)

[Distribuidor 20](#_Toc182398177)

[Historia de Usuario 20](#_Toc182398178)

[Criterios de Aceptación 20](#_Toc182398179)

[Minorista 21](#_Toc182398180)

[Historia de Usuario 21](#_Toc182398181)

[Criterios de Aceptación 21](#_Toc182398182)

[Administrador del Sistema 21](#_Toc182398183)

[Historia de Usuario 21](#_Toc182398184)

[Criterios de Aceptación 21](#_Toc182398185)

[Cronograma de actividades 22](#_Toc182398186)

[Definiciones 23](#_Toc182398187)

[Machine Learning (ML) 23](#_Toc182398188)

[Cadena de Suministro 23](#_Toc182398189)

[Optimización 23](#_Toc182398190)

[Datos Agrícolas 23](#_Toc182398191)

[Análisis Predictivo 23](#_Toc182398192)

[Red Neuronal 23](#_Toc182398193)

[Modelo LSTM (Long Short-Term Memory) 23](#_Toc182398194)

[Acrónimos y Abreviaturas 24](#_Toc182398195)

[AI 24](#_Toc182398196)

[ML 24](#_Toc182398197)

[DL 24](#_Toc182398198)

[IoT 24](#_Toc182398199)

[API 24](#_Toc182398200)

[RPA 24](#_Toc182398201)

[SQL 24](#_Toc182398202)

[CSV 24](#_Toc182398203)

[ETL 24](#_Toc182398204)

[KPI 24](#_Toc182398205)

[SaaS 24](#_Toc182398206)

[GPU 24](#_Toc182398207)

[Desarrollo del Producto/Servicio 25](#_Toc182398208)

[Descripción General 25](#_Toc182398209)

[Formulación del Alcance 25](#_Toc182398210)

[Objetivos del Proyecto 25](#_Toc182398211)

[*Entregables* 25](#_Toc182398212)

[*Limitaciones* 25](#_Toc182398213)

[*Actividades del Proyecto* 25](#_Toc182398214)

[Perspectiva del Producto 26](#_Toc182398215)

[Interfaz de Usuario 26](#_Toc182398216)

[Módulos del Sistema 26](#_Toc182398217)

[Integración de Datos 26](#_Toc182398218)

[Escalabilidad y Mantenibilidad 26](#_Toc182398219)

[Funcionalidad del producto 27](#_Toc182398220)

[Recopilación y Gestión de Datos 27](#_Toc182398221)

[Fuentes de Datos 27](#_Toc182398222)

[Funcionalidad 27](#_Toc182398223)

[Preprocesamiento de Datos 27](#_Toc182398224)

[Funcionalidad 27](#_Toc182398225)

[Modelo de Predicción 28](#_Toc182398226)

[Funcionalidad 28](#_Toc182398227)

[Optimización de la Cadena de Suministro 28](#_Toc182398228)

[Funcionalidad 28](#_Toc182398229)

[Monitoreo y Mejora Continua 28](#_Toc182398230)

[Funcionalidad 28](#_Toc182398231)

[Funcionalidad 29](#_Toc182398232)

[Escalabilidad y Despliegue 29](#_Toc182398233)

[Funcionalidad 29](#_Toc182398234)

[Seguridad y Privacidad 29](#_Toc182398235)

[Funcionalidad 29](#_Toc182398236)

[Diagrama de caso de uso 29](#_Toc182398237)

[Caso de uso del sistema 30](#_Toc182398238)

[Especificación de casos de uso 31](#_Toc182398239)

[Diagrama de actividades 32](#_Toc182398240)

[Diagrama de clases 34](#_Toc182398241)

[Diagrama de secuencia 35](#_Toc182398242)

[Diagrama de comunicación 37](#_Toc182398243)

[Diagramas de estado 40](#_Toc182398244)

[Diagramas de despliegue 43](#_Toc182398245)

[Ambiente 44](#_Toc182398246)

[Características de los usuarios 44](#_Toc182398247)

[Restricciones 45](#_Toc182398248)

[Suposiciones y dependencias 45](#_Toc182398249)

[Suposiciones 45](#_Toc182398250)

[Dependencias 45](#_Toc182398251)

[Evolución previsible del sistema 45](#_Toc182398252)

[Requisitos específicos 46](#_Toc182398253)

[Interfaces de software 47](#_Toc182398254)

[Requisitos funcionales 48](#_Toc182398255)

[Requisitos no funcionales 50](#_Toc182398256)

[Arquitectura Back-end 57](#_Toc182398257)

[Interfaces de Usuario (Frontend) 57](#_Toc182398258)

[Mockups 58](#_Toc182398259)

[Login 58](#_Toc182398260)

[Dashboard 59](#_Toc182398261)

[Predicciones de Exportaciones 59](#_Toc182398262)

[Pantalla de Optimización 60](#_Toc182398263)

[Análisis de ubicación 60](#_Toc182398264)

[Datos de Ubicación 61](#_Toc182398265)

[Registro de Ubicación y Cultivo 61](#_Toc182398266)

[Impacto y Sostenibilidad 62](#_Toc182398267)

[Aspectos Regulatorios y Éticos 62](#_Toc182398268)

[Implementación y Despliegue 62](#_Toc182398269)

[RECOMENDACIONES PARA FUTURAS MEJORAS 64](#_Toc182398270)

[Conclusiones 66](#_Toc182398271)

[Referencias Bibliográficas 67](#_Toc182398272)

**INDICE DE TABLAS**

[Tabla 1 Requisitos funcionales 44](#_Toc182045030)

[Tabla 2 Requisitos funcionales 45](#_Toc182045031)

[Tabla 3 Requisitos no funcionales 46](#_Toc182045032)

[Tabla 4 Requisitos no funcionales 47](#_Toc182045033)

[Tabla 5 Diccionario de Datos 48](#_Toc182045034)

[Tabla 6 Entidad: Cultivo 49](#_Toc182045035)

[Tabla 7 Entidad: Demanda (Mercado) 49](#_Toc182045036)

[Tabla 8 Entidad: Transporte 50](#_Toc182045037)

[Tabla 9 Entidad: Almacenamiento 50](#_Toc182045038)

[Tabla 10 Entidad: Modelo de Machine Learning 51](#_Toc182045039)

[Tabla 11 Entidad: Predicción 52](#_Toc182045040)

[Tabla 12 Entidad: Clima 52](#_Toc182045041)

**ILUSTRACIONES**

[Ilustración 1 Personal involucrado 18](#_Toc182051102)

[Ilustración 2 Costos 19](#_Toc182051103)

[Ilustración 3 Cronograma de actividades 22](#_Toc182051104)

[Ilustración 4 Diagrama de flujo 27](#_Toc182051105)

[Ilustración 5 Diagrama de casos de uso 29](#_Toc182051106)

[Ilustración 6 Caso de uso del sistema 30](#_Toc182051107)

[Ilustración 7 Especificación de casos de uso 31](#_Toc182051108)

[Ilustración 8 Diagrama de actividades 32](#_Toc182051109)

[Ilustración 9 Inicio de sesión 33](#_Toc182051110)

[Ilustración 10 Visualización de reportes y gráficos 34](#_Toc182051111)

[Ilustración 11 Diagrama de clases 34](#_Toc182051112)

[Ilustración 12 Inicio de sesión 35](#_Toc182051113)

[Ilustración 13 Registro de usuario 36](#_Toc182051114)

[Ilustración 14 Inicio de sesión 37](#_Toc182051115)

[Ilustración 15 Registro usuario 38](#_Toc182051116)

[Ilustración 16 Visualización de reportes y gráficos 39](#_Toc182051117)

[Ilustración 17 Inicio de sesión 40](#_Toc182051118)

[Ilustración 18 Registro de usuario 41](#_Toc182051119)

[Ilustración 19 Visualización de reportes y gráficos 42](#_Toc182051120)

[Ilustración 20 Diagrama de despliegue 43](#_Toc182051121)

[Ilustración 21 Ambiente 44](#_Toc182051122)

[Ilustración 22 Características de los usuarios 44](#_Toc182051123)

[Ilustración 23 Evolución previsible del sistema 45](#_Toc182051124)

[Ilustración 24 Requisitos específicos 46](#_Toc182051125)

[Ilustración 25 Requisitos comunes de los interfaces 46](#_Toc182051126)

[Ilustración 26 Interfaces de usuario 46](#_Toc182051127)

[Ilustración 27 Interfaces de hardware 47](#_Toc182051128)

[Ilustración 28 Arquitectura Back-end 57](#_Toc182051129)

[Ilustración 29 Login 58](#_Toc182051130)

[Ilustración 30 Dashboard 58](#_Toc182051131)

[Ilustración 31 Predicciones de Exportaciones 59](#_Toc182051132)

[Ilustración 32 Pantalla de Optimización 59](#_Toc182051133)

[Ilustración 33 Análisis de ubicación 60](#_Toc182051134)

[Ilustración 34 Datos de Ubicación 60](#_Toc182051135)

[Ilustración 35 Registro de Ubicación y Cultivo 61](#_Toc182051136)

# Introducción

La evolución del tratamiento automático de la información ha marcado gran diferencia en estos tiempos, gracias al avance tecnológico y el progreso en el campo de la programación de computadoras. Todos éstos son factores importantes que por medio de sus interacciones han logrado despertar los intereses por la obtención de un sistema de gestión informatizada por parte de muchas entidades.

En la actualidad la necesidad de la buena administración de las transacciones de las distintas empresas va ganando espacio teniendo en cuenta la rapidez y la exactitud que ofrecen los sistemas informáticos en la gestión global de cualquier empresa, negocios, etc.

Por consiguiente, es esencial un sistema informático para que haya una buena organización de forma eficaz dentro de la misma que con la implementación de este software responde a la necesidad de brindar a los clientes un mejor servicio.

Es por ello que surge el punto de informatizar la empresa para la buena agilización de trabajos y para la organización administrativa mediante el uso y fomento de la tecnología.

# Planteamiento del Problema

La cadena de suministro agrícola enfrenta diversos desafíos que afectan la eficiencia y la sostenibilidad del sector. Estos desafíos incluyen la gestión inadecuada de inventarios, la falta de coordinación entre los distintos actores de la cadena y las limitaciones en la previsión de demanda. La optimización de estas cadenas es crucial para mejorar la disponibilidad de productos agrícolas, reducir costos y minimizar el impacto ambiental asociado a la producción y distribución de alimentos.

La inteligencia artificial (IA), particularmente las técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) y aprendizaje profundo (Deep Learning, DL), ofrece soluciones prometedoras para abordar estos problemas. Estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la precisión en la previsión de demanda, optimizar la gestión de inventarios y facilitar una coordinación más eficiente entre los distintos eslabones de la cadena de suministro. Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación efectiva de estas tecnologías en el contexto agrícola presenta desafíos significativos, como la integración con los sistemas existentes y la adaptación a las particularidades de las cadenas de suministro agrícolas.

Este proyecto de investigación se centra en la aplicación de técnicas de IA para la optimización de las cadenas de suministro agrícola. Se busca desarrollar un enfoque basado en ML y DL que permita superar los problemas actuales de gestión y coordinación, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad del sector. El estudio también abordará aspectos relacionados con la ciberseguridad y el cumplimiento de marcos legales tanto a nivel local como internacional, asegurando una implementación segura y conforme con las normativas vigentes La cadena de suministro agrícola enfrenta diversos desafíos que afectan la eficiencia y la sostenibilidad del sector. Estos desafíos incluyen la gestión inadecuada de inventarios, la falta de coordinación entre los distintos actores de la cadena y las limitaciones en la previsión de demanda. La optimización de estas cadenas es crucial para mejorar la disponibilidad de productos agrícolas, reducir costos y minimizar el impacto ambiental asociado a la producción y distribución de alimentos).

La inteligencia artificial (IA), particularmente las técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) y aprendizaje profundo (Deep Learning, DL), ofrece soluciones prometedoras para abordar estos problemas. Estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la precisión en la previsión de demanda, optimizar la gestión de inventarios y facilitar una coordinación más eficiente entre los distintos eslabones de la cadena de suministro. Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación efectiva de estas tecnologías en el contexto agrícola presenta desafíos significativos, como la integración con los sistemas existentes y la adaptación a las particularidades de las cadenas de suministro agrícolas.

Justificación

Las cadenas de abastecimiento en el sector agrícola mediante la aplicación de técnicas de ML y DL representan una oportunidad significativa para abordar desafíos críticos en la producción y distribución de alimentos a nivel global. Esta investigación se justifica por varias razones fundamentales:

* Mejora de la eficiencia operativa: La implementación de algoritmos de ML puede conducir a una gestión más precisa de inventarios y una mejor previsión de la demanda. Esto no solo reduce los costos operativos, sino que también minimiza el desperdicio de alimentos, un problema que tiene implicaciones económicas y ambientales significativas.
* Aumento de la sostenibilidad: Al optimizar la cadena de suministro, se puede reducir la huella de carbono asociada con el transporte y almacenamiento de productos agrícolas. Además, la minimización del desperdicio contribuye directamente a la conservación de recursos naturales y energéticos.
* Mejora de la calidad del producto: Las técnicas de DL, como el procesamiento de imágenes, pueden emplearse para monitorear y asegurar la calidad de los productos agrícolas a lo largo de la cadena de suministro, lo que resulta en productos de mejor calidad para el consumidor final.
* Aumento de la transparencia y trazabilidad: La aplicación de estas tecnologías puede proporcionar una visibilidad sin precedentes en la cadena de suministro, permitiendo a los consumidores conocer el origen y el recorrido de sus alimentos, lo cual es cada vez más demandado en el mercado actual.
* Adaptabilidad a cambios: Los modelos de ML y DL pueden ajustarse continuamente a medida que se introducen nuevos datos, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad frente a cambios en el mercado, patrones climáticos o preferencias del consumidor.
* Potencial de escalabilidad: Las soluciones basadas en IA tienen el potencial de ser escalables y aplicables a diferentes contextos y tipos de productos agrícolas, lo que podría tener un impacto transformador en la industria a nivel global.
* Contribución al conocimiento: Esta investigación no solo tiene implicaciones prácticas para la industria agrícola, sino que también contribuye al cuerpo de conocimiento en la intersección de la IA y la gestión de la cadena de suministro, abriendo nuevas vías para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

En un mundo donde la seguridad alimentaria y la eficiencia en la producción y distribución de alimentos son cada vez más cruciales, esta investigación se posiciona como un paso importante hacia la modernización y optimización del sector agrícola, con potenciales beneficios que se extienden desde los productores hasta los consumidores finales.

# Objetivos

## Objetivo General

Desarrollar un sistema de software basado en Inteligencia Artificial (IA), empleando técnicas de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL), para optimizar las cadenas de suministro agrícolas. Este sistema busca mejorar la eficiencia operativa y reducir costos mediante la automatización y la predicción en la gestión de inventarios, logística, y distribución de productos agrícolas, garantizando un flujo de suministros más ágil y adaptativo a las condiciones cambiantes del mercado y del entorno.

## Objetivos Específicos

### Evaluar y analizar

* + Realizar un análisis exhaustivo del estado actual de las cadenas de suministro agrícola, identificando los principales desafíos y cuellos de botella en las áreas de inventario, logística, y distribución.
  + Compilar y analizar datos históricos y actuales relacionados con la producción, demanda, precios, condiciones climáticas y otros factores relevantes, utilizando técnicas de análisis de datos para detectar patrones y áreas de mejora.

### Planificar la solución basada en IA

* + Diseñar una estrategia integral para la implementación de IA, que incluya la definición de requerimientos técnicos y de negocio, asegurando que estos estén alineados con las necesidades de optimización de la cadena de suministro agrícola.
  + Seleccionar y validar las técnicas de ML y DL más adecuadas para resolver los problemas identificados, justificando la elección de algoritmos y modelos en función de su capacidad para cumplir con los objetivos del sistema.

### Diseñar el sistema de optimización

* + Desarrollar un diseño arquitectónico detallado del sistema, especificando los componentes clave, las interacciones entre módulos y la integración de las técnicas de IA en los procesos de la cadena de suministro.
  + Crear y entrenar modelos predictivos y de optimización para gestionar inventarios, predecir la demanda y optimizar rutas logísticas, asegurando su escalabilidad y adaptabilidad a diferentes escenarios operativos.

### Implementar y validar

* + Implementar los modelos de ML y DL en un entorno controlado, realizando pruebas piloto para evaluar su precisión, eficacia y robustez en la optimización de los procesos de la cadena de suministro.
  + Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y herramientas de visualización de datos que faciliten la interpretación de los resultados, la toma de decisiones y el monitoreo del desempeño del sistema.

### Desplegar y monitorear

* + Desplegar el sistema completo en un entorno real de operación dentro de la cadena de suministro agrícola, asegurando una integración fluida con los sistemas existentes y adaptándolo a las necesidades operativas específicas del contexto.
  + Monitorear continuamente el rendimiento del sistema, realizando ajustes y optimizaciones basados en datos operativos reales y retroalimentación de los usuarios, para asegurar una mejora constante y un ajuste dinámico a cambios en la demanda, condiciones del mercado, y otros factores externos.

# Justificación

La optimización de las cadenas de abastecimiento en el sector agrícola mediante la aplicación de técnicas de ML y DL representa una oportunidad significativa para abordar desafíos críticos en la producción y distribución de alimentos a nivel global. Esta investigación se justifica por varias razones fundamentales:

Mejora de la eficiencia operativa: La implementación de algoritmos de ML puede conducir a una gestión más precisa de inventarios y una mejor previsión de la demanda. Esto no solo reduce los costos operativos, sino que también minimiza el desperdicio de alimentos, un problema que tiene implicaciones económicas y ambientales significativas.

Aumento de la sostenibilidad: Al optimizar la cadena de suministro, se puede reducir la huella de carbono asociada con el transporte y almacenamiento de productos agrícolas. Además, la minimización del desperdicio contribuye directamente a la conservación de recursos naturales y energéticos.

Mejora de la calidad del producto: Las técnicas de DL, como el procesamiento de imágenes, pueden emplearse para monitorear y asegurar la calidad de los productos agrícolas a lo largo de la cadena de suministro, lo que resulta en productos de mejor calidad para el consumidor final.

Aumento de la transparencia y trazabilidad: La aplicación de estas tecnologías puede proporcionar una visibilidad sin precedentes en la cadena de suministro, permitiendo a los consumidores conocer el origen y el recorrido de sus alimentos, lo cual es cada vez más demandado en el mercado actual.

Adaptabilidad a cambios: Los modelos de ML y DL pueden ajustarse continuamente a medida que se introducen nuevos datos, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad frente a cambios en el mercado, patrones climáticos o preferencias del consumidor.

Potencial de escalabilidad: Las soluciones basadas en IA tienen el potencial de ser escalables y aplicables a diferentes contextos y tipos de productos agrícolas, lo que podría tener un impacto transformador en la industria a nivel global.

Contribución al conocimiento: Esta investigación no solo tiene implicaciones prácticas para la industria agrícola, sino que también contribuye al cuerpo de conocimiento en la intersección de la IA y la gestión de la cadena de suministro, abriendo nuevas vías para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

En un mundo donde la seguridad alimentaria y la eficiencia en la producción y distribución de alimentos son cada vez más cruciales, esta investigación se posiciona como un paso importante hacia la modernización y optimización del sector agrícola, con potenciales beneficios que se extienden desde los productores hasta los consumidores finales.

# Motivación intrínseca

La motivación intrínseca para un proyecto sobre cadenas de abastecimiento en productos agrícolas utilizando IA, específicamente Machine Learning y Deep Learning, radica en la posibilidad de transformar de manera significativa el sector agrícola. Este proyecto busca optimizar la cadena de suministro, desde la producción hasta la distribución, para mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio, y garantizar que los productos lleguen a los consumidores de manera más rápida y con mejor calidad.

Además, existe un fuerte deseo de utilizar la tecnología para abordar desafíos complejos, como la predicción de la demanda, la gestión de inventarios, y la reducción de las pérdidas post-cosecha. La aplicación de técnicas avanzadas de IA tiene el potencial de proporcionar soluciones innovadoras que no solo beneficien a los productores y distribuidores, sino que también contribuyan a la seguridad alimentaria global.

Este proyecto también está impulsado por la curiosidad intelectual de explorar cómo las tecnologías emergentes pueden integrarse en sectores tradicionales, abriendo nuevas oportunidades de investigación y desarrollo. La posibilidad de contribuir a un cambio positivo en un sector tan fundamental como la agricultura, mientras se avanza en el conocimiento científico y tecnológico, constituye una motivación poderosa para el desarrollo de este proyecto.

# Personal involucrado

Ilustración 1 Personal involucrado

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

# Costos

**Matriz de Costos y Tiempos Estimados del Proyecto**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Fase del Proyecto** | **Costo Estimado (COP)** | **Tiempo Estimado (Semanas)** | **Descripción** |
| **Análisis** | 20,000,000 | 2 | Recolección de requisitos, análisis de viabilidad, identificación de fuentes de datos, y definición de objetivos. |
| **Diseño** | 25,000,000 | 3 | Diseño de la arquitectura del sistema, diseño de modelos ML/DL, y preparación de datasets. |
| **Desarrollo** | 50,000,000 | 6 | Desarrollo de algoritmos y modelos ML/DL, integración del sistema, y codificación. |
| **Control de Calidad (QA)** | 20,000,000 | 2 | Pruebas unitarias, pruebas de integración, y validación de modelos. |
| **Implementación** | 30,000,000 | 1 | Despliegue de la solución en el entorno de producción, y configuración de los sistemas. |
| **Infraestructura** | 40,000,000 | 1 | Costos de servidores, almacenamiento, y otras necesidades de infraestructura. |
| **Costos Adicionales** | 10,000,000 | - | Formación y capacitación, gestión de proyectos, y contingencias. |
| **Total** | **1958,000,000** | **15 semanas** | - |

**Detalle de cada Fase**

1. **Análisis**:
   * Identificación de los problemas a resolver y los objetivos del proyecto.
   * Análisis de los datos disponibles y sus fuentes.
   * Evaluación de la viabilidad técnica y económica.
2. **Diseño**:
   * Definición de la arquitectura del sistema y los componentes necesarios.
   * Diseño de los modelos de ML y DL.
   * Preparación y limpieza de los datos para el entrenamiento de los modelos.
3. **Desarrollo**:
   * Codificación e implementación de los algoritmos de ML y DL.
   * Integración de los diferentes módulos del sistema.
   * Pruebas iniciales de los modelos.
4. **Control de Calidad (QA)**:
   * Realización de pruebas unitarias para asegurar la funcionalidad individual de cada componente.
   * Pruebas de integración para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente juntos.
   * Validación de los modelos para asegurar su precisión y fiabilidad.
5. **Implementación**:
   * Despliegue de la solución en el entorno de producción.
   * Configuración de los sistemas para asegurar su correcto funcionamiento.
   * Monitoreo inicial para detectar y solucionar problemas.
6. **Infraestructura**:
   * Adquisición de servidores, almacenamiento, y otros recursos necesarios.
   * Configuración de la infraestructura para soportar el proyecto.
7. **Costos Adicionales**:
   * Formación y capacitación del personal involucrado.
   * Gestión del proyecto para asegurar su correcto desarrollo.
   * Fondos para contingencias y gastos imprevistos.

Fuente: Elaboración propia

# Historias de Usuario

## Agricultor

Historia de Usuario: Como agricultor, quiero recibir pronósticos precisos sobre las condiciones climáticas y la demanda del mercado, para poder planificar mejor la siembra y la cosecha de mis cultivos.

Criterios de Aceptación:

El sistema debe proporcionar pronósticos meteorológicos diarios.

El sistema debe mostrar datos de demanda de productos agrícolas en tiempo real.

El agricultor debe poder visualizar la información a través de una interfaz amigable.

## Empresa Agrícola

Historia de Usuario: Como empresa agrícola, quiero optimizar la logística de distribución de nuestros productos, para reducir costos y mejorar la eficiencia.

Criterios de Aceptación:

El sistema debe ofrecer rutas optimizadas para la entrega de productos.

El sistema debe tener en cuenta el tráfico y las condiciones climáticas en tiempo real.

El sistema debe permitir la integración con plataformas de gestión de flota.

## Distribuidor

Historia de Usuario: Como distribuidor, quiero acceder a un análisis de la calidad de los productos, para asegurarme de que solo ofrezco productos frescos y en buen estado a los minoristas.

Criterios de Aceptación:

El sistema debe utilizar algoritmos de visión por computadora para evaluar la calidad de los productos.

El distribuidor debe recibir alertas sobre productos que no cumplen con los estándares de calidad.

El sistema debe generar informes de calidad periódicos.

## Minorista

Historia de Usuario: Como minorista, quiero conocer las tendencias de compra de mis clientes, para ajustar mi inventario y satisfacer mejor sus necesidades.

Criterios de Aceptación:

El sistema debe analizar datos históricos de ventas para identificar patrones.

El sistema debe proporcionar recomendaciones de productos a reabastecer.

El minorista debe poder ver gráficos y análisis de las tendencias de compra en la interfaz del usuario.

## Administrador del Sistema

Historia de Usuario: Como administrador del sistema, quiero gestionar los usuarios y asegurar que los datos estén protegidos, para garantizar la seguridad de la información sensible.

Criterios de Aceptación:

El sistema debe permitir la creación y eliminación de cuentas de usuario.

El sistema debe implementar autenticación de dos factores para los usuarios.

El administrador debe tener acceso a un panel de control que muestre estadísticas de uso y actividad.

# Cronograma de actividades

Aquí se definen las tareas principales, la duración estimada, y los responsables.

Ilustración 3 Cronograma de actividades

Ilustración 3 Cronograma de actividades

Imagen que contiene Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

# Definiciones

Machine Learning (ML): **Rama** de la inteligencia artificial que permite a las computadoras aprender y mejorar a partir de datos sin ser programadas explícitamente.

Deep Learning (DL): Subcampo del machine learning que utiliza redes neuronales profundas para modelar y comprender patrones complejos en grandes volúmenes de datos.

Cadena de Suministro: Red de organizaciones, personas, actividades, información y recursos involucrados en el suministro de un producto o servicio desde el proveedor hasta el cliente.

Optimización: Proceso de hacer algo tan efectivo o funcional como sea posible, a menudo mediante la mejora de la eficiencia y la reducción de costos.

Datos Agrícolas: Información recolectada sobre prácticas agrícolas, cultivos, condiciones climáticas y rendimientos de la cosecha.

Análisis Predictivo: Uso de técnicas estadísticas y algoritmos de machine learning para identificar la probabilidad de resultados futuros basados en datos históricos.

Red Neuronal: Modelo computacional inspirado en la estructura del cerebro humano, compuesto por nodos (neuronas) conectados que procesan información.

Modelo LSTM (Long Short-Term Memory): Tipo de red neuronal recurrente utilizada para el procesamiento de secuencias, especialmente útil en predicciones basadas en series temporales.

# Acrónimos y Abreviaturas

AI: Inteligencia Artificial (Artificial Intelligence)

ML: Machine Learning

DL: Deep Learning

IoT: Internet de las Cosas (Internet of Things)

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface)

RPA: Automatización de Procesos Robóticos (Robotic Process Automation)

SQL: Lenguaje de Consulta Estructurado (Structured Query Language)

CSV: Valor Separado por Comas (Comma-Separated Values)

ETL: Extracción, Transformación y Carga (Extract, Transform, Load)

KPI: Indicador Clave de Rendimiento (Key Performance Indicator)

SaaS: Software como Servicio (Software as a Service)

GPU: Unidad de Procesamiento Gráfico (Graphics Processing Unit)

# Desarrollo del Producto/Servicio

## Descripción General

El proyecto se centra en el desarrollo de un sistema inteligente que optimiza las cadenas de suministro agrícola mediante el uso de técnicas avanzadas de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL). El objetivo principal es mejorar la eficiencia en la producción, distribución y comercialización de productos agrícolas, a través de la predicción de la demanda, la optimización de rutas de distribución, y el análisis de la calidad de los productos.

## Formulación del Alcance

Objetivos del Proyecto:

Desarrollar modelos predictivos para anticipar la demanda de productos agrícolas.

Implementar algoritmos de optimización para mejorar las rutas de entrega y reducir costos logísticos.

Desarrollar herramientas de análisis de calidad utilizando técnicas de Deep Learning para detectar anomalías en productos agrícolas.

Crear una interfaz de usuario accesible para que los agricultores, distribuidores y minoristas interactúen con el sistema.

Entregables:

Modelos de Machine Learning para la predicción de la demanda.

Algoritmos de optimización de rutas.

Sistema de análisis de calidad basado en Deep Learning.

Plataforma web para la visualización de datos y resultados.

Documentación técnica y de usuario.

Limitaciones:

El proyecto se centrará en productos agrícolas específicos, como papas, café, plátano, yuca, maíz y arroz.

Los datos utilizados para entrenar los modelos se limitarán a las fuentes disponibles y de calidad adecuada.

El sistema inicialmente estará diseñado para su implementación en el contexto local (Bogotá) antes de considerar su escalabilidad a nivel nacional o internacional.

Actividades del Proyecto:

Recolección y limpieza de datos históricos de demanda, distribución y calidad de productos.

Desarrollo de modelos de ML y DL.

Implementación de algoritmos de optimización.

Pruebas y validación de los modelos y del sistema en general.

Capacitación y soporte a los usuarios finales.

# Perspectiva del Producto

El producto resultante será un sistema integral que combine tecnologías de Machine Learning y Deep Learning para optimizar las cadenas de suministro agrícola. La perspectiva del producto incluye:

Interfaz de Usuario:

Una plataforma web intuitiva donde los usuarios podrán visualizar información sobre la demanda prevista, las rutas de distribución óptimas y los resultados del análisis de calidad.

Módulos del Sistema:

Módulos de Dashboard:

Módulo de Predicción: Utiliza algoritmos de ML para analizar datos históricos y prever la demanda futura de productos agrícolas.

Módulo de Optimización de Rutas: Aplica técnicas de optimización para determinar las rutas más eficientes para la entrega de productos.

Módulo de Análisis de Calidad: Implementa modelos de Deep Learning para evaluar la calidad de los productos y detectar anomalías.

Integración de Datos:

El sistema será capaz de integrarse con APIs externas (como OpenWeatherMap y FAO), por medio de los frameworks de Python (Agml y Python-weather) para obtener datos climáticos y agrícolas que puedan influir en la producción y distribución.

Escalabilidad y Mantenibilidad:

Diseñado con una arquitectura modular que permitirá futuras mejoras y escalabilidad a otras regiones y productos.

Documentación detallada y soporte para asegurar la mantenibilidad del sistema a largo plazo.

Diagrama de Flujo (Básico)

Ilustración 4 Diagrama de flujo

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Funcionalidad del producto

## Recopilación y Gestión de Datos

Fuentes de Datos:

Datos climáticos históricos y en tiempo real (temperatura, humedad, precipitaciones).

Datos de suelo (fertilidad, humedad, pH).

Datos de mercado (precios, demanda, oferta).

Datos logísticos (rutas, tiempos de entrega, costos de transporte).

Datos históricos de producción agrícola.

Funcionalidad:

Diseñar un sistema de ingesta de datos en tiempo real y batch, con almacenamiento en una base de datos centralizada.

Implementar pipelines de ETL (Extracción, Transformación y Carga) para limpiar y estructurar los datos.

Usar APIs para obtener datos en tiempo real de servicios externos.

## Preprocesamiento de Datos

Funcionalidad:

Normalización y estandarización de datos.

Manejo de valores faltantes (interpolación, eliminación o estimación).

Generación de features (Feature Engineering), como predictores derivados de los datos brutos.

Creación de conjuntos de datos entrenables.

Aplicación de técnicas de reducción de dimensionalidad (PCA, t-SNE) si es necesario.

## Modelo de Predicción

Funcionalidad:

Implementar modelos de **Machine Learning** para predecir:

Demanda futura de productos agrícolas.

Estimación de producción en base a factores climáticos y de suelo.

Usar modelos supervisados como **regresión lineal**, **Random Forest**, o **XGBoost**.

**Deep Learning**: Usar redes neuronales profundas (LSTM o CNN) para análisis de series temporales en la predicción de demanda y oferta agrícola.

Implementar pipelines de entrenamiento, validación y prueba de modelos.

Uso de técnicas de cross-validation para garantizar la robustez del modelo.

## Optimización de la Cadena de Suministro

Funcionalidad:

Diseño de algoritmos de optimización logística basados en predicciones.

Uso de **algoritmos genéticos** o **programación lineal** para optimizar rutas y minimizar costos de transporte.

Implementar sistemas de recomendación de proveedores y transporte.

Crear modelos para optimizar el almacenamiento y minimizar el desperdicio agrícola.

Aplicación de **redes neuronales profundas** para la optimización multiobjetivo, combinando factores como costos, tiempo, y frescura de productos.

## Monitoreo y Mejora Continua

Funcionalidad:

Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de los datos y predicciones.

Almacenamiento de predicciones y comparaciones con valores reales para retroalimentación y mejora continua de los modelos.

Uso de métricas de rendimiento como MAE, RMSE, o precisión logística para evaluar la efectividad del sistema.

Interfaz de Usuario y API

Funcionalidad:

Crear una interfaz de usuario que permita visualizar las predicciones, optimizaciones y recomendaciones en un dashboard interactivo.

Permitir al usuario ajustar parámetros clave, como costos logísticos o prioridades de optimización.

Diseñar APIs para integrar el sistema con otros softwares o ERPs (Enterprise Resource Planning) de los clientes.

## Escalabilidad y Despliegue

Funcionalidad:

Despliegue en la nube para garantizar la escalabilidad (AWS, GCP o Azure).

Implementación de **microservicios** para facilitar la escalabilidad del sistema de predicción y optimización.

Uso de **contenedores Docker** y **Kubernetes** para orquestar los servicios y garantizar la alta disponibilidad.

## Seguridad y Privacidad

Funcionalidad:

Implementar medidas de seguridad como encriptación de datos sensibles.

Asegurarse de cumplir con normativas locales sobre privacidad de datos (ej. GDPR).

Implementar controles de acceso y autenticación para el uso de la plataforma.

## Diagrama de caso de uso

Esto permite visualizar cómo los usuarios y el sistema interactúan para lograr los objetivos del proyecto, como la optimización de la demanda, rutas y calidad de productos agrícolas.

Ilustración 5 Diagrama de casos de uso

**Gráfico

Descripción generada automáticamente con confianza baja**

Fuente: Elaboración propia

## Caso de uso del sistema

El sistema permitirá a los usuarios optimizar la cadena de suministro agrícola mediante el análisis de datos históricos, predicción de la demanda de productos agrícolas, mejora de la calidad de los productos, y optimización de rutas de distribución. El sistema aplicará modelos de Machine Learning y Deep Learning para automatizar y optimizar decisiones relacionadas con la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos agrícolas.

Ilustración 6 Caso de uso del sistema

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Especificación de casos de uso

la especificación de casos de uso para el proyecto de **Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL)** debe incluir elementos clave como: actores, flujos principales, flujos alternativos, precondiciones, postcondiciones, y requisitos no funcionales. A continuación, detallo un conjunto de casos de uso más amplio que refleje los aspectos críticos del sistema. Se muestran en la ilustración (7).

Ilustración 7 Especificación de casos de uso

Pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente con confianza media

Fuente: Elaboración propia

## Diagrama de actividades

Para crear un diagrama de actividades amplio para el proyecto **"Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning y Deep Learning"**, se deben representar las principales actividades involucradas en el flujo del sistema, desde la recolección de datos hasta la optimización y análisis de la cadena de suministro. Se muestra en la ilustración (8).

Ilustración 8 Diagrama de actividades

Diagrama, Texto

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de actividades (continuación)

Inicio de sesión

Este diagrama (9) incluye diferentes puntos de decisión para verificar las credenciales y la autenticación de dos factores, asegurando un flujo seguro de acceso al sistema.

Ilustración 9 Inicio de sesión

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de actividades (continuación)

Visualización de reportes y gráficos

Este debería representar las diferentes acciones y procesos involucrados desde la recopilación de datos hasta la visualización final. Incluirá actores como **usuarios (agricultores, distribuidores, empresas agrícolas, minoristas)**, y sistemas involucrados como **algoritmos de Machine Learning y Deep Learning**. Se muestra en la ilustración (10).

Ilustración 10 Visualización de reportes y gráficos

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Diagrama de clases

Para diseñar un diagrama de clases para tu proyecto "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", es importante identificar las principales entidades, sus atributos y las relaciones entre ellas. Aquí tienes un modelo ampliado que puedes considerar: Se muestra en la ilustración (11).

Ilustración 11 Diagrama de clases

**Diagrama

Descripción generada automáticamente**

Fuente: Elaboración propia

## Diagrama de secuencia

El diagrama de secuencias que te voy a describir reflejará el proceso de inicio de sesión de un usuario en el sistema de optimización de cadenas de suministro agrícola con Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL). Esto abarca desde la interacción del usuario con la interfaz de usuario (web), hasta la verificación de credenciales, la interacción con el backend, y la autenticación para que pueda acceder al sistema. Se muestra en la ilustración (12).

Inicio de sesión

Ilustración 12 Inicio de sesión

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de secuencias (continuación)

Registro usuario

Un diagrama de secuencias que describa el proceso de registro de usuario debería mostrar la interacción entre los diferentes actores (usuario, frontend, backend, base de datos y sistema de validación) en el flujo de registro de un nuevo usuario. Se muestra en la ilustración (13).

Ilustración 13 Registro de usuario

Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Diagrama de comunicación

Inicio de sesión

Para el diagrama de comunicación del **Inicio de Sesión** en el contexto de tu proyecto "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", se puede considerar la interacción entre diferentes componentes del sistema. A continuación, te presento un diagrama de comunicación más amplio, que incluye las interacciones relevantes: Se muestra en la ilustración (14).

Ilustración 14 Inicio de sesión

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de comunicación (continuación)

Registro usuario

Para el diagrama de comunicación del registro de usuarios en tu proyecto de "Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning y Deep Learning", es importante definir las interacciones entre los distintos componentes del sistema involucrados en el proceso. A continuación, te presento una descripción detallada de los elementos y las interacciones que podrías incluir en el diagrama: Se muestra en la ilustración (15).

Ilustración 15 Registro usuario

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de comunicación (continuación)

Visualizar reportes y gráficos

Para visualizar reportes y gráficos en el proyecto **"OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING"**, podemos diseñar un diagrama de comunicación que describa la interacción entre los diferentes componentes del sistema, así como el flujo de datos. Aquí hay una descripción de cómo se puede estructurar este diagrama: Se muestra en la ilustración (16).

Ilustración 16 Visualización de reportes y gráficos

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Diagramas de estado

Inicio de sesión

Para diseñar un diagrama de estado para el proceso de inicio de sesión en tu proyecto de "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", podemos considerar los siguientes estados y transiciones. Aquí te proporciono una descripción más amplia de cada estado: Se muestra en la ilustración (17).

Ilustración 17 Inicio de sesión

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagramas de estado (continuación)

Registro usuario

Para el diagrama de estado de un **Registro de Usuario** en el contexto de un proyecto de optimización de cadenas de suministro agrícola utilizando Machine Learning y Deep Learning, puedes considerar los siguientes estados y transiciones. Este diagrama debe reflejar los diferentes estados que puede atravesar el proceso de registro y las interacciones del usuario con el sistema. Se muestra en la ilustración (18).

Ilustración 18 Registro de usuario

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Diagramas de estado (continuación)

Visualización reportes y gráficos

Para el proyecto de "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", la visualización de reportes y gráficos es un componente crucial que permite a los usuarios interpretar datos y resultados de manera efectiva. A continuación, se presenta un diagrama de estado que ilustra los diferentes estados y transiciones en la visualización de reportes y gráficos. Se muestra en la ilustración (19).

Ilustración 19 Visualización de reportes y gráficos

Gráfico

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Diagramas de despliegue

Para crear un diagrama de despliegue para tu proyecto "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", es importante considerar los componentes involucrados y cómo se interconectan. A continuación, te presento una descripción de los elementos que podrías incluir en el diagrama, seguida de un ejemplo de cómo se estructuraría. Se muestra en la ilustración (20).

Ilustración 20 Diagrama de despliegue

**Gráfico de cajas y bigotes

Descripción generada automáticamente**

Fuente: Elaboración propia

# Ambiente

Para la automatización del proceso será necesario el ambiente que se detalla en la siguiente tabla: Se muestra en la ilustración (21).

Ilustración 21 Ambiente

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Características de los usuarios

Para desarrollar las características de los usuarios en el proyecto de "OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLA CON MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING", es importante identificar los distintos perfiles de usuarios que interactuarán con el sistema. A continuación, se presentan las características detalladas para cada uno de los grupos de usuarios principales: Se muestra en la ilustración (22).

Ilustración 22 Características de los usuarios

Texto

Descripción generada automáticamente

. Fuente: Elaboración propia

### Restricciones

Acceso a datos en tiempo real: La API de OpenWeatherMap puede tener limitaciones en el acceso gratuito a datos climáticos.

Rendimiento del modelo: La precisión de los modelos ML/DL puede verse afectada por la cantidad y calidad de los datos disponibles.

Compatibilidad de hardware: El sistema debe ser compatible con diferentes dispositivos de los usuarios.

## Suposiciones y dependencias

Suposiciones:

Los usuarios tienen acceso a internet para utilizar la plataforma.

Los datos proporcionados por las APIs externas son precisos y actualizados

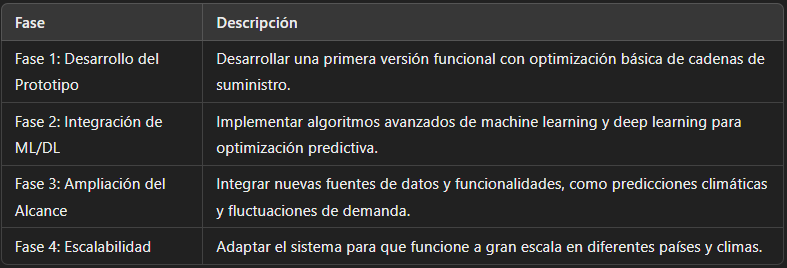
Dependencias:

Dependencia de la infraestructura en la nube para el despliegue.

Dependencia de APIs externas para la recolección de datos climáticos y agrícolas.

## Evolución previsible del sistema

Ilustración 23 Evolución previsible del sistema

****

Fuente: Elaboración propia

# Requisitos específicos

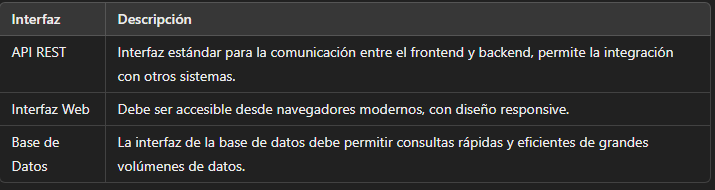
Ilustración 24 Requisitos específicos

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente con confianza media

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25 Requisitos comunes de los interfaces



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26 Interfaces de usuario

Texto

Descripción generada automáticamente Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27 Interfaces de hardware

Texto

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Interfaces de software

Como ingeniero de software trabajando en un proyecto de **Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL)**, es fundamental desarrollar una arquitectura de software que integre diversos módulos para lograr la optimización eficiente de la cadena de suministro. Vamos a centrarnos en las **interfaces de software** que permiten la interacción entre los diferentes componentes del sistema.

Requisitos funcionales

Para un proyecto de Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning y Deep Learning, el proceso de registro de clientes es un componente crucial para permitir la gestión y el acceso a los servicios de optimización.

A continuación, se presenta una matriz de requisitos funcionales que describe los requisitos del sistema relacionados con el registro de clientes, considerando las interfaces externas tanto de hardware como de software:

## Requisitos funcionales

Estos requisitos están diseñados para abarcar los diferentes módulos y funcionalidades que un sistema de este tipo debería tener, considerando aspectos de predicción, optimización, análisis de calidad y gestión de la información. Esta descrito en la tabla (1).

Tabla 1 Requisitos funcionales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisitos funcionales | Descripción | Requerimientos de interfaces externas | Hardware | Software |
| RF1: Captura de datos del cliente | Se debe permitir la captura de los datos del cliente, como nombre, dirección, correo electrónico, número de teléfono y otros detalles relevantes. | Se requiere interfaz de formulario web con validación de campos para la correcta captura de datos del cliente. | Dispositivo del cliente: pc, tablet o smartphone con navegador web. | Sistema web con formularios interactivos, validación en tiempo real (html, css, javascript). |
| RF2: Verificación de identidad | Se debe integrar una verificación de identidad, que puede incluir correo de verificación o autenticación multifactor (mfa). | Api de integración con servicios de verificación de identidad y autenticación externa. | Dispositivos móviles del cliente (para mfa). | Servicios de correo electrónico (smtp), integración con apis de verificación de identidad (oauth2, sms, etc.). |
| RF3: Creación de cuenta de cliente | Una vez que la identidad es verificada, el sistema debe crear una cuenta de cliente que almacene los datos necesarios para futuras interacciones con el sistema. | Interfaz con bases de datos (api rest) para guardar la información del cliente. | Servidores en la nube o locales con capacidad de almacenamiento de datos. | Base de datos relacional (MySQL, PostgreSQL) o NoSQL (MongoDB) para almacenar perfiles. |

Fuente: Elaboración propia

Requerimientos funcionales (Continuación)

Tabla 2 Requisitos funcionales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisitos funcionales | Descripción | Requerimientos de interfaces externas | Hardware | Software |
| RF4: Confirmación de registro | se debe enviar una confirmación por correo electrónico o sms al cliente para confirmar su registro exitoso. | Interfaz con servicios de mensajería externos para enviar notificaciones (correo o sms). | Servidores de correo o plataformas sms. | API de terceros (twilio, sendgrid, etc.) para la mensajería. |
| RF5: Inicio de sesión del cliente | El usuario debe poder iniciar sesión usando sus credenciales registradas (usuario/contraseña o autenticación social). | Interfaces de autenticación segura (oauth2, jwt) y servicios de autenticación externa (Google, Facebook, etc.). | Dispositivo del cliente con acceso a internet. | Sistema de gestión de autenticación (oauth2, ldap, jwt, etc.). |
| RF6: Recuperación de contraseña | Se debe permitir al cliente recuperar su contraseña en caso de pérdida, enviando un enlace de recuperación por correo electrónico. | Interfaz de recuperación con el servidor de correo para enviar enlaces seguros. | Servidores de correo. | API de servicios de correo electrónico (sendgrid, ses, etc.). |
| RF7: Gestión de roles y permisos | Se debe permitir la asignación de roles y permisos al cliente para acceder a diferentes módulos del sistema según su perfil (cliente estándar, administrador, etc.). | Interfaz con el sistema de control de acceso para gestionar permisos y roles. | Servidores con capacidad de procesamiento para manejo de usuarios. | Sistema de control de acceso basado en roles (rbac) integrado con la base de datos del cliente. |

Fuente: Elaboración propia

## Requisitos no funcionales

Aquí te presento unos requisitos no funcionales que cubre aspectos clave relacionados con el registro de usuario para el proyecto de Optimización de Cadenas de Suministro Agrícola con Machine Learning y Deep Learning. Estos requisitos son importantes para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente, segura y con alta usabilidad. Esta descrito en la tabla (2).

Tabla 3 Requisitos no funcionales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisito No Funcional | Descripción | Requerimientos de Interfaces Externas | Hardware | Software |
| Rendimiento | Se debe permitir que los clientes se registren y reciban confirmación en menos de 2 segundos. | Comunicación rápida con servicios de bases de datos y mensajería. | Servidores con alto rendimiento de CPU y RAM. | Optimización del acceso a bases de datos (MySQL, PostgreSQL), API REST eficientes. |
| Seguridad | Los datos del cliente deben estar cifrados tanto en tránsito como en reposo, cumpliendo con normativas como GDPR. | Uso de HTTPS (TLS/SSL) para todas las comunicaciones y cifrado AES para la base de datos. | Hardware con soporte para cifrado (TPM). | Cifrado de datos con AES-256, certificaciones SSL/TLS, y uso de OAuth2 para autenticación. |
| Fiabilidad | Se debe garantizar que el registro de cliente se complete correctamente en al menos el 99.9% de los intentos. | Monitorización de fallos y registro de eventos (logging). | Hardware con redundancia (RAID, servidores en clúster). | Uso de bases de datos y sistemas de alta disponibilidad (HA), monitoreo con herramientas como Prometheus. |
| Disponibilidad | El sistema de registro debe estar disponible 24/7, con un tiempo de inactividad máximo de 5 minutos al mes. | Infraestructura escalable en la nube para mantener alta disponibilidad. | Servidores con balanceo de carga y alta disponibilidad. | Despliegue en plataformas de alta disponibilidad (AWS, Azure), failover en bases de datos. |
| Mantenibilidad | El código debe estar bien documentado y modular para permitir actualizaciones sin afectar la funcionalidad del sistema. | Interfaz de actualización continua sin afectar el servicio en producción. | Hardware escalable y configurable para actualizaciones. | Uso de prácticas de CI/CD (Jenkins, GitLab CI), código modular y documentado (API Swagger). |

Fuente: Elaboración propia

Requerimientos no funcionales (Continuación)

Tabla 4 Requisitos no funcionales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisito No Funcional | Descripción | Requerimientos de Interfaces Externas | Hardware | Software |
| Portabilidad | Debe ser portable a múltiples plataformas (navegadores web, dispositivos móviles). | Interfaz adaptable a diversos dispositivos (responsive design). | Soporte para distintos tipos de dispositivos (móviles, PC). | Uso de frameworks multiplataforma (React, Angular) y APIs accesibles desde cualquier dispositivo. |
| Eficiencia | Se debe optimizar el uso de recursos, como ancho de banda y consumo de CPU, especialmente para dispositivos móviles. | Interfaces ligeras que minimicen el uso de recursos. | Hardware optimizado para manejar grandes volúmenes de solicitudes. | Minimización de uso de recursos con APIs REST eficientes, diseño responsive, y compresión de datos. |
| Seguridad lógica y de datos | Se debe implementar medidas de autenticación robustas y prevenir ataques como SQL injection o XSS. | Interfaz que soporte autenticación multifactor (MFA) y validación de datos. | Hardware con soporte para módulos de seguridad (HSM). | Uso de firewalls, WAFs, autenticación MFA, protección contra inyecciones y validación de entrada de datos. |
| Dependibilidad | Se debe garantizar la confiabilidad en el registro y la integridad de los datos en todo momento. | Mecanismos de rollback en caso de errores. | Servidores con redundancia y replicación de datos. | Bases de datos transaccionales (ACID compliance), sistemas de respaldo y recuperación. |
| Usabilidad | La interfaz de registro debe ser fácil de usar, intuitiva y accesible para cualquier tipo de usuario. | Diseño adaptable y accesible para usuarios con discapacidades (WCAG compliance). | Hardware que soporte pantallas táctiles y dispositivos móviles. | UI/UX intuitivo con elementos de validación en tiempo real, accesibilidad garantizada (cumplimiento WCAG). |

Fuente: Elaboración propia

Diccionario de Datos

Un diccionario de datos se creará para documentar todos los elementos de datos utilizados en el sistema, incluyendo sus tipos, descripciones, y las tablas a las que pertenecen. Este documento servirá como referencia para el equipo de desarrollo y garantizará la coherencia en el uso de datos.

Tabla 5 Diccionario de Datos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Agricultor | Entero | I Identificador único del agricultor |
| Nombre | Texto | Nombre completo del agricultor |
| Ubicación | Texto | Direción o región donde se encuentra el agricultor |
| Tipo\_Cultivo | Texto | Tipo de cultivo que produce el agricultor (ej. Maíz, Trigo, etc.) |
| Fecha\_Registro | Fecha | Fecha en la que el agricultor fue registrado en el sistema |
| ID\_Agricultor | Entero | Identificador único del agricultor |
| Nombre | Texto | Nombre completo del agricultor |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Entidad: Cultivo

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Cultivo | Entero | Identificador único del cultivo |
| Tipo\_Cultivo | Texto | Tipo de cultivo (ej. Maíz, Soya, etc.) |
| Temporada | Texto | Temporada del año en que se cultiva (verano, invierno) |
| Fecha\_Siembra | Fecha | Fecha en la que se sembró el cultivo |
| Fecha\_Cosecha | Fecha | Fecha en la que se espera la cosecha |
| Producción\_Estimada | Decimal | Cantidad estimada de producción en toneladas |
| Calidad\_Estimada | Texto | Clasificación esperada de la calidad (alta, media, baja) |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Entidad: Demanda (Mercado)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Demanda | Entero | Identificador único de la demanda |
| Producto | Texto | Producto agrícola que se requiere |
| Cantidad\_Requerida | Decimal | Cantidad de producto requerida en toneladas |
| Fecha\_Solicitud | Fecha | Fecha en la que se hizo la solicitud de producto |
| Fecha\_Entrega | Fecha | Fecha esperada de entrega del producto |
| Ubicación\_Mercado | Texto | Ubicación del mercado o centro de distribución |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Entidad: Transporte

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Transporte | Entero | Identificador único del transporte |
| Tipo\_Vehículo | Texto | Tipo de vehículo utilizado para el transporte (camión, tren, etc.) |
| Capacidad | Decimal | Capacidad de carga en toneladas |
| Costo\_Transporte | Decimal | Costo por kilómetro o tonelada transportada |
| Disponibilidad | Booleano | Indicador de si el transporte está disponible o no |
| Ubicación Actual | Texto | Ubicación actual del vehículo |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Entidad: Almacenamiento

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Almacenamiento | Entero | Identificador único del almacén |
| Ubicación | Texto | Ubicación del almacén |
| Capacidad\_Total | Decimal | Capacidad total del almacén en toneladas |
| Capacidad\_Disponible | Decimal | Capacidad disponible en toneladas |
| Condiciones Almacén | Texto | Condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, etc.) |
| Costo\_Almacenamiento | Decimal | Costo por tonelada almacenada |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Entidad: Modelo de Machine Learning

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Modelo | Entero | Identificador único del modelo de Machine Learning |
| Tipo\_Modelo | Texto | Tipo de modelo (ej. Regresión, Árbol de Decisión, Red Neuronal) |
| Parámetros | Texto | Parámetros utilizados para entrenar el modelo |
| Fecha\_Entrenamiento | Fecha | Fecha en la que se entrenó el modelo |
| Rendimiento | Decimal | Porcentaje de precisión o métricas de evaluación del modelo |
| Fuente\_Datos | Texto | Fuente de los datos de entrenamiento (nombre del dataset o API) |
| Función\_Objetivo | Texto | Función objetivo optimizada por el modelo (ej. minimizar costo de transporte, maximizar rendimiento del cultivo) |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Entidad: Predicción

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Predicción | Entero | Identificador único de la predicción |
| ID\_Modelo | Entero | Relación con el modelo de Machine Learning utilizado para la predicción |
| Fecha\_Predicción | Fecha | Fecha en la que se generó la predicción |
| Tipo\_Predicción | Texto | Tipo de predicción generada (demanda futura, rendimiento de cultivo, etc.) |
| Valor\_Predicho | Decimal | Valor numérico predicho (ej. cantidad de toneladas, porcentaje de probabilidad) |
| Confianza | Decimal | Grado de confianza en la predicción (ej. 95%) |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Entidad: Clima

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Atributo** | **Tipo de Dato** | **Descripción** |
| ID\_Clima | Entero | Identificador único del registro climático |
| Ubicación | Texto | Ubicación geográfica para la cual se registran los datos climáticos |
| Temperatura | Decimal | Temperatura promedio en grados Celsius |
| Precipitación | Decimal | Precipitación en mm |
| Humedad | Decimal | Humedad en porcentaje |
| Velocidad\_Viento | Decimal | Velocidad del viento en km/h |
| Fecha\_Registro | Fecha | Fecha en la que se registraron los datos climáticos |

Fuente: Elaboración propia

## Arquitectura Back-end

La arquitectura del back-end estará compuesta por servicios que manejarán la lógica del negocio y las interacciones con la base de datos. Se implementarán APIs RESTful para permitir que el frontend se comunique de manera efectiva con el back-end, facilitando el acceso a los modelos de ML/DL y a los datos necesarios para la toma de decisiones.

Ilustración 28 Arquitectura Back-end

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia.

## Interfaces de Usuario (Frontend)

El diseño de las interfaces de usuario (UI) se centrará en proporcionar una experiencia intuitiva y fácil de usar. Las interfaces se desarrollarán utilizando HTML, CSS y JavaScript, asegurando que los usuarios puedan interactuar fácilmente con las funciones del sistema, como Login, Dashboard, Predicciones de Exportaciones, Pantalla de Optimización, Análisis de ubicación, Datos de Ubicación, Registro de Ubicación y Cultivo

.

# Mockups

Los mockups serán creados para representar visualmente las diferentes pantallas y funcionalidades de la aplicación. Estos prototipos permitirán al equipo y a los stakeholders validar el diseño antes de la implementación, asegurando que se cumplan los requisitos y expectativas del usuario.

Mockups

Los mockups serán creados para representar visualmente las diferentes pantallas y funcionalidades de la aplicación. Estos prototipos permitirán al equipo y a los stakeholders validar el diseño antes de la implementación, asegurando que se cumplan los requisitos y expectativas del usuario.

## Login

La lustración (29) muestra la página de inicio de sesión de una aplicación web llamada "Supply Chain ML". La interfaz es simple y clara, con un formulario de inicio de sesión en el centro de la pantalla. Este formulario contiene dos campos: uno para ingresar el correo electrónico y otro para la contraseña. Debajo de estos campos, hay un botón azul etiquetado como "Iniciar sesión".

Ilustración 29 Login

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamenteFuente: Elaboración propia

## Dashboard

La lustración (30) muestra el *dashboard* de una aplicación web llamada "Supply Chain ML". La barra lateral izquierda incluye un menú con varias secciones: Dashboard, Predicciones, Optimización, Análisis, Datos y Ubicación.

Ilustración 30 Dashboard

Captura de pantalla de computadora

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Predicciones de Exportaciones

La imagen (31) muestra una interfaz de usuario para un sistema de optimización de cadena de suministro agrícola, aparentemente centrado en predicciones de exportaciones de productos agrícolas. La pantalla se titula "Predicciones de Exportaciones" y presenta un resumen de los datos clave relacionados con la exportación de productos, como el total de exportaciones, el producto principal y las alertas de stock.

Ilustración 31 Predicciones de Exportaciones

Una captura de pantalla de una computadora

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Pantalla de Optimización

Esta lustración (32) es relevante porque proporciona una representación visual de la eficiencia y el rendimiento de diferentes rutas y centros en una cadena de suministro, destacando áreas para posibles mejoras y optimización

Ilustración 32 Pantalla de Optimización

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Sitio web

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Análisis de ubicación

La imagen (33) muestra una interfaz de usuario enfocada en el análisis de ubicaciones dentro de un sistema de optimización de cadena de suministro agrícola. La sección principal se titula "Análisis de Ubicaciones" y presenta métricas relevantes sobre el desempeño de las ubicaciones y su distribución.

Ilustración 33 Análisis de ubicación

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

## Datos de Ubicación

La imagen (34) muestra una sección de "Datos de Ubicación" en un sistema de gestión de cadena de suministro agrícola. Esta interfaz permite ver y administrar información detallada sobre las ubicaciones y centros de distribución de productos agrícolas.

Ilustración 34 Datos de Ubicación

**Una captura de pantalla de una computadora

Descripción generada automáticamente**

Fuente: Elaboración propia

## Registro de Ubicación y Cultivo

La imagen (35) muestra una interfaz de usuario de una aplicación web llamada "Supply Chain ML". Esta pantalla está específicamente en la sección "Registro de Ubicación y Cultivo". Aquí tienes un desglose detallado de lo que aparece:

Ilustración 35 Registro de Ubicación y Cultivo

Una captura de pantalla de una computadora

Descripción generada automáticamente

Fuente: Elaboración propia

Impacto y Sostenibilidad**:**

* **Reducción de costos:** Al optimizar rutas, inventarios y predecir la demanda, se reducen significativamente los costos operativos, lo que a su vez disminuye el impacto ambiental asociado a la producción y transporte innecesarios.
* **Minimización del desperdicio:** Los modelos de ML y DL pueden predecir con mayor precisión la demanda, lo que reduce el exceso de producción y, por ende, la cantidad de productos que terminan siendo desechados.
* **Optimización de la logística:** Al implementar rutas más eficientes, se reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte.
* **Promoción de la economía circular:** Los modelos pueden identificar oportunidades para reutilizar materiales y productos, contribuyendo a una economía más circular y sostenible.

Aspectos Regulatorios y Éticos**:**

* **Privacidad de datos:** Es fundamental garantizar la protección de los datos personales utilizados para entrenar los modelos de ML y DL. Esto implica cumplir con regulaciones como el RGPD y establecer medidas de seguridad robustas.
* **Transparencia:** Los algoritmos deben ser explicables y comprensibles para garantizar la equidad y evitar la discriminación. Es importante documentar los procesos de toma de decisiones y permitir la auditoría de los modelos.
* **Responsabilidad:** Las empresas deben asumir la responsabilidad por las decisiones tomadas por los sistemas de IA y estar preparadas para responder ante cualquier consecuencia negativa.
* **Bias:** Los datos utilizados para entrenar los modelos pueden contener sesgos que se reflejan en los resultados. Es crucial identificar y mitigar estos sesgos para garantizar la equidad y la imparcialidad.

Implementación y Despliegue**:**

* **Selección de la tecnología:** La elección de las herramientas y frameworks adecuados para el desarrollo e implementación de los modelos es crucial. Considerar factores como la escalabilidad, la eficiencia y la facilidad de uso.
* **Integración con sistemas existentes:** Los modelos deben integrarse de manera fluida con los sistemas de gestión de la cadena de suministro existentes, lo que puede requerir el desarrollo de interfaces y APIs.
* **Monitoreo y mantenimiento:** Los modelos de ML y DL requieren un monitoreo continuo para garantizar su desempeño y detectar posibles problemas. Además, es necesario implementar mecanismos para reentrenar los modelos periódicamente con nuevos datos.
* **Adopción por parte de los usuarios:** Es fundamental diseñar interfaces de usuario intuitivas y proporcionar capacitación adecuada para garantizar la adopción exitosa de la solución por parte de los usuarios.

## Recomendaciones para futuras mejoras

1. **Incorporación de nuevas fuentes de datos:**
   * **Datos externos:** Integrar datos de mercado, clima, eventos globales y tendencias de consumo para mejorar la precisión de los pronósticos y la toma de decisiones.
   * **Datos de IoT:** Utilizar sensores en productos y equipos para obtener información en tiempo real sobre el estado de los inventarios, la ubicación de los productos y las condiciones de la cadena de suministro.
2. **Desarrollo de modelos más sofisticados:**
   * **Aprendizaje profundo:** Explorar arquitecturas más complejas como redes neuronales recurrentes (RNN) o transformadores para modelar series de tiempo y patrones no lineales.
   * **Aprendizaje por refuerzo:** Implementar algoritmos de aprendizaje por refuerzo para optimizar la toma de decisiones en tiempo real, especialmente en entornos dinámicos.
   * **Modelos gráficos probabilísticos:** Utilizar modelos gráficos probabilísticos para capturar las relaciones complejas entre diferentes variables y mejorar la incertidumbre en los pronósticos.
3. **Mejora de la interpretabilidad de los modelos:**
   * **Técnicas de visualización:** Desarrollar herramientas visuales para explicar cómo los modelos llegan a sus conclusiones y facilitar la comprensión por parte de los usuarios.
   * **Métodos de explicación local:** Utilizar técnicas como LIME o SHAP para explicar las predicciones individuales de los modelos.
4. **Automatización de procesos:**
   * **Orquestación de workflows:** Automatizar el flujo de trabajo desde la preparación de datos hasta el despliegue de los modelos.
   * **MLOps:** Implementar prácticas de MLOps para gestionar el ciclo de vida completo de los modelos de ML.
5. **Adaptación a entornos cambiantes:**
   * **Aprendizaje continuo:** Desarrollar sistemas que puedan aprender de nuevos datos y adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado.
   * **Detección de anomalías:** Implementar sistemas de detección de anomalías para identificar patrones inusuales en los datos y tomar medidas correctivas.
6. **Consideración de aspectos éticos y sociales:**
   * **Equidad algorítmica:** Asegurarse de que los modelos no perpetúen sesgos o discriminaciones.
   * **Privacidad:** Proteger la privacidad de los datos utilizados en los modelos.
   * **Transparencia:** Explicar de manera clara cómo funcionan los modelos y sus limitaciones.

# Conclusiones

Viabilidad del Proyecto: La implementación de un sistema de optimización de cadenas de suministro agrícola a través de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL) es viable y se alinea con las tendencias actuales en tecnología agrícola. La investigación de requisitos ha demostrado que los actores clave, como agricultores, empresas agrícolas, distribuidores y minoristas, tienen una necesidad significativa de soluciones que mejoren la eficiencia y la efectividad en la cadena de suministro.

Requerimientos Funcionales: Se identificaron requerimientos funcionales críticos, incluyendo la capacidad de realizar predicciones de demanda, optimización de rutas y análisis de calidad de productos. Estos requerimientos permitirán a los usuarios optimizar sus operaciones, reducir costos y mejorar la calidad del producto final.

Requerimientos No Funcionales: Los requerimientos no funcionales, tales como la escalabilidad, la seguridad y la facilidad de uso, son fundamentales para garantizar que el sistema no solo cumpla con las expectativas funcionales, sino que también sea accesible y confiable para todos los usuarios involucrados en la cadena de suministro agrícola.

Integración de Tecnologías: La combinación de ML y DL ofrece un enfoque robusto para abordar problemas complejos en la cadena de suministro. La selección de modelos adecuados y la calidad de los datos son factores determinantes para el éxito del sistema. Se recomienda llevar a cabo un proceso continuo de entrenamiento y validación de modelos para asegurar su precisión y adaptabilidad a los cambios en el entorno agrícola.

Colaboración de Actores Clave: La colaboración entre los diferentes actores de la cadena de suministro es esencial. La implementación de un sistema que facilite la comunicación y el intercambio de datos entre agricultores, empresas agrícolas, distribuidores y minoristas será crucial para el éxito del proyecto.

Futuras Mejoras: Se sugiere considerar la incorporación de funcionalidades adicionales en futuras iteraciones del sistema, como la integración de datos climáticos en tiempo real, análisis de mercado y la capacidad de respuesta ante eventos imprevistos en la cadena de suministro.

Impacto Esperado: La implementación de este sistema tiene el potencial de transformar la manera en que se gestionan las cadenas de suministro agrícolas, aumentando la eficiencia operativa, reduciendo desperdicios y mejorando la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. Se espera que los resultados del proyecto no solo beneficien a los actores involucrados, sino que también contribuyan a un sector agrícola más resiliente y competitivo.

# Referencias Bibliográficas

1. Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6th ed.). Pearson.
   * Este libro es fundamental para comprender los principios y estrategias en la gestión de la cadena de suministro.
2. Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.
   * Analiza cómo el big data y el machine learning pueden aplicarse en la gestión de la cadena de suministro.
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
   * Un libro básico para entender las técnicas de deep learning, que es crucial para el desarrollo de algoritmos de predicción y optimización.
4. Nguyen, T. T., & Carlucci, D. (2020). Agricultural supply chains: Current issues and perspectives. *Supply Chain Management Review*, 24(3), 45-61.
   * Una revisión del estado actual de las cadenas de suministro agrícolas y cómo se pueden mejorar.
5. Kumar, S. (2021). Optimizing agricultural supply chains using machine learning and AI. *Journal of Applied Agriculture*, 12(4), 85-100.
   * Discute aplicaciones específicas de técnicas de machine learning en la optimización de las cadenas de suministro agrícolas.
6. Zhou, W., & Piramuthu, S. (2020). Machine learning for sustainable supply chain management. *International Journal of Information Management*, 50, 292-299.
   * Explica cómo las técnicas de machine learning pueden contribuir a la sostenibilidad de la cadena de suministro.
7. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
   * Importante para entender cómo los modelos de aprendizaje profundo pueden ser aplicados en problemas de optimización de imágenes, lo cual podría ser relevante para el análisis de datos en la cadena de suministro agrícola.
8. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press.
   * Este libro cubre el aprendizaje por refuerzo, una técnica de machine learning útil para la toma de decisiones y la optimización en sistemas dinámicos, como las cadenas de suministro.
9. Vermesan
10. , O., & Friess, P. (Eds.). (2014). *Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment*. River Publishers.
    * Ofrece una perspectiva sobre cómo el Internet de las Cosas (IoT) se puede integrar en la cadena de suministro para mejorar la eficiencia y obtener datos en tiempo real.
11. Rai, H., & Thakur, M. (2021). Data-driven optimization models for agricultural supply chain management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106-124.
    * Un estudio sobre modelos de optimización de la cadena de suministro agrícola basados en datos.
12. DeWitt, W., & Closs, D. (2000). The role of transportation in logistics chain. In *Council of Logistics Management*. Ohio: USA.
    * Este trabajo se centra en la importancia del transporte dentro de las cadenas de suministro y cómo influye en la optimización de la misma.
13. Li, X., Wang, X., & Wang, Y. (2020). Application of deep learning in the agricultural supply chain. *Journal of AI Research*, 69, 67-89.
    * Un enfoque reciente que muestra cómo las técnicas de deep learning pueden aplicarse específicamente en la gestión y optimización de cadenas de suministro agrícolas.