

Sistema de apoyo agrícola enfocado en la simulación de los procesos productivos en los
cultivos en Colombia

Juan Felipe Peña Herrera

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería de Sistemas

Director

Hugo Hernando Andrade Sosa

Magíster en Informática Área Dinámica de Sistemas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Este proyecto de grado está dedicado, en primer lugar, a mis padres Damaris Herrera y Juan Peña, quienes con su apoyo y soporte me dieron aliento en cada paso de mi carrera. A Doña Laura y Doña Eva, quienes fueron como una segunda familia para mí, brindándome su apoyo de una manera especial a lo largo de mi camino.

A mis amigos, por su compañía y por estar siempre dispuestos a compartir ideas, risas y motivación. Su amistad ha sido fundamental para mantener el equilibrio en este arduo trayecto.

Me dedico también este logro a mí mismo, por no haber desistido en los tantos momentos en los que quise rendirme y por haber hecho el esfuerzo de finalizar este importante paso en mi vida.

Finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que han confiado en mi capacidad de superación y me han inspirado a seguir adelante. A mis profesores y tutores, por su valiosa guía y enseñanzas, y a todos los agricultores y productores del campo, cuya labor incansable inspira este proyecto.

Este logro es también de ustedes.

Tabla de contenido

		Pág.
Introducción		9
1	Planteamiento y justificación del problema	10
2	Objetivos	11
2.1	Objetivo general	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	Marco Teórico	12
3.1	Cultivos	12
3.1.1	Cultivos de corto plazo	12
3.1.2	Cultivos de mediano plazo	12
3.1.3	Cultivos de largo plazo	12
3.2	Caracterización	12
3.2.1	Temperatura	13
3.2.2	Suelo	15
3.2.3	Potencial de Hidrógeno	18
3.2.4	Lógica difusa	22
3.2.5	Viabilidad económica	22
3.3	Antecedentes del tema	22
3.3.1	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria	23
3.3.2	Modelación de cultivos agrícolas algunos ejemplos	23
3.3.3	Modelo de simulación bajo sistemas de producción y mercadeo para el cultivo de mango en Anolaima y Girardot	24

		4
3.3.4	Plan Frutícola Nacional de Colombia	24
3.3.5	Estrategia Colombia Siembra	25
3.3.6	Testimonios	25
3.4	Marco contextual	26
3.4.1	Modelo simulación	26
3.4.2	Dinámica de sistemas	26
3.5	Marco tecnológico	26
3.5.1	NetBeans	27
3.5.2	Matlab	27
4	Resultados	28
4.1	Descripción de los cultivos	28
4.1.1	Parámetros de Caracterización	28
4.1.2	Etapas del Cultivo	29
4.2	Desarrollo de las clases de cultivos	35
4.3	Implementación	39
4.3.1	Prototipo Interfaz grafica	39
4.3.2	Desarrollo	42
5	Conclusiones	64
6	Recomendaciones	66
	Bibliografías	67

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de suelos</i>	15
Tabla 2. <i>Describe las ventajas y desventajas físicas de cada tipo de suelo según su textura</i>	16
Tabla 3. <i>Clasificación de los suelos según el pH</i>	19
Tabla 4. <i>Posibles combinaciones de las funciones de pertenencia</i>	34

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Temperatura</i>	14
Figura 2. <i>Textura del Suelo</i>	18
Figura 3. <i>PH</i>	21
Figura 4. <i>Módulo de productividad</i>	26
Figura 5. <i>Modelo de Fuzzificación en la Evaluación de Viabilidad de Cultivos</i>	32
Figura 6. <i>Primera etapa</i>	39
Figura 7. <i>Segunda etapa</i>	41
Figura 8. <i>Tercera etapa</i>	42
Figura 9. <i>Flujo de información</i>	47
Figura 10. <i>Caso de uso 1</i>	50
Figura 11. <i>Caso de uso 2</i>	51
Figura 12. <i>Caso de uso 3</i>	53
Figura 13. <i>Caso de uso 4</i>	54
Figura 14. <i>Vista Pantalla inicio</i>	58
Figura 15. <i>Vista Pantalla con ejecución</i>	60
Figura 16. <i>Vista Pantalla simulación</i>	61

Resumen

Título: Sistema de apoyo agrícola enfocado en la simulación de los procesos productivos en los cultivos en Colombia

Autor: Juan Felipe Peña Herrera

Palabras Clave: cultivos, lógica difusa, productividad, simulador, viabilidad agrícola

Descripción

El sector agrícola colombiano enfrenta una serie de desafíos significativos derivados de la variabilidad de los factores climáticos y edáficos, lo cual dificulta la toma de decisiones adecuadas por parte de los agricultores. Estas dificultades demandan la implementación de soluciones tecnológicas que permitan evaluar múltiples variables de manera flexible y eficiente.

Con el objetivo de abordar esta problemática, SEAPGRO ofrece una herramienta que posibilita a los agricultores ingresar datos como temperatura, pH, tipo de suelo y área de cultivo. Estos parámetros son utilizados para evaluar la viabilidad económica de cultivos tales como maíz, limón y aguacate. El simulador aplica la lógica difusa para manejar la incertidumbre de los datos, facilitando evaluaciones más precisas y adaptadas a las condiciones específicas de cada terreno.

La aplicación tiene el potencial de mejorar de manera significativa la planificación agrícola, proporcionando a los agricultores un recurso valioso para optimizar sus decisiones productivas, lo que, a su vez, podría contribuir al desarrollo económico del sector agrícola colombiano.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Ingeniería de Sistemas.
Director: Hugo Hernando Andrade Sosa. Magíster en Informática Área Dinámica de Sistemas

Abstract

Title: Agricultural support system focused on the simulation of production processes in crops in Colombia

Author: Juan Felipe Peña Herrera

Keywords: Simulator, fuzzy logic, agricultural viability, crops, productivity

Description:

The Colombian agricultural sector faces numerous challenges due to the variability of climatic and soil factors, which makes it difficult for farmers to make appropriate decisions. These challenges require technological solutions that allow multiple variables to be evaluated in a flexible and efficient manner.

To address this problem, SEAPGRO provides a tool that allows farmers to enter data such as temperature, pH, soil type and crop area, using these parameters to evaluate the economic viability of crops such as corn, lemon and avocado. The simulator uses fuzzy logic to manage data uncertainty, allowing for more accurate assessments tailored to the specific conditions of each field.

This application has the potential to significantly improve agricultural planning, providing farmers with a tool to optimize their production decisions and contribute to the economic development of the Colombian agricultural sector.

* Degree Project

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Systems Engineering and Informatics. Systems Engineering. Director: Hugo Hernando Andrade Sosa. Masters in informatics, Systems Dynamics Area.

Introducción

Colombia posee un gran potencial agrícola, con 40 millones de hectáreas cultivables y una variedad de pisos térmicos que permiten albergar un amplio catálogo de productos agrícolas. No obstante, debido a factores sociales y económicos, solo se aprovecha el 18 % de las tierras cultivables del territorio. Por esta razón, el Gobierno colombiano ha desarrollado estrategias para promover el desarrollo rural e incrementar la productividad agrícola, con el objetivo de lograr una oferta constante de estos productos. Sin embargo, en algunos casos, estas estrategias resultan ineficaces, puesto que no responden a la pregunta fundamental de los medianos y pequeños productores: “¿Qué cultivo es viable para mi terreno?”. En su lugar, se centran en una perspectiva más general, proporcionando únicamente información sobre los posibles cultivos aptos para cada departamento, lo cual deja vacíos informativos que conducen al fracaso de los cultivos.

En conformidad con lo expuesto, se evidenció la necesidad de crear una herramienta informática sin costo económico que permita al interesado simular los posibles cultivos para su terreno, con el objetivo de obtener información que guíe la toma de decisiones. Por tal motivo, esta investigación propuso la creación de un simulador que brinde una perspectiva más clara al momento de elegir un cultivo en función del terreno. Esta decisión se fundamentaría en los parámetros obtenidos de un análisis del suelo, con el fin de obtener resultados más precisos sobre la viabilidad del terreno y los cultivos adecuados para el suelo analizado. De esta manera, es posible generar una mayor confianza en los proyectos e incentiva la inversión en el sector agrícola colombiano.

1 Planteamiento y justificación del problema

Colombia es el tercer país con mayores recursos hídricos y diversidad climática, lo que lo hace apto para desarrollar sistemas de producción agrícola durante todo el año. Asimismo, la agricultura es el tercer sector que genera mayor oferta laboral. No obstante, el campo colombiano presenta un retraso de más de 50 años en comparación con países que han desarrollado técnicas agrícolas más avanzadas. Por tal razón, en muchos casos, los propietarios desconocen si la tierra que poseen es adecuada para el cultivo que desean establecer, qué deberían sembrar y si cuenta con los recursos técnicos, tecnológicos y económicos suficientes para llevar a cabo el proyecto. Desde otra perspectiva, tampoco tienen certeza sobre la viabilidad de los cultivos que pretenden desarrollar. En consecuencia, esta falta de información ha llevado a que muchos proyectos no sean viables o rentables, perjudicando la economía de agricultores e inversores, quienes han llegado a perder toda su inversión debido al desconocimiento de las características del suelo.

En este contexto, se destaca que las personas interesadas en cultivar se enfrentan a preguntas fundamentales como: ¿será que la tierra de mi terreno sirve para cultivar?, ¿qué debería sembrar?, ¿tengo el dinero suficiente para establecer y sostener un cultivo?, ¿es viable para mí ese cultivo? Cuando estos interrogantes no se abordan adecuadamente, se generan pérdidas que afectan el progreso del sector agrícola, puesto que los inversores pierden el interés y las familias comienzan a abandonar el campo en busca de mejores oportunidades de vida. Empero, si Colombia aprovecha sus privilegios naturales y logra desarrollar el sector agropecuario de manera multiescalar (pequeñas, medianas y grandes empresas), se fomentará la creación de empleo y el desarrollo sostenible en el sector.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un simulador orientado a la evaluación de alternativas para la toma de decisiones en el desarrollo o no de proyectos agroeconómicos (cultivos), que brinde una proyección sobre la dinámica general agrícola y económica a los interesados en el proyecto.

2.2 Objetivos específicos

1. Formular un modelo de simulación de la dinámica general (agrícola y económica) del cultivo, utilizando la metodología de prototipado, que permita analizar los factores determinantes en la viabilidad del proyecto agrícola.
2. Desarrollar el simulador basándose en la metodología de prototipado, garantizando el cumplimiento de los siguientes requerimientos:
 - a) Ingreso de datos del terreno: implementar una función que permita la introducción de los datos necesarios para construir el modelo de referencia del terreno (como características del suelo, clima, altitud, entre otros).
 - b) Generación de escenarios de cultivos: desarrollar una función que, con base en los datos de referencia del terreno, genere diversos escenarios de cultivos potenciales, considerando factores agroclimáticos y económicos.
 - c) Selección de escenarios: proporcionar una función que permita al usuario seleccionar uno de los escenarios generados según su interés, permitiendo comparar distintas alternativas de cultivo.
 - d) Generación de informes: implementar una función que produzca informes detallados sobre la dinámica agrícola y económica del cultivo seleccionado,

incluyendo proyecciones de viabilidad y rentabilidad basadas en el escenario elegido.

3 Marco Teórico

3.1 Cultivos

3.1.1 Cultivos de corto plazo

Se denomina cultivos de corto plazo a aquellos cuyo ciclo vegetativo es inferior a siete meses para obtener la cosecha. Además, requieren ser sembrados después de cada recolección.

3.1.2 Cultivos de mediano plazo

Los cultivos de mediano plazo son aquellos con un ciclo vegetativo de entre siete y nueve meses para alcanzar la cosecha. Es posible que estos cultivos proporcionen múltiples cosechas o necesiten ser resembrados tras cada recolección.

3.1.3 Cultivos de largo plazo

Se consideran cultivos de largo plazo aquellos cuyo ciclo vegetativo es superior a un año para obtener la cosecha, y pueden ser cosechados en varias ocasiones antes de necesitar una nueva siembra.

3.2 Caracterización

La caracterización es el proceso de análisis que se realiza sobre los cultivos con el objetivo de identificar los factores clave que influyen en su ciclo productivo. Estos factores determinan el

éxito del cultivo y su rendimiento a lo largo de su vida útil. Comprenderlos es esencial para tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de los cultivos en diferentes condiciones ambientales.

3.2.1 Temperatura

La temperatura es un factor clave que indica el promedio de la energía cinética de las moléculas en un cuerpo, y su influencia en el desarrollo y crecimiento de las plantas es significativa. Como organismos vivos, las plantas requieren condiciones térmicas adecuadas para llevar a cabo sus funciones vitales, lo cual determina la productividad de la cosecha.

Por debajo del punto de congelación, la actividad biológica se detiene. En estas condiciones, el agua deja de estar en estado líquido y, a menos que se produzca un descongelamiento en un rango entre 0 y 5 °C, el crecimiento de las raíces y la germinación de las semillas en la mayoría de las especies se vuelven inviables. La temperatura también desempeña un papel fundamental en procesos como la apertura y cierre de los estomas, los cuales regulan la fotosíntesis, la transpiración y la respiración de las plantas.

Según los efectos que la temperatura tiene sobre los cultivos, se pueden distinguir los siguientes niveles:

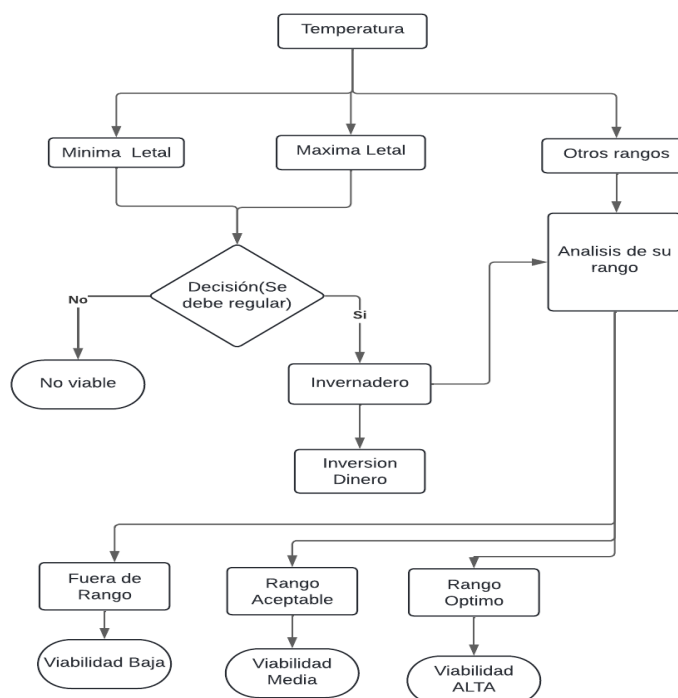
- Temperatura mínima letal: el umbral por debajo del cual las plantas sufren daños severos o mueren debido al frío o congelamiento.
- Temperatura óptima: el rango en el cual las plantas crecen y se desarrollan en condiciones ideales.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas: los límites de temperatura por encima o por debajo de los cuales la planta no puede alcanzar una fase vegetativa normal.

- Temperatura máxima letal: el umbral por encima del cual las plantas experimentan daños debido a un exceso de calor (Nutricontrol, 2020, párr. 8).

Para garantizar un desarrollo adecuado del cultivo, es esencial que la temperatura permanezca dentro del rango óptimo, debido a que este factor asegura un crecimiento saludable y un alto rendimiento. En situaciones donde las condiciones ambientales no proporcionan una temperatura adecuada, se puede considerar la construcción de un invernadero con los mecanismos necesarios para su control. Sin embargo, esta opción implica un costo elevado que muchos agricultores no pueden asumir. Por este motivo, es recomendable buscar alternativas más viables y económicas al evaluar las condiciones de temperatura para los cultivos.

Figura 1.

Temperatura



Nota: En esta figura se presenta un diagrama de flujo que muestra el proceso de análisis de la temperatura en función de su impacto sobre la viabilidad de los cultivos.

3.2.2 Suelo

El suelo actúa como medio natural que facilita el crecimiento y desarrollo de las plantas, proporcionando soporte físico y aportando los nutrientes necesarios. Está compuesto por minerales, materia orgánica y una variedad de factores que influyen en sus diversas características, como la textura, estructura, porosidad y color, entre otras (Concepto, 2021).

La textura del suelo se determina por la proporción de partículas de arena, limo y arcilla presentes en un terreno específico, lo cual influye en su fertilidad al afectar los siguientes elementos:

- Aireación
- Capacidad de retención de agua
- Capacidad de retención de nutrientes

En la Tabla 4 se presenta la clasificación de los suelos según sus porcentajes de arena, limo y arcilla, lo que permite determinar la textura predominante en cada tipo de suelo. Los suelos se clasifican principalmente en suelos arenosos, suelos francos y suelos arcillosos.

Tabla 1.

Clasificación de suelos

TEXTURA	SIMBOLO	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TIPO DE SUELO
Arenosa	A	86-100	0-14	0-10	SUELOS ARENOSOS
Arenosa-Franca	AF	70-66	0-30	0-15	SUELOS ARENOSOS
Franco-arenosa	FA	50-70	0-50	0-20	SUELOS FRANCOS
Franco	F	23-52	28-50	0-27	SUELOS FRANCOS
Franco-limosa	FL	20-50	74-88	0-27	SUELOS ARCILLOSOS
Limosa	L	0-20	88-100	0-12	SUELOS ARCILLOSOS

Franco-arcillo-arenosa	FArA	45-80	0-28	20-35	
Franco-arcillosa	Far	20-45	15-52	27-40	
Franco-arcillosa-limosa	FArL	0-20	40-73	27-40	
Arcillo-Arenosa	ArA	45-65	0-20	35-55	SUELOS
Arcillo-limosa	ArL	0-20	40-60	40-60	ARCILLOSOS
Arcillosa	Ar	0-45	0-40	40-100	

Nota. Adaptado de Propiedades físicas de los suelos, por Campos y Semino, 2013, p. 16.

Tabla 2.

Describe las ventajas y desventajas físicas de cada tipo de suelo según su textura

TEXTURA	SIMBOLO	TIPO DE SUELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Arenosa	A	SUELOS	-Fácil labranza	-Retención limitada de humedad.
Arenosa-Franca	AF	ARENOSOS	-Buena resistencia a la compactación. -Rápida absorción de agua. -Buen drenaje. -Buena aireación. -Buen desarrollo radicular.	-Tendencia a secarse. -Baja fertilidad. -Pobre en nutrientes. -Alta pérdida de nutrientes por lixiviación.
Franco-arenosa	FA	SUELOS FRANCOS	-Adecuada retención de agua y nutrientes. -Buena aireación. -Buena penetración de raíces.	Presenta algunas desventajas de los suelos arenosos, pero en menor grado.
Franco	F			
Franco-limosa	FL			
Limosa	L			
Franco-arcillo-arenosa	FArA			
Franco-arcillosa	Far			Presenta algunas de las desventajas de los suelos arcillosos, pero en menor grado.
Franco-arcillosa-limosa	FArL			
Arcillo-Arenosa	ArA			-Suelen encharcarse.

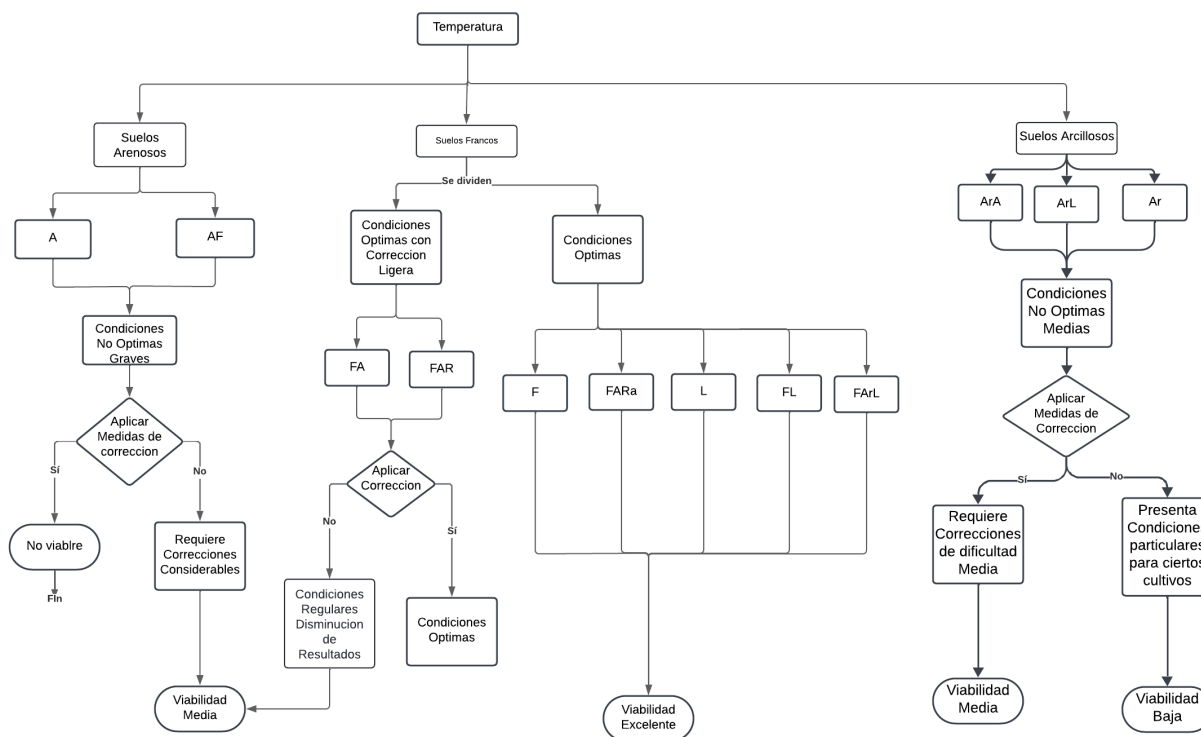
Arcillo-limosa	ArL	SUELOS	-Alta retención de	-Baja aireación.
Arcillosa	Ar	ARCILLOSOS	agua y nutrientes.	-Difícil labranza, compactación y formación de costras.

Nota. Adaptado de Propiedades físicas de los suelos, por Campos y Semino, 2013.

Los distintos tipos de suelo presentan características específicas que pueden limitar su uso agrícola. No obstante, existen diversas técnicas y alternativas para mejorar su calidad y productividad, adaptándolos a las necesidades de cada cultivo.

Alternativas y medidas para la mejora de la textura del suelo

- **Suelos Arenosos:** dada su baja retención de agua y nutrientes, se recomienda aplicar fertilización orgánica, implementar riego por goteo e incorporar tierra negra o arcillosa. Asimismo, el uso de mulching contribuye a conservar la humedad y aumentar la materia orgánica del suelo.
- **Suelos Franco-Arenosos:** debido a su exceso de arena, se sugiere la aplicación de abonos orgánicos como la lombricomposta, lo cual incrementa la fertilidad y mejora la capacidad de retención de agua.
- **Suelos Franco-Arcillosos:** al contener una mayor proporción de arcilla, su porosidad se ve afectada. Para conseguir esta condición, se recomienda agregar *compost*, mejorando así la estructura del suelo y facilitando el drenaje.
- **Suelos Arcillosos:** si bien son fértiles, su elevada retención de agua provoca encharcamientos y problemas de aireación. Las soluciones incluyen la adición de cal, *compost* y arena, así como la instalación de sistemas de drenaje para mejorar la permeabilidad y evitar el exceso de agua.

Figura 2.*Textura del Suelo*

Nota: Este diagrama de flujo ilustra el análisis de la textura del suelo

3.2.3 Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) es una propiedad química que mide el nivel de acidez o alcalinidad del suelo y funciona como un indicador clave de varias propiedades químicas, físicas y biológicas que afectan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo (INTAGRI, 2018; Hurtado et al., 2021). Conocer el valor del pH no solo permite evaluar cualitativa la disponibilidad de nutrientes, sino que también facilita la predicción de los posibles requerimientos para un manejo adecuado del suelo. Este conocimiento resulta fundamental para prevenir problemas de toxicidad o deficiencia de nutrientes, ajustando las prácticas agrícolas de acuerdo con las condiciones

específicas del suelo (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2018, p. 4).

Tabla 3.

Clasificación de los suelos según el pH

PH	CATEGORIA	INTERPRETACION	C.I.C	FERTILIDAD
<5.0	Extremadamente ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Severa toxicidad por AL y quizá por Mn. • Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables. • Altos niveles de algunos micronutrientes. • Muchos cultivos requieren encalamiento. 	BAJA	BAJA
5.0-5.5	Fuertemente ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad moderada por AL y Mn. • Deficiencia de P, S, Mo y bases. • Altos niveles de algunos micronutrientes. • Muchos cultivos requieren encalamiento. 	MEDIA	BAJA
5.5-6.0	Moderadamente ácido	<ul style="list-style-type: none"> • No se espera la toxicidad por Al. • Mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases. • Algunos cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento. 	MEDIA	MEDIA
6.0-6.5	Ligeramente ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas. 	MEDIA	MEDIA

6.5-7.3	Neutro	<ul style="list-style-type: none"> • Altos niveles de Ca, Mg. • Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. • La disponibilidad de P puede ser baja. 	MEDIA-ALTA	MEDIA-ALTA
7.4-8.0	Alcalino	<ul style="list-style-type: none"> • Baja disponibilidad de P y micronutrientes. • Altos niveles de Ca, Mg. • El Na puede ser un problema. 	MEDIA	MEDIA-BAJA
>8.0	Muy alcalino	<ul style="list-style-type: none"> • Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. • El nivel de Na puede ser toxico 	BAJA	BAJA

Nota. Adaptado de Fertilización de diversos cultivos. Quinta aproximación, por Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 1992.

Alternativas y medidas para la mejora del pH del suelo

Los distintos tipos de suelos presentan niveles de pH que pueden limitar su uso agrícola. Sin embargo, existen diversas técnicas para corregir el pH y optimizar la disponibilidad de nutrientes, mejorando las condiciones de crecimiento de los cultivos.

- **pH por debajo de 5.5:**

En los suelos ácidos, los niveles elevados de aluminio, hierro y manganeso pueden resultar tóxicos para las plantas. La aplicación de cal (encalado) es la solución más efectiva, debido a que reduce el aluminio intercambiable y aumenta la disponibilidad de nutrientes afectados por la acidez del suelo (INTAGRI, 2018). Esta técnica mejora significativamente las condiciones para el desarrollo de los cultivos.

- **pH entre 6.5 y 7.5:**

En este rango de pH, generalmente no se presenta problemas graves de manejo, aunque, en caso de haber bicarbonato de sodio, podría haber deficiencia de hierro. A medida que el pH aumenta, disminuye la disponibilidad de micronutrientes como zinc, hierro, cobre y manganeso, lo cual podría requerir ajustes en la fertilización (INTAGRI, 2018).

- **Suelos con pH entre 7.3 y 8.4:**

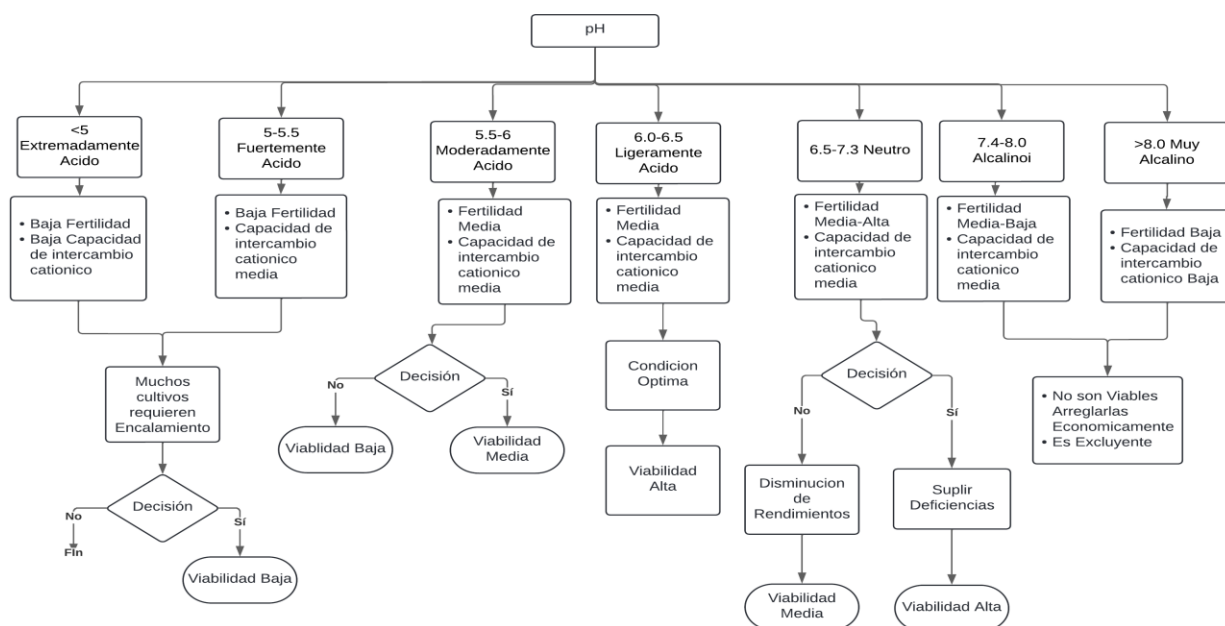
Modificar el pH en este rango no suele ser económicamente viable. Por lo tanto, se recomienda adaptar el manejo de los cultivos a las condiciones existentes en lugar de intentar neutralizar el suelo (INTAGRI, 2018).

- **Suelos con pH superior a 8.2:**

En suelos con pH muy alto, la aplicación de yeso agrícola es una medida eficaz. El calcio contenido en el yeso ayuda a reducir los efectos adversos de la alcalinidad, mejorando la estructura del suelo y facilitando la disponibilidad de nutrientes (INTAGRI, 2018).

Figura 3.

PH



Nota: Este diagrama muestra el análisis del pH del suelo como característica importante para evaluar la viabilidad de un cultivo.

3.2.4 Lógica difusa

La lógica difusa es una técnica computacional empleada para gestionar la incertidumbre y la imprecisión, factores frecuentes en el ámbito agrícola. A diferencia de los modelos matemáticos tradicionales, que exigen valores exactos y precisos, la lógica difusa permite trabajar con rangos de valores, lo cual posibilita la modelación más realista de fenómenos inciertos, como las fluctuaciones climáticas y la variación del pH en este caso. Esta capacidad de manejar incertidumbres hace que la lógica difusa sea particularmente útil en la agricultura, debido a que facilita la toma de decisiones en contextos complejos donde los datos pueden ser imprecisos o incompletos.

3.2.5 Viabilidad económica

La viabilidad económica permite evaluar si la inversión en un cultivo resulta rentable, es decir, si los ingresos generados por la venta del producto superan los costos totales asociados con su producción. Este análisis es fundamental para tomar decisiones informadas sobre cuáles cultivos son más convenientes desde una perspectiva financiera, garantizando que la actividad agrícola sea sostenible y beneficiosa para el productor.

3.3 Antecedentes del tema

3.3.1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

En Colombia, el sector agrícola ha experimentado un abandono significativo. En respuesta, el Gobierno implementó un plan de participación ciudadana a través de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), una entidad de participación mixta y sin ánimo de lucro cuyo objeto es promover procesos de innovación tecnológica en el sector agropecuario colombiano (AGROSAVIA, 2021). Esta entidad ofrece servicios de laboratorio para el análisis de muestras de suelo, proporcionando a los productores las instrucciones necesarias para el muestreo y su envío mediante empresas de mensajería. Posteriormente, en un plazo de 15 días hábiles, se entrega un informe con los resultados obtenidos, brindando información clave para la gestión del suelo.

3.3.2 Modelación de cultivos agrícolas algunos ejemplos

Un antecedente relevante se encuentra en un estudio del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba, el cual presenta una perspectiva sobre la agricultura y la modelación de cultivos mediante el uso del *software* DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). En este estudio, se expone cómo la práctica agrícola se fundamenta en conocimientos, tradiciones y suposiciones. La investigación agrícola, en este contexto, busca mejorar los fundamentos de dicho conocimiento, proporcionando bases sólidas para la toma de decisiones.

El uso de modelos agrícolas resulta de gran importancia, en tanto que permite predecir el rendimiento, crecimiento y desarrollo de las plantas. A través del empleo de tecnologías como sistemas de información geográfica y de posicionamiento global, algunos países desarrollados han diseñado modelos agrícolas que han sido rápidamente aceptados para su aplicación práctica.

No obstante, “debido a la complejidad del sistema y el conocimiento incompleto de todos los componentes, es imposible representar completamente el sistema en términos matemáticos y, por tanto, los modelos agrícolas son imágenes aproximadas de la realidad” (Gálvez et al., 2004, como se citó en Gálvez et al., 2010, p. 62). Por tal motivo, “es inevitable que se [construyan] diferentes modelos para distintos subsistemas y varios modelos pueden construirse para simular un cultivo en particular o un aspecto particular del proceso de producción” (p. 62). En conclusión, según la cantidad de datos y el conocimiento disponible en un área específica, se desarrollan modelos con diferentes niveles de complejidad.

3.3.3 Modelo de simulación bajo sistemas de producción y mercadeo para el cultivo de mango en Anolaima y Girardot

Por su parte, Correa (2013) desarrolló un modelo de simulación para analizar el comportamiento del cultivo de mango en las regiones de Anolaima y Girardot. En su estudio, el autor examinó los factores económicos que inciden en el cultivo, con el objetivo de identificar mejores oportunidades para los productores (Correa, 2013).

3.3.4 Plan Frutícola Nacional de Colombia

El Plan Frutícola Nacional de Colombia es una herramienta del Estado colombiano que establece políticas de largo plazo orientadas al desarrollo económico y social del sector frutícola. Esta iniciativa proporciona información detallada sobre las especies recomendadas para el cultivo en cada departamento, como Santander, así como el número de hectáreas aptas y su distribución por regiones (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2006).

3.3.5 Estrategia Colombia Siembra

La estrategia Colombia Siembra, promovida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, busca aprovechar el potencial agropecuario del país, enfocándose en el incremento de la productividad para garantizar una oferta constante de productos agrícolas (MADR, 2016).

3.3.6 Testimonios

En conversaciones con varios agricultores de la vereda El Aguirre y el municipio Hato, en Santander, se identificaron situaciones con características similares. En la vereda El Aguirre, la diversidad de cultivos sugiere que las tierras son aptas para la agricultura. Un caso destacado es el de doña Damaris Herrera, quien, junto con su socia, decidió invertir en un cultivo de maracuyá. Sin embargo, la producción obtenida no alcanzó la productividad mínima necesaria para ser rentable.

En el municipio el Hato, se observaron dos casos significativos. El primero corresponde al señor Anacleto, un agricultor de 68 años que vive solo en su finca y lleva una vida modesta, dado que sus ingresos apenas cubren sus necesidades básicas. Por tal motivo, Anacleto decidió plantar cacao como prueba y observó un buen crecimiento. Ante estos resultados, consideró la posibilidad de establecer una plantación de cacao, pero su situación económica ha sido un impedimento para concretar el proyecto.

El segundo caso es el de José Carrillo, conocido como Cheo, un expolicía venezolano que emigró a Colombia hace tres años en busca de mejores oportunidades para su familia. Pese a su esfuerzo ha enfrentado dificultades económicas debido a la inestabilidad laboral y a los bajos ingresos en la región. Ante esta situación, decidió iniciar un cultivo de maíz con la esperanza de obtener una ganancia que le permita mejorar su situación.

3.4 Marco contextual

3.4.1 Modelo simulación

Un modelo de simulación permite representar la complejidad inherente a los sistemas de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Hernández et al., 2009).

Figura 4.

Módulo de productividad

La Figura 1 muestra la relación del producto final, la productividad con la planta y otros aspectos que integran el producto final, mientras que la Figura 2 muestra cómo opera la modelación de cultivos (8).



Figura 1. Módulo de productividad

Así, un ejemplo de algoritmo simplificado sería:
Producción __ = semillas plantadas

Nota. Tomado de Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos, por Gálvez et al., 2010, p. 61.

3.4.2 Dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una metodología centrada en el estudio de la complejidad del comportamiento de distintos tipos de sistemas y sus interrelaciones. Aunque esta técnica permite simplificar la naturaleza de dichos sistemas, su objetivo principal es aproximarse al objeto de estudio de manera progresiva, utilizando modelos de creciente complejidad para obtener representaciones útiles y ajustadas al problema que se pretende resolver (Andrade et al., 2007).

3.5 Marco tecnológico

En este apartado, se adoptó un marco tecnológico para el desarrollo del proyecto, basado en la identificación de necesidades fundamentales para su ejecución. De esta manera, se plantea el uso de otras tecnologías que permitan resolver las problemáticas emergentes durante la investigación.

3.5.1 NetBeans

NetBeans es un entorno de desarrollo integrado (IDE) y de código abierto, orientado a la creación de aplicaciones estructuradas mediante módulos. Este entorno se destaca por ofrecer herramientas de primera calidad, además de incorporar tecnologías innovadoras a través de mejoras constantes en el editor, optimizando el rendimiento y aumento de la velocidad de desarrollo.

3.5.2 Matlab

Para la implementación del modelo basado en lógica difusa, se utilizó Matlab, debido a su herramienta avanzada Fuzzy Logic Designer. Esta proporciona todas las funcionalidades necesarias para crear, visualizar y simular sistemas basados en lógica difusa, permitiendo la representación efectiva de las reglas y funciones de pertenencia. La robustez de esta herramienta facilita el desarrollo y análisis del modelo propuesto para la evaluación de la viabilidad del cultivo.

4 Resultados

El desarrollo del proyecto se estructuró en cuatro etapas principales, que abarcan desde la conceptualización de los cultivos hasta la implementación de una interfaz gráfica que facilite la interacción del usuario final con el simulador. A continuación, se detalla cada una de estas etapas.

4.1 Descripción de los cultivos

En esta etapa se llevó a cabo la investigación y caracterización de determinados cultivos representativos de Colombia, teniendo en cuenta tanto factores agroclimáticos como económicos. Los cultivos seleccionados reflejan la diversidad y las oportunidades que ofrece el campo colombiano. Se recopiló una serie de parámetros recopilados que determinarán la viabilidad de los cultivos en función de las condiciones del terreno y el entorno económico.

4.1.1 Parámetros de Caracterización

1. **Descripción:**

Se presenta una visión general de cada cultivo.

2. **Textura del suelo:**

Se evalúa el tipo de suelo más adecuado para cada cultivo, como suelos arenosos, arcillosos o francos, los cuales influyen directamente en el crecimiento de las plantas y en la absorción de nutrientes.

3. **pH del suelo:**

La acidez o alcalinidad del suelo es crucial para la productividad, por lo cual se definen:

- **Rango Óptimo:** intervalo en el cual los nutrientes son más accesibles para las raíces.

- **Rango Tolerable:** valores mínimos y máximos en los que el cultivo puede sobrevivir, aunque con una reducción en el rendimiento y el porcentaje de plantas. Esta información orienta la toma de decisiones sobre la necesidad de aplicar correcciones al suelo, como enmiendas o fertilizantes.

4. **Temperatura:**

La temperatura es un factor crítico en el desarrollo del cultivo por lo que se establece:

- **Rango Óptimo:** la temperatura ideal para maximizar el crecimiento y producción del cultivo.
- **Rango Tolerable:** el rango en el cual la planta puede sobrevivir sin pérdidas significativas, aunque con un rendimiento reducido. Este análisis permite prever posibles riesgos climáticos y su impacto en la producción.

4.1.2 Etapas del Cultivo

Cada cultivo se organiza en etapas clave para evaluar su ciclo productivo y los factores relacionados con su rentabilidad:

1. Siembra

- Descripción de los requerimientos para la siembra.
- Densidad de semillas y técnicas recomendadas.

2. Cosecha

- Identificación del ciclo de vida, en función del tipo de cultivo y las condiciones climáticas.
- Identificación de la producción por planta.

3. Pérdidas

- Factores que pueden generar pérdidas, como enfermedades, plagas, condiciones climáticas adversas y errores en la gestión del cultivo.
- Estimación del porcentaje de pérdidas potenciales para cada cultivo.

4. Costos

- Costo de plántulas.
- Costos anuales: cálculo de los costos totales del ciclo productivo, incluyendo gastos en mano de obra, insumos, fertilización y control de plagas.

5. Precio de Venta

El análisis del precio de venta se lleva a cabo considerando dos escenarios:

1. Escenario Polinomial: se emplea una función polinomial para modelar la variabilidad del precio del cultivo a lo largo del año. Esta función permite ajustar el valor de venta según el mes y capturar las fluctuaciones estacionales.
2. Escenario Promedio: se calcula un precio promedio de venta basado en los datos históricos de los últimos 10 años. Este enfoque proporciona una visión más estable y conservadora, útil para la planificación económica.

Para obtener una explicación más detallada sobre la caracterización de los cultivos, consulte la carpeta *Cultivos* que reposa en la información del grupo SIMON.

Desarrollo del modelo fuzzy

En esta fase, se implementó un sistema de inferencia difusa (*Fuzzy Logic*) para gestionar la incertidumbre inherente a los parámetros ingresados por los usuarios. La lógica difusa permite representar situaciones reales en las que no se puede definir un límite exacto, proporcionando una evaluación más flexible de la viabilidad de cultivos. A continuación, se detalla el proceso metodológico seguido en el desarrollo del modelo.

Componentes del Modelo Fuzzy

1. Datos de Entrada:

- Los parámetros clave del cultivo que el usuario ingresa, como la temperatura y el pH.

2. Universo del Discurso:

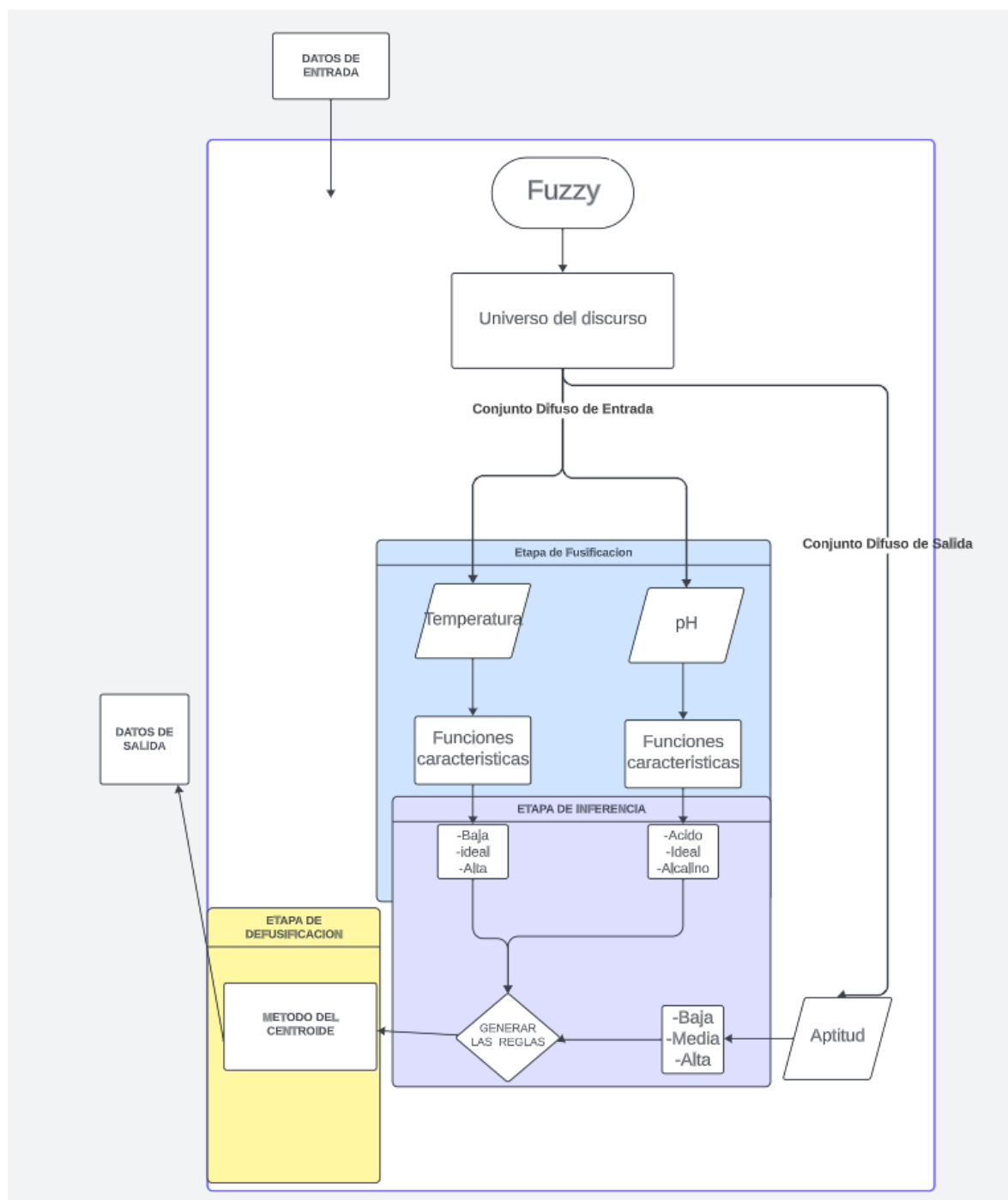
- Representa el espacio completo donde se definen las variables y sus valores posibles.
- Las variables como temperatura y pH se traducen en conjuntos difusos para el proceso de evaluación.

3. Conjunto Difuso de Entrada:

- Los parámetros ingresados se transforman en valores difusos mediante funciones de pertenencia.
- Se definen conjuntos difusos para cada parámetro:
 - **Temperatura:** baja, ideal y alta.
 - **pH:** ácido, ideal y alcalino.

Figura 5.

Modelo de Fuzzificación en la Evaluación de Viabilidad de Cultivos



Nota: La figura muestra el proceso de evaluación de la viabilidad de cultivos utilizando un modelo de lógica difusa (*fuzzy logic*).

4. Etapa de Fuzificación:

- Convierte los datos de entrada numéricos en valores difusos mediante funciones características (trapezoidales o gaussianas).
- Las variables se dividen en rangos correlacionados con los estados definidos:

- **Temperatura**

Temperatura Baja: se utiliza una función trapezoidal para modelar valores de temperatura que insuficientes para el desarrollo adecuado del cultivo.

Temperatura Ideal: se emplea una función gaussiana para modelar un rango de temperaturas óptimas, centradas en un valor medio y con una distribución suave.

Temperatura Alta: se utiliza una función trapezoidal para representar valores de temperatura excesivamente elevados, que pueden reducir la productividad del cultivo.

- **pH**

pH Ácido: se utiliza una función trapezoidal para representar suelos con niveles altos de acidez, los cuales pueden limitar la absorción de nutrientes.

pH Ideal: se emplea una función gaussiana para modelar el rango óptimo de pH del suelo. Esta función está centrada en un valor medio que maximiza la absorción de nutrientes, ofreciendo un entorno ideal para el cultivo.

pH Alcalino: se emplea con una función trapezoidal para representar suelos alcalinos, lo que puede reducir la disponibilidad de ciertos nutrientes necesarios para las plantas.

5. Etapa de Inferencia

- En esta etapa se generan las reglas difusas que combinan las entradas (pH y temperatura) para determinar la aptitud del cultivo.

Tabla 4.

Posibles combinaciones de las funciones de pertenencia

Casos de temperatura	Casos de pH	Resultado Aptitud
BAJA	Ácido	BAJO
BAJA	Ideal	BAJO
BAJA	Alcalino	BAJO
IDEAL	Acido	BAJO
IDEAL	Ideal	ALTO
IDEAL	Alcalino	MEDIO
ALTA	Ácido	BAJO
ALTA	Ideal	MEDIO
ALTA	Alcalino	BAJO

Nota: La tabla muestra las diferentes combinaciones posibles entre los casos de temperatura y pH y cómo estas influyen en el resultado de la aptitud del cultivo.

6. Conjunto Difuso de Salida

- refleja la aptitud del cultivo bajo las condiciones de entrada proporcionadas. Este se define mediante tres funciones de pertenencia que representan diferentes niveles de viabilidad:

- 1. Aptitud Baja:** indica que el cultivo tiene pocas probabilidades de éxito.
- 2. Aptitud Media:** el cultivo es viable, pero con limitaciones que podría afectar su productividad.
- 3. Aptitud Alta:** refleja condiciones óptimas, maximizando la productividad del cultivo.

7. Etapa de Defusificación:

- En esta etapa, se convierte el conjunto difuso de salida en un valor numérico concreto utilizando el método del centroide, basado en calcular el punto de

equilibrio del área bajo la curva de pertenencia para proporcionar un valor específico de aptitud.

$$X = \frac{\sum (X_i * Y_i)}{\sum (Y_i)}$$

donde:

- X_i es el valor de la variable difusa i . En este caso, son todos los x .
- Y_i es el valor de la función de pertenencia de la variable difusa i .
- X es el valor de salida del desfusificador.

8. Datos de Salida:

- El resultado final del modelo *fuzzy* es un valor claro y cuantitativo que indica la aptitud del cultivo en función de las condiciones ingresadas por el usuario.

Para obtener una explicación más detallada sobre el desarrollo de este modelo, consulte el documento titulado Modelo Fuzzy que reposa en la información del grupo SIMON

4.2 Desarrollo de las clases de cultivos

En esta etapa, se implementan clases específicas para representar diversos cultivos y sus características fundamentales. Cada clase encapsula atributos relevantes y métodos que permiten modelar y gestionar el comportamiento de cada cultivo considerando factores como la producción, la viabilidad económica y los impactos ambientales (por ejemplo, variaciones en pH y temperatura).

- **Estructura de las Clases de Cultivo**

Cada cultivo se representa mediante una clase que contiene atributos y métodos comunes pero que varían en funcionamiento y detalles. A continuación, se describen algunos ejemplos de clases implementadas:

- **Limon.java:**

Esta clase modela el cultivo de limón, simulando la producción del cultivo, controlando los costos y analizando los efectos ambientales como las variaciones en pH y la temperatura. Sus parámetros incluyen el número de plantas sembradas, las pérdidas de cosecha, la cantidad producida anualmente, y los costos de establecimiento y mantenimiento. Además, proyecta la viabilidad económica del cultivo a lo largo de varios ciclos productivos.

Maiz.java:

Esta clase se centra en la gestión integral del cultivo de maíz desde perspectivas productivas, económicas y ambientales. Sus atributos incluyen la densidad de siembra, la pérdida de plantas, y el análisis de los efectos del pH y la temperatura. Asimismo, la clase incorpora métodos para evaluar la viabilidad económica del cultivo, considerando factores como los costos de establecimiento y mantenimiento, y las proyecciones de ventas

Aguacate.java:

Esta clase modela un sistema de gestión del cultivo de aguacate. Permite realizar simulaciones de producción, evaluar el impacto ambiental y analizar la viabilidad económica. Los atributos de la clase incluyen factores productivos como la densidad de siembra, la pérdida de plantas y los efectos del pH y la temperatura. Además, proporciona cálculos precisos para evaluar costos y ganancias a lo largo de los ciclos productivos.

Variables Generales en las Clases de Cultivo

Las siguientes variables representan los parámetros clave y los resultados obtenidos para los cultivos de aguacate, maíz y limón. Estas variables permiten gestionar y analizar el rendimiento, los costos, las pérdidas y las proyecciones económicas, proporcionando una visión integral para optimizar la producción.

1. Información General del Cultivo

- A. **Plantas sembradas:** se refiere al número total de plantas sembradas en función de la densidad de siembra definida y las hectáreas asignadas al cultivo.
- B. **Plantas perdidas:** número de plantas que no sobreviven debido a condiciones ambientales adversas (como temperatura y pH) o problemas operativos, tales como plagas o errores en el manejo del cultivo.
- C. **Total de plantas:** número final de plantas que han sobrevivido después de considerar las pérdidas.

2. Producción del Cultivo

- A. **Producción por planta:** cantidad promedio de rendimiento por planta, medido en kilogramos (ej., cantidad de frutos por planta).
- B. **Producción afectada por el pH:** indicador que muestra si el rendimiento se ha visto reducido debido a un nivel inadecuado de pH en el suelo.
- C. **Producción total:** cantidad total de producción del cultivo en kilogramos o toneladas, considerando las posibles reducciones por factores ambientales.

3. Costos del Cultivo

- A. **Costo de las plantas:** gasto total destinado a la adquisición de plántulas o semillas, calculado con base en la densidad de siembra y el precio de mercado.
- B. **Costos operativos del cultivo:** gastos relacionados con las operaciones de mantenimiento del cultivo, incluyendo fertilización, riego, control de plagas, y otras actividades necesarias.
- C. **Costos totales:** suma de todos los costos asociados al ciclo productivo, que incluye los costos de siembra y de mantenimiento.

4. Información Temporal

- A. **Mes de consulta:** mes específico en el que se realiza la evaluación del rendimiento o la proyección de ventas. Esta variable es importante para analizar la estacionalidad del cultivo.

5. Precios y Ventas

- A. **Precio de venta (proyección):** precio por kilogramo proyectado a partir de una ecuación polinómica que toma en cuenta el mes y la tendencia del mercado.
- B. **Precio de venta (promedio):** valor promedio del precio del cultivo calculado con base en los históricos del mercado.
- C. **Venta total (proyección):** ingreso total proyectado usando el precio estimado mediante la ecuación polinómica.
- D. **Venta total (promedio):** ingreso total calculado usando el precio promedio del mercado.

6. Indicadores Financieros y Pérdidas

- A. **Total del ciclo (proyección):** suma acumulada de ganancias o pérdidas en el ciclo productivo, calculada con base en los valores proyectados.
- B. **Total del ciclo (promedio):** suma acumulada de ganancias o pérdidas en el ciclo productivo usando los valores promedio.
- C. **Pérdida promedio del ciclo:** promedio acumulado de las pérdidas en el rendimiento debido a factores ambientales como pH o temperatura.

Esta estructura modular permite simular de manera integral diversos cultivos, incorporando la lógica difusa para gestionar la incertidumbre relacionada con los factores ambientales. Además,

la estructura de clases facilita la escalabilidad del sistema, lo que permite añadir nuevos cultivos sin necesidad de modificar la estructura principal del modelo.

4.3 Implementación

4.3.1 Prototipo Interfaz grafica

Primera Etapa

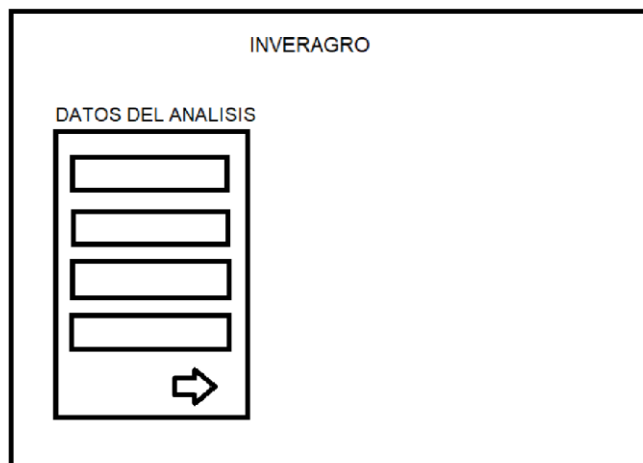
En la primera etapa del desarrollo, la interfaz gráfica de usuario (GUI) se ha diseñado con el objetivo de facilitar la entrada de datos esenciales para la simulación de cultivos. La interfaz permite al usuario ingresar una serie de parámetros clave que el simulador utilizará para evaluar la viabilidad técnica y económica de los cultivos. Los campos y opciones que se incluyen en la GUI son los siguientes:

- **Temperatura:** valor en grados Celsius.
- **pH del suelo:** nivel de acidez o alcalinidad del terreno.
- **Tipo de suelo:** selección de opciones como arenoso, arcilloso o franco.
- **Área de cultivo:** extensión del terreno en hectáreas.

Estos parámetros son fundamentales para que el simulador evalúe la viabilidad técnica y económica de los cultivos. La interfaz en esta etapa ha sido diseñada para ser sencilla e intuitiva, garantizando que cualquier usuario, incluso sin experiencia previa, pueda interactuar fácilmente con la aplicación desde el primer uso.

Figura 6.

Primera etapa



Nota: La imagen representa el primer prototipo de la interfaz grafica en la primera etapa

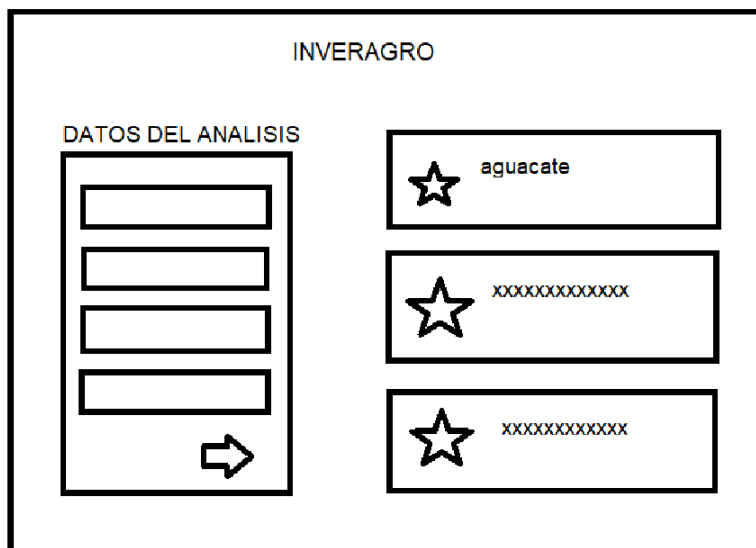
- **Segunda Etapa**

La segunda etapa se centra en la implementación de la lógica del sistema, donde los cultivos se evalúan en función de los parámetros ingresados por el usuario. Mediante condicionales basados en la metodología difusa (fuzzy logic), el sistema determina la viabilidad de cada cultivo, identificando aquellos que se adaptan mejor a las condiciones proporcionadas.

Durante esta fase:

- Los cultivos se ordenan automáticamente por su porcentaje de viabilidad, desde el más alto al más bajo.
- Esto permite al usuario identificar rápidamente las opciones más favorables según las condiciones del terreno.
- Además, el usuario tiene la opción de seleccionar uno de los cultivos propuestos para acceder a una simulación detallada.

Esta organización simplifica la toma de decisiones, permitiendo al usuario analizar las opciones más viables de manera eficiente.

Figura 7.*Segunda etapa*

Nota: La imagen representa el prototipo de la interfaz en la segunda etapa.

- **Tercera Etapa**

En la tercera etapa, al seleccionar un cultivo de interés, el usuario es redirigido a una nueva pantalla de simulación detallada. Esta vista proporciona información integral sobre el cultivo seleccionado y muestra los siguientes elementos:

- **Características del cultivo:** información relevante sobre el cultivo elegido.
- **Gráficos de viabilidad económica:** visualización del desempeño proyectado del cultivo en términos financieros.
- **Tablas resumen:** muestran datos clave como:
 - Plantas sembradas, perdidas y totales.
 - Producción proyectada por planta y total.
 - Costos asociados (establecimiento y sostenimiento, entre otros).

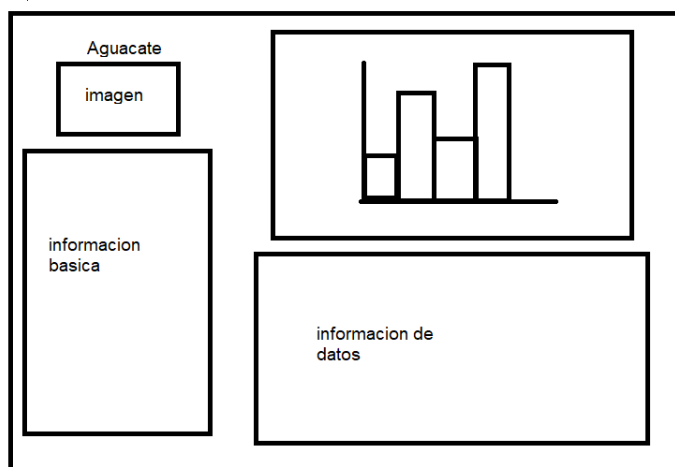
- Precios de venta estimados por ecuación y valores promedio de mercado.

Además, se presentan recomendaciones específicas para mejorar el rendimiento del cultivo, como:

- Ajustes en el pH del suelo.
- Medidas correctivas según las condiciones del terreno.

Figura 8.

Tercera etapa



Nota: La imagen representa el prototipo de la interfaz en la tercera etapa

Esta interfaz detallada permite al usuario tomar decisiones informadas y optimizar la gestión de sus cultivos.

4.3.2 Desarrollo

Con fundamento en el prototipo inicial, se desarrolló de forma detallada el sistema, optimizando cada uno de sus componentes con el fin de mejorar la experiencia del usuario y garantizar un flujo de trabajo intuitivo. Durante este proceso, se ajustaron elementos clave de la interfaz y la funcionalidad para proporcionar una herramienta más eficiente y de fácil uso.

El simulador SEAPGRO está construido utilizando Java Swing, una tecnología robusta para la creación de interfaces gráficas en Java. Gracias a esta herramienta, se logra una experiencia amigable y accesible para el usuario, lo que permite evaluar de manera efectiva tanto la viabilidad económica como técnica de diferentes cultivos. La interfaz gráfica no solo simplifica el proceso de simulación, sino que también facilita la toma de decisiones informadas al presentar los datos de forma clara y estructurada.

Cabe resaltar que a través de la metodología de prototipado se mejoró gradualmente el desarrollo del simulador, volviéndolo más completo en cada etapa permitiendo crear una herramienta que trabajara en conjunto y culminando en nuestro prototipo final. Para obtener más detalles sobre los Prototipos, consulte el documento adjunto “Prototipos” (Anexo 3).

Arquitectura

La arquitectura de la aplicación se fundamenta en el paradigma de programación orientada a objetos (POO) y adopta una estructura de capas que permite separar las responsabilidades de manera clara, facilitando así la organización y el mantenimiento del código.

Estructura de paquetes de la aplicación

1. Paquete Cultivos. Modelo

- Este paquete contiene las clases que definen el modelo de los cultivos, encapsulando toda la lógica relacionada con estos. Así, es posible manipular los datos dentro de la aplicación.

2. Paquete Cultivos.pdf

Este paquete incluye archivos en formato .pdf que respaldan la información sobre cultivos, las enfermedades y las técnicas de corrección.

3. Paquete Data

- Este paquete alberga archivos XML que almacenan los datos de diversos cultivos, como limón, maíz y aguacate, entre otros. Los archivos con la extensión “eti” (por ejemplo, Limóneti.xml) contienen las descripciones de las etiquetas de las variables generadas por cada modelo de cultivo de resultado.

Función: almacena información estructurada en formato XML, lo cual permite acceder a los datos de los cultivos sin necesidad de conexión a una base de datos. La aplicación carga estos archivos para alimentar la lógica difusa y las interfaces gráficas.

4. Paquete Ejecutable

La clase Ejecutable tiene la función principal de iniciar la aplicación. Este constituye el punto de entrada del programa, y dentro de su método *main*, se crea una instancia de la clase *VentanaPrincipal*, que es la ventana principal de la interfaz gráfica de la aplicación.

5. Paquete info

El paquete Info contiene archivos XML que describen cada cultivo relevante para el sistema. Estos archivos actúan como una fuente de información visualizable, proporcionando datos generales sobre los cultivos que luego son presentados a los usuarios a través de la interfaz gráfica.

6. Paquete fuzzy:

Este paquete contiene la implementación principal del sistema de lógica difusa, que evalúa los cultivos con base en parámetros como temperatura, pH, entre otros. A continuación, se describen las clases clave:

- **Ejecutor.java:** es responsable de ejecutar el modelo difuso. Recibe los datos ingresados y, utilizando las reglas definidas, genera una evaluación basada en la lógica difusa.
- **Fuzzy.java:** esta clase es el núcleo del sistema difuso, donde se definen los modelos *fuzzy*, se gestionan las reglas y se realizan evaluaciones difusas.

- **Primera_T.java:** maneja la evaluación difusa de la temperatura, implementando las reglas de temperatura mínima, óptima y máxima.
- **Segunda_Ph.java:** similar a Primera_T.java, esta clase maneja el análisis difuso del pH del suelo, definiendo los límites difusos para pH ácido, alcalino y neutral.
- **Reglas.java:** contiene las reglas difusas utilizadas para evaluar la viabilidad del cultivo. Por ejemplo, si la temperatura está en un rango óptimo y el pH es adecuado, la viabilidad del cultivo será alta.
- **inferencia_A.java:** se encarga del proceso de inferencias difusas, es decir, toma las reglas y los valores de entrada para generar una evaluación final, como el porcentaje de viabilidad de un cultivo.

7. Paquete fuzzy.funciones:

Este paquete contiene funciones auxiliares que respaldan el funcionamiento del sistema difuso. Las clases dentro de este paquete son responsables de modelar las funciones de membresía en los conjuntos difusos:

- **Funcion_GaussPH.java:** modela una función de membresía gaussiana para evaluar el pH. Las funciones gaussianas son útiles para modelar variables con una distribución difusa más suave.
- **Funcion_Gaussmf.java:** aunque es similar a la anterior, probablemente modela otras variables, como temperatura o humedad, utilizando funciones gaussianas.
- **Funcion_trapmf.java y Funcion_trapmfPH.java:** estas clases modelan una función de membresía trapezoidal para las variables. Las funciones trapezoidales se utilizan cuando los valores tienen un crecimiento o caída gradual y son muy comunes en lógica difusa.

- **Funcion_trimf.java:** modela una función de membresía triangular, que es una de las funciones de membresía más simples en lógica difusa, con una zona clara de transición entre los valores bajos, medios y altos.

8. Paquete imágenes:

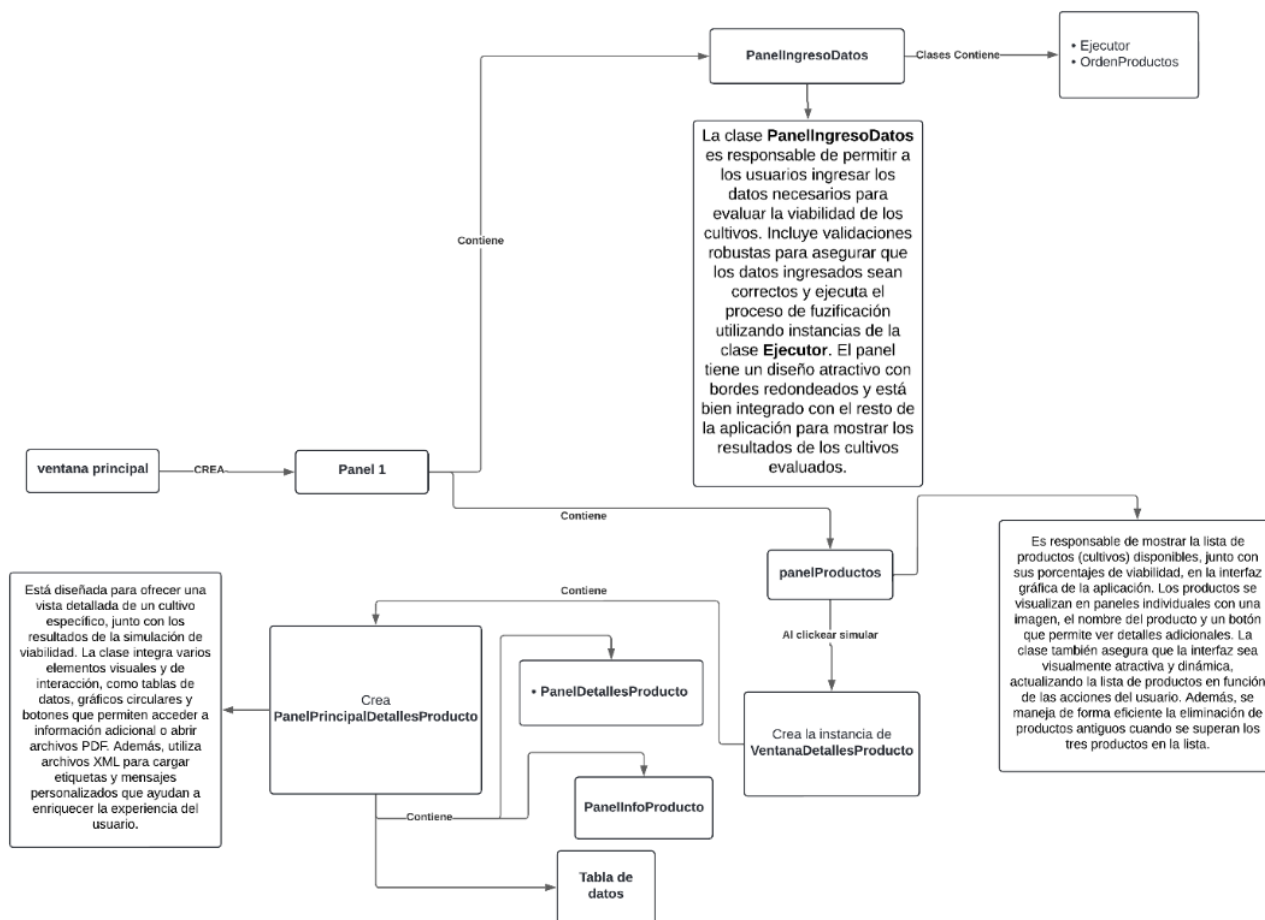
- **Propósito:** contiene recursos gráficos utilizados en la interfaz de usuario. Estos incluyen imágenes como:
 - Iconos de cultivos (Limón.png, Maíz.png, aguacate.png).
 - Imágenes de fondo y otros recursos visuales (Fondo_panel.png, panel.png, etc.).
- **Función:** mejora la experiencia visual del usuario al proporcionar iconos y gráficos relacionados con los cultivos y la interfaz gráfica.

9. Paquete Vista

El paquete Vista se encarga de gestionar la interfaz gráfica de la aplicación. A través de diferentes paneles y ventanas, permite a los usuarios ingresar datos, visualizar información sobre los cultivos y explorar los detalles de los productos disponibles en el sistema. Las clases dentro de este paquete están organizadas de manera eficiente para proporcionar una experiencia interactiva, centrada en la visualización de la información relativa a los cultivos y en la evaluación de su viabilidad mediante la aplicación de la lógica difusa.

Figura 9.

Flujo de información



Nota: La imagen representa el flujo de la aplicación

El flujo de la aplicación sigue una secuencia lógica y estructurada que facilita la interacción del usuario con la evaluación de cultivos mediante la interfaz gráfica.

Flujo general de la aplicación:

- **1. Inicio de la Aplicación (VentanaPrincipal)**

La ejecución de la aplicación comienza con la creación de una instancia de la clase *VentanaPrincipal*, que constituye la ventana principal de la aplicación. Esta clase actúa como contenedor principal de los diferentes paneles que se cargarán durante la interacción

del usuario. Desde esta ventana, se carga el panel principal, *Panel1*, que presenta las primeras opciones de interacción.

- **2. Interacción del Usuario con el Panel Principal (Panel1)**

El *Panel1* representa el primer punto de interacción visual del usuario, donde se puede acceder a dos áreas fundamentales:

1. **PanelIngresoDatos:** en este panel, el usuario ingresa los datos agroclimáticos, como temperatura, pH del suelo, tipo de suelo y área de cultivo.
2. **PanelProductos:** Que inicialmente está oculto y se mostrará después de que el usuario haya ingresado los datos para la simulación.

- **3. Ingreso de Datos del Cultivo (PanelIngresoDatos)**

En el *PanelIngresoDatos*, el usuario introduce los parámetros requeridos para evaluar la viabilidad del cultivo, tales como:

- Temperatura
- pH del suelo
- Tipo de suelo
- Área de cultivo

El sistema realiza validaciones para asegurar que los datos ingresados sean correctos y se encuentren dentro de los rangos permitidos. Tras pulsar el botón de "Fuzificación", la aplicación procede a realizar un cálculo utilizando el modelo de lógica difusa a través de la clase *Ejecutor*.

- **4. Proceso de Fuzificación (Lógica Difusa)**

Los datos ingresados son enviados al componente de lógica difusa, que es gestionado por las clases en el paquete *fuzzy*, como *Ejecutor*. Este componente evalúa la viabilidad de

diversos cultivos. La lógica difusa permite manejar la incertidumbre asociada a los parámetros ingresados (como los rangos de temperatura o pH), proporcionando un resultado más flexible y realista. El cálculo genera un porcentaje de viabilidad para cada cultivo (por ejemplo, maíz, limón, aguacate) basado en los datos proporcionados.

- **5. Visualización de los Resultados (PanelProductos)**

Una vez completado el proceso de fuzificación, los resultados de viabilidad para cada cultivo se presentan en *PanelProductos*. Este panel exhibe los nombres de los cultivos junto con sus porcentajes de viabilidad, dispuestos en paneles individuales que incluyen imágenes representativas. El usuario tiene la posibilidad de seleccionar cualquier cultivo para obtener más detalles, haciendo clic en los botones correspondientes.

- **6. Detalles del Cultivo Seleccionado (PanelPrincipalDetallesProducto)**

Al seleccionar un cultivo, se abre una ventana de detalles específica llamada *PanelPrincipalDetallesProducto*. En esta ventana, el usuario puede visualizar:

- Resultados detallados de la simulación.
- Gráficos de rendimiento (tipo Donut) que ilustran aspectos como el porcentaje de pérdidas en el rendimiento o la viabilidad económica.
- Una tabla de datos que desglosa los valores ingresados y calculados, incluyendo información adicional como sugerencias o recomendaciones.

Además, en esta sección, el usuario puede acceder a PDFs informativos sobre el cultivo, que abarcan aspectos como enfermedades y fichas técnicas.

- **7. Finalización y Opciones Adicionales**

Una vez que el usuario ha revisado los resultados, puede cerrar la ventana de detalles o regresar a *Panel1* para evaluar otro cultivo. La aplicación también ofrece la posibilidad de

realizar ajustes adicionales, tales como la corrección de pH o textura del suelo, a través de las opciones disponibles en el panel de detalles. Este flujo puede repetirse múltiples veces, permitiendo al usuario comparar diferentes cultivos o ingresar nuevos parámetros para analizar otras condiciones de cultivo.

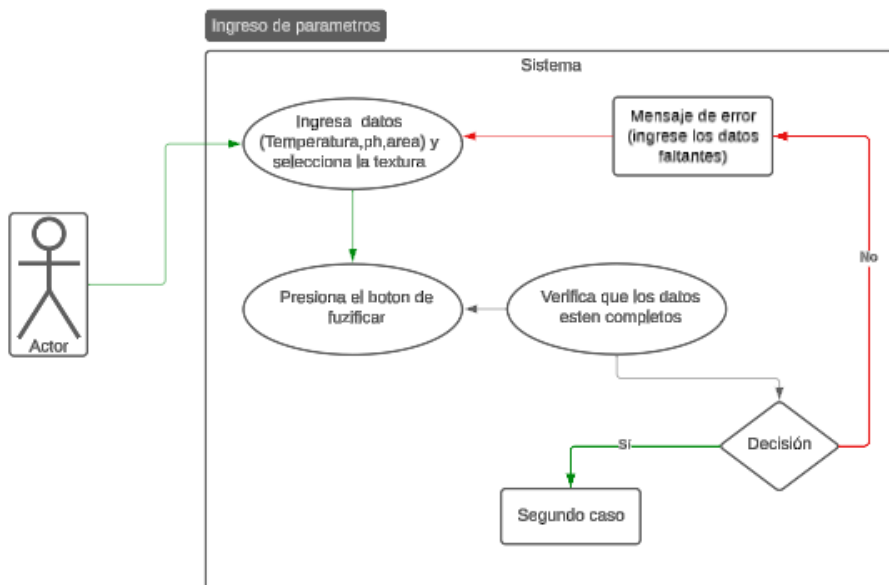
Casos de Uso Detallados:

1. Registrar Parámetros de Suelo:

- **Actores:** usuario
- **Descripción:** el usuario introduce los valores de temperatura, pH, tipo de suelo y área.
- **Sub-casos:**
 1. **Validar Entrada de Datos:** el sistema valida los datos ingresados por el usuario.
 2. **Seleccionar Tipo de Suelo:** el usuario selecciona el tipo de suelo de una lista.
 3. **Confirmar Parámetros:** el usuario confirma que los datos ingresados son correctos antes de proceder con la simulación.
- **Extensiones:**
 - **Manejo de Errores de Validación:** si los datos son inválidos, el sistema mostrará un mensaje de error y permitirá la corrección.

Figura 10.

Caso de uso 1

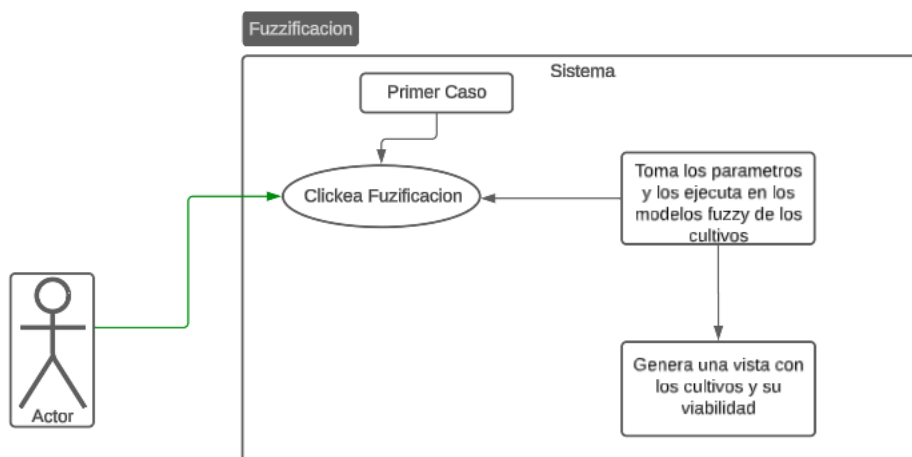


2. Fuzificación:

- **Actores:** campesino
- **Descripción:** el usuario hace clic en el botón de fuzificación, enviando los parámetros al modelo de lógica difusa.
- **Sub-casos:**
 1. **Iniciar Simulación:** el usuario presiona el botón de fuzificación.
 2. **Procesar Datos:** el sistema procesa los datos utilizando la lógica difusa.
 3. **Mostrar Resultados:** el sistema presenta los resultados del modelo *fuzzy*, organizando la visualización de los cultivos junto con sus porcentajes de viabilidad.

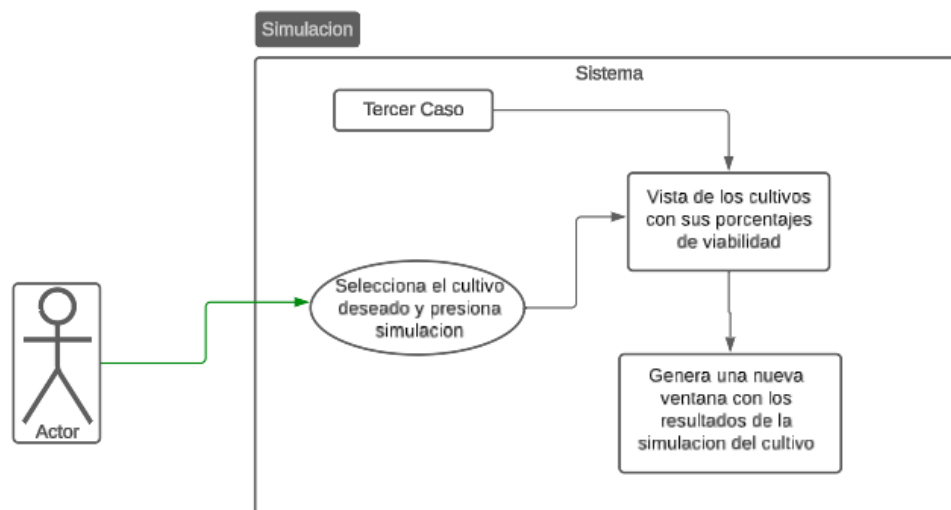
Figura 11.

Caso de uso 2



3. Simulación de Cultivo:

- **Actores:** usuario
- **Descripción:** el usuario selecciona el cultivo deseado y presiona el botón de simulación para visualizar los resultados de viabilidad.
- **Sub-casos:**
 1. **Seleccionar Cultivo:** el usuario selecciona el cultivo deseado del sistema.
 2. **Iniciar Simulación:** el usuario presiona el botón de simulación para procesar la selección del cultivo.
- **Flujo Principal:**
 1. El usuario selecciona el cultivo deseado y presiona el botón de simulación.
 2. El sistema procesa la selección y genera una visualización de los cultivos junto con sus porcentajes de viabilidad.
 3. El sistema presenta una nueva ventana que muestra los resultados detallados de la simulación del cultivo.

Figura 12.*Caso de uso 3***4. Visualización de Resultados de Simulación:**

- **Actores:** campesino
- **Descripción:** el sistema genera una nueva ventana en la que se muestran los resultados detallados de la simulación de cultivo para un cultivo específico seleccionado por el usuario.

Sub-casos:

1. **Seleccionar Cultivo:** el usuario elige el cultivo.
2. **Iniciar Simulación:** el usuario presiona el botón para iniciar la simulación.
3. **Procesar Datos:** el sistema calcula la viabilidad del cultivo.
4. **Mostrar Resultados:**
 - Se presenta una tabla con:
 - Plantas sembradas y pérdidas.

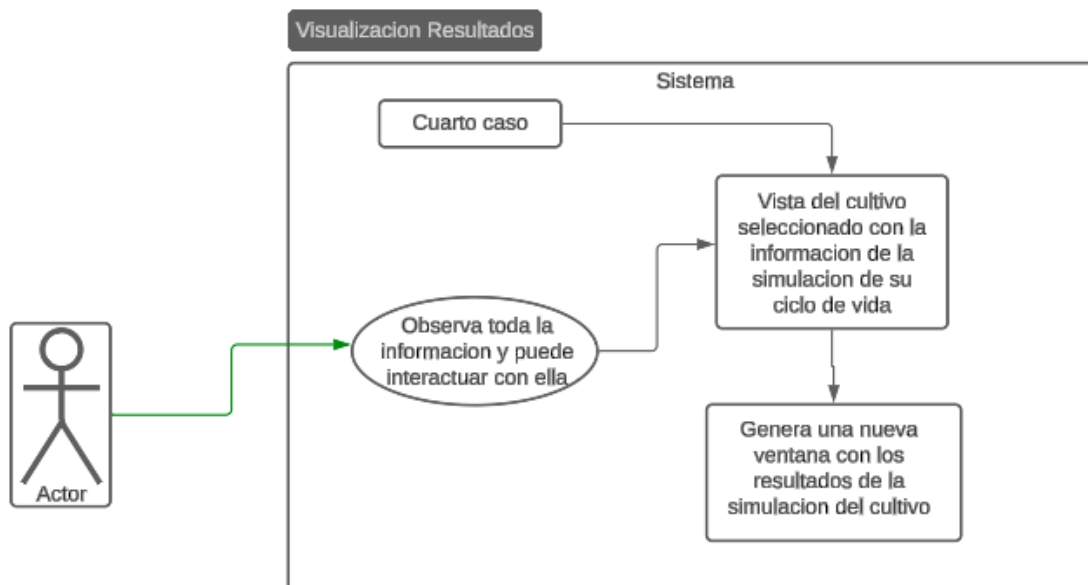
- Producción por planta y total afectada por el pH.
- Costos y precios de venta.
- El sistema muestra la imagen del cultivo y su porcentaje de viabilidad.
- En la sección de **resultados**, se detalla: el análisis del terreno y tamaño, el balance económico basado en diferentes valores y las observaciones sobre el pH.
- En la sección de **consejos**, el sistema proporciona recomendaciones agronómicas específicas para el cultivo.

Flujo Principal:

1. El sistema presenta una ventana con los resultados de la simulación, incluyendo una tabla con la producción, costos y viabilidad del cultivo, así como recomendaciones agronómicas.
2. El usuario visualiza toda la información referente al cultivo seleccionado.

Figura 13.

Caso de uso 4



5. Estrategia de Pruebas

- **Tipos de Pruebas:**

- **Pruebas Funcionales:** verificación de la entrada de datos, funcionamiento del botón de fuzificación y salida del sistema.
- **Pruebas de Interfaz de Usuario:** evaluación de la disposición, accesibilidad y funcionalidad de los elementos de la interfaz.
- **Pruebas de Validación de Datos:** comprobación de que los datos ingresados sean válidos y se procesen correctamente.
- **Pruebas de Usabilidad:** aseguramiento de que la interfaz sea intuitiva y fácil de usar para los usuarios finales.

6. Casos de Prueba

Caso de Prueba 1. Validación de Entrada de Datos

- **Descripción:** verificar que los campos de entrada acepten datos válidos y rechacen los datos inválidos.
- **Precondiciones:** el simulador debe estar en funcionamiento.
- **Entradas:**
 - Temperatura: valores dentro del rango permitido (0 a valores positivos).
 - pH: valores dentro del rango permitido (0 a 14).
 - Tipo de Suelo: selección de opciones disponibles (ej. arenoso).
 - Área: valores numéricos válidos mayores a 0.
- **Acciones:**
 1. Ingresar un valor válido en el campo "Temperatura".
 2. Ingresar un valor válido en el campo "pH".

3. Seleccionar un tipo de suelo de la lista desplegable.
 4. Ingresar un valor válido en el campo "Área".
- **Resultados Esperados:**
 - Todos los campos aceptan las entradas y permiten avanzar a la siguiente etapa.
 - **Estado:** [Pasó] se realizaron pruebas con entradas inválidas y se gestionaron los casos de excepciones, eliminando los errores de datos inválidos.

Caso de Prueba 2. Funcionamiento del Botón de Fuzificación

- **Descripción:** verificar que el botón de fuzificación procese correctamente los datos ingresados y genere los resultados esperados.
- **Precondiciones:** todos los campos deben estar llenos con datos válidos.
- **Entradas:** datos válidos en todos los campos.
- **Acciones:**
 1. Ingresar datos válidos en todos los campos.
 2. Presionar el botón de fuzificación.
- **Resultados Esperados:**
 - El sistema procesa los datos y muestra la siguiente pantalla con los resultados de la simulación.
- **Estado:** [Pasó] se realizaron las pruebas corrigiendo los casos en los que se obtenía valores NULL.

Caso de Prueba 3: Funcionalidad del Botón de Salida

- **Descripción:** verificar que el botón de salida cierra la aplicación correctamente.
- **Precondiciones:** la aplicación debe estar abierta y en funcionamiento.
- **Entradas:** ninguna.

- **Acciones:**
 1. Presionar el botón "SALIR".
- **Resultados Esperados:**
 - La aplicación se cierra correctamente.
- **Estado:** [Pasó]

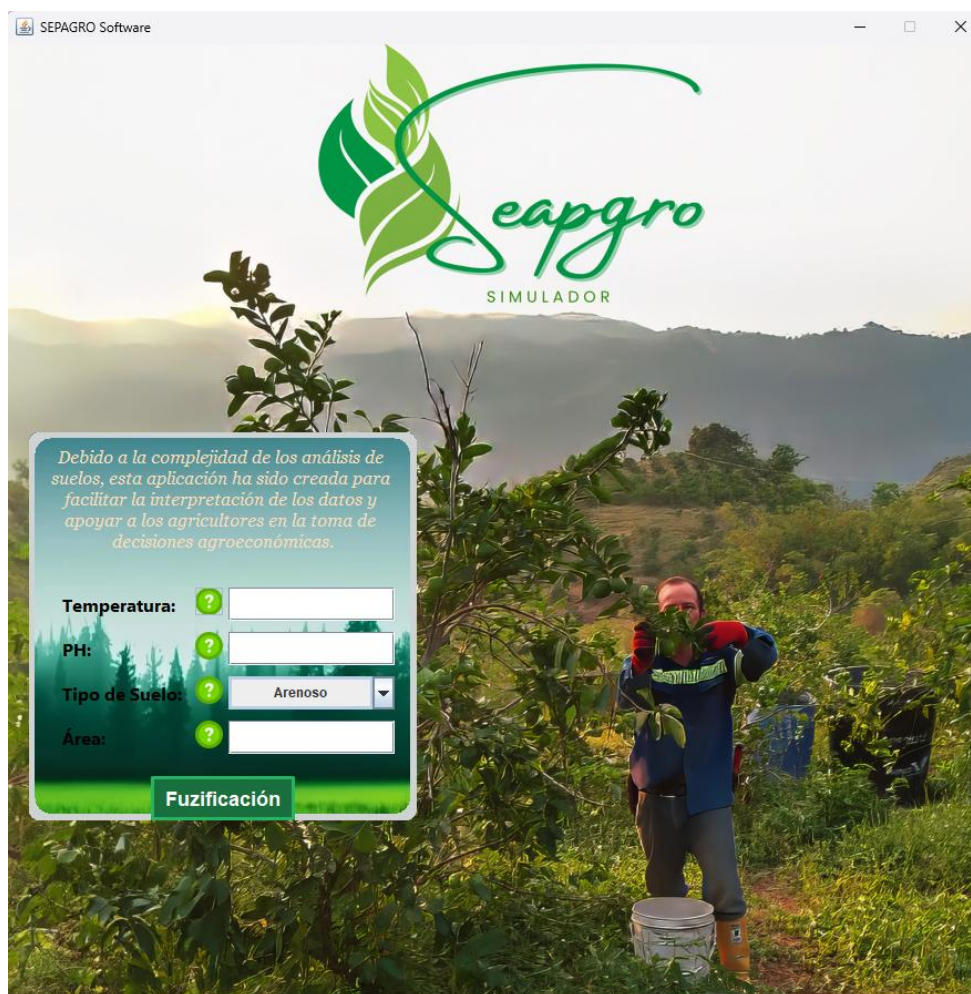
Diseño

En esta sección se presenta el resultado final del diseño, resultado de su implementación y programación. La interfaz gráfica de usuario es tanto funcional como optimizada estéticamente, utilizando una paleta de colores que refleja la temática agrícola de la aplicación. Se han seleccionado tonos verdes y naturales que evocan la naturaleza y el campo, en consonancia con el propósito de simular la viabilidad de cultivos.

Los colores empleados no solo confieren a la interfaz un atractivo visual, sino que también facilitan la interpretación de la información, destacando los resultados y datos relevantes de las simulaciones. Asimismo, el diseño gráfico mantiene un equilibrio entre simplicidad y profesionalismo, garantizando que el usuario pueda navegar de manera intuitiva y localizar la información necesaria sin dificultad.

Resultados

El resultado final de este desarrollo consiste en una herramienta intuitiva, funcional y visualmente atractiva que habilita a los usuarios para simular y evaluar el rendimiento de diversos cultivos en diferentes condiciones. La integración del diseño gráfico con la funcionalidad del simulador asegura que los usuarios no solo perciban la aplicación como fácil de utilizar, sino también la consideren instrumental para optimizar la planificación agrícola y para la toma de decisiones informadas que potencien la productividad del terreno.

Figura 14.*Vista Pantalla inicio*

En esta es la pantalla inicial del simulador SEAPGRO, donde se pueden ingresar los parámetros necesarios para evaluar la viabilidad de los cultivos limón, maíz y aguacate en función de las condiciones específicas del terreno.

1. En la parte superior izquierda, encontrarás una breve descripción que explica el objetivo principal de SEAPGRO. Este simulador ha sido diseñado para ayudarte a interpretar datos importantes sobre el suelo y el clima, facilitando la toma de decisiones informadas sobre qué cultivos son viables en tu terreno.
2. **Ingreso de Parámetros:**

- **Temperatura:** Aquí puedes ingresar la temperatura de tu área de cultivo.
- **pH del Suelo:** Este campo te permite ingresar el pH, que mide la acidez o alcalinidad del suelo.
- **Tipo de Suelo:** Con el menú desplegable, selecciona el tipo de suelo predominante en tu área, como franco, arenoso o arcilloso.
- **Área de Cultivo:** Aquí puedes especificar el tamaño de tu terreno en hectáreas.
Cada campo tiene un ícono de interrogación que puedes pulsar para obtener una breve explicación.

3. **Botón de Fuzificación:**

Una vez que hayas ingresado todos los datos, simplemente haz clic en el botón Fuzificación. Al presionarlo, SEAPGRO usará la lógica difusa para procesar los datos ingresados, evaluando las condiciones de tu terreno y generando un análisis preliminar sobre la viabilidad de diferentes cultivos. Este paso es el corazón de SEAPGRO, donde todos los datos se transforman en una evaluación clara y útil.

Figura 15.

Vista Pantalla con ejecución



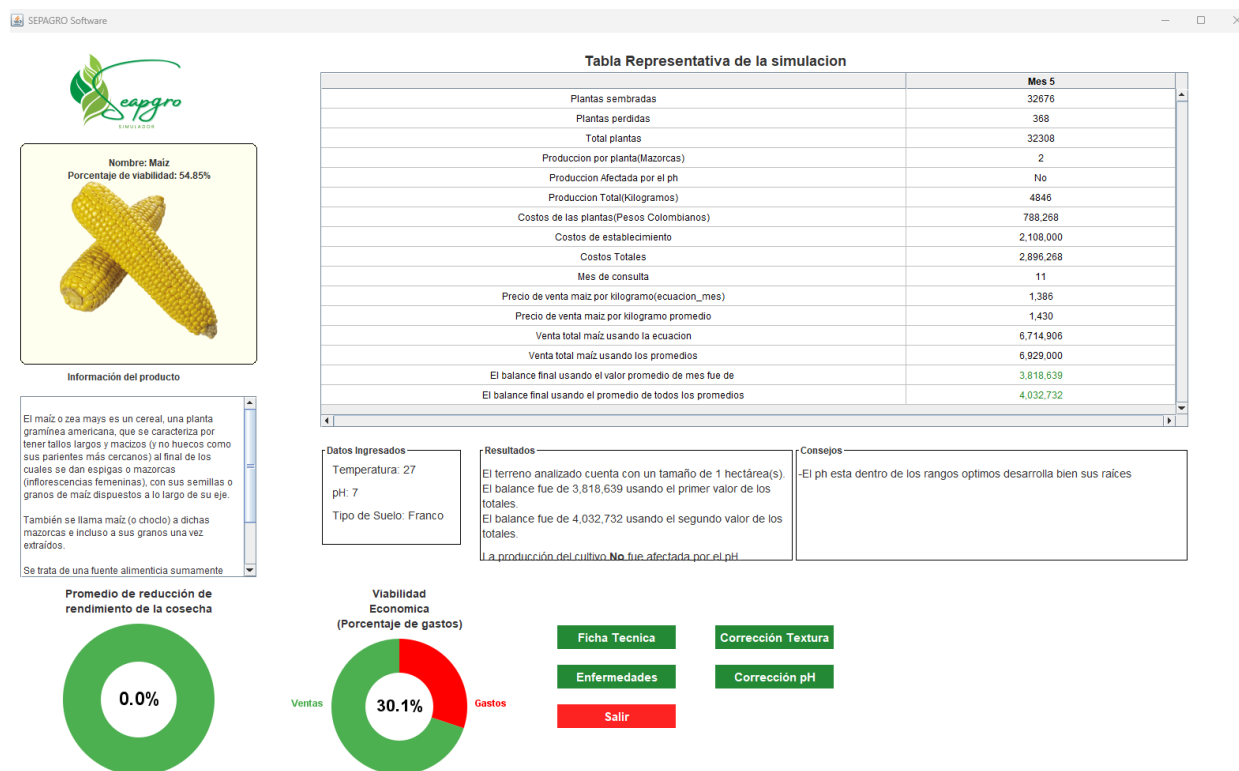
4. Resultados de Simulación:

En el lado derecho de la pantalla, verás una lista de cultivos con sus porcentajes de viabilidad basados en los datos ingresados.

Estos resultados iniciales te permiten evaluar rápidamente qué cultivos podrían ser más viables y cuáles probablemente no serían rentables en tu terreno. Cada cultivo tiene un botón de “Simulación” que te permitirá explorar más detalles en las siguientes pantallas.

Figura 16.

Vista Pantalla simulación



Esta pantalla de SEAPGRO se presenta después de presionar el botón "Simulación" en la pantalla anterior. Aquí se muestran resultados detallados de la viabilidad económica y técnica del cultivo seleccionado, en este caso, el maíz.

Componentes:

1. Información del Cultivo Seleccionado:

- **Imagen y Nombre del Cultivo:** En la parte superior izquierda se muestra la imagen del maíz, junto con su nombre y el porcentaje de viabilidad obtenido en la simulación (54.85% en este caso). Esto indica que el maíz tiene una compatibilidad moderada con las condiciones del terreno ingresadas.

- **Descripción del Producto:** Debajo de la imagen, se proporciona información relevante sobre el maíz.

2. **Tabla Representativa de la Simulación:**

En el centro de la pantalla, se presenta una tabla con datos detallados sobre la producción y los costos a lo largo de la vida del cultivo. Los datos incluyen:

- **Plantas Sembradas y Perdidas:** La cantidad total de plantas que sobrevivieron y las que se perdieron.
- **Producción Total:** Muestra la cantidad de producción en kilogramos y mazorcas.
- **Costos de Producción:** Se detallan los costos específicos, como el establecimiento y los gastos totales en pesos colombianos.
- **Precio de Venta:** Estimación del precio de venta del maíz por kilogramo, calculado mediante diferentes ecuaciones para proyecciones más realistas.
- **Balance Final:** Este dato resume los ingresos menos los gastos, indicando si la producción del maíz es económicamente viable o no.
- Esta tabla permite a los agricultores comprender de forma precisa cómo variará la rentabilidad del cultivo en función de los factores ingresados y los precios estimados.

3. **Gráficos de Viabilidad:**

- **Promedio de Reducción de Rendimiento de la Cosecha:** Un gráfico circular que nos muestra el promedio de reducción evidenciado en el cultivo.

- **Viabilidad Económica:** Un gráfico circular que muestra la proporción de gastos (30.1%) frente a las ventas, permitiendo una visión clara de la rentabilidad del cultivo.

4. **Detalles de la Simulación:**

- **Datos Ingresados:** Esta sección muestra los parámetros iniciales para referencia rápida.
- **Resultados:** Aquí se muestra un análisis del terreno, incluyendo detalles como el tamaño del área y el balance total usando distintos valores de promedios.
- **Consejos:** aquí se dan recomendaciones basadas en los resultados, como la indicación de que el pH está dentro de los rangos óptimos, lo cual es favorable para el desarrollo de las raíces del maíz.

5. **Más Información:**

En la parte inferior derecha, hay botones que permiten al usuario acceder a información relevante:

- **Ficha Técnica:** Proporciona información técnica específica sobre el cultivo.
- **Corrección de Textura y pH:** Proporciona información de técnicas para la corrección de textura y pH.
- **Enfermedades:** Proporciona información sobre posibles enfermedades que pueden afectar al cultivo seleccionado.

6. **Salir:** Permite cerrar o regresar a la pantalla anterior.

5 Conclusiones

El desarrollo de esta aplicación, utilizando la metodología de lógica difusa, ha demostrado ser una herramienta eficaz para guiar la toma de decisiones en el ámbito agrícola, específicamente en la evaluación de la viabilidad de cultivos como el maíz, el limón y el aguacate. Al simular la viabilidad en función de parámetros críticos como la temperatura, el pH del suelo, el tipo de suelo y el área disponible, la aplicación proporciona resultados más flexibles y ajustados a las condiciones reales del terreno, algo que resulta difícil de lograr con metodologías rígidas y deterministas.

La lógica difusa ha permitido gestionar la incertidumbre inherente a la agricultura, en la que variables como la temperatura y el pH no son absolutas, sino que presentan rangos de variación que afectan los resultados de manera no lineal. El uso de reglas difusas, en lugar de categorizaciones estrictas, ha permitido que los resultados ofrecidos por la aplicación reflejen de manera más precisa las condiciones cambiantes del entorno, facilitando así una planificación más exacta y estrategias de manejo de cultivos más eficientes.

El simulador no solo presenta resultados claros y accesibles para los usuarios, sino que también ofrece recomendaciones prácticas para la corrección de problemas en el terreno, tales como el ajuste del pH o la textura del suelo, lo cual puede optimizar el rendimiento del cultivo. Asimismo, el balance económico proyectado en función de diversos escenarios de precios ya sea a partir de ecuaciones de tendencia o promedios históricos, brinda a los agricultores una perspectiva clara de los posibles rendimientos y de los riesgos financieros asociados.

En conclusión, la aplicación constituye una herramienta innovadora y valiosa para los actores del sector agrícola, proporcionando simulaciones rápidas y precisas que respaldan tanto la toma de decisiones estratégicas como la maximización de la productividad y rentabilidad de los

cultivos. La incorporación de la metodología de lógica difusa ha sido clave para alcanzar esta flexibilidad y precisión en las simulaciones, configurándola como una solución robusta para enfrentar la variabilidad e incertidumbre del entorno agrícola.

6 Recomendaciones

Se sugiere continuar el desarrollo del software, considerando su potencial para empoderar a los usuarios en múltiples áreas. Además del sector agrícola, el software puede ser una herramienta valiosa en contextos educativos, beneficiando a estudiantes, técnicos y agricultores. Su versatilidad para atender a diferentes tipos de usuarios asegura un impacto positivo en ambos ámbitos, contribuyendo a la modernización tanto del sector agrícola como del educativo.

A partir de la implementación y los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar y ampliar el alcance del *software* desarrollado.

En primer lugar, se sugiere la creación de una interfaz que permita la adición de nuevos cultivos, lo que aumentaría la flexibilidad del sistema. Esta interfaz funcionalidad permitiría a los usuarios incluir cultivos adicionales mediante la caracterización de parámetros clave, siguiendo el formato de los cultivos implementados. Esta capacidad facilitaría la expansión de la aplicación, abarcando una mayor variedad de opciones agrícolas y adaptándose a las necesidades cambiantes del sector. El principal desafío asociado a esta recomendación es el desarrollo de un modelo general que permita sistematizar los ciclos productivos de los cultivos, haciendo el proceso más eficiente y aplicable a diferentes contextos agrícolas.

A su vez, es fundamental mantener actualizados los parámetros de los cultivos, tales como los precios y las condiciones climáticas, debido a que estos pueden variar con el tiempo. La capacidad de modificar y actualizar estos datos garantiza que la aplicación se mantenga relevante y útil en escenarios dinámicos del mercado agrícola, lo que asegura su efectividad y precisión en la toma de decisiones a largo plazo.

En el grupo SIMON se podrá encontrar recomendaciones con información para orientar futuras implementaciones, facilitando la evolucionando en función de necesidades.

Bibliografías

- Agronegocios.co. (s.f.a). *Detalles del Precio de Aguacate Hass en Colombia*.
<https://agronegocios.co>
- Agronegocios.co. (s.f.b). *Limón Tahití. Detalles del precio*. <https://www.agronegocios.co>
- Agrónomos. (2024). *¿Qué es la conductividad eléctrica?* <https://agronomos.org/que-es-la-conductividad-electrica/>
- Agrosavia. (s.f.). *Manual técnico de la lima ácida Tahití*.
<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/67/50/724-1?inline=1>
- Andrade, H., Dyner, I., Espinosa, Á., López, H., & Sotaquirá, R. (2007). *Pensamiento sistémico: diversidad en búsqueda de unidad*. Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- Andrades, M., & Martínez, M. (2022). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (4 ed.). Universidad de La Rioja.
- Arcentales, D. (2019). *Variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la región costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático [Tesis de pregrado]*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Arthur, M. (s.f.). *Cultivo eficiente de cítricos*.
- Bernal, J., & Díaz, C. (. (2019). *Requerimientos nutricionales y fertilización del aguacate*. Editorial Agrosavia.
<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/162/142/1115-1>
- Campos, D., & Semino, J. (2013). *Propiedades físicas de los suelos*. SlideShare:
<https://www.slideshare.net/slideshow/propiedades-fsica-de-los-suelos/23825151>

- Campos, E., & Calderón, M. (2015). *Asfixia radicular en el cultivo de aguacate*. Editorial Científica.
- Cepeda, J. (2011). *Modelado de sistemas difusos de múltiples entradas y salidas [Tesis de licenciatura]*. Universidad de Guanajuato.
- Concepto.de. (2021). *Suelo*. Concepto.de: <https://concepto.de/suelo/>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. (2021). *Plan de participación ciudadana*. AGROSAVIA: <https://www.agrosavia.co/media/vibf3yvvr/seguimiento-junio-ppc.pdf>
- Correa, L. (2013). *Modelo de simulación bajo sistemas de producción y mercadeo para el cultivo de mango en Anolaima y Girardot [Tesis de pregrado]*. Universidad Piloto de Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2015). *Boletín semanal*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE].
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (s.f.). *Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario [Sipsa]*. <https://www.dane.gov.co>
- FAO. (1993). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO.
- FAO. (1993). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO.
- Finagro. (2023). *Costos de establecimiento del cultivo de aguacate*. <https://www.finagro.com.co>
- Finagro. (s.f.). *Lima ácida Tahití: costos de producción*. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/limon_tahiti_0.pdf
- Gálvez, G., Sigarroa, A., López, T., & Fernández, J. (2010). Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 60-65. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217921012.pdf>
- García, F., & García, A. (2018). *Ingeniería de software I*. Universidad de Salamanca.

- Gobernación del Huila. (2023). *Precio de Plántula de Aguacate Hass*.
<https://www.huila.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=59572>
- González, S. (s.f.). *Cultivo de Limón*.
- Hernández, N., Soto, C., & Caballero, C. (2009). Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 73-82.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217899013.pdf>
- Hogarmania. (2023). *Cómo mejorar un suelo arcilloso*. Hogarmania:
<https://www.hogarmania.com/jardineria/tecnicas/suelos-abonos/como-mejorar-suelo-arcilloso-30977.html>
- Hurtado, P., Morbidelli, M., Herrero, J., & Cruz, J. (2021). *¿Qué expresan los resultados de un análisis de suelo?* INTA Ediciones.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1992). *Fertilización de diversos cultivos. Quinta aproximación*. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). *Guía técnica para el cultivo de maíz en Colombia*. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA]. (2020). *Guía técnica para el cultivo de maíz en Colombia*. ICA.
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI]. (2018). *Disponibilidad de nutrientes y el pH del suelo*. SlideShare: <https://www.slideshare.net/slideshow/113-disponibilidad-de-nutrientos-y-el-p-h-del-suelo/238210906>
- INTAGRI S. C. (s.f.). *Clima y suelo para el cultivo de limón persa*.
<https://www.intagri.com/articulos/frutales/clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-limon-persa>

INTAGRI S.C. (2019). *Requerimientos de pH en el cultivo de maíz*. INTAGRI.
<https://www.intagri.com/maiz/ph>

INTAGRI, S. C. (2019). *Requerimientos de clima y suelo en el cultivo de aguacate*.
<https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-en-el-cultivo-de-aguacate>

Mejía, G. (2011). *Conceptos de fertilización en el cultivo de aguacate*. Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA].
https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6296/conceptos_fertilizacion_aguacate.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2006). *Plan frutícola nacional*. MADR.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2016). *Documento estratégico. Estrategia Colombia Siembra*. MADR.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Cifras sectoriales de cítrico*. MADR. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Nutricontrol. (2020). *La importancia de la temperatura para el cultivo en invernadero*. Nutricontrol: <https://nutricontrol.com/es/la-importancia-de-la-temperatura-para-el-cultivo-en-invernadero/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Manejo de suelos para el cultivo de maíz*. <http://www.fao.org/maiz-suelos>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2024). *Propiedades químicas*. FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

- Ortiz, G. (s.f.). *El análisis de suelo*. AGROSAVIA:
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/22409/21253_822.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pineda, J. (2024a). *Suelos arenosos: características, usos, propiedades y manejo*. Encolombia:
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arenosos/>
- Pineda, J. (2024b). *Suelos francos o suelos mixtos: qué son, características y tipos*. Encolombia:
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-francos/>
- Pineda, J. (2024c). *Suelos arcillosos: qué son, características y componentes*. Encolombia:
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arcillosos/>
- Smith, J., & Garcia, P. (2018). Impacto de la acidez del suelo en el crecimiento de maíz. *Revista de Ciencias Agrarias*, 45(2), 123-134.
- Superprof. (s.f.). *Qué significa campana de gauss en Matemáticas*. Superprof:
<https://www.superprof.es/diccionario/matematicas/probabilidades/campana-gauss.html>
- UNAD. (s.f.). *Estudio técnico y financiero de la producción de limón Tahití*.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38103/dbarreraga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vanegas, J. (2002). *Manejo de la fertilidad del suelo en cultivos de cítricos*. Editorial Agronómica.
- Verdecora. (s.f.). *Mulching: qué es y por qué practicarlo*. Verdecora:
<https://verdecora.es/blog/mulching>
- Wikipedia. (s.f.). *Riego por goteo*. Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Riego_por_goteo
- Yara International. (2021). *Principios agronómicos para el cultivo de maíz*.
<https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/maiz/principios-agronicos>