



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Ingeniería de Software y Sistemas
Informáticos

Desarrollo de un software para el análisis de imágenes cromatográficas del suelo

Trabajo fin de estudio presentado por:	José Alejandro Bustos González Sebastián Felipe Guerrero Silva
Tipo de trabajo:	Trabajo Fin de Máster
Director/a:	Laura García Borgoñon
Fecha:	10/07/2024

Resumen

En este trabajo se presenta la planificación, diseño, evaluación y despliegue de la aplicación web crosoil cuyo objetivo es realizar un análisis automatizado mediante el procesamiento de imágenes de cromatogramas obtenidos del proceso de cromatografía del suelo.

Este análisis es altamente utilizado en el sector agrícola para evaluar la salud del suelo y así buscar su recuperación o conservación. Por tal razón, es clave brindar soluciones como la automatización de este análisis, que busca eliminar la necesidad de depender de expertos en la materia y permitir que cualquier persona pueda obtener de manera sencilla un concepto de su suelo.

Las tecnologías utilizadas para el desarrollo fueron la plataforma low code Outsystems para la implementación del frontend y el framework Django de Python para el desarrollo del backend. Además, se implementaron librerías de procesamiento de imágenes como OpenCV, Pillow y Numpy.

Las metodologías utilizadas durante el desarrollo incluyeron Design Thinking, que se empleó para identificar las necesidades del usuario final, y Scrum, que se aplicó para la gestión ágil del proyecto. Finalmente, se evaluó el desarrollo, observando que la aplicación cumple con los requisitos establecidos.

Palabras clave: Cromatograma de suelo, Django, OutSystems, Design Thinking, Scrum.

Abstract

This paper presents the planning, design, evaluation, and deployment of the web application Crosoil, aimed at performing automated analysis through image processing of chromatograms obtained from the soil chromatography process. This analysis is widely used in the agricultural sector to assess soil health and thus seek its recovery or conservation. Therefore, it is crucial to provide solutions such as the automation of this analysis, which aims to eliminate the need to rely on experts in the field and allow any individual to easily obtain an assessment of their soil.

The technologies used for the development included the low-code platform Outsystems for the frontend implementation and the Django framework of Python for the backend development. Additionally, image processing libraries such as OpenCV, Pillow, and Numpy were implemented.

The methodologies used during the development included Design Thinking, which was employed to identify the needs of the end-user, and Scrum, which was applied for the agile management of the project. Finally, the development was evaluated, showing that the application meets the established requirements.

Keywords: soil chromatography, Django, OutSystems, Design Thinking, Scrum.

Índice de contenidos

1. Introducción	15
1.1. Justificación.....	16
1.2. Planteamiento del problema	18
1.3. Estructura del trabajo	19
1.3.1. Introducción.	19
1.3.2. Contexto y estado del arte.	19
1.3.3. Objetivos.....	19
1.3.4. Desarrollo de la contribución.	19
1.3.5. Conclusiones y trabajo futuro.	19
2. Contexto y estado del arte	20
2.1. Cromatografía	21
2.1.1. Cromatografía de columna.....	22
2.1.2. Cromatografía plana.....	23
2.2. Procesamiento digital de imágenes.....	25
2.3. Investigaciones realizadas	29
2.4. Conclusión estado del arte	32
3. Objetivos concretos y metodología de trabajo.....	34
3.1. Objetivo general.....	34
3.2. Objetivos específicos	34
3.3. Metodología del trabajo	35
3.3.1. Design thinking	35
3.3.2. Scrum	37
4. Desarrollo específico de la contribución	41
4.1. Tipo 1. Desarrollo práctico.....	41

4.1.1.	Identificación de requisitos	41
4.1.2.	Backlog de Historias de Usuario	57
4.1.3.	Descripción del sistema software desarrollado	64
4.1.4.	Evaluación.....	88
5.	Conclusiones y trabajo futuro	101
5.1.	Conclusiones	101
5.2.	Trabajo futuro	105
	Referencias bibliográficas.....	106
Anexo A.	Artículo	108

Índice de figuras

Figura 1 Ejemplo de fragmento de croma y regiones de análisis.(Restrepo & Pinheiro, 2021)	16
Figura 2 Representación gráfica de la cromatografía.(Araceli et al., 2010)	21
Figura 3 Cromatografía de columna.(Araceli et al., 2010)	22
Figura 4 Cromatografía plana.(Araceli et al., 2010)	23
Figura 5 Ilustración de cromatografía de papel.(Restrepo & Pinheiro, 2021)	24
Figura 6 Digitalización de imagen.(González & Woods, 2008)	26
Figura 7 Aplicación de filtro con procesamiento digital de señales.(González & Woods, 2008)	27
Figura 8 Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes.(Sánchez & Ángel Fernández-Díaz, 2003)	27
Figura 9 Segmentación de croma. (Restrepo & Pinheiro, 2021)	28
Figura 10 Fases de design thinking.(Tomado de https://kamein.com/2023/04/11/la-metodologia-design-thinking-y-la-innovacion/)	36
Figura 11 Metodología Scrum.(Rubin, 2013)	39
Figura 12 Mapa de Empatía. (Elaboración propia)	42
Figura 13 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 1. (Elaboración propia)	44
Figura 14 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 2. (Elaboración propia)	45
Figura 15 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 3. (Elaboración propia)	45
Figura 16 Mockup - Página de Ingreso. (Elaboración propia)	46
Figura 17 Mockup - Página de Registro. (Elaboración propia)	46
Figura 18 Mockup - Menú Principal. (Elaboración propia)	47
Figura 19 Mockup - Instructivos de uso de aplicación y toma de muestras. (Elaboración propia)	48
Figura 20 Mockup - Opciones de carga de imagen. (Elaboración propia)	48

Figura 21 Mockup - Carga de Croma. (Elaboración propia).	49
Figura 22 Mockup - Evaluación de Croma. (Elaboración propia).	49
Figura 23 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Registro. (Elaboración propia).....	50
Figura 24 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de sesión. (Elaboración propia).....	51
Figura 25 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Instructivos. (Elaboración propia)	52
Figura 26 Mapa de Historias de Usuario - Procesamiento de Imagen. (Elaboración propia) ..	53
Figura 27 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Históricos. (Elaboración propia).....	54
Figura 28 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 1. (Elaboración propia)	55
Figura 29 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 2. (Elaboración propia)	56
Figura 30 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 3. (Elaboración propia)	56
Figura 31 Diagrama de componentes. (Elaboración propia).....	64
Figura 32 Diagrama de secuencia. (Elaboración propia)	66
Figura 33 Tipo de aplicación. (Elaboración propia)	68
Figura 34 Pantalla Login.....	68
Figura 35 Módulo de Registro	69
Figura 36 Pantallas de manuales. (Elaboración propia.)	69
Figura 37 Pantalla Croma. (Elaboración propia).....	70
Figura 38 Acción de cliente. (Elaboración propia).....	70
Figura 39 Pantalla evaluación. (Elaboración propia)	71
Figura 40 Modulo Rest (Elaboración propia).....	71
Figura 41 Diagrama de flujo procesamiento de imagen. (Elaboración propia)	73
Figura 42 implementación token. (Elaboración propia).....	74
Figura 43 Acondicionamiento de imagen. (Elaboración propia).....	75

Figura 44 Detección de bordes. (Elaboración propia)	75
Figura 45 Información de contornos. (Elaboración propia)	76
Figura 46 Imagen con contornos. (Elaboración propia).....	77
Figura 47 Análisis de contornos. (Elaboración propia).....	78
Figura 48 Recorte imagen circular. (Elaboración propia)	79
Figura 49 Imagen circular. (Elaboración propia)	79
Figura 50 Zonas del croma. (CROMATOGRAFÍA Imágenes de Vida y Destrucción del Suelo, 2021.).....	80
Figura 51 Segmentación por zonas. (Elaboración propia).....	81
Figura 52 Segmentación por zonas. (Elaboración propia).....	81
Figura 53 Contornos zona externa (Elaboración propia.....	82
Figura 54 Obtención de promedio de colores por zona. (Elaboración propia).....	83
Figura 55 Datos de colores por zonas. (Elaboración propia).....	83
Figura 56 Modelo de respuesta. (Elaboración propia).....	85
Figura 57 Despliegue render. (Elaboración propia).....	86
Figura 58 Documentación swagger.	87
Figura 59 Formulario para registro de usuarios en el aplicativo.....	88
Figura 60 Formulario para ingreso de usuarios en el aplicativo	89
Figura 61 Manual de Aplicación	91
Figura 62 Manual de toma de muestras en Campo	91
Figura 63 Menú Principal del Aplicativo	91
Figura 64 Visualización de opción para cargar imagen a evaluar	92
Figura 65 Imagen cargada y lista para ser revisada por el aplicativo.....	93
Figura 66 Envío de Croma para Evaluación	94
Figura 67 Resultado de Análisis por cada región.....	94

Figura 68 Evaluación Zona Central	95
Figura 69 Evaluación Zona Interna	95
Figura 70 Evaluación Zona Intermedia	96
Figura 71 Evaluación Zona Externa.....	96
Figura 72 Acceso a internet por cada 100 habitantes en Colombia.(Mauricio et al., 2023)..	103
Figura 73 Tiempo de análisis del croma (Elaboración propia)	104

Índice de tablas

Tabla 1. Organización del trabajo en grupo.	13
Tabla 2 Historia de Usuario 1	57
Tabla 3 Historia de Usuario 2	57
Tabla 4 Historia de Usuario 3	58
Tabla 5 Historia de Usuario 4	58
Tabla 6 Historia de Usuario 5	59
Tabla 7 Historia de Usuario 6	59
Tabla 8 Historia de Usuario 7	60
Tabla 9 Historia de Usuario 8	60
Tabla 10 Historia de Usuario 9	60
Tabla 11 Historia de Usuario 10	61
Tabla 12 Historia de Usuario 11	61
Tabla 13 Historia de Usuario 12	62
Tabla 14 Historia de Usuario 13	62
Tabla 15 Historia de Usuario 14	62
Tabla 16 Historia de Usuario 15	63
Tabla 17 Caso de prueba funcional de software 001. (Elaboración propia).	88
Tabla 18 Caso de prueba funcional de software 002. (Elaboración propia).	89
Tabla 19 Caso de prueba funcional de software 003. (Elaboración propia).	90
Tabla 20 Caso de prueba funcional de software 004. (Elaboración propia).	92
Tabla 21 Evaluación Cromas 1 y 2	98
Tabla 22 Evaluación Croma 3	99
Tabla 23 Evaluación Croma 4	100
Tabla 24 Salarios promedio de Ingeniero Agrónomo (Elaboración propia).....	104

Tabla 25 Costo de análisis de Croma (Elaboración propia)	105
--	-----

Organización del trabajo en grupo

El siguiente trabajo ha sido elaborado por los ingenieros Sebastián Guerrero y Alejandro Bustos. A continuación, se detalla la distribución de actividades individuales, así como las secciones trabajadas en conjunto. Además, se describen los canales de comunicación y los métodos empleados para la realización del proyecto en equipo.

Partes que aborda el TFE

1. Elaborar una interfaz de usuario (Front-End) que sea accesible públicamente y permita cargar el croma a evaluar, mostrando el resultado de la evaluación realizada por el aplicativo, según lo especificado en los requisitos de la solución a implementar.
2. Desarrollar un Back-End que exponga una API pública, cumpliendo con criterios de seguridad y soporte a la lógica requerida en la fase de análisis cromatográfico de muestras de suelo.
3. Realizar la integración entre el Front-End y el Back-End, garantizando que el aplicativo sea accesible públicamente a través de Internet.
4. Ejecutar la evaluación de la funcionalidad descrita en los casos de uso, a partir del desarrollo de un set de pruebas que exponga en detalle el uso del aplicativo publicado.
5. Llevar a cabo un análisis de resultados verificando la funcionalidad del aplicativo desarrollado y el cumplimiento de los objetivos propuestos en el inicio del documento.

Distribución y estructura de la memoria

Organización del trabajo en grupo - Desarrollo de la memoria	
Apartado de la memoria	Responsables
Introducción	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Contexto y estado del arte	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Objetivos y metodología de trabajo	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Elaborar una interfaz de usuario (Front-End) que sea accesible públicamente y permita cargar el cromatograma a evaluar, mostrando el resultado de la evaluación realizada por el aplicativo, según lo especificado en los requisitos de la solución a implementar.	Alejandro Bustos
Desarrollar un Back-End que exponga una API pública, cumpliendo con criterios de seguridad y soporte a la lógica requerida en la fase de análisis cromatográfico de muestras de suelo.	Sebastián Guerrero
Realizar la integración entre el Front-End y el Back-End, garantizando que el aplicativo sea accesible públicamente a través de Internet.	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Ejecutar la evaluación de la funcionalidad descrita en los casos de uso, a partir del desarrollo de un set de pruebas que exponga en detalle el uso del aplicativo publicado.	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Llevar a cabo un análisis de resultados verificando la funcionalidad del aplicativo desarrollado y el cumplimiento de los objetivos propuestos en el inicio del documento.	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Conclusiones	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero

Tabla 1. Organización del trabajo en grupo.

Objetivo del TFE desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos

En este proyecto se propone desarrollar una aplicación siguiendo los principios de metodologías de resolución de problemas como Design Thinking y metodologías de gestión de proyectos como SCRUM. Además, se contempla utilizar Python para el desarrollo del Backend y plataformas NoCode como OutSystems para la creación del FrontEnd y su posterior exposición pública en Internet.

Mecanismos de coordinación empleados

Se ha mantenido una comunicación constante a través del canal de WhatsApp y el chat de Teams, donde se ha establecido un repositorio documental y se colabora de manera conjunta en el documento del proyecto de Fin de Máster. Además, las sesiones coordinadas en equipo se han llevado a cabo utilizando la cuenta de Teams proporcionada por UNIR.

1. Introducción

La salud del suelo es un pilar fundamental para la preservación de los ecosistemas terrestres. En respuesta a esta necesidad, se han desarrollado diversas técnicas para evaluar el estado y equilibrio de los componentes del suelo, entre las cuales la cromatografía de Pfiffer destaca como una de las más efectivas para obtener resultados que orienten las mejoras necesarias en el terreno (Restrepo & Pinheiro, 2021). Tradicionalmente, este análisis ha sido llevado a cabo de manera visual por profesionales especializados en la interpretación de los cromatogramas, quienes basan sus diagnósticos y recomendaciones en su experiencia y conocimiento.

Este trabajo se centra en el desarrollo de una aplicación de software que permita analizar cromatogramas de muestras de suelo de manera automatizada, eliminando la necesidad de contar con la presencia de un experto en la materia. Con ello, se busca proporcionar a cualquier usuario la capacidad de evaluar el estado del terreno de manera sencilla y comprensible, incluso para aquellos que no posean experiencia especializada en el tema.

La relevancia de esta aplicación radica en su potencial para ser expuesta de forma pública otorgando agilidad en el análisis del suelo, facilitando una respuesta rápida y eficaz en la recuperación de estos y contribuyendo así a la restauración de diversos ecosistemas terrestres. Además, permite a los usuarios tomar medidas de mejora de forma temprana, incluso sin la asesoría presencial de profesionales especializados en la evaluación del suelo.

El documento detalla el desarrollo del software, incluyendo su arquitectura y componentes de despliegue, así como los resultados de las pruebas realizadas que demuestran su eficacia en el análisis de los cromatogramas. Finalmente, se proporciona información sobre cómo los usuarios pueden acceder a esta solución digital, incluyendo un manual de usuario y un sitio de acceso público para su utilización.

1.1. Justificación

Un factor crucial que contribuye al uso inadecuado de productos para el cuidado del suelo es la falta de conocimiento sobre el estado real del terreno, que es fundamental para obtener resultados positivos en las actividades agrícolas. Es evidente que para realizar un análisis adecuado se requiere de los servicios de un profesional especializado en la evaluación de suelos, sin cuya presencia este proceso no puede llevarse a cabo correctamente.

La cromatografía es un método físico ejecutado para la separación de los componentes de una muestra con el fin de obtener la caracterización detallada de mezclas complejas. En el estudio de suelos se ha estandarizado la técnica de Cromatografía plana, que permite observar de una forma práctica la composición del terreno evaluado, mediante reconocimiento de patrones geométricos y la apreciación de colores en las diferentes zonas derivadas de la muestra.

Actualmente, el análisis de las muestras cromatográficas es ejecutado de manera visual por profesionales especializados en el estudio de suelos, lo que induce a que el estudio adecuado de un suelo sea limitado por la presencia de un profesional con estos conocimientos. En la figura 1, se observa un fragmento de croma de una muestra de suelo, el cual debe ser evaluado en diferentes zonas que se diferencian por su proximidad al centro de la muestra, su formación geométrica y sus colores.

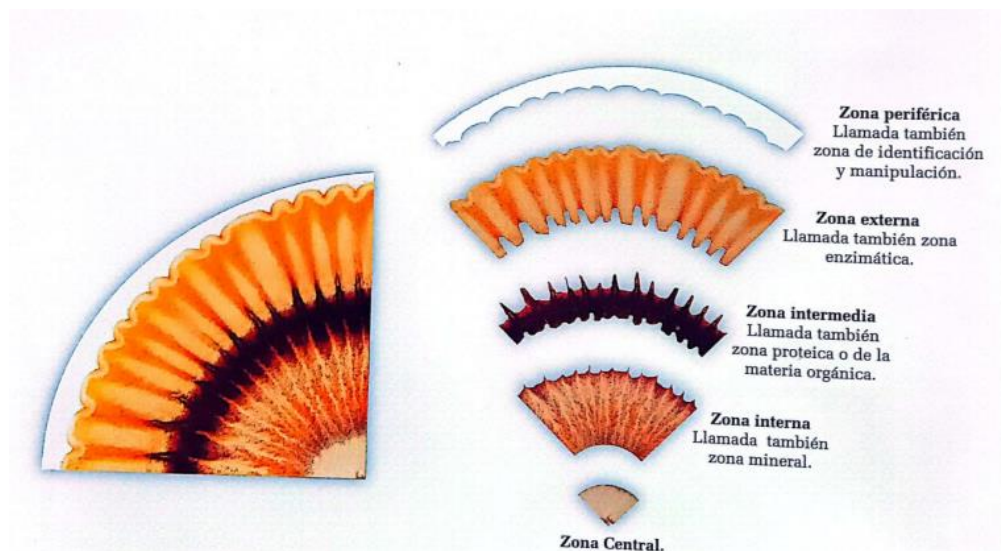


Figura 1 Ejemplo de fragmento de croma y regiones de análisis.(Restrepo & Pinheiro, 2021)

Fuente: CROMATOGRFÍA Imágenes de Vida y Destrucción del Suelo, 2021.

Dado que, la correcta estructura del suelo influye en diversos factores, entre los cuales se destacan la producción saludable de alimentos, la sostenibilidad ambiental, la conservación de la biodiversidad, la mitigación de la erosión, el control del cambio climático y la viabilidad de prácticas agrícolas sostenibles resulta de vital importancia garantizar el cuidado del suelo como contribución esencial al adecuado funcionamiento de los aspectos mencionados anteriormente. Con el propósito de contribuir en el uso adecuado y sostenibilidad del suelo, el análisis cromatográfico surge como una herramienta eficaz en la evaluación de este, facilitando actividades que permitan tomar acciones de control, evolución y/o corrección en el suelo de acuerdo con su necesidad.

A partir del nivel de relevancia que tiene la salud del suelo en los diferentes ecosistemas, se hace evidente que se debe ampliar la cobertura de la aplicación de esta técnica la cual en este momento es limitada por un porcentaje de profesionales especializados, por lo tanto, se hace necesario la incorporación de una herramienta innovadora que facilite a la población la ejecución de análisis de suelos en cualquier lugar aún con la ausencia de un especialista en la lectura de estos cromas.

1.2. Planteamiento del problema

La evaluación del suelo cuenta con el análisis de muestras cromatográficas como una de sus principales técnicas, llevado a cabo por especialistas en el estudio de suelos. Esta labor requiere la intervención de un experto en el campo para proporcionar el análisis de la muestra procesada. Por tanto, este trabajo plantea la creación y difusión de una herramienta que permita a la población realizar un primer análisis del estado del suelo a evaluar. Esto facilitaría la toma rápida de decisiones sobre el cuidado de la zona en estudio.

El objetivo del trabajo es construir un aplicativo web que permita al usuario evaluar el croma resultante de una muestra del suelo que se desea revisar. Este aplicativo proporcionará un primer análisis sobre la salud del suelo a partir de las características evidenciadas en el croma, permitiendo así al usuario tomar acciones tempranas para mejorar el estado del terreno en caso de ser necesario.

En este contexto, se plantea el desarrollo de un software con la capacidad de realizar el análisis cromatográfico de muestras de suelo mediante el procesamiento de imágenes. Este software se fundamentará en estudios y resultados previamente documentados por profesionales en el campo de la práctica de suelos, con el fin de ofrecer una evaluación aproximada preliminar del estado de salud del suelo. Además, en desarrollos posteriores se aspira a que el software permita almacenar un historial personalizado de los estudios realizados por un usuario, incluyendo la geolocalización de los suelos analizados.

Para llevar a cabo el desarrollo del aplicativo propuesto, se implementará una solución expuesta públicamente en internet, en la cual la interfaz de usuario será construida con la herramienta OutSystems. Esta plataforma no-code permitirá la personalización y usabilidad adaptadas a las necesidades del usuario final. El procesamiento de la imagen que contiene el croma a evaluar se realizará utilizando el lenguaje de programación Python con la implementación del framework Django, aprovechando sus bibliotecas y avances en análisis de imágenes. Esto permitirá identificar colores y formas propias del análisis cromatográfico necesario, para luego emitir un concepto sobre la salud del terreno del cual proviene el croma revisado por el aplicativo.

1.3. Estructura del trabajo

El presente documento presenta la siguiente estructura de trabajo:

1.3.1. Introducción.

La introducción contiene la información clave para identificar el problema que se está abordando. Se ofrece una breve descripción de la solución propuesta y de qué manera esta contribuye a resolver el problema identificado. Además, en este apartado se establece de manera clara y concisa la justificación de por qué la solución es pertinente y se expone expresamente el planteamiento del problema.

1.3.2. Contexto y estado del arte.

En este apartado se proporciona todo el contexto teórico que aclara tanto la problemática a tratar como la solución propuesta. Se incluyen todos los conceptos necesarios para el desarrollo del documento. Adicionalmente, se presenta un estado del arte en el que se enumeran los diferentes proyectos, aplicaciones, investigaciones o artículos relevantes para el desarrollo. Finalmente, se ofrecen conclusiones respecto al estado del arte.

1.3.3. Objetivos.

En este apartado se plantean y describen en su totalidad los objetivos con los que se da solución a la problemática encontrada.

1.3.4. Desarrollo de la contribución.

Este apartado contiene, con el máximo nivel de detalle, la explicación de la solución que se desarrolló, partiendo desde la definición de los requisitos hasta la información de las tecnologías usadas, implementaciones realizadas e integraciones. De igual manera, se brindan las evaluaciones y pruebas realizadas al sistema desarrollado.

1.3.5. Conclusiones y trabajo futuro.

En las conclusiones se exponen los resultados obtenidos a partir de la implementación realizada. Se mencionan todos los resultados obtenidos, inconvenientes y líneas de trabajo futuras que se identificaron.

2. Contexto y estado del arte

La superficie terrestre desempeña un papel crucial en la producción y reserva de nutrientes que mantienen el equilibrio de los ecosistemas. Es esencial garantizar que el estado del suelo sea óptimo para el crecimiento de plantas y organismos, asegurando así la producción de alimentos adecuados para los seres vivos que dependen de él. Lamentablemente, el enfoque predominante en la salud de las plantas ha llevado al descuido del suelo, generando un desequilibrio en su composición que necesita ser abordado por las organizaciones dedicadas a la agricultura ecológica.

El descuido de la salud del suelo tiene consecuencias significativas, como la contaminación de fuentes hídricas, la alteración de microorganismos del suelo y la descompensación de elementos químicos necesarios para el desarrollo de la vida. El objetivo de restaurar el equilibrio del suelo es producir alimentos saludables y evitar impactos negativos en la salud humana. Un suelo saludable también contribuye a la purificación del agua, previene la erosión y promueve sistemas radicales fuertes que hacen a las plantas más resistentes a enfermedades. Además, fomenta la biodiversidad y ayuda en la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de dióxido de carbono.

Para los agricultores, es crucial conocer las condiciones del suelo y tener acceso a herramientas que les permitan identificar los insumos adecuados para mejorar sus cultivos. En Colombia, los análisis convencionales de suelos son comunes, pero pueden ser costosos y llevar mucho tiempo, centrándose en la cantidad de la cosecha en lugar de su calidad.

Este trabajo presenta una solución de software que permite evaluar imágenes de muestras de suelo, proporcionando un análisis aproximado del estado del suelo en comparación con estudios de referencia. Esta herramienta ofrece un análisis instantáneo que agiliza la respuesta a las necesidades de cuidado de la superficie terrestre, brindando así una contribución significativa a la conservación y el manejo sostenible del suelo.

2.1. CROMATOGRAFÍA

La cromatografía se define como un método físico que permite la separación con el objetivo de caracterizar, determinar e identificar los componentes químicos de mezclas complejas. Esta técnica es utilizada en todas las ramas de la ciencia. A pesar de que existen diferentes técnicas y aplicaciones para la cromatografía, todas se basan fundamentalmente en dos fases: la fase móvil y la fase estacionaria.

La fase móvil, como su nombre indica, es la encargada de transportar los componentes de la mezcla a través de la fase estacionaria. El objetivo de esta fase es que los diferentes componentes se separen a medida que avanzan hacia la fase estacionaria. La fase estacionaria es el medio donde se realiza la separación final de los componentes. Dependiendo de la técnica empleada, la mezcla, y el entorno, los componentes pueden interactuar con la fase estacionaria de manera más o menos fuerte, lo que determina si los componentes de la mezcla se moverán más rápido o más lento al llegar a esta fase estacionaria.

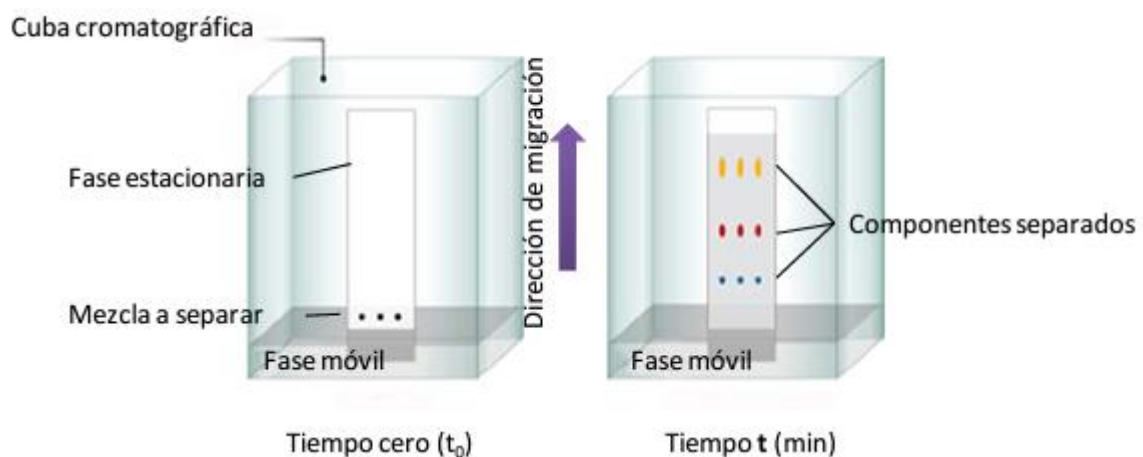


Figura 2 Representación gráfica de la cromatografía.(Araceli et al., 2010)

Como se puede observar en la Figura 2, la cromatografía se fundamenta en la transición entre la fase móvil y la fase estacionaria. Esta transición permite la separación de los componentes de la mezcla a lo largo del tiempo.

Aunque la cromatografía se fundamenta generalmente en estas dos fases, existen diferentes técnicas cromatográficas que se detallarán a continuación.

A pesar de que existe múltiples técnicas de llevar a cabo la práctica de la cromatografía estas se pueden dividir en dos categorías principales, la cromatografía de columna y la cromatografía plana.

2.1.1. Cromatografía de columna.

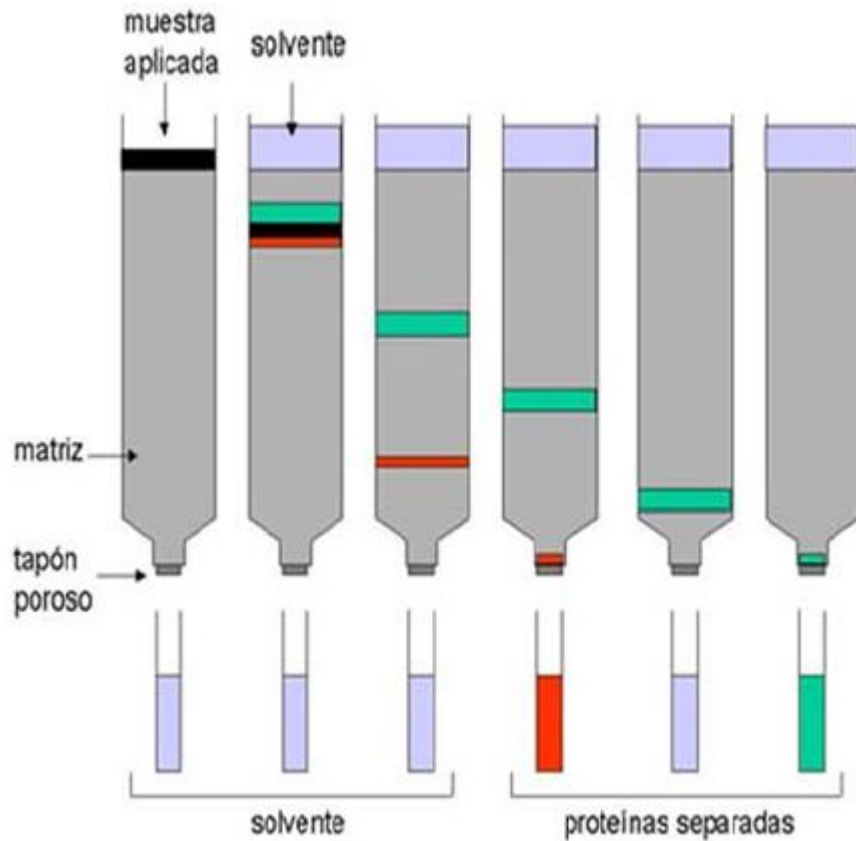


Figura 3 Cromatografía de columna.(Araceli et al., 2010)

La cromatografía de columna, como su nombre indica, se basa en la separación de mezclas utilizando una fase móvil y una fase estacionaria a través de una columna, como se ilustra en la figura 3.

En este proceso, la muestra se coloca en la columna y se aplica un solvente que facilita la transición de la fase móvil a la fase estacionaria. Al final del proceso, se obtienen los componentes separados individualmente. Este método se utiliza ampliamente con líquidos, gases o fluidos supercríticos.

2.1.2. Cromatografía plana

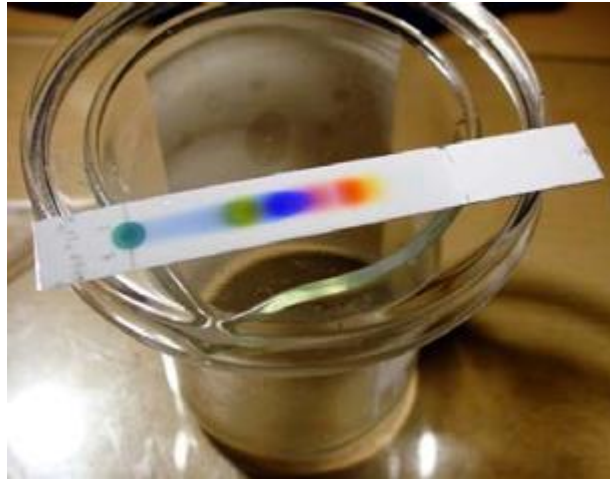


Figura 4 Cromatografía plana.(Araceli et al., 2010)

La cromatografía plana se fundamenta en tener la fase estacionaria dispuesta sobre una superficie plana, como el papel o una placa recubierta de un material especial. La muestra para analizar se coloca en esta superficie plana y se desplaza mediante capilaridad o aplicación directa de la fase móvil. A medida que la fase móvil se mueve a través de la fase estacionaria, los diferentes componentes de la muestra se separan y se visualizan como evidencia en la superficie plana. Los dos tipos más comunes de cromatografía plana son la cromatografía en capa fina y la cromatografía en papel.

Esta técnica se utiliza ampliamente en análisis cualitativos, monitoreo de reacciones químicas y preparación de muestras para análisis posteriores.

Como bien se ha mencionado al inicio del apartado esta técnica de cromatografía plana específicamente la cromatografía de papel es de especial interés ya que este es el método que se usa en el análisis de suelos por medio de la cromatografía.

2.1.2.1. CROMATOGRAFÍA DE PAPEL

La cromatografía en papel es una técnica de cromatografía plana donde se utiliza papel de filtro para aplicar una pequeña cantidad de la muestra de interés. A través de capilaridad y con la ayuda del solvente adecuado, este se desplaza por el papel, separando los diferentes componentes de la muestra a medida que avanza y depositándolos en el papel de filtro. Posteriormente, se procede con la visualización e interpretación de los resultados obtenidos.

En la figura 5 se ilustra el proceso de cromatografía en papel aplicado al análisis de suelos. El resultado de esta práctica se conoce como croma, que consiste en el papel con los colores y formas geométricas resultantes, destinados a ser visualizados y analizados. Es importante destacar que cada figura, región y color proporciona una indicación general sobre la calidad y salud del suelo.

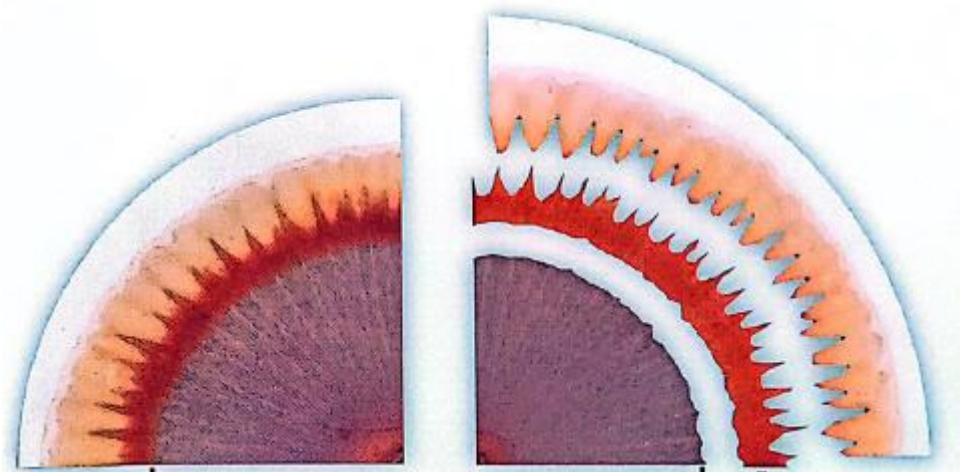


Figura 5 Ilustración de cromatografía de papel.(Restrepo & Pinheiro, 2021)

2.2.PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Para definir el procesamiento de imágenes, es importante precisar el concepto de imagen. En un marco óptico, una imagen hace referencia a una función bidimensional de la luz y la intensidad. Matemáticamente, se representa como $f(x, y)$, donde x e y son las coordenadas horizontal y vertical, respectivamente. El valor de la función en una coordenada dada corresponde a la intensidad de la imagen en ese punto.(González & Woods, 2008)

Una imagen consta de dos componentes fundamentales: un componente de iluminación y un componente de reflectividad. La imagen se define por la multiplicación de estos dos componentes de la siguiente manera:

$$i(x, y) \rightarrow \text{Definida como la iluminacion}$$

$$r(x, y) \rightarrow \text{Definida como la reflectividad}$$

y finalmente la imagen estaría dada por el producto de la iluminación y la reflectividad de la imagen de la siguiente manera:

$$f(x, y) = i(x, y) * r(x, y)$$

Ahora bien, teniendo en cuenta esta definición óptica de la imagen, se puede hacer un símil de cómo las imágenes son representadas digitalmente. En este contexto, los puntos físicos se discretizan tanto en sus coordenadas espaciales como en su brillo. A nivel digital, una imagen se considera una matriz en la cual cada elemento corresponde a un punto en la imagen que tiene un color específico. Este punto se conoce como píxel (picture element), como se puede observar en la figura 6 se evidencia la manera en la cual una imagen es digitalizada y se convierte en una matriz de pixeles que son los que finalmente componen la imagen digitalmente.

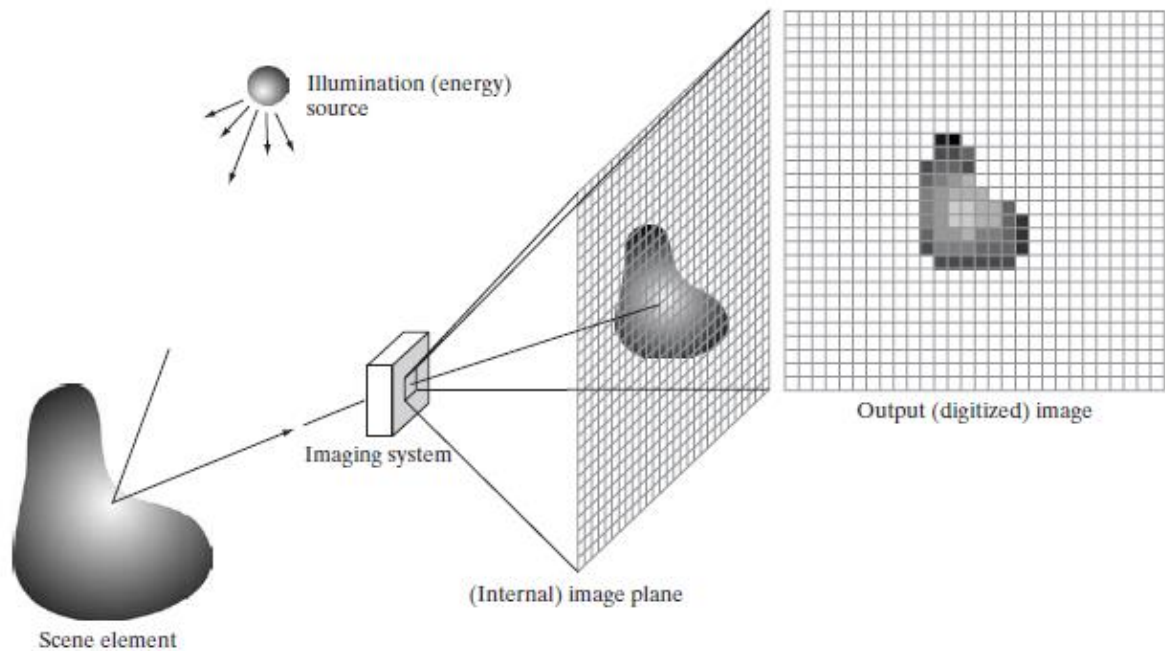


Figura 6 Digitalización de imagen.(González & Woods, 2008)

En conclusión, una imagen digital es una matriz de píxeles, donde cada píxel contiene información sobre la intensidad y el color, de manera que la matriz completa representa la imagen en su totalidad.

El procesamiento digital de imágenes, teniendo en cuenta lo que es una imagen a nivel óptico y físico, se enfoca en la manipulación y análisis de imágenes digitales mediante el uso y ejecución de algoritmos y técnicas matemáticas diseñadas para tal fin. El objetivo es extraer información relevante, realizar análisis cuantitativos de imágenes, mejorar la calidad de las imágenes, segmentarlas, y reconocer objetos, formas, colores, patrones, entre otros.(Sánchez & Ángel Fernández-Díaz, 2003)

Dado este amplio objetivo, el procesamiento de imágenes es transversal a diversos campos de aplicación. En este caso específico, es crucial para el análisis de los cromas de suelo, ya que permite brindar un análisis automático y autónomo de aspectos como forma, color y estructura del croma. Esto elimina la necesidad de depender exclusivamente de un experto en el tema para evaluar un croma de suelo.

Como se puede observar en la figura 7 se evidencia claramente de qué manera se puede aplicar el procesamiento de imágenes en este caso como filtro para evaluar la imagen que se está procesando.

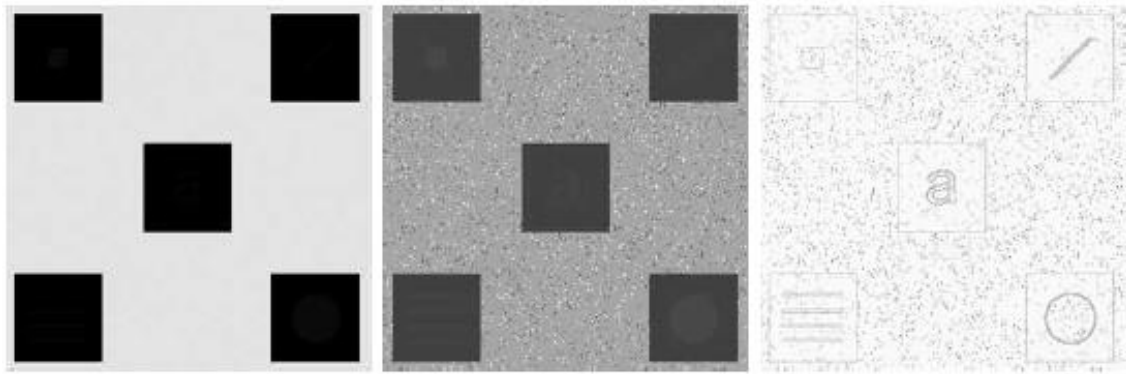


Figura 7 Aplicación de filtro con procesamiento digital de señales.(González & Woods, 2008)

Según Sánchez, existen unas etapas que son fundamentales en el procesamiento digital de imágenes, tal como se puede observar en la figura 8 estas etapas son: Adquisición, preprocesamiento, segmentación, representación, descripción, reconocimiento, interpretación y finalmente base de conocimiento. (Sánchez & Ángel Fernández-Díaz, 2003).

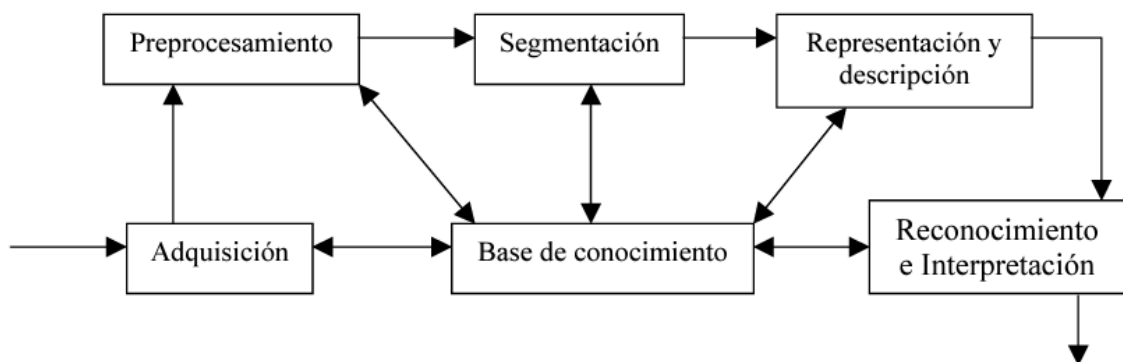


Figura 8 Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes.(Sánchez & Ángel Fernández-Díaz, 2003)

A continuación, se describen brevemente dichas etapas:

- **Adquisición:** La adquisición hace referencia a la manera en que adquiere dicha imagen como por ejemplo con un dispositivo digital como una cámara, o un scanner, este es el paso inicial que brinda el insumo para ser tratado.
- **Preprocesamiento:** En esta etapa se realiza en términos generales la preparación de la imagen, en general se usan técnicas para restauración, mejoras, filtros con el fin de tener una imagen más “limpia”.
- **Segmentación:** Esta técnica es usada para realizar la obtención de las diferentes regiones que pueda contener la imagen, esta fase es clave en la implementación del

presente trabajo debido a que uno de los pasos para el análisis de imágenes cromatográficas es la obtención de las diferentes regiones del croma, las cuales cuentan con información clave para el análisis, como se observa en la figura 9 el croma se divide en 5 zonas las cuales deben de ser debidamente segmentadas para su análisis.

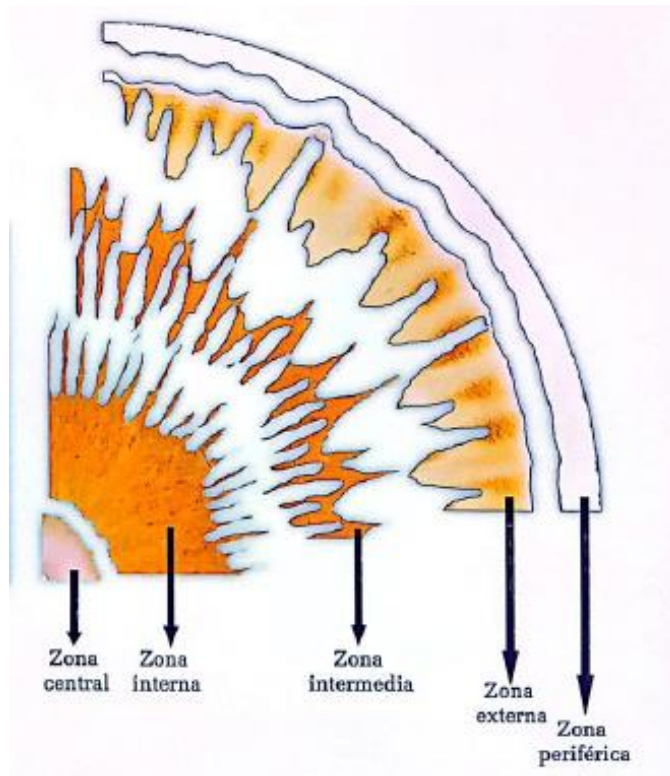


Figura 9 Segmentación de croma. (Restrepo & Pinheiro, 2021)

- **Representación:** Posterior a tener la imagen segmentada la representación hace referencia a tomar cada segmento generado y obtener una representación de dichas regiones, esto centraliza el análisis de la imagen de una manera más optima, existen diferentes técnicas para dicho propósito como lo son las representaciones poligonales, los códigos de cadena, los esqueletos entre otros.
- **Descripción:** Este paso corresponde a obtener un descriptor de la imagen tales como pueden ser longitud del contorno, formas etc.
- **Reconocimiento:** El reconocimiento hace referencia a la etapa de identificación de la imagen, ejemplo que patrón fue encontrado, que representa, que figuras geométricas se tienen, por ejemplo, en la cromatografía de suelos que se pudo reconocer en cada zona del croma en cuanto a figuras y colores.

- **Interpretación:** Se da la interpretación en el contexto que se requiera, este es el punto en el cual se concluye con respecto al objetivo de analizar la imagen, para el propósito del trabajo este punto nos brindaría el análisis final con respecto al croma sus colores, formas etc.

2.3.INVESTIGACIONES REALIZADAS

Tras llevar a cabo una investigación sobre los avances y trabajos relacionados con la problemática abordada en este trabajo de fin de máster, se resaltan a continuación las siguientes referencias documentales importantes para el desarrollo del objetivo propuesto:

- Gabriela Viera, en su tesis para optar por el título de ingeniera mecánica, titulada “Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao”, aplicó conceptos de visión artificial mediante algoritmos utilizando las librerías de Python OpenCV. El enfoque de la investigación fue agroindustrial, buscando clasificar granos de cacao según sus características externas, como el tamaño y su fase de secado, mediante el procesamiento de imágenes. Como resultado del desarrollo implementado, se obtuvo un porcentaje de acierto del 89% en un total de 300 imágenes evaluadas. Como propuesta futura, se plantea modificar el sistema de adquisición de imágenes para abarcar un mayor rango del espectro. Aunque no se profundiza en los resultados obtenidos con el uso de la librería OpenCV, el resultado obtenido es considerado positivo para el uso de esta librería open source.(Viera-Maza, n.d.)
- En el marco del procesamiento de imágenes es importante como se mencionó en el marco contextual una de las fases base en este proceso es la segmentación de las imágenes en su procesamiento digital, por tal motivo es significativo traer a colación la investigación realizada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en la cual desarrollaron una revisión bibliográfica con respecto a la segmentación de imágenes y las principales técnicas, con respecto a nuestro proyecto es importante validar las técnicas implementadas debido a que pueden ser base para la implementación del

proyecto en el cual se deben segmentar las cinco secciones del croma, como conclusiones de la implementación se usaron las técnicas de derivada de primer orden al operador gradiente, derivada de segundo orden el operador laplaciano, y técnicas de detección de límites.(Palomino, Román, 2007.)

- En la misma rama del procesamiento de imágenes y nuevamente haciendo uso de la librería OpenCV Gallardo y Parga realizaron un artículo denominado *“Navegación por procesamiento de imágenes usando OpenCv”*, donde detallan el desarrollo de un vehículo terrestre autónomo haciendo uso de procesamiento de imágenes como forma de navegación, como parte de los resultados de su artículo determinaron que en el ámbito de la robótica el procesamiento de imágenes se presenta como la mejor solución a la hora de implementar los métodos de visión de este ya que presenta información más precisa en comparación a cualquier otro sensor de otro tipo, para la implementación del procesamiento de imágenes usaron cámara webcam e integrando las librerías de OpenCV obtuvieron los resultados esperados a nivel de visión, lo cual presenta como buena opción el uso de dicha librería open source. (Gallardo García & José Miguel, n.d.)
- Siguiendo por la misma línea de robótica y la aplicación del procesamiento de imágenes, se tiene la tesis de maestría de Cristhyan Carrillo en la universidad de Unir, el cual el desarrollo de su trabajo se basó en aplicar un algoritmo de segmentación semántica lo cual tuvo como objetivo categorizar los pixeles dentro de una imagen, esto con el fin de realizar la búsqueda de una ruta libre para un sistema móvil al procesar las imágenes de su entorno, al culminar dicho trabajo se establece que los resultados de los análisis realizados arrojan obtener un resultado total de precisión superior al 82%, finalmente como conclusión establecen que los resultados fueron satisfactorios con la implementación realizada y los resultados obtenidos, adicional agregan como podrían mejorar la efectividad del modelo aumentando el tamaño del conjunto de entrenamiento.(Carrillo Velarde, Cristhyan Javier, n.d.)

- En su tesis titulada "Análisis de suelo y sus relaciones para una producción sana, por el método de cromatografía en papel", Hernández Godines llevó a cabo una comparación de diversas muestras utilizando la cromatografía en papel, contrastando análisis previos realizados por otros investigadores. El estudio detalla el proceso de recolección de muestras evaluadas y describe el análisis manual realizado. Como resultado, se obtienen varias conclusiones importantes, entre las que se destaca, en primer lugar, una comparación de costos entre la técnica de cromatografía en papel y las técnicas convencionales, enfatizando la alta accesibilidad y utilidad de la cromatografía en papel para aquellos que no tienen acceso a un laboratorio de suelos. Además, se subraya la necesidad y utilidad de realizar un análisis automatizado de datos.(HERNÁNDEZ, 2018)
- En el libro "CROMATOGRFÍA: Imágenes de vida y destrucción del suelo" de Restrepo y Pinheiro, se presenta de manera clara la interpretación de diversos cromatogramas obtenidos de muestras de suelo relacionadas con diferentes cultivos. El texto se enfoca en el estudio de regiones específicas de cada cromatograma y proporciona una comprensión clara de las características observadas en ellos, lo que permite determinar si un suelo está saludable. Además, el libro ofrece ejemplos de cromatogramas que revelan diversas deficiencias en el suelo evaluado.(Restrepo & Pinheiro, 2021)
- Otro proyecto revisado es "PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE CROMATOGRFÍAS DE SUELOS ENFOCADO A LA INTERPRETACIÓN DE PATRONES DE DISPERSIÓN DEL COLOR Y SU ASOCIACIÓN CON CUALIDADES DEL SUELO", realizado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, el cual resalta el tipo de procesamiento de imágenes que permite una mayor precisión en la digitalización de los cromatogramas obtenidos de muestras de suelo. En este trabajo se mencionan también los diferentes niveles de intensidad del color en formato RGB, lo cual proporciona una aproximación de las codificaciones de colores que pueden representar las tonalidades a evaluar. Esto facilita el análisis del estado de salud del suelo.(Tapias, 2019)

Además, a continuación, se mencionan los documentos encontrados que se alinean con el objetivo de salud y estudio del suelo, pero que no son considerados para el desarrollo del presente trabajo:

- En la publicación "Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer", realizada por la Universidad Autónoma de Chihuahua, se lleva a cabo un seguimiento y una relación de los cromatogramas obtenidos del suelo con su salud. Sin embargo, el enfoque principal del estudio radica en las proporciones de elementos químicos presentes en cada zona del cromatograma. En contraste, el análisis propuesto en este trabajo de fin de máster es de naturaleza gráfica, centrándose en la estructura del cromatograma, las formas geométricas y la evaluación del color en las regiones características de una muestra de suelo.(Hernández-Rodríguez et al., 2021)

2.4.CONCLUSIÓN ESTADO DEL ARTE

Después de llevar a cabo una investigación sobre aplicaciones de software que se centren en el estudio de la salud del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer, no se ha encontrado ningún aplicativo que se enfoque en el análisis descrito en esta publicación. Sin embargo, durante la búsqueda en el mercado de soluciones de software, se identificó el programa "Chromatography Data System (CDS)" (SCION Instruments, 2024), el cual es una solución diseñada para la toma de cromatogramas, recopilación de datos y generación de informes basados en la información obtenida. Aunque este software está orientado al análisis cromatográfico, su utilización requiere la instalación de hardware especializado, lo que limita su accesibilidad para laboratorios dedicados al uso de esta herramienta.

Tras revisar publicaciones e investigaciones sobre el estudio de la salud del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer, se ha observado que estas generalmente se centran en el reconocimiento de patrones de forma visual. Esto resalta la necesidad de contar con un especialista en estos análisis. Además, estas investigaciones destacan la importancia de desarrollar un aplicativo que permita llevar a cabo este análisis basándose en los estándares de figuras y colores presentes en las muestras cromatográficas del suelo.

La solución de software que se presenta a continuación ofrece al usuario la capacidad de cargar una imagen del cromatograma a analizar. Luego, lleva a cabo una evaluación geométrica y de color, considerando las bases de análisis expuestas en las investigaciones previas mencionadas. De esta manera, proporciona un resultado aproximado al emitido por un profesional especializado en la técnica de cromatografía de Pfeiffer.

3. Objetivos concretos y metodología de trabajo

3.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo es desarrollar una aplicación de software capaz de analizar cromatogramas generados a partir de muestras de suelo, utilizando técnicas de reconocimiento de patrones previamente estudiadas. Esta aplicación permitirá automatizar el proceso de análisis de estado del suelo, eliminando la necesidad de un experto en la materia para evaluar la salud del terreno. La característica distintiva de esta aplicación es que permitirá realizar un análisis inmediato desde cualquier dispositivo con acceso a internet a partir de una fotografía del cromatograma a evaluar.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar trabajos previos enfocados en el estudio de cromatografía del suelo que proporcionen información precisa sobre los patrones a revisar en los cromas, con el fin de evaluar y desarrollar el aplicativo.
- Evaluar la existencia de aplicaciones que estén alineadas con el mismo alcance del software a desarrollar en este proyecto, con el fin de proporcionar una funcionalidad disruptiva en comparación con las soluciones disponibles en el mercado.
- Diseñar un aplicativo que cumpla con los estándares de accesibilidad y usabilidad que permitan el fácil entendimiento y uso de la herramienta publicada.
- Desarrollar el backend del aplicativo de software, que permita realizar el procesamiento de imágenes identificando color de cada zona de la estructura cargada para análisis del estado de salud del suelo.
- Implementar el frontend del aplicativo de software, que cumpla con los estándares de usabilidad del diseño.
- Verificar el concepto emitido por el aplicativo luego del análisis ejecutado sobre un cromatograma, y compararlo con los conceptos dados sobre las mismas muestras por los estudios publicados en otros trabajos.

3.3. Metodología del trabajo

En el presente trabajo, se tomarán como modelos las metodologías de Design Thinking para identificar las necesidades del usuario final y describir los requisitos para tener en cuenta en el aplicativo a desarrollar. Además, se tomará como base la Metodología Scrum para el desarrollo del software planteado como objetivo.

3.3.1. Design thinking

Es una metodología ágil para la resolución de problemas, utilizada principalmente en el campo de la innovación empresarial. Esta metodología se enfoca en el entendimiento profundo del problema desde la posición del usuario, siendo este el punto de partida para el proceso de diseñar, prototipar y probar la solución resultante del flujo completo de design thinking. De esta forma garantiza que el producto resultante sea acertado con base en la necesidad específica del cliente.

Esta Metodología se divide en 5 etapas, las cuales son descritas a continuación:

Etapas 1. Empatía: Esta etapa tiene como objetivo interactuar con el usuario final para comprender sus necesidades, recursos, apoyos y alcance. Esto permitirá entender el problema a fondo y tener una visión clara de las posibilidades disponibles para formular una solución óptima al problema identificado.

Etapas 2. Definición: Luego de comprender el problema a solucionar, en esta etapa se identifica la información valiosa recopilada en la fase de empatía, descartando aquella que no aporte al desarrollo del problema y enfocándose en las variables relevantes a tener en cuenta.

Etapas 3. Ideación: Una vez identificada la información necesaria para abordar el problema, en esta etapa el equipo de trabajo aporta ideas para el diseño de la solución a presentar. Aquí se destaca la creatividad de cada miembro, con el objetivo de lograr un diseño claro de la solución a producir y presentar al cliente.

Etapas 4. Prototipado: Se procede a la elaboración de un producto mínimo viable basado en el diseño generado en la etapa de Ideación. Este paso permite probar de manera tangible si la solución propuesta es adecuada para resolver las necesidades del usuario final.

Etapa 5. Pruebas: Una vez elaborado el prototipo de solución, se procede a realizar pruebas de este, preferiblemente con el usuario final, para verificar su funcionamiento y detectar posibles mejoras a desarrollar.

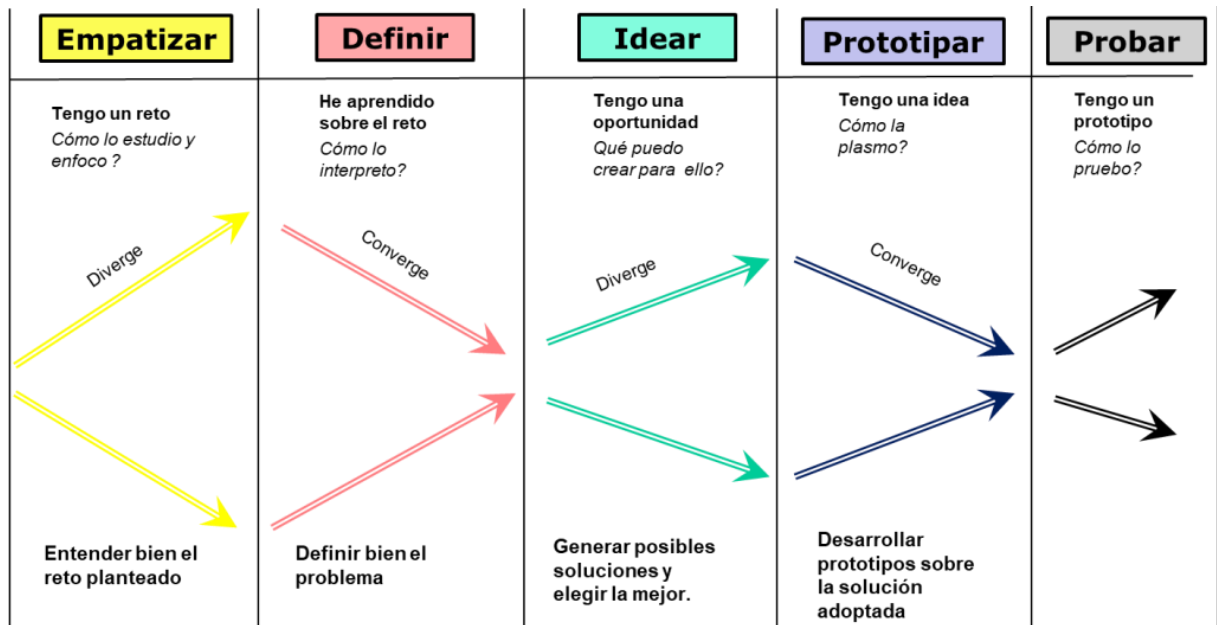


Figura 10 Fases de design thinking. (Tomado de <https://kamein.com/2023/04/11/la-metodologia-design-thinking-y-la-innovacion/>)

Con base en lo anterior, en primera instancia este trabajo opta por aplicar la metodología Design Thinking para las etapas de empatía y definición del problema. Estas etapas permiten identificar de manera precisa la problemática del cliente y entender qué tipo de solución proporciona valor para el uso del usuario final.

En la Etapa de Empatía, se elaborará un Mapa de Empatía con la colaboración del Ingeniero Agrónomo Carlos Andrés Bustos González y del señor Luis López, residente de una vereda en el municipio de Toca, Boyacá. En la etapa de definición, se utilizará el mapa de empatía para plasmar la información relevante sobre la necesidad de evaluar la salud del suelo.

Después de sintetizar la necesidad expresada por el usuario final, en la etapa de ideación, el equipo de trabajo propone el desarrollo de una aplicación para la automatización del análisis del estado de salud del suelo. En esta propuesta se describirán las características del software a desarrollar.

En la cuarta etapa, se procede con el desarrollo del aplicativo propuesto en la etapa de Ideación, en la cual se adoptará otra metodología para el correcto desarrollo de la solución presentada.

Por último, las pruebas del aplicativo serán ejecutadas por el equipo desarrollador y se realizarán comparaciones con evaluaciones representadas en el libro "CROMATOGRFÍA - Imágenes de vida y destrucción del suelo". De esta manera, se realizarán comprobaciones del correcto funcionamiento revisando los análisis descritos en el libro.

3.3.2. Scrum

La metodología Scrum es un enfoque ágil para la gestión y desarrollo de proyectos. Se caracteriza por su ejecución en ciclos de trabajo iterativos e incrementales, llamados "sprints". Durante cada sprint, se llevan a cabo actividades como la planificación, el desarrollo, las pruebas y la revisión del trabajo realizado con base en el alcance definido para cada uno.

Esta metodología comprende una organización basada en roles clave:

- **Scrum Master:** Responsable de facilitar el proceso y eliminar obstáculos que bloqueen las actividades del equipo de trabajo. Es el guía del equipo, asegurando que el entregable sea elaborado con el uso de buenas prácticas de desarrollo y que el equipo pueda trabajar de manera colaborativa y eficiente para el logro de los objetivos.
- **Product Owner:** Es el encargado de que el producto desarrollado cumpla con las necesidades del cliente y stakeholders del proyecto. Es responsable de administrar las listas de prioridades y requisitos que debe cumplir el producto a desarrollar, además de priorizar cada una de las tareas a asignar al equipo de trabajo. También está al tanto de los entregables desarrollados para dar su opinión y retroalimentación a tiempo.
- **Equipo de Desarrollo:** Es el grupo profesional encargado del desarrollo y entrega de los sprints definidos para la generación de un producto de software. Este equipo trabaja de forma colaborativa para tomar los requisitos y alcances dados por el Product Owner y plasmarlos en el producto entregable del proyecto en ejecución.

A continuación, se describen las etapas que hacen parte del ciclo de la metodología SCRUM en el desarrollo de software:

- 1. Planificación del sprint:** En esta primera etapa del ciclo, se define el objetivo y el trabajo a ejecutar durante el sprint por parte del Equipo de Desarrollo. Esta definición se basa en los requerimientos compartidos por el Product Owner. El Equipo de Desarrollo selecciona las actividades que ejecutará en cada sprint y establece compromisos de entrega en términos de alcance y tiempo.
- 2. Sprint:** En esta fase, el equipo de desarrollo ejecuta las actividades para el logro de los objetivos fijados en la planeación de cada sprint. En el desarrollo del sprint, se realizan reuniones diarias cortas para compartir el avance, identificar problemas y ajustar el plan si es necesario.
- 3. Revisión del Sprint:** Una vez finalizada la etapa de desarrollo, el equipo de desarrollo comparte con el Product Owner y algunos stakeholders los resultados del entregable desarrollado en el sprint. Como resultado, se obtiene retroalimentación y se ajustan las prioridades del plan de desarrollo si es requerido por las partes interesadas.
- 4. Retrospectiva del Sprint:** En esta fase, tanto el Scrum Master como el equipo de desarrollo revisan el trabajo ejecutado en el sprint finalizado para identificar oportunidades de mejora. Se aplica un plan de acción destinado a facilitar la mejora continua del equipo en las próximas actividades del proyecto.

En la siguiente imagen se muestra gráficamente el trabajo colaborativo y por roles definido por la metodología Scrum. En la parte superior, se destacan las fases de desarrollo denominadas Sprint, las cuales tienen una duración uniforme y objetivos específicos. En la parte inferior, se representan las fases involucradas en la adopción de Scrum en el desarrollo de software: la creación del product backlog, la planificación de los sprint, la organización y priorización de las historias de usuario en el sprint backlog. La cadena visualiza el seguimiento diario del equipo en las sesiones Daily, hasta la realización y entrega del producto definido como objetivo. Posteriormente, se llevan a cabo actividades de revisión del producto entregado y evaluación del equipo para buscar mejoras continuas en el trabajo de los desarrolladores.

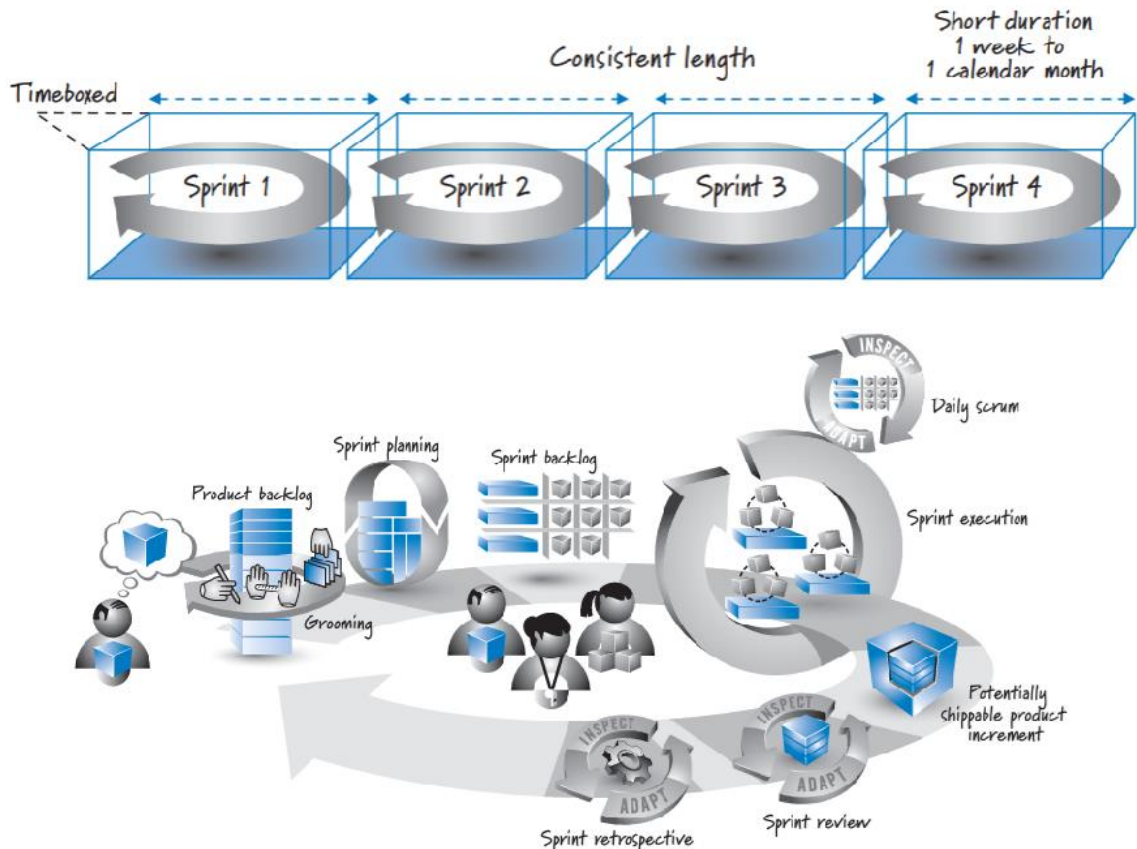


Figura 11 Metodología Scrum.(Rubin, 2013)

Con base en lo anterior, se escoge la metodología Scrum, dado que abarca entre sus principales características la posibilidad de mejora continua en el desarrollo de un proyecto. Se lleva a cabo un seguimiento diario de las actividades ejecutadas, proporcionando retroalimentación inmediata para obtener aprendizaje continuo y mejoras en corto tiempo del trabajo realizado. Además, con el seguimiento diario de las actividades, Scrum permite socializar las diferentes tareas realizadas por cada integrante del equipo, facilitando el compartir el progreso, los problemas y los planes. Esto garantiza que todos estén al tanto del estado del proyecto.

En el siguiente trabajo, se establecen las siguientes actividades para el desarrollo de software, tomando como base roles y actividades definidas en la metodología SCRUM:

Como responsables del proyecto, los Ingenieros Sebastián Felipe Guerrero y José Alejandro Bustos cumplirán los roles de Scrum Master garantizando la gestión de posibles obstáculos a presentarse en el desarrollo del proyecto.

De igual forma abarcarán los roles de Product Owner y Equipo de desarrollo, al tener la responsabilidad de identificar la necesidad del usuario final y ser los encargados del desarrollo del aplicativo para la evaluación de los cromas tomados de muestras de suelo.

En el desarrollo del aplicativo, se tendrán las fases de planeación, ejecución del sprint, reuniones diarias y pruebas de calidad del aplicativo desarrollado.

1. Planeación: Se tomarán como punto de partida las necesidades identificadas en las actividades de empatía y definición de la metodología Design Thinking. Al comprender la solución diseñada, se establecerán las funcionalidades a desarrollar en el aplicativo y se dividirán en fases para el desarrollo en diferentes Sprints. Además, se documentará un diagrama de Mapas de Historias de Usuario que cierre el alcance de cada desarrollo y defina los objetivos a revisar en cada entregable.

2. Ejecución de sprint: Con base en los requerimientos identificados y las funcionalidades del aplicativo a entregar, se procederá con el desarrollo del software considerando FrontEnd y BackEnd. Cada sprint cumplirá con funcionalidades definidas, como el ingreso al aplicativo, carga de imagen del cromatograma a evaluar, evaluación del cromatograma, visualización de resultados de la evaluación y acceso a instructivos para el manejo de la aplicación.

3. Revisión de Sprint y Ejecución de pruebas: Para cada una de las funcionalidades desarrolladas, se llevarán a cabo pruebas que certifiquen el correcto funcionamiento de cada etapa en la aplicación de software. Los resultados de la evaluación de cromatogramas serán comparados con publicaciones revisadas en el contexto del arte, y se tomarán en cuenta los análisis realizados por el Ingeniero Carlos Bustos. Esto permitirá comparar los resultados de evaluación proporcionados por el aplicativo con el análisis realizado por un profesional en el campo del análisis de cromatogramas.

4. Reuniones de seguimiento: El desarrollo del aplicativo implica la división de diversas actividades entre los responsables. Por tanto, para la elaboración del producto, el conocimiento general del proyecto y su documentación, se llevarán a cabo reuniones de seguimiento y se mantendrá un contacto constante para informar sobre los avances y abordar posibles obstáculos a superar.

4. Desarrollo específico de la contribución

4.1. Tipo 1. Desarrollo práctico

4.1.1. Identificación de requisitos

En colaboración con el Ingeniero Agrónomo Carlos Andrés Bustos González, se identificó que una de las principales problemáticas en el manejo de los ecosistemas agropecuarios es el uso inadecuado de insumos químicos. Con el afán de incrementar la producción de alimentos, se está afectando el suelo, lo cual repercute negativamente en diversas actividades cruciales para el equilibrio nutricional del suelo terrestre. Este desequilibrio compromete la conservación óptima de los cultivos y el hábitat de los seres vivos.

Con base en lo anterior, se decidió tomar como punto de partida la perspectiva de las personas encargadas del manejo de los suelos en la zona rural, es decir, la población campesina. Para comprender el conocimiento y las labores que realizan los campesinos, se utilizó la metodología Design Thinking.

Design Thinking es una metodología que facilita la identificación rápida y acertada de las necesidades del área usuaria y modela un proceso ágil para el diseño y prototipado de la solución al problema identificado inicialmente. Esta metodología se divide en cinco fases: Empatía, Definición, Ideación, Prototipado y Pruebas.

El primer paso de esta metodología es empatizar con la población usuaria para entender su entorno, identificar la problemática real y establecer un punto de partida que permita estructurar una solución accesible para ellos.

Una de las herramientas empleadas para comprender la problemática fue el Mapa de Empatía. Este se utilizó para recopilar información de los campesinos en los siguientes aspectos: ¿qué piensa y siente?, ¿qué ve?, ¿qué dice y hace?, ¿qué oye?, ¿qué esfuerzos y obstáculos identifica? y ¿qué resultados quisiera obtener?

Con el desarrollo del mapa de empatía en colaboración con el Ingeniero Agrónomo Carlos Bustos y el usuario Luis López, quien pertenece a la población de Toca, Boyacá, se identificaron los aspectos mínimos requeridos para cubrir con la solución a plantear, las limitaciones presentes en las zonas rurales y las expectativas de obtener un mejor análisis del estado del

terreno. Esto permitirá tomar decisiones correctas para una adecuada nutrición del suelo evaluado.

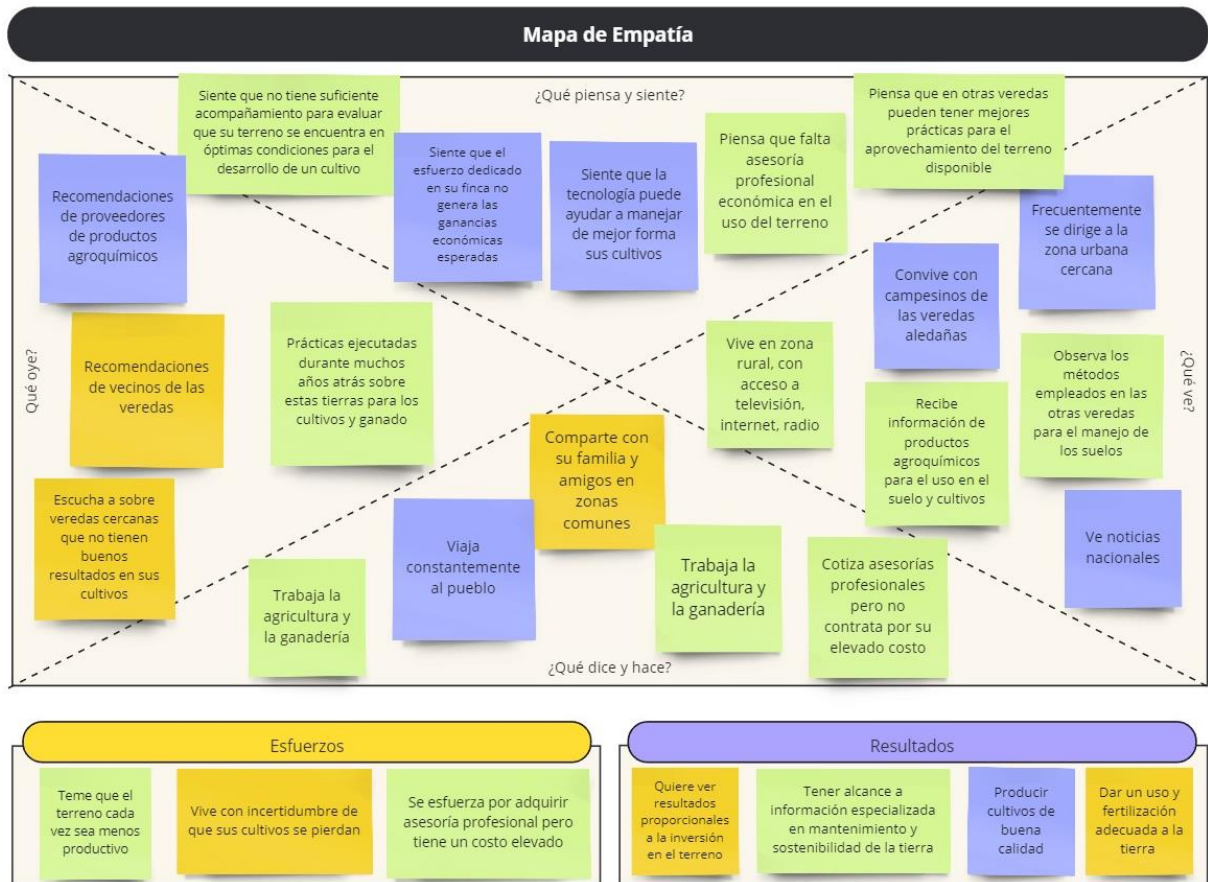


Figura 12 Mapa de Empatía. (Elaboración propia).

A partir de los comentarios identificados, se puede concluir lo siguiente:

1. El campesino percibe que la asesoría para el uso del suelo podría ser más efectiva si es proporcionada por un profesional especializado, quien, mediante una observación detallada del terreno, determine el estado actual y las actividades adecuadas de mejora que se pueden aplicar.
2. Siente que el esfuerzo dedicado a la producción en su vereda, en la mayoría de las ocasiones, no produce los resultados esperados.
3. Observa que, en otras veredas, donde la evaluación del suelo es más detallada, se obtienen mejores resultados tras el acompañamiento de personal especializado.

4. A menudo tiene acceso a dispositivos con internet, pero no los utiliza para verificar buenas prácticas sobre los cultivos y otros aspectos de la vereda.
5. Sus principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería.
6. Prefiere adoptar prácticas tradicionales en los cultivos, ya que considera que obtener asesoría especializada implica un costo que no siente indispensable.
7. Ante la inestabilidad de producción y la salud del suelo, mantiene incertidumbre respecto a la producción adecuada de sus cultivos y la vida saludable del ganado.
8. Aspira a mejorar la productividad de su vereda y que esta sea estable en el tiempo.

Luego de observar las necesidades y analizar el entorno del campesino, en la segunda fase que corresponde a Diseño, se ideó la elaboración de una aplicación de software que permite al usuario obtener un análisis de la salud del suelo a partir de un cromograma tomado de una muestra del terreno a evaluar. Esta aplicación proporcionará al campesino una primera revisión del estado de su terreno, guiándolo en la toma de decisiones sobre la necesidad de intervención de personal especializado o confirmando si el suelo sobre el que trabaja se encuentra en buen estado.

Con el cumplimiento de este objetivo y el uso correcto de la aplicación, el campesino tendrá mayores herramientas para el análisis de sus terrenos, lo que le permitirá trabajar mejor el suelo y acercarse a una producción saludable y a un ecosistema equilibrado en materia orgánica e inorgánica.

Continuando con la metodología Design Thinking, se procede a prototipar la solución a desarrollar, teniendo como pilar cumplir con un funcionamiento acertado para el manejo correcto por parte de la población usuaria y alcanzar el objetivo de evaluar el estado del terreno del cual se tome la muestra.

Se define el siguiente flujo funcional, el cual es el que el usuario seguirá para acceder al aplicativo, cargar imágenes de los cromogramas a evaluar y observar el análisis realizado sobre el cromograma revisado por el aplicativo web:

1. Acceso a la Aplicación: El usuario tiene la opción de registrarse, obteniendo así un usuario y una contraseña para ingresar a la aplicación mediante la validación de sus credenciales.

2. Menú de Opciones: Una vez el usuario ingresa correctamente, observa un menú en el cual puede escoger entre los siguientes módulos:

2.1 Instructivo de Toma de Muestras en Campo: El usuario tiene acceso a un manual que le servirá de guía en el proceso de toma física de la muestra del suelo a revisar. Como resultado de este proceso, el usuario obtendrá el croma cuya imagen debe digitalizar y cargar en el aplicativo para ser evaluada.

2.2 Instructivo de Uso de la Aplicación: El usuario puede consultar un manual para el uso correcto de la aplicación web, que incluye actividades como la revisión de opciones en el menú, acceso a manuales, carga de imágenes y visualización de los análisis entregados por el aplicativo.

2.3 Evaluación de Croma: En este módulo, el usuario puede seleccionar y cargar una imagen del croma tomado de la muestra procesada. La aplicación evalúa esta imagen y el usuario puede observar el análisis realizado sobre la muestra.

2.4 Historial de Evaluaciones: El usuario puede visualizar las evaluaciones de cromas y los resultados de las evaluaciones previas.

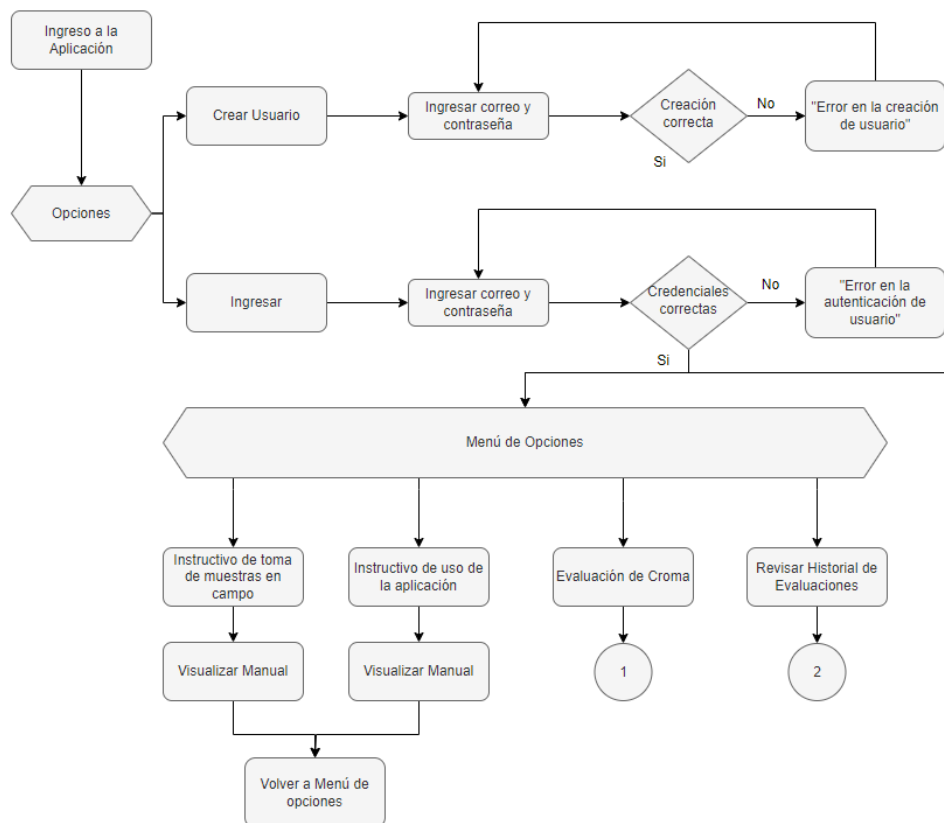


Figura 13 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 1. (Elaboración propia)

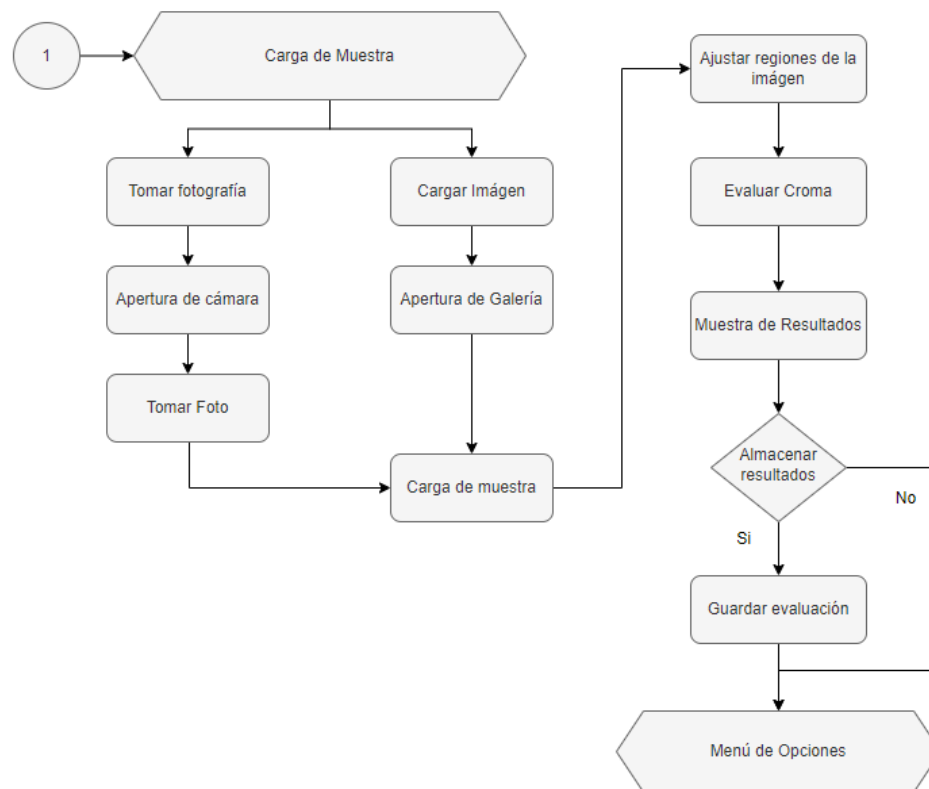


Figura 14 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 2. (Elaboración propia)

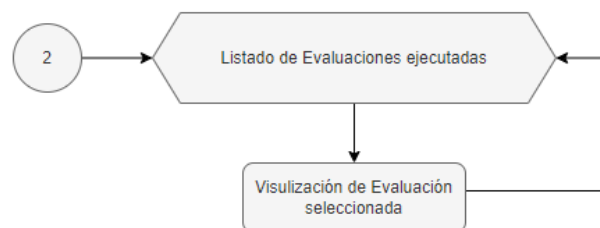


Figura 15 Flujo funcional del aplicativo CrosOil Parte 3. (Elaboración propia)

En la etapa de prototipado, se utilizó la herramienta Mockflow para la elaboración de mockups, con el fin de ilustrar de forma gráfica lo que se espera del aplicativo a desarrollar para la interacción del usuario final.

A continuación, se presentan las páginas diseñadas para cada una de las actividades a ejecutar en la aplicación:

- En la siguiente imagen se observa la página que permite al usuario elegir entre las opciones de registro o ingreso en el aplicativo:

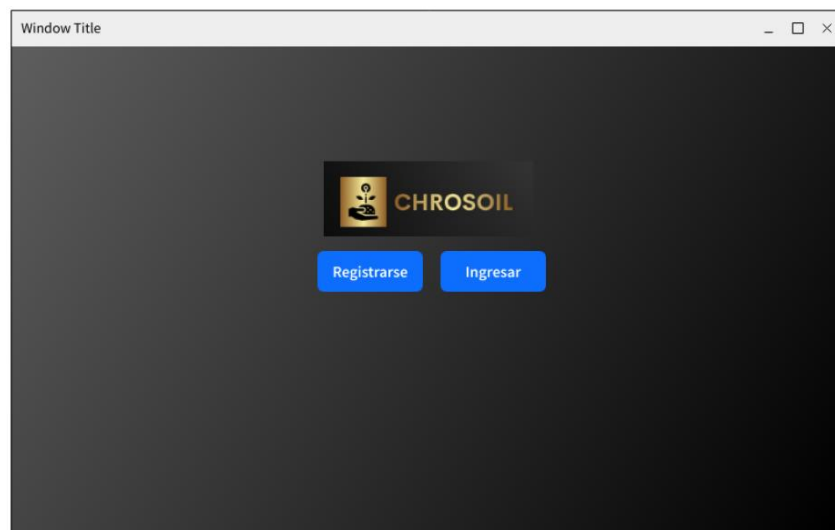


Figura 16 Mockup - Página de Ingreso. (Elaboración propia).

- Una vez seleccionada la opción de registro o ingreso, el usuario deberá diligenciar un formulario que le permita ser identificado y autorizar su ingreso para uso del aplicativo, como se muestra a continuación:

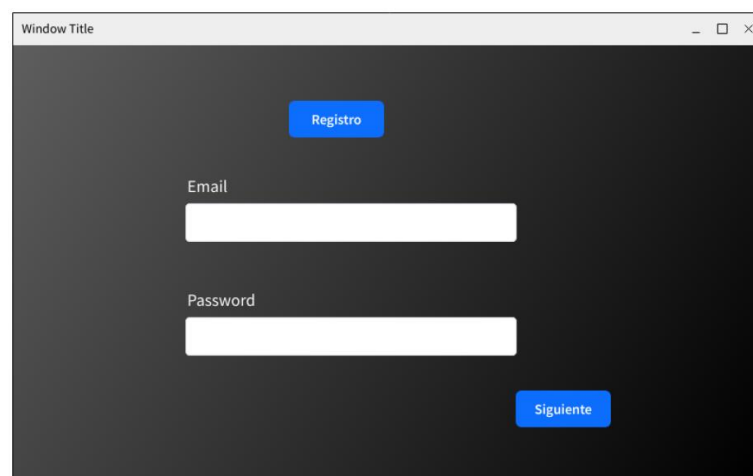


Figura 17 Mockup - Página de Registro. (Elaboración propia).

- En el siguiente mockup se representa el menú principal del aplicativo, que permitirá al usuario navegar entre cuatro diferentes módulos que son:
 - Instructivo de toma de muestras en campo: Brinda al usuario un paso a paso para ejecutar la toma de una muestra de suelo, procesarla y obtener el croma que debe ser cargado en modo de imagen al aplicativo para ser evaluado.
 - Instructivo de uso de la aplicación: Se encontrará un manual detallado sobre las funcionalidades expuestas en el aplicativo, otorgando ayuda al cliente para un entendimiento correcto del flujo en el programa desarrollado.
 - Evaluación de Croma: En este módulo se brinda la opción de cargar la imagen del croma a evaluar, y se dará instrucción para ejecutar el análisis y se mostrará el resultado de este.
 - Historial de Evaluaciones: Se propone como desarrollo evolutivo de la aplicación, incluir un módulo que permita visualizar los análisis ejecutados anteriormente.

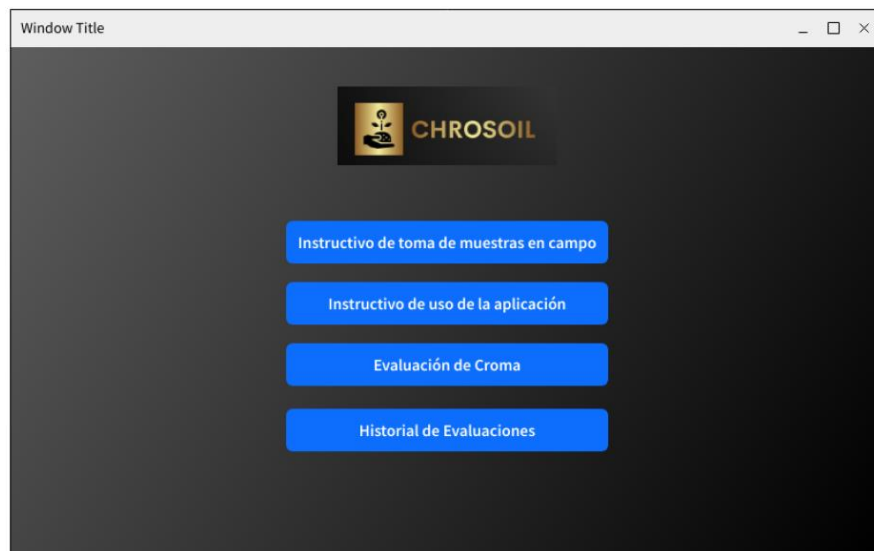


Figura 18 Mockup - Menú Principal. (Elaboración propia).

- A continuación, se muestra la propuesta para la visualización de los manuales de uso del aplicativo y el manual de toma de muestra del suelo y procesamiento para obtener el cromograma para su posterior análisis:

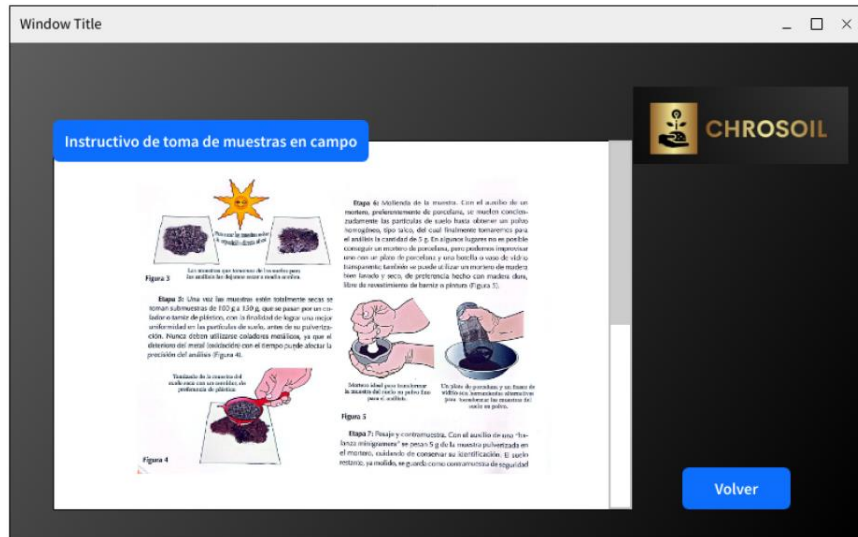


Figura 19 Mockup - Instructivos de uso de aplicación y toma de muestras. (Elaboración propia).

- Para la carga de la imagen del cromograma a evaluar, se contemplan las opciones de tomar fotografía, o cargar imagen, tal como se muestra a continuación:

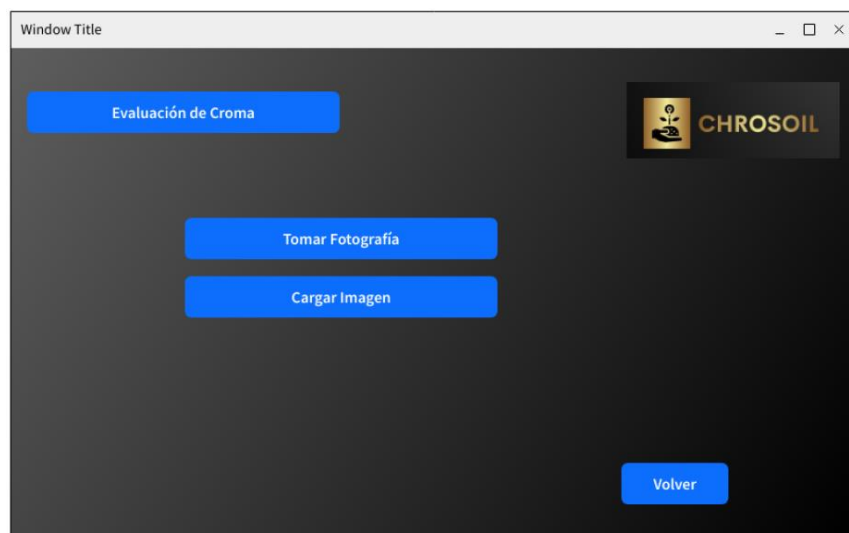


Figura 20 Mockup - Opciones de carga de imagen. (Elaboración propia).

- Una vez cargada la imagen del croma a evaluar, se deberá mostrar el croma y habilitar un botón que permita dar inicio al análisis cromatográfico:

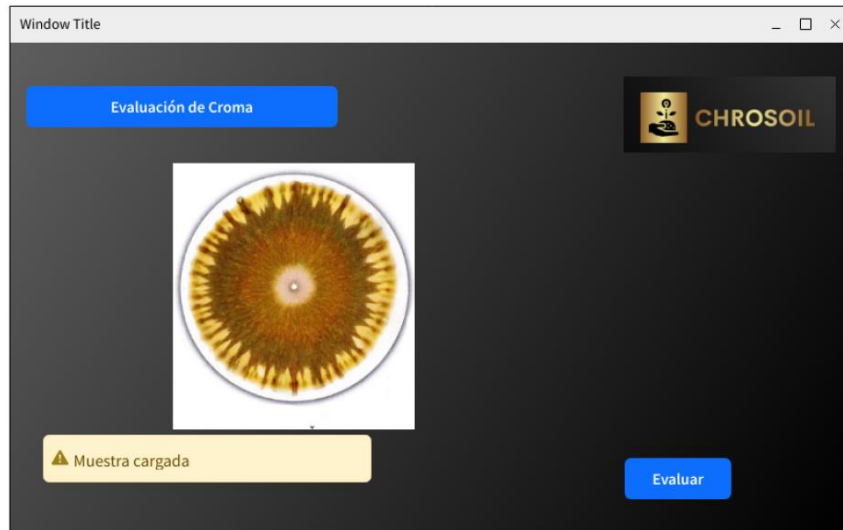


Figura 21 Mockup - Carga de Croma. (Elaboración propia).

- Por último, se muestra la pantalla que expone el resultado del análisis realizado sobre el croma cargado para evaluación por parte del aplicativo:

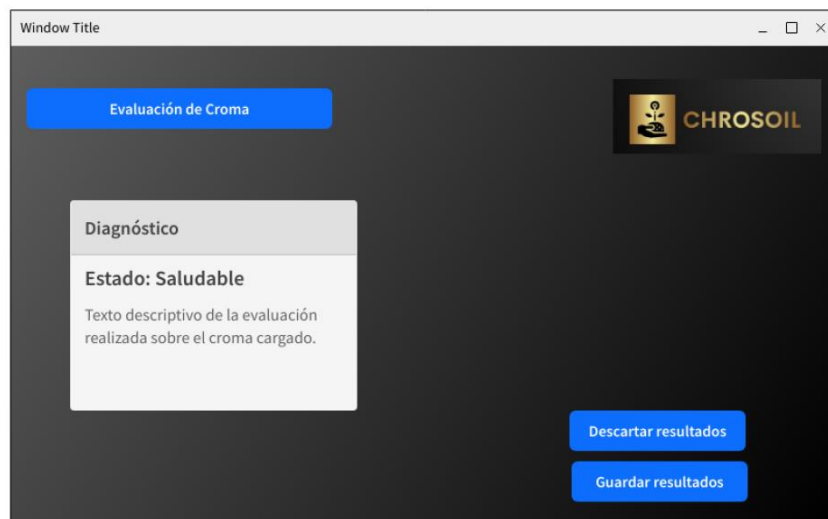


Figura 22 Mockup - Evaluación de Croma. (Elaboración propia).

Luego de la definición del flujo que debe seguir la aplicación, hemos decidido adoptar la metodología SCRUM como modelo para llevar a cabo el desarrollo efectivo del aplicativo propuesto. SCRUM facilita al equipo de trabajo orientarse mediante un Product Backlog que lista las funcionalidades necesarias para la solución propuesta. En este sentido, hemos elaborado el siguiente Mapa de Historias de Usuario, el cual describe de manera general las funcionalidades requeridas del aplicativo y detalla los sprints a ejecutar, así como los entregables correspondientes de cada uno.

1. Gestión de Registro

Esta funcionalidad debe permitir la creación de usuario con el ingreso de correo y contraseña para permitir el acceso al aplicativo.

Se plantean funcionalidades evolutivas que contemplen, confirmación de creación de usuario, definición y validación de política de contraseña segura, eliminación de usuarios y el registro de usuarios con sesión de Google.

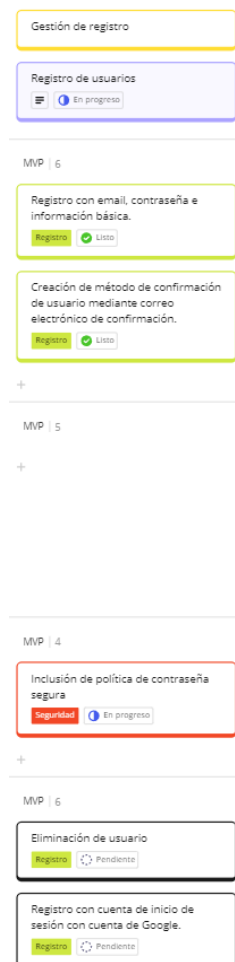


Figura 23 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Registro. (Elaboración propia)

2. Gestión de sesión

Este módulo se enfoca en el manejo de la sesión de usuario, permitiendo acceder con las credenciales de un usuario ya registrado, y administrar el control de la sesión con el cierre voluntario, cierre de sesión por tiempo de inactividad o por duplicidad de esta.

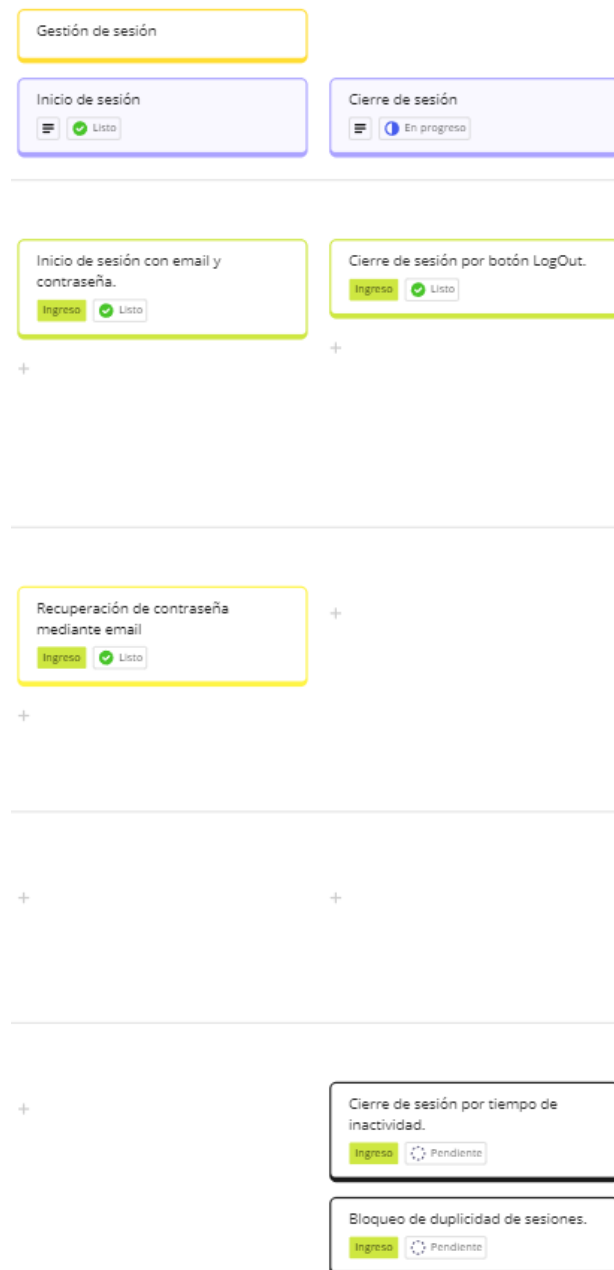


Figura 24 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de sesión. (Elaboración propia)

3. Gestión de Instructivos

Se define un módulo que permitirá al usuario acceder a los manuales de uso del aplicativo, así como a un manual para la toma de muestras de suelo y la generación del cromograma requerido, el cual deberá ser cargado en el aplicativo para su posterior evaluación. Así mismo se contempla en desarrollos evolutivos la inclusión de mensajes de ayuda por cada ventana del aplicativo en la que el usuario se encuentre navegando.

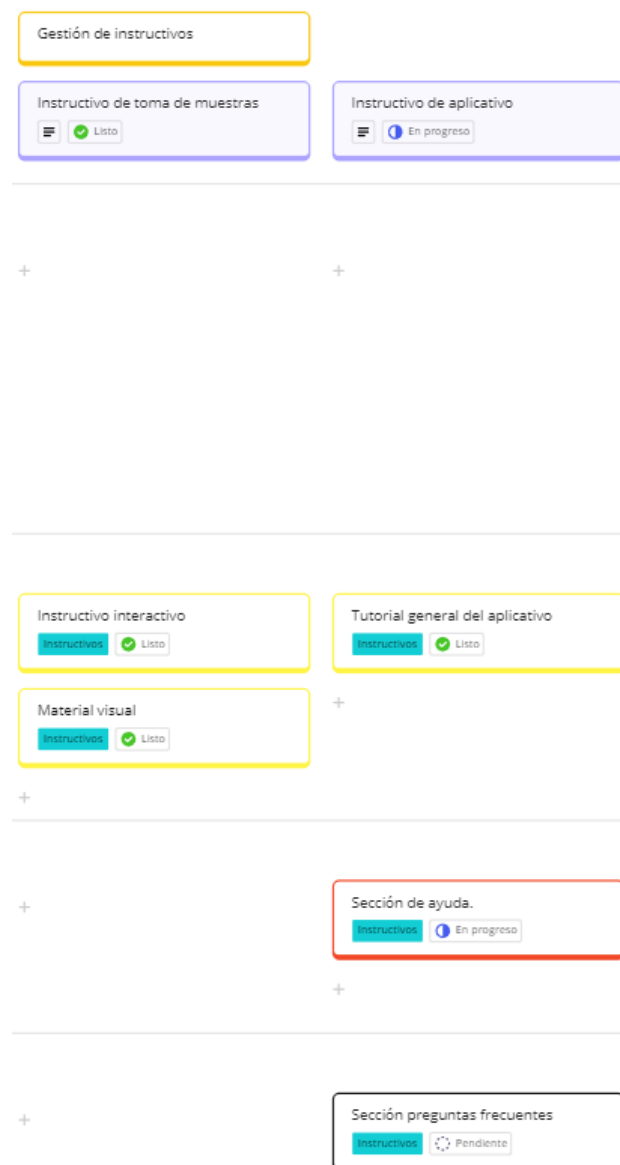


Figura 25 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Instructivos. (Elaboración propia)

4. Procesamiento de Imagen

Se requiere la funcionalidad que permita el cargue de la imagen del cromatograma a revisar y la presentación del resultado de la evaluación ejecutada. Inicialmente, se plantea como función el cargue de imágenes preexistentes. Posteriormente, en una fase evolutiva, se debe habilitar la capacidad de tomar una fotografía directamente desde el dispositivo y cargar dicha imagen para su evaluación.

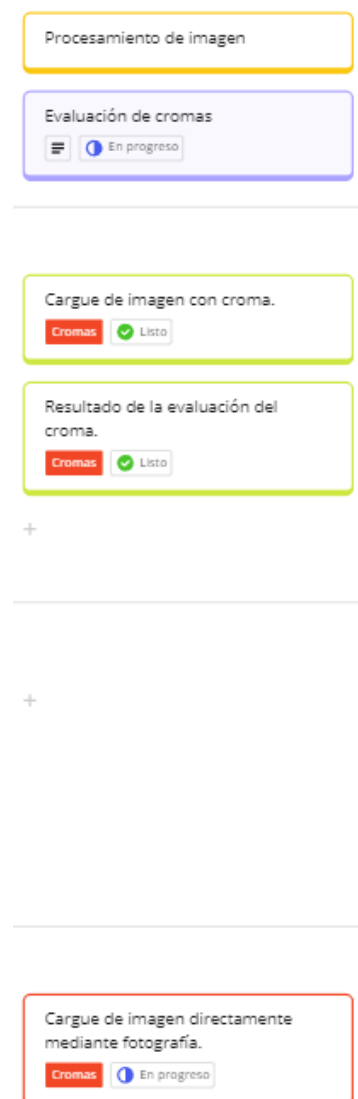


Figura 26 Mapa de Historias de Usuario - Procesamiento de Imagen. (Elaboración propia)

5. Gestión de Históricos

Se plantea como evolutivo la elaboración de un módulo adicional en el cual esté disponible la función que permita la revisión de las evaluaciones ejecutadas en el aplicativo, con la posibilidad de visualizarlas posteriormente y editarlas en el histórico almacenado, además de permitir su borrado.

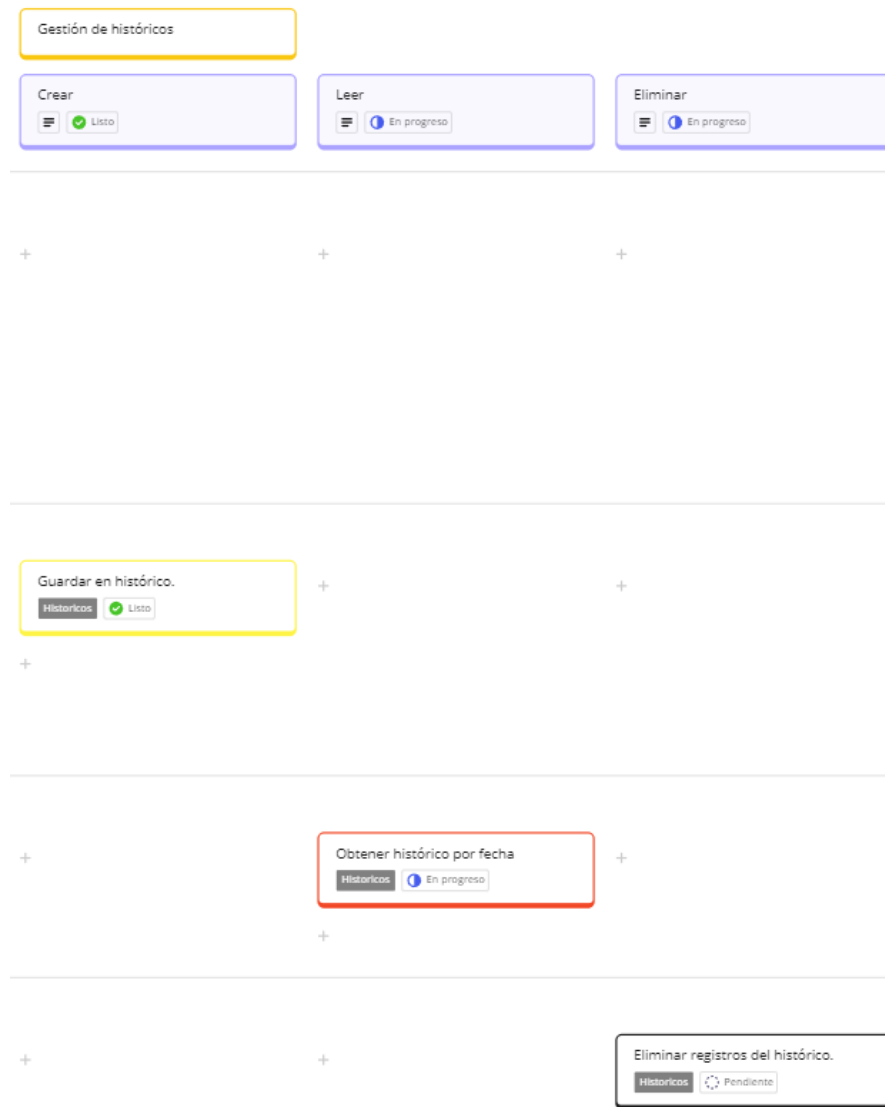


Figura 27 Mapa de Historias de Usuario - Gestión de Históricos. (Elaboración propia)

Con base en la estructuración del Mapa de Historias de Usuario, se replantea el flujo funcional de la siguiente manera: las funcionalidades a ser desarrolladas en el sprint 1 y 2 se indican en

color verde, las funcionalidades a ejecutar en el sprint 3 se indican en color amarillo, y las funcionalidades a desarrollar en el sprint 4 se indican en color rojo:

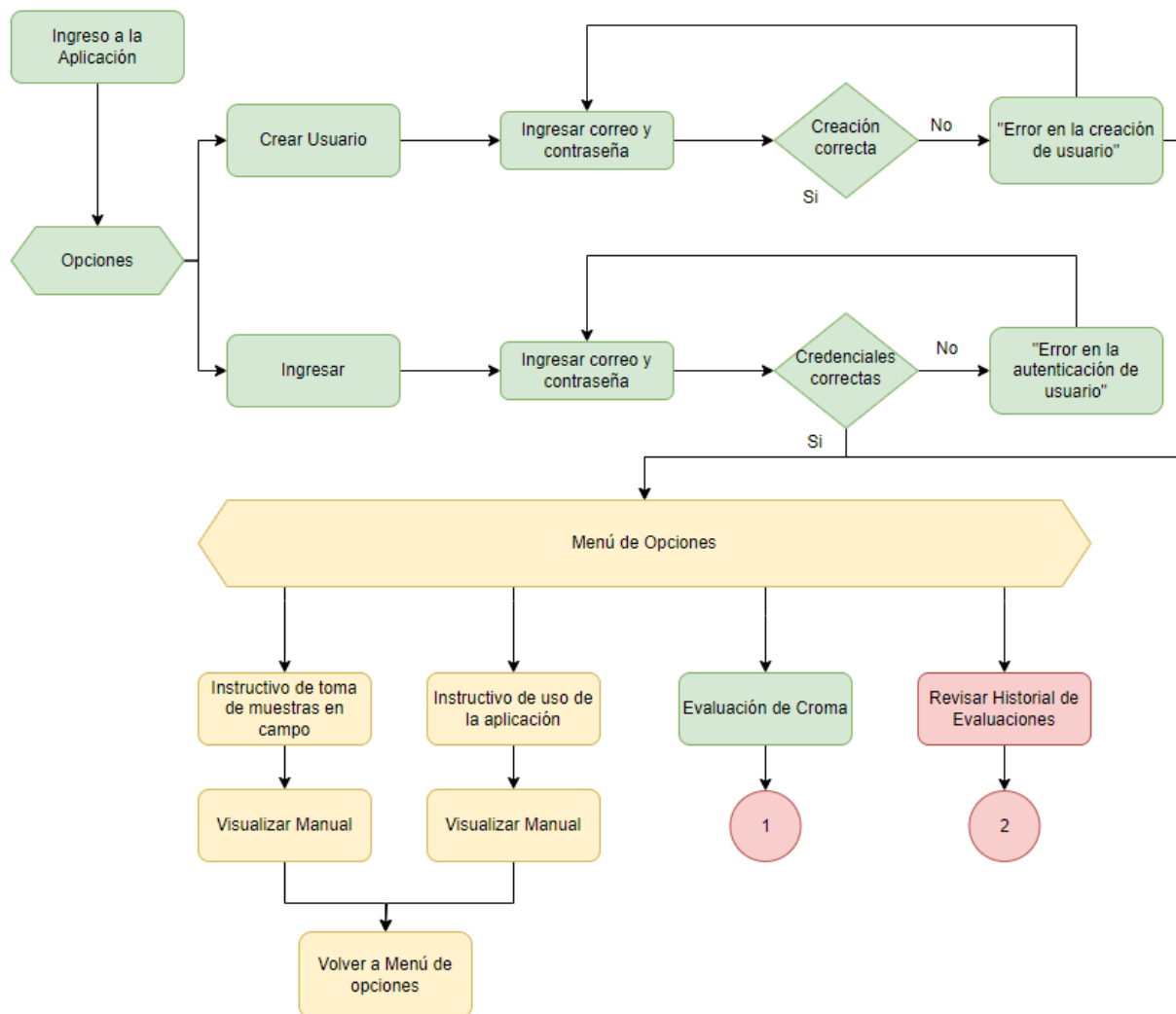


Figura 28 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 1. (Elaboración propia)

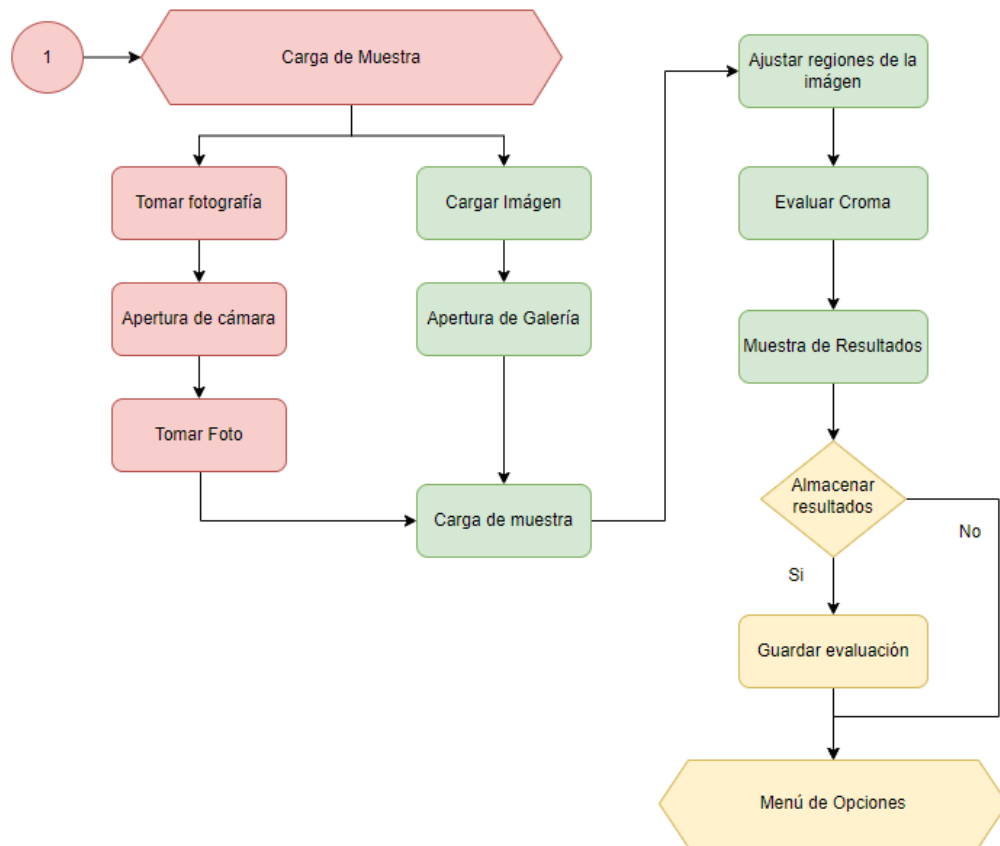


Figura 29 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 2. (Elaboración propia)

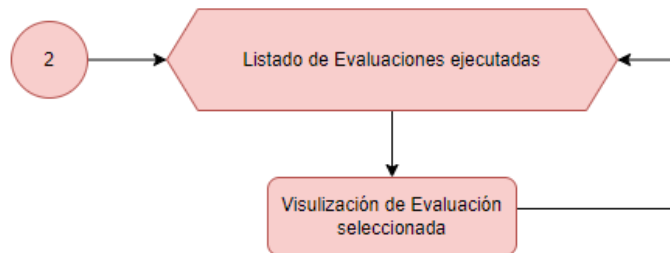


Figura 30 Flujo funcional luego de Mapa de Historias de Usuario Parte 3. (Elaboración propia)

4.1.2. Backlog de Historias de Usuario

A continuación, se presenta el Backlog que detalla las historias de usuario definidas para la ejecución del desarrollo, implementación y publicación del aplicativo Crosoil. En él se indican la descripción de cada historia de usuario, la prioridad para su desarrollo y los criterios de aceptación:

Título	HU-1
Descripción	Investigación sobre el método de análisis con el uso de cromatografía del suelo
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Documentación certificada sobre la descripción de los métodos de análisis de cromatografía del suelo.

Tabla 2 Historia de Usuario 1

Título	HU-2
Descripción	Creación de repositorio con estructura base de framework Django y exposición de api rest básica
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Repositorio con el proyecto creado y consumo del api mediante postman con proyecto local

Tabla 3 Historia de Usuario 2

Título	HU-3
Descripción	Creación de método de autenticación mediante token de acceso jwt para consumir el api rest básica
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Consumo del api mediante postman haciendo uso de token jwt en proyecto desplegado localmente

Tabla 4 Historia de Usuario 3

Título	HU-4
Descripción	Documentación de api rest mediante swagger
Prioridad	Media
Criterios de aceptación	Acceso a la documentación swagger

Tabla 5 Historia de Usuario 4

Título	HU-5
Descripción	Exposición de endpoint con autenticación por token para recibir imagen en formato base 64 y realizar segmentación por zonas de la muestra a evaluar.
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Consumo del api mediante postman haciendo uso de token jwt, en proyecto desplegado localmente, enviando imagen en formato

	base 64, y obteniendo como resultado la segmentación de la muestra en las 4 zonas requeridas para ejecutar el análisis.
--	---

Tabla 6 Historia de Usuario 5

Título	HU-6
Descripción	Creación de lógica para tomar zonas de la imagen y obtener promedios de colores por zona, así como su análisis respectivo.
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Consumo del api mediante postman haciendo uso de token jwt, en proyecto desplegado localmente, enviando imagen en formato base 64, y obteniendo como resultado la segmentación de la muestra en las 4 zonas y el resultado del análisis ejecutado.

Tabla 7 Historia de Usuario 6

Título	HU-7
Descripción	Realizar el despliegue del api de manera pública.
Prioridad	Media
Criterios de aceptación	Consumo del api mediante postman haciendo uso de token jwt, en proyecto desplegado públicamente enviando imagen en

	formato base 64, y obteniendo como resultado la segmentación de la muestra en las 4 zonas y el resultado del análisis ejecutado.
--	--

Tabla 8 Historia de Usuario 7

Título	HU-8
Descripción	Elaboración y exposición de pantallas y flujos de registro y autenticación de usuarios en el aplicativo
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Se debe poder realizar el flujo de registro y autenticación de usuario en el aplicativo, validando contraseña correcta y contraseña incorrecta.

Tabla 9 Historia de Usuario 8

Título	HU-9
Descripción	Exposición de manuales de uso del aplicativo y manual para toma de muestras y formación del croma.
Prioridad	Media
Criterios de aceptación	Se debe poder visualizar y navegar correctamente los manuales del aplicativo, estos deben ser claros y concisos con respecto a su contenido.

Tabla 10 Historia de Usuario 9

Título	HU-10
Descripción	Desarrollo de módulo para carga de croma a evaluar
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Se debe poder visualizar un módulo para realizar el cargue de una imagen desde la web, y en Mobile debería permitirse subir imágenes de la galería o desde la cámara del dispositivo.

Tabla 11 Historia de Usuario 10

Título	HU-11
Descripción	Exposición de Menú de opciones en el aplicativo
Prioridad	Media
Criterios de aceptación	En el aplicativo se debe tener la posibilidad de navegar sin ningún inconveniente entre los diferentes módulos por medio de un menú de opciones donde se permita: 1. Ingresar a los diferentes módulos de manuales. 2. Ingresar al módulo de cargue de imágenes de cromas a evaluar.

Tabla 12 Historia de Usuario 11

Título	HU-12
Descripción	Diseño de lógica para el consumo de api expuesta por el backend para evaluación del croma
Prioridad	Alta

Criterios de aceptación	Se debe poder ejecutar el flujo de evaluación de croma en el aplicativo Crosoil y el resultado de la evaluación debe ser el entregado por el api expuesta en el backend.
--------------------------------	--

Tabla 13 Historia de Usuario 12

Título	HU-13
Descripción	Lectura de evaluación dada por el Backend y desarrollo de formato para exposición de los resultados del análisis ejecutado
Prioridad	Alta
Criterios de aceptación	Se debe poder ejecutar el flujo de evaluación de croma en el aplicativo Crosoil y el resultado de la evaluación debe ser el entregado por el api expuesta en el backend.

Tabla 14 Historia de Usuario 13

Título	HU-14
Descripción	Toma de fotografía desde la sección de cargar Croma
Prioridad	Baja
Criterios de aceptación	La sección del aplicativo dedicada a cargar el croma a revisar debe permitir abrir la cámara del dispositivo en uso, permitiendo capturar y cargar una fotografía para su evaluación.

Tabla 15 Historia de Usuario 14

Título	HU-15
Descripción	Listado del historial de evaluaciones ejecutadas por un usuario del aplicativo
Prioridad	Baja
Criterios de aceptación	El aplicativo debe permitir por medio del menú de opciones, ingresar al módulo que permita revisar las evaluaciones ejecutadas previamente y observar el detalle de cada una.

Tabla 16 Historia de Usuario 15

A partir de la información descrita en las historias de usuario, se definen los siguientes sprints basados en las prioridades establecidas, con un tiempo de ejecución de 20 días calendario para cada sprint:

- **Sprint 1**

En el primer sprint se ejecutarán las historias de usuario catalogadas con prioridad alta, consideradas actividades fundamentales para establecer una base de conocimiento y el punto de inicio de la aplicación a publicar. Las historias de usuario a desarrollar son:

HU-1, HU-2, HU-3, HU-8

- **Sprint 2**

En el segundo sprint se ejecutarán las historias de usuario catalogadas con prioridad alta, consideradas actividades esenciales para el desarrollo de un producto mínimo viable. Las historias de usuario a desarrollar son:

HU-5, HU-6, HU-10, HU-12, HU-13

- **Sprint 3**

En el tercer Sprint, se ubican las historias de usuario definidas con prioridad media, que contienen actividades que no afectan el funcionamiento esperado de la aplicación, pero son guías fundamentales en el flujo de esta. Las historias de usuario a desarrollar son:

HU-4, HU-7, HU-9, HU-11

- **Sprint 4**

En el cuarto sprint, las historias a desarrollar son las definidas con prioridad baja, ya que contribuyen a la evolución del aplicativo, pero no son esenciales para su correcto funcionamiento. Las historias de usuario a desarrollar son:

HU-14, HU-15

4.1.3. Descripción del sistema software desarrollado

4.1.3.1. Diagrama de componentes.

A continuación, se detalla el sistema de software desarrollado.

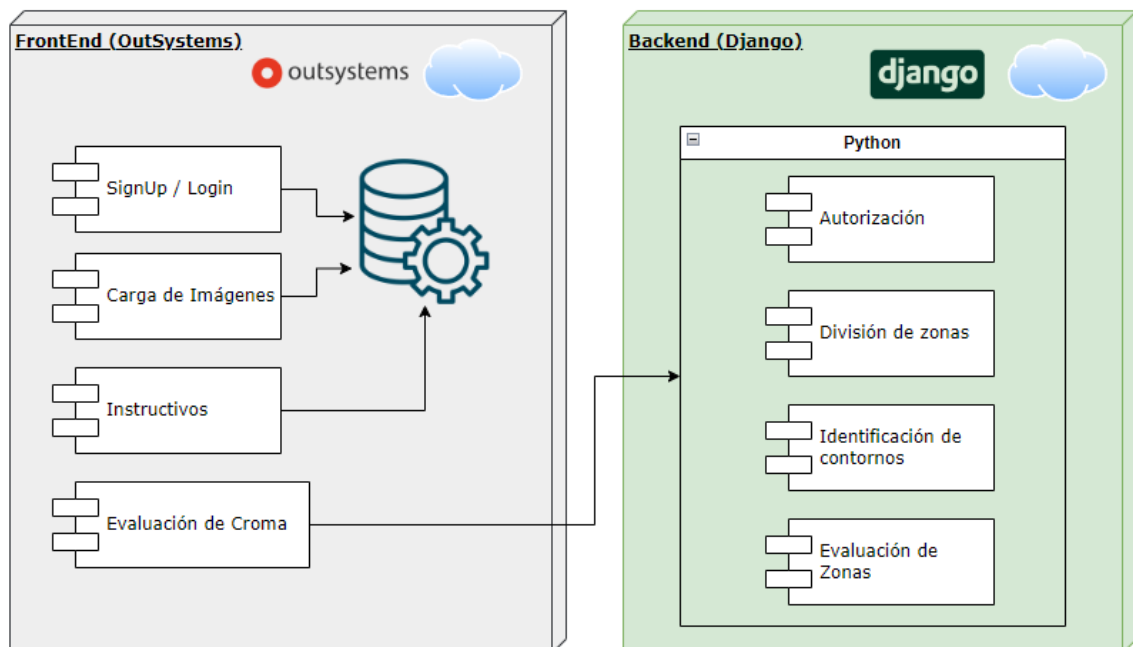


Figura 31 Diagrama de componentes. (Elaboración propia)

En la figura 30 se observa el diagrama que detalla la solución planteada y desarrollada, el sistema está compuesto por:

Frontend: El Frontend está implementado en la plataforma Outsystems en una platilla ya existente de aplicaciones web reactivas, esto debido a su facilidad de implementación y despliegue, sus componentes son:

- **SignUp/Login:** Este módulo se encarga del registro, inicio de sesión y recuperación de contraseña de los usuarios.
- **Carga de imágenes:** Este módulo es el encargado de realizar el cargue de las imágenes correspondientes, como la aplicación es de tipo reactivo en dispositivos móviles es posible cargar una foto directamente.
- **Instructivos:** El módulo de instructivos contiene los diferentes manuales requeridos para el uso del aplicativo, en este se encuentra el manual de la aplicación, manual de registro, y el respectivo manual de toma de muestras de campo.
- **Evaluación de croma:** Este módulo es el encargado de integrarse con el backend para solicitar el procesamiento de una imagen y a su vez obtener la respuesta de este para su correcta visualización.

Backend: El backend está implementado en el lenguaje de programación Python con el framework Django, el despliegue de este se realizó en una plataforma PaaS llamada render, sus componentes son:

- **Autorización:** Este componente realiza la gestión de autenticación y autorización de usuarios mediante token JWT, con el objetivo de garantizar el acceso a los endpoints expuestos.
- **División de zonas:** Se encarga de segmentar la imagen cromatográfica en las diferentes zonas correspondientes (central, interna, inmediata y externa).
- **Identificación de contornos:** Este servicio detecta y analiza los contornos de la imagen.
- **Evaluación de zonas:** Finalmente este módulo es el encargado de realizar el análisis de las zonas con los datos anteriormente obtenidos.

4.1.3.2. Diagrama de secuencia:

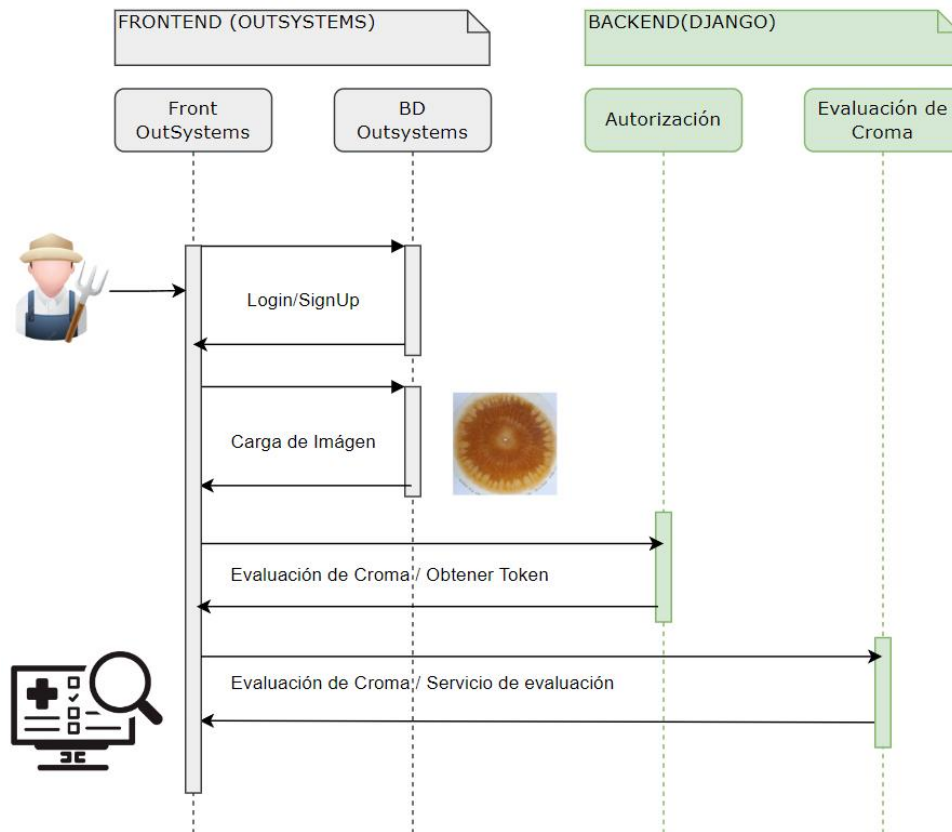


Figura 32 Diagrama de secuencia. (Elaboración propia)

- **Logging/SignUp:**
 - **Usuario:** El usuario se registra o realiza el proceso de inicio de sesión en el sistema mediante el Frontend de OutSystems.
 - **Frontend Outsystems:** Se procesa la solicitud y se envía la información a la base de datos.
 - **Base de datos OutSystems:** Realiza el insert o select de la información del usuario.
 - **Frontend Outsystems:** Procesa la respuesta de la base de datos y en base al resultado notifica al usuario.
- **Carga de imagen:**
 - **Usuario:** El usuario carga una imagen en el sistema mediante el Frontend de OutSystems.
 - **Frontend Outsystems:** Recibe la solicitud, almacena la imagen en la base de datos.

- **Base de datos OutSystems:** Realiza el almacenamiento de la imagen.
- **Frontend Outsystems:** Notifica el correcto cargue de la imagen y lo visualiza en el sistema.
- **Obtención de token:**
 - **Usuario:** El usuario realiza una petición de análisis de imagen cromatográfica.
 - **Frontend Outsystems:** Recibe la solicitud del front y envía una petición al backend de Django con las credenciales correctas para obtener un token de autorización.
 - **Autorización (Django).** El backend recibe la solicitud, valida que las credenciales sean correctas y se procede a generar y retornan un token jwt.
 - **Frontend Outsystems:** Obtiene y almacena el token para los correspondientes consumos requeridos al backend.
- **Evaluación de croma.**
 - **Frontend Outsystems:** Realiza la petición enviando como parámetros el token de autorización anteriormente obtenido y la imagen correspondiente.
 - **Backend (Django).** Recibe la imagen y el token, realiza la validación de autenticidad del token, y procesa la imagen correspondiente, luego retorna la información correspondiente.
 - **Frontend Outsystems:** Recibe los resultados retornados por el backend, y los muestra al usuario final.

4.1.3.3. Implementación FrontEnd.

Como bien se mencionó en el literal anterior el desarrollo del Frontend se implementó en la plataforma de desarrollo low code OutSystems, a continuación, se presentan las generalidades del desarrollo.

Con el objetivo de dar soporte en funcionamiento tanto en dispositivos móviles como en computadores se opta por elegir una aplicación de tipo “*Reactive Web App*”.

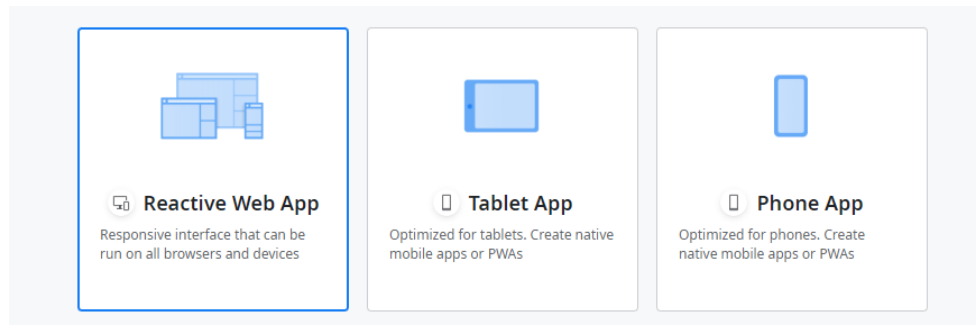


Figura 33 Tipo de aplicación. (Elaboración propia)

Se realiza la implementación de 6 pantallas las cuales son:

Login: En esta pantalla se desarrolla el inicio de sesión, registro y olvido su contraseña.

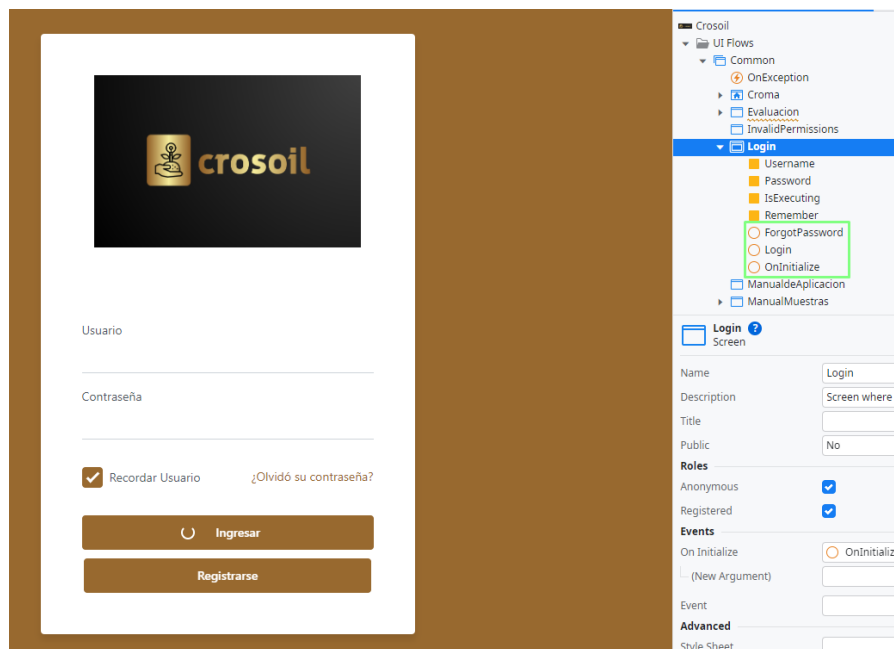


Figura 34 Pantalla Login

Registro: Este módulo, es el encargado de brindar el formulario de registro de usuarios de la aplicación, esta usa directamente la base de datos de usuarios.

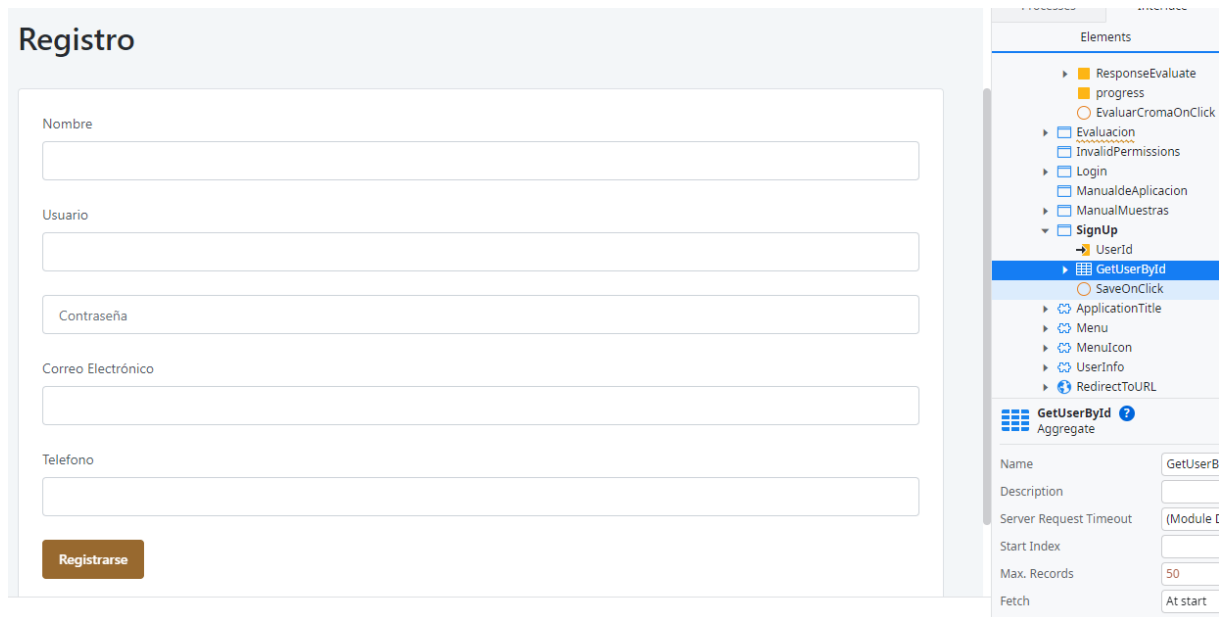


Figura 35 Módulo de Registro

Manuales: Para el módulo de manuales de usuario se usaron dos pantallas con la implementación “Interaction\Carousel”, donde se adjuntaron los respectivos instructivos.

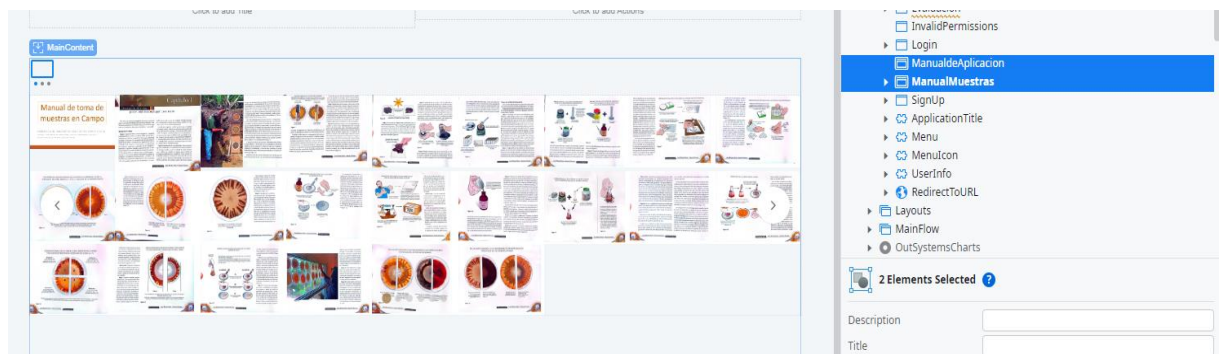


Figura 36 Pantallas de manuales. (Elaboración propia.)

Croma: Esta pantalla es la encargada de realizar el cargue de la imagen de la cromatografía del suelo, mediante la implementación de la acción de cliente mostrada a continuación se realiza el consumo al backend.

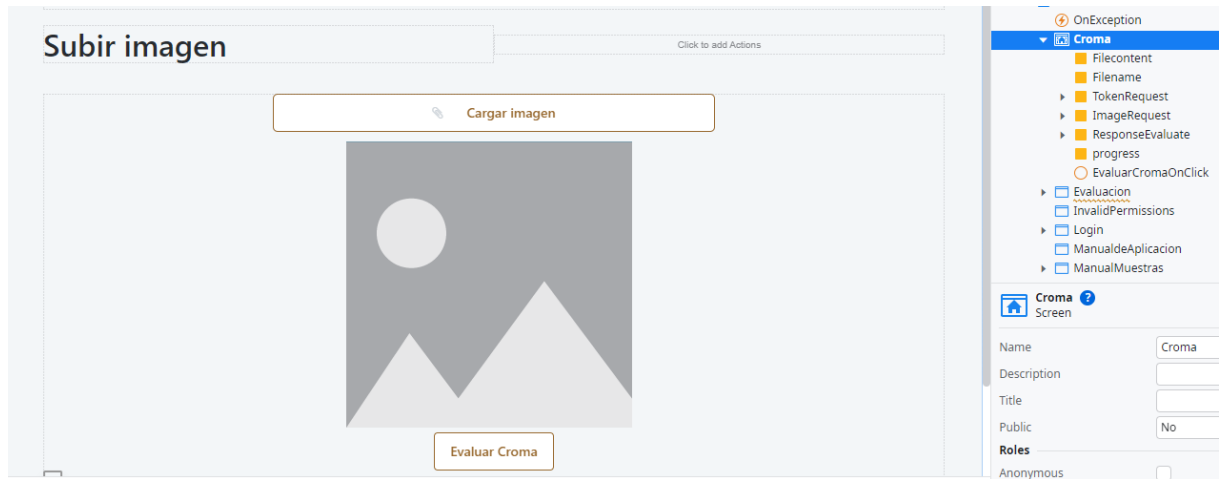


Figura 37 Pantalla Croma. (Elaboración propia)

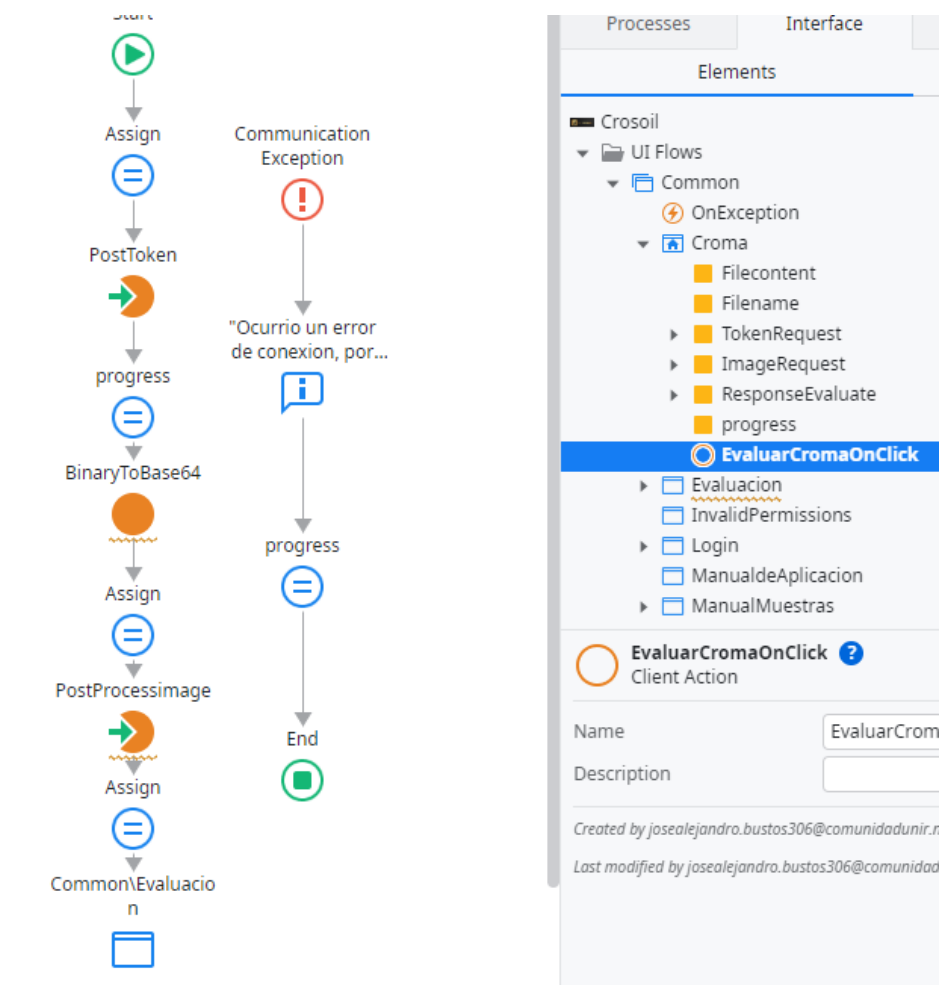


Figura 38 Acción de cliente. (Elaboración propia)

Evaluación: Esta pantalla es la encargada de mostrar el resultado obtenido por el backend con el procesamiento de la imagen, para mostrar la información segmentada por cada una de las zonas se hizo uso de la herramienta “Content\Accordion”.

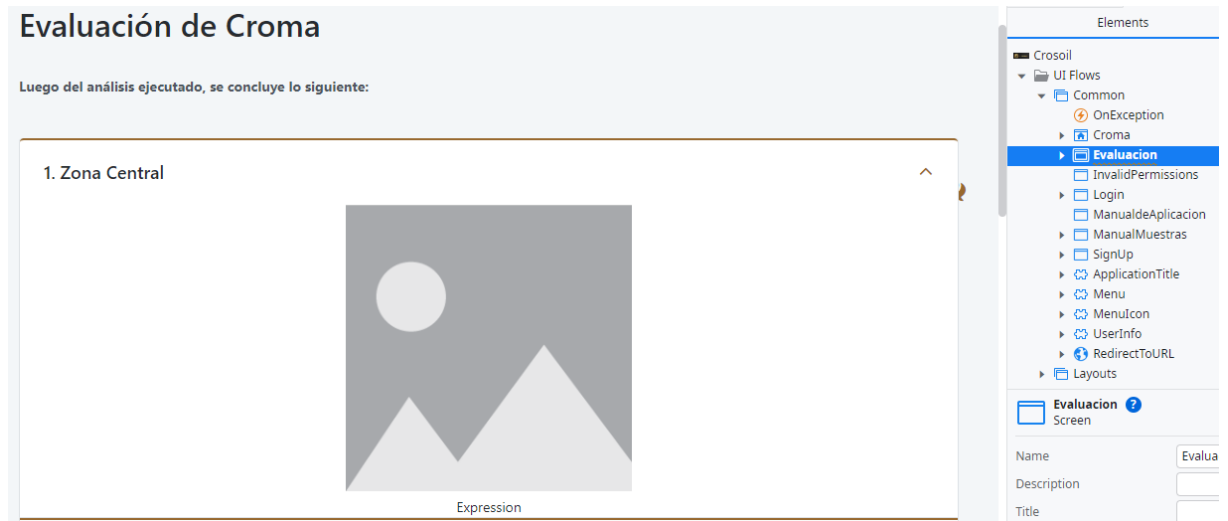


Figura 39 Pantalla evaluación. (Elaboración propia)

Finalmente, para la integración con el backend se hizo uso de los módulos REST que brindan las diferentes configuraciones necesarias como el uso de headers para la autenticación.

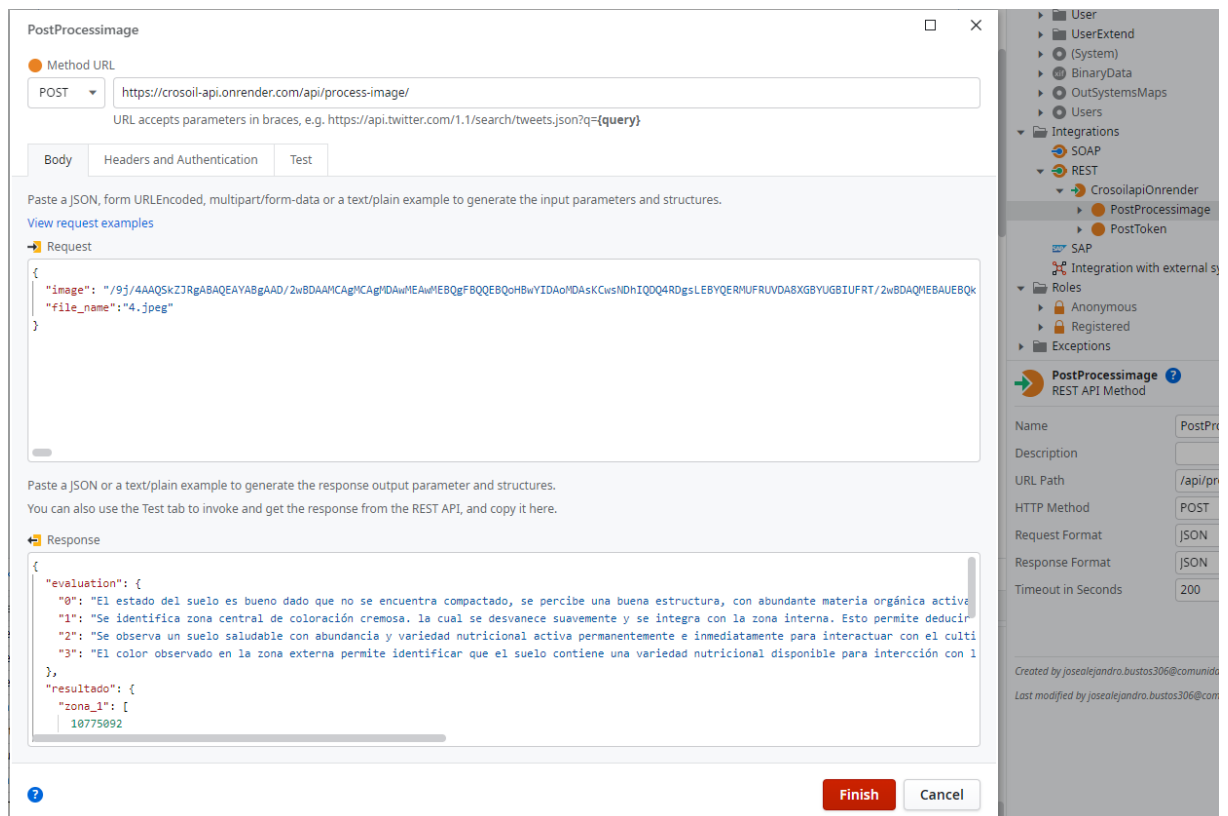


Figura 40 Modulo Rest (Elaboración propia).

4.1.3.4. Especificaciones técnicas del backend.

Para el desarrollo del backend se utilizó el lenguaje de programación Python debido a su versatilidad en el manejo de librerías para el procesamiento de imágenes. Adicionalmente, se empleó el framework Django para el desarrollo del API. A continuación, se mencionan las diferentes librerías utilizadas en el desarrollo:

- **djangoestframework:** Esta librería es ampliamente utilizada en el framework, ya que facilita la creación de APIs RESTful, además de proporcionar diversas clases para la serialización de datos, creación de vistas, entre otras funcionalidades.
- **djangoestframework-simplejwt:** Esta es una extensión de la librería anterior, utilizada para proporcionar una implementación de autenticación basada en JSON Web Tokens (JWT). Se implementó como medida de seguridad en el backend para permitir únicamente el acceso autenticado al procesamiento de imágenes mediante tokens.
- **drf-spectacular:** Esta librería facilita la generación de documentación de la API en formato OpenAPI 3.0.
- **pillow:** Esta es una biblioteca de Python diseñada para el procesamiento de imágenes. Su uso fue fundamental en el sistema para la manipulación de imágenes.
- **opencv-python:** Al igual que Pillow, OpenCV es una biblioteca de código abierto muy utilizada en visión artificial y procesamiento de imágenes. Esta biblioteca fue crucial en el desarrollo, ya que permitió implementar diversos filtros y métodos de análisis de imágenes requeridos.
- **numpy:** Esta es una biblioteca de Python que se utiliza para el manejo eficiente de matrices y la realización de diversas funciones matemáticas de alto nivel.
- **pybase64:** Pybase64 es la biblioteca implementada para dar soporte a todas las operaciones de codificación y decodificación de datos binarios.
- **gunicorn:** Gunicorn es el servidor HTTP WSGI que se utilizó para desplegar la aplicación. Es ampliamente utilizado en aplicaciones construidas con frameworks como Django.
- **whitenoise:** Esta biblioteca se usó para servir archivos estáticos en la aplicación.

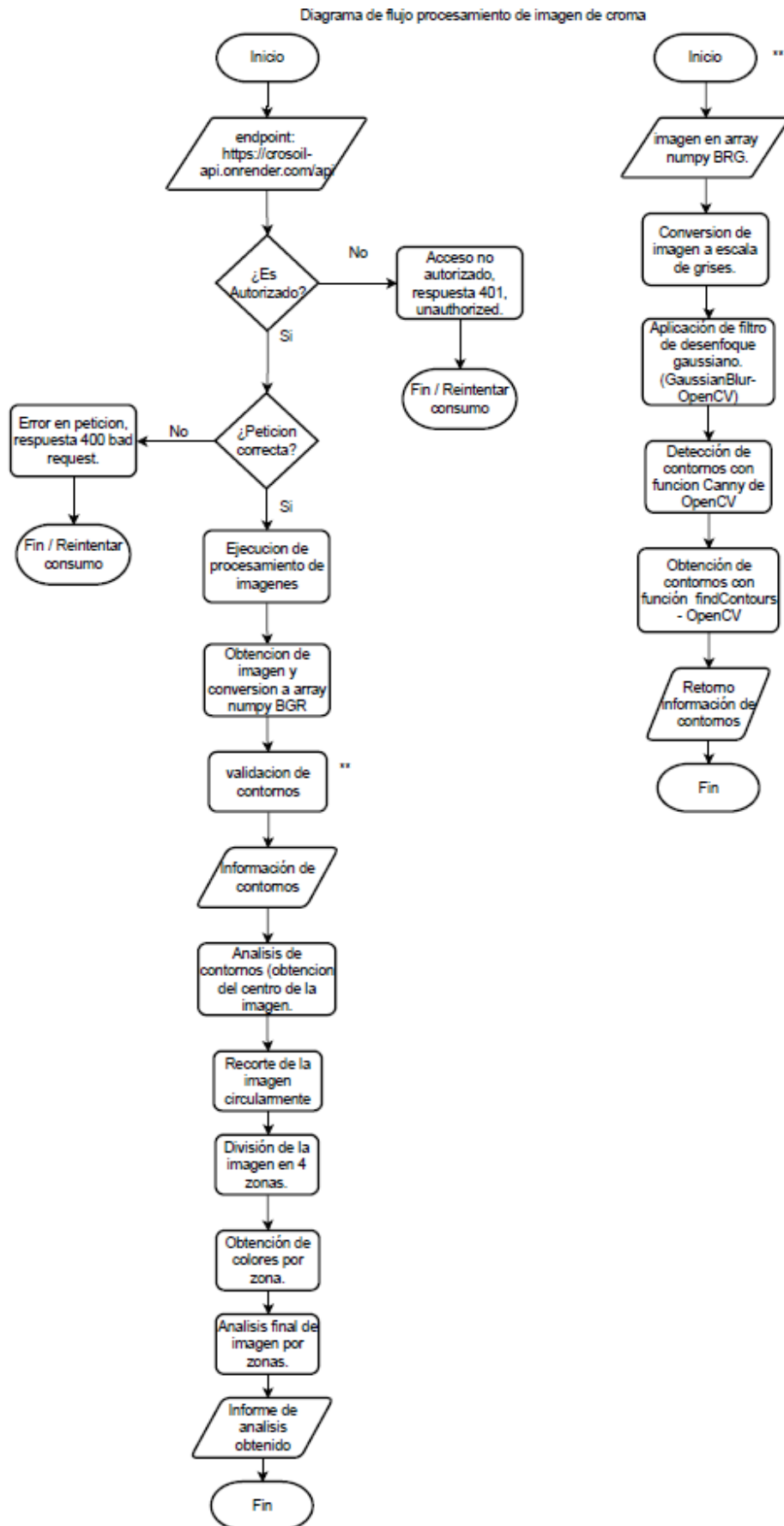


Figura 41 Diagrama de flujo procesamiento de imagen. (Elaboración propia)

4.1.3.5. Descripción de flujo de la API.

A continuación, se presenta la descripción del flujo y la codificación implementada para el procesamiento de las imágenes cromatográficas, haciendo uso de las librerías mencionadas anteriormente.

Como se puede observar en la figura 41, se muestra el flujo completo del desarrollo, el cual se describe de la siguiente manera:

A nivel general, el algoritmo implementado en el backend del sistema de procesamiento de las imágenes cromatográficas se basa en los siguientes segmentos: autenticación, acondicionamiento de la imagen, análisis de contorno, detección de centro, recorte de imagen circular, segmentación de zonas (central, interna, intermedia, externa), obtención de colores por zonas y análisis por zonas. A continuación, se describe cada uno de estos segmentos:

- **Autenticación:**

Como medida de seguridad, la implementación cuenta con protección mediante token JWT para el consumo de sus endpoints. El desarrollo se realizó usando la librería "rest_framework_simplejwt", que requiere realizar el llamado de las vistas como se muestra en la figura 42, para exponer los tres endpoints correspondientes para la implementación de tokens: refrescar, obtener y verificar token.

```
urlpatterns = [  
    path('schema/',SpectacularAPIView.as_view(),name='schema'),  
    path('schema/swagger/',SpectacularSwaggerView.as_view(url_name='api:schema'),name='swagger'),  
    path('token/',TokenObtainPairView.as_view(),name='token_obtain_pair'),  
    path('token/refresh/',TokenRefreshView.as_view(),name='token_refresh'),  
    path('token/verify',TokenVerifyView.as_view(), name='token_verify'),  
    path('process-image/',ProcessImageView.as_view(), name='process_image')  
]
```

Figura 42 implementación token. (Elaboración propia)

- **Acondicionamiento de la imagen:**

En la API expuesta, la imagen a procesar es enviada en un formato base64, por lo que es necesario que esta sea debidamente acondicionada para poder ser trabajada con las diferentes librerías necesarias. Dicho acondicionamiento se basa en decodificar el archivo base64 en primer lugar, para luego, con la ayuda de la librería Pillow, abrir la imagen y finalmente convertirla a un formato array numpy, el cual brinda la estructura requerida para las implementaciones posteriores.

Como se puede observar en la figura 43, en este apartado se hace uso de la librería pybase64 para la decodificación. Posteriormente, se utiliza la librería Pillow para abrir la imagen y, finalmente, se emplea la librería OpenCV para convertir la imagen en un array numpy de tipo BGR. Esto es necesario ya que en este formato se trabajan los diferentes métodos que se requieren implementar para procesar la imagen.

```
# Decodificar el string base64 a binario
image_data = base64.b64decode(image_data_64)
image = Image.open(BytesIO(image_data))

# Convertir la imagen PIL a un array numpy
image = cv2.cvtColor(np.array(image), cv2.COLOR_RGB2BGR)
```

Figura 43 Acondicionamiento de imagen. (Elaboración propia)

- **Análisis de contornos:**

El análisis de contornos para el desarrollo se realizó utilizando la librería OpenCV, siguiendo los pasos que se pueden observar en la figura 44. En primer lugar, se convierte la imagen a escala de grises usando el método `cvtColor`. Luego, se aplica un filtro de desenfoque gaussiano a la imagen en escala de grises para eliminar el ruido presente en la imagen; esta implementación se realiza con el método `GaussianBlur`. A continuación, se emplea el método `Canny`, que se usa para la detección de bordes. Finalmente, con el método `findContours`, se toma la imagen previamente tratada y se extraen los contornos encontrados en dicha imagen.

```
95 # Convertir la imagen a escala de grises COLOR_BGR2GRAY
96 gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
97
98 # Aplicar desenfoque para reducir el ruido
99 blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (5,5), 0)
100
101 # Detectar bordes usando Canny
102 edged = cv2.Canny(blurred, cannyLimit1, cannyLimit2)
103
104 # Encontrar contornos
105 contours, _ = cv2.findContours(edged.copy(), modeFindContours, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
106
```

Figura 44 Detección de bordes. (Elaboración propia)

Con la información de dichos contornos, se construye una implementación adicional tal como expone en la figura 45, utilizando métodos como `contourArea`, `arcLength`, y `approxPolyDP`, donde se logra extraer más información de cada uno de estos

contornos, como el área, el perímetro, la forma aproximada y el centroide. Esta información es utilizada en pasos posteriores para realizar los respectivos análisis.

```
94 def detectar_contornos(self, image, cannyLimit1, cannyLimit2, modeFindContours, const)
112     for contour in contours:
113         # Calcular el área
114         area = cv2.contourArea(contour)
115
116         # Calcular el perímetro
117         perimeter = cv2.arcLength(contour, True)
118
119         # Aproximar el contorno
120         epsilon = 0.02 * perimeter
121         approx = cv2.approxPolyDP(contour, epsilon, True)
122
123         # Determinar la forma basada en el número de lados
124         if len(approx) == 2:
125             shape = "Línea"
126         elif len(approx) == 3:
127             shape = "Triángulo"
128         elif len(approx) == 4:
129             (x, y, w, h) = cv2.boundingRect(approx)
130             aspect_ratio = w / float(h)
131             shape = "Cuadrado" if 0.95 <= aspect_ratio <= 1.05 else "Rectángulo"
132         elif len(approx) == 5:
133             shape = "Pentágono"
134         else:
135             shape = "Círculo"
136
137         # Calcular el rectángulo delimitador
138         x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
139         bounding_box = {
140             'x': x,
141             'y': y,
142             'width': w,
143             'height': h
144         }
145
146         # Calcular el centroide
147         M = cv2.moments(contour)
148         if M["m00"] != 0:
149             cx = int(M["m10"] / M["m00"])
150             cy = int(M["m01"] / M["m00"])
151         else:
152             cx, cy = 0, 0
153         centroid = {
154             'cx': cx,
155             'cy': cy
156         }
```

Figura 45 Información de contornos. (Elaboración propia)

A continuación, se brinda una ilustración de cómo resulta la imagen al realizar el proceso anteriormente descrito con sus contornos.

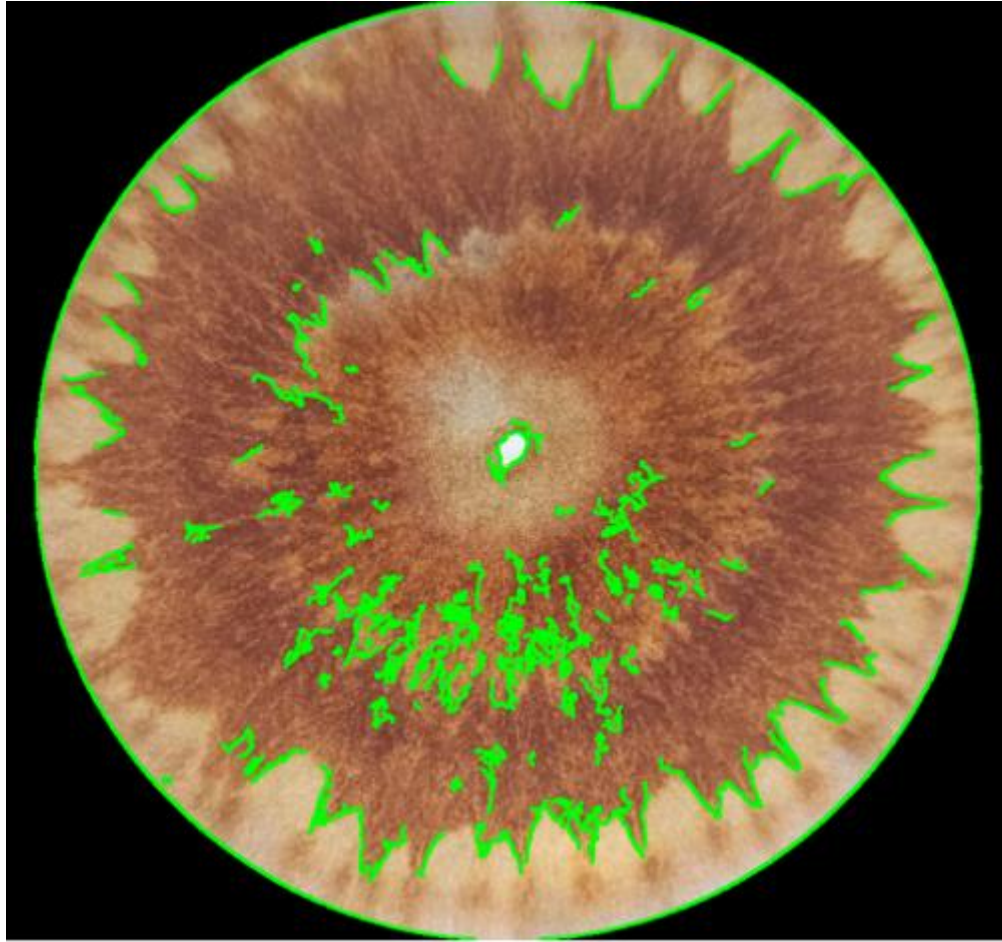


Figura 46 Imagen con contornos. (Elaboración propia).

- **Detección de centro:**

Debido a que el cromatograma es una circunferencia, es de suma importancia encontrar su centro exacto para poder realizar de manera adecuada la segmentación necesaria de la imagen. Luego de obtener la información de los contornos, se procede a analizarlos para determinar dicho centro. Para lograr este objetivo, se toma el array de contornos obtenido previamente y se itera sobre estos, buscando el contorno que esté más cercano al centro de la imagen. Finalmente, como se observa en la figura 46, del resultado de la iteración se obtienen los datos de área, perímetro, forma aproximada, cuadro delimitador y centroide.

```
216     for contour in contours:
217         area = cv2.contourArea(contour)
218         perimeter = cv2.arcLength(contour, True)
219         shape = 'irregular' # placeholder
220         x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
221         bounding_box = (x, y, w, h)
222         M = cv2.moments(contour)
223         if M['m00'] != 0:
224             cx = int(M['m10'] / M['m00'])
225             cy = int(M['m01'] / M['m00'])
226         else:
227             cx, cy = 0, 0
228         centroid = (cx, cy)
229
230         # Identify the central contour
231         distance_to_center = np.sqrt((centro_x - cx) ** 2 + (centro_y - cy) ** 2)
232         if distance_to_center < min_distance:
233             min_distance = distance_to_center
234             central_contour_data = {
235                 'area': area,
236                 'perimeter': perimeter,
237                 'shape': shape,
238                 'bounding_box': bounding_box,
239                 'centroid': centroid
240             }
```

Figura 47 Análisis de contornos. (Elaboración propia)

- **Recorte de imagen:**

Teniendo identificado el contorno más cercano al centro de la imagen, se procede a recortar la imagen circularmente con el fin de eliminar cualquier fuente de ruido para los procesos posteriores. Como se puede observar en la figura siguiente, se define una función que toma como parámetro la imagen y el centroide del contorno central previamente identificado. Con estos datos, se obtiene el alto y ancho de la imagen y se calcula el radio correspondiente. Luego, con estos parámetros, se implementa el método `cv2.circle` de la librería OpenCV, que realiza el recorte esperado. Para finalizar, se crea una máscara de fondo blanco que se usa para evitar cualquier fuente de ruido posterior. Finalmente, la función retorna la imagen recortada con la máscara aplicada.


```
171 # Se recorta la imagen circularmente y se pone un fondo blanco.
172 def recortar_imagen_circular(self,image,centroid):
173
174     #Se obtienen los datos de la imagen
175     h, w = image.shape[:2]
176
177     center = centroid
178     #Se obtiene el radio con la valor del centroide el alto y ancho de la imagen
179     radius = min(center[0], center[1], w - center[0], h - center[1])
180
181     mask = np.zeros((h, w), dtype=np.uint8)
182     cv2.circle(mask, center, radius, (255, 255, 255), thickness=-1)
183
184     result = cv2.bitwise_and(image, image, mask=mask)
185
186     # Crear una imagen blanca del mismo tamaño
187     white_background = np.ones_like(image, dtype=np.uint8) * 255
188
189     # Copiar la imagen resultante en el fondo blanco usando la máscara inversa
190     mask_inv = cv2.bitwise_not(mask)
191     result = cv2.add(result, cv2.bitwise_and(white_background, white_background, mask=mask_inv))
192
193     return result
```

Figura 48 Recorte imagen circular. (Elaboración propia)

Finalmente, el resultado obtenido con el proceso descrito se ve de la siguiente manera:



Figura 49 Imagen circular. (Elaboración propia)

- **Segmentación de zonas (central, interna, intermedia, externa):**

Como bien se ha mencionado anteriormente y se puede observar en la siguiente figura, es importante recalcar que para el proceso de análisis es necesaria la segmentación del croma en sus correspondientes zonas principales: central, interna, intermedia y externa. Para lograr este efecto, se realiza la implementación descrita en la figura 49.

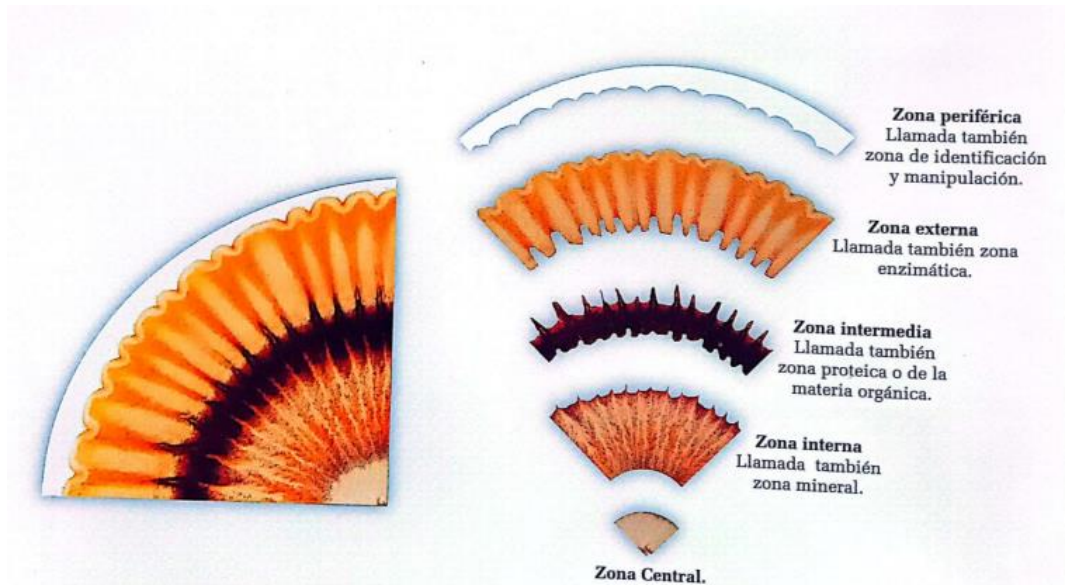


Figura 50 Zonas del croma. (CROMATOGRAFÍA Imágenes de Vida y Destrucción del Suelo, 2021.)

Como se observa a continuación, es clave entender inicialmente que la zona central es circular y las demás son de tipo “dona”. Por tal motivo, se realiza la implementación mediante una iteración para obtener las 4 zonas correspondientes usando el método `cv2.circle` de la librería OpenCV. En la primera iteración, se forma la zona central en forma circular, y en las siguientes, se toma la imagen restante y se recorta con la imagen siguiente, de esta manera la máscara creada resulta en forma de dona. Posterior a obtener las 4 máscaras correspondientes, se usa la función `cv2.bitwise_not`, en la cual se toma la imagen original y se aplican las respectivas máscaras creadas, obteniendo de esta manera cada zona específica por separado con las formas esperadas: zona central – forma circular, zona interna, intermedia y externa – forma de dona.


```
287 # Create mascara para las 4 partes
288 masks = []
289 for i in range(4):
290     mask = np.zeros((image.shape[0], image.shape[1]), dtype=np.uint8)
291     if i == 0:
292         # Zona centro circulo
293         cv2.circle(mask, (cX, cY), radius // 4, (255), thickness=-1)
294     else:
295         # Zonas tipo dona
296         cv2.circle(mask, (cX, cY), (i + 1) * radius // 4, (255), thickness=-1)
297         cv2.circle(mask, (cX, cY), i * radius // 4, (0), thickness=-1)
298     masks.append(mask)
299
300
301 parts = []
302 title = []
303 average_colors = []
304 average_colors_rta = {}
305 i=0
306 j=0
307
308 for mask in masks:
309     part = cv2.bitwise_and(image, image, mask=mask)
310
311     # Make the background white
312     white_background = np.ones_like(image, dtype=np.uint8) * 255
313     mask_inv = cv2.bitwise_not(mask)
314     part = cv2.add(part, cv2.bitwise_and(white_background, white_background, mask=mask_inv))
315     parts.append(part)
```

Figura 51 Segmentación por zonas. (Elaboración propia)

El resultado de la segmentación por zonas resulta de esta manera:

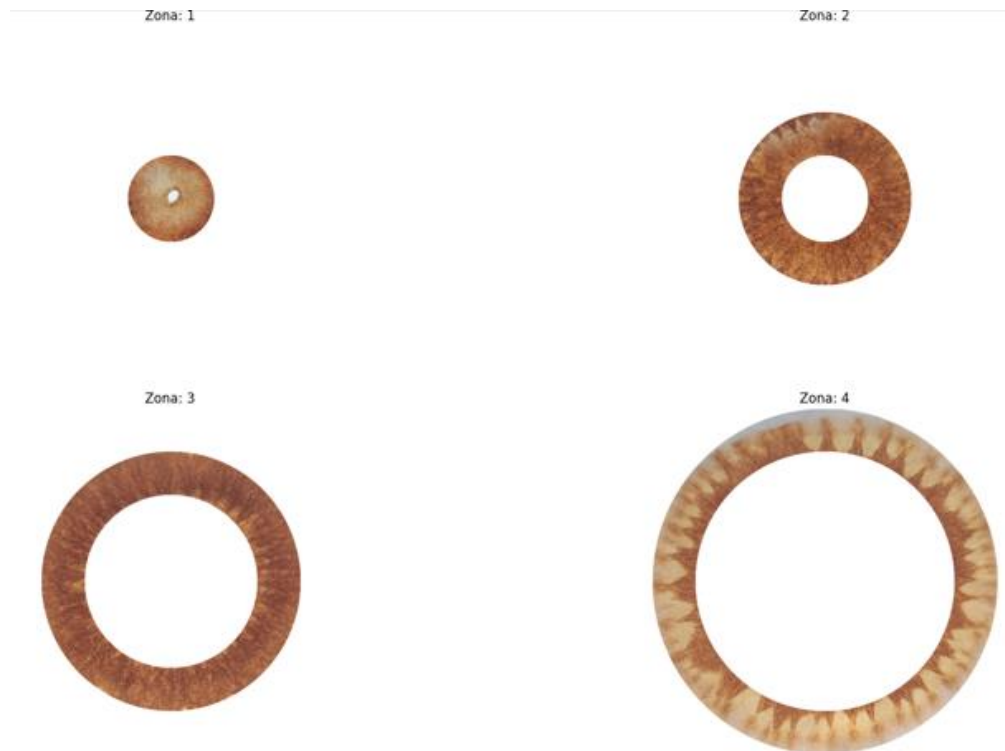


Figura 52 Segmentación por zonas. (Elaboración propia)

Adicional, se observa de la siguiente manera la aplicación de acondicionamiento de la imagen y contornos para la zona externa del croma.

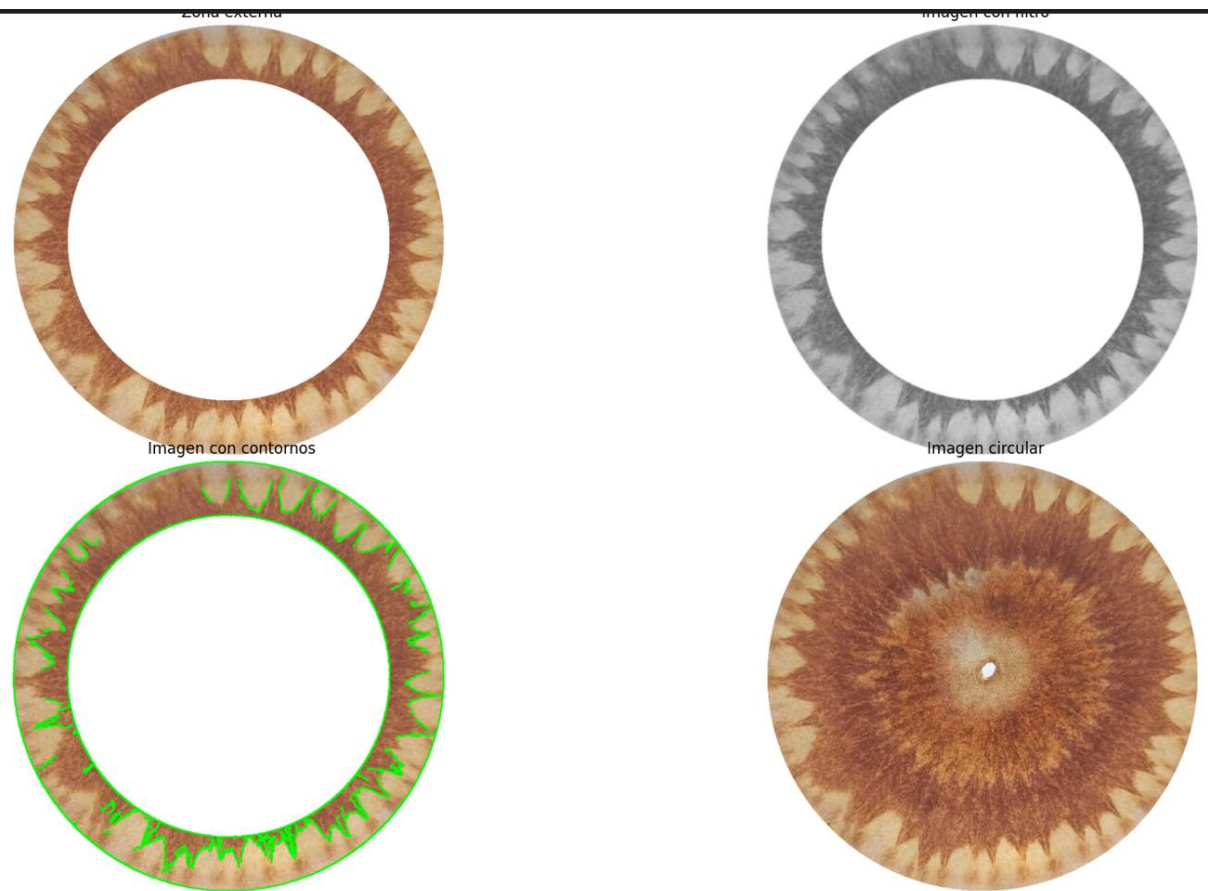


Figura 53 Contornos zona externa (Elaboración propia).

- **Obtención de colores por zonas**

Teniendo las zonas por separado, se procede a realizar el análisis de color en cada una de estas, ya que este será el principal insumo para realizar el análisis correspondiente del croma. Para lograr esto, se hace uso del método `cv2.mean` de la librería OpenCV, que se utiliza para calcular el promedio de los canales de color de la correspondiente imagen.

Como se puede ver en el código a continuación, se itera por las diferentes zonas y se toma el promedio de color de cada una. Además, se realiza una conversión ya que la función `cv2.mean` retorna los colores en los canales BGR. Para facilitar el posterior análisis, se transforma a su respectivo valor decimal.

```
308     for mask in masks:
309         part = cv2.bitwise_and(image, image, mask=mask)
310
311         # Make the background white
312         white_background = np.ones_like(image, dtype=np.uint8) * 255
313         mask_inv = cv2.bitwise_not(mask)
314         part = cv2.add(part, cv2.bitwise_and(white_background, white_background, mask=mask_inv))
315         parts.append(part)
316         i+=1
317         j+=1
318         title.append('Zona: '+str(i))
319         externalZone= part
320         # Calculate average color
321         average_color = cv2.mean(part, mask=mask)[:3]
322         average_colors.append(average_color)
323         average_colors_rta[f'zona_{j}'] = {
324             int(average_color[2]) * 256 * 256 + int(average_color[1]) * 256 + int(average_color[0])
325         }
326
```

Figura 54 Obtención de promedio de colores por zona. (Elaboración propia)

- **Análisis por zonas:**

Finalmente, con los datos de color obtenidos para cada región, se procede a realizar el correspondiente análisis. De acuerdo con la zona y el color obtenido, se creó una fuente de datos basada en la bibliografía consultada y con la ayuda del especialista en cromatografía de suelos, Ingeniero Agrónomo Carlos Andrés Bustos González. Se obtuvo una "tabla" en formato CSV con las cabeceras "color, zona 1, zona 2, zona 3, zona 4", como se indica en la figura a continuación.

Es importante recalcar que en la fuente de datos no se contempló toda la gama de colores, ya que no toda la gama es característica en la cromatografía de suelos. Por ejemplo, una tonalidad rosada no es posible tenerla en dicho análisis, por lo tanto, se descarta y se cataloga como color desconocido, lo que incurriría en error al realizar el procedimiento de obtención del croma.

	color,zona1,zona2,zona3,zona4
1	10506797,1,1,0,0
2	10824234,1,0,0,0
3	11119017,1,0,0,0
4	11393254,1,0,0,0
5	11403055,1,0,0,0
6	11529966,1,0,0,0
7	11584734,1,0,0,0
8	11591910,1,0,0,0
9	11674146,1,0,0,0
10	12092939,1,0,1,1
11	12211667,1,0,0,0
12	

Figura 55 Datos de colores por zonas. (Elaboración propia)

Posteriormente, con el resultado obtenido del cruce de colores del cromatograma de suelo con respecto a la fuente de datos, se procede a dar las conclusiones respectivas sobre la evaluación por zonas. Es decir, finalmente, a partir de los resultados del cruce, se brinda la retroalimentación correspondiente.

A continuación, se presenta el modelo de respuesta generado por el backend, donde se puede observar que se tienen las siguientes variables, evaluación, result, image, image_filter, image_with_contours_base64, zones_images:

Evaluation: Esta variable contiene las 4 respuestas obtenidas del análisis realizado a la imagen, una por cada zona de la siguiente manera la respuesta “0” corresponde a la zona central, la “1” a la zona interna, la “2” a la zona intermedia y la “3” a la zona externa.

Result: El campo result este compuesto por las 4 zonas donde cada una de estas indica el valor del color promedio resultante, este valor se retorna en un valor decimal.

Image: El campo image retorna el base 64 de la imagen cargada.

image_filter: El campo image_filter retorna el base de la imagen con el filtro gaussiano aplicado.

image_with_contours_base_64: Este campo retorna el base 64 de la imagen cargada con el procesamiento inicial y la aplicación de contornos.

zone_image: Este arreglo retorna las 4 imágenes en base 64 correspondientes a las 4 zonas debidamente segmentadas.

```
{
  "evaluation": {
    "0": "string",
    "1": "string",
    "2": "string",
    "3": "string"
  },
  "result": {
    "zone_1": [
      "integer"
    ],
    "zone_2": [
      "integer"
    ],
    "zone_3": [
      "integer"
    ],
    "zone_4": [
      "integer"
    ]
  },
  "image": "string",
  "image_filter": "string",
  "image_with_contours_base64": "string",
  "zones_images": {
    "0": "string",
    "1": "string",
    "2": "string",
    "3": "string"
  }
}
```

Figura 56 Modelo de respuesta. (Elaboración propia)

4.1.3.6. Despliegue y documentación del api.

El despliegue del aplicativo se realiza en la plataforma de alojamiento Render, la cual ofrece una amplia gama de servicios. Render proporciona un entorno de despliegue fácil e intuitivo para aplicaciones web con soporte para Node.js, Django, Go, Rust, entre otros. Esta es una plataforma como servicio (PaaS), lo que implica que no es necesario preocuparse por la

infraestructura, ya que la plataforma se encarga de administrarla. Adicionalmente, Render cuenta con implementación de despliegue continuo, lo que significa que, una vez configurado el despliegue inicial, este se desplegara automáticamente las veces que sea necesario.

El proceso de despliegue se basó, en primera instancia, en realizar la conexión entre Render y el repositorio en el cual se aloja la aplicación. Posteriormente, se realizaron las configuraciones de despliegue donde se indica el comando de construcción, el comando de arranque, y finalmente se establecen las variables de entorno requeridas. Con estos pasos completados, el despliegue queda realizado, como se observa a continuación.

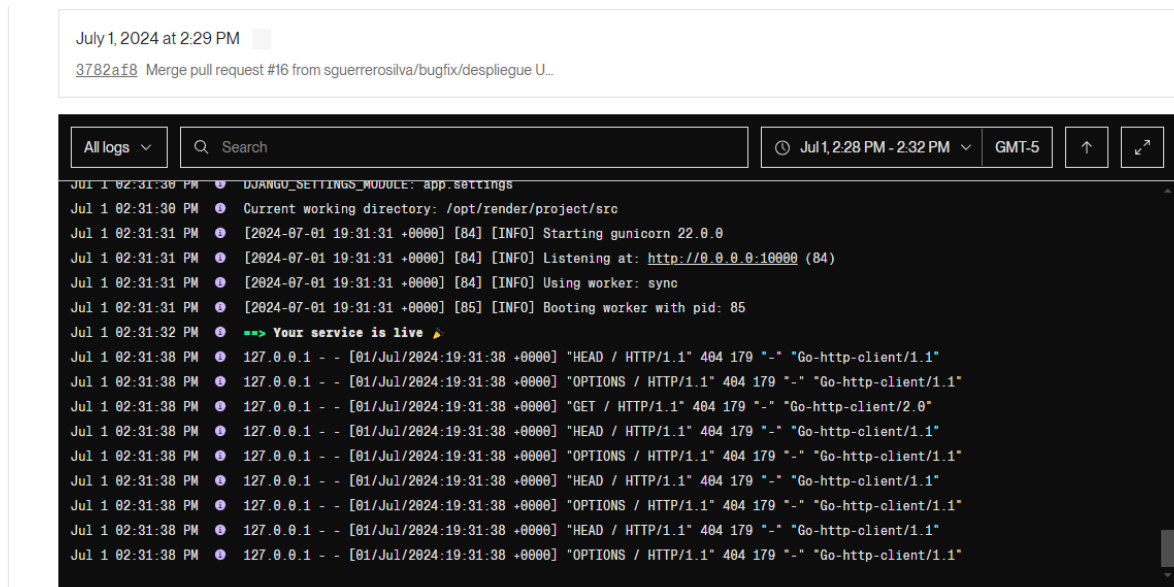


Figura 57 Despliegue render. (Elaboración propia)

Como se puede evidenciar la aplicación quedo desplegada correctamente y expuesta en la url: <https://crosoil-api.onrender.com>, se puede ver que esta quedo documentada con swagger, y se presentan los endpoint de autenticación los cuales son:

1. **/api/token/**: Este endpoint toma los datos de credenciales de acceso y devuelve un par de tokens de acceso y refresh, este token de acceso es el usado para realizar el consumo del endpoint creado para procesar la imagen.
2. **/api/token/refresh/**: Este endpoint toma el token de refresh y retorna un token de autorización valido.
3. **/api/token/verify/**: Este endpoint toma un token de acceso y verifica si tiene valides o no.

4. **/api/shema/**: Este endpoint retorna la especificación OpenAPI del api, allí se describe toda la información como rutas, métodos parámetros.
5. **/api/process-image**: Este endpoint ejecuta el procesamiento de la imagen y de respuesta obtiene toda la información mencionada anteriormente.

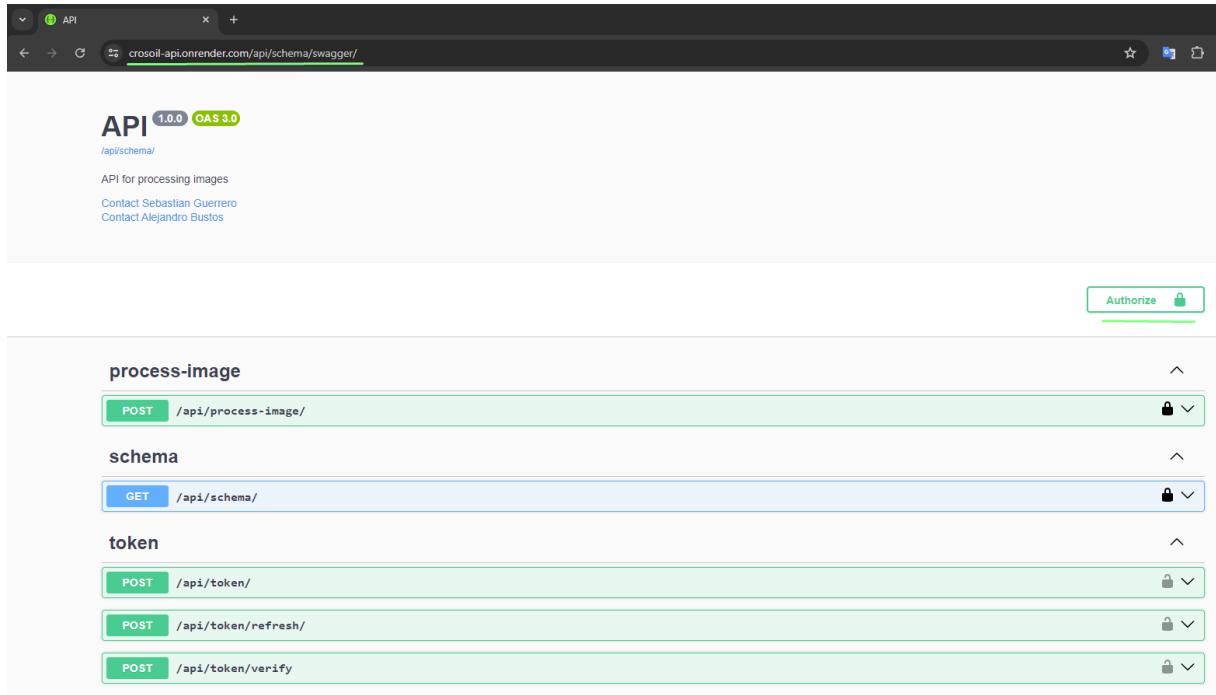


Figura 58 Documentación swagger.

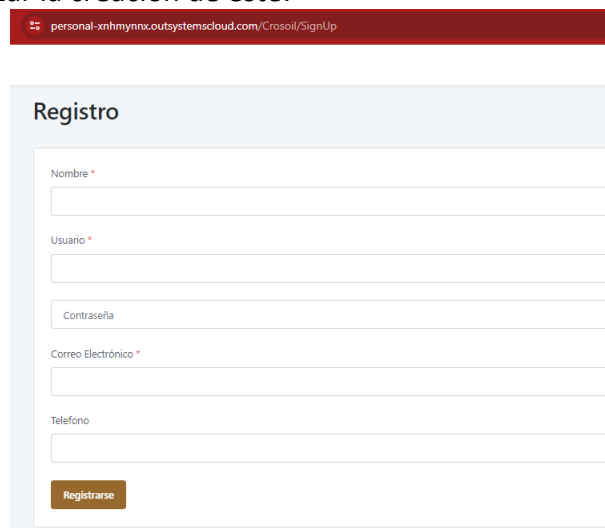
4.1.4. Evaluación

A continuación, se describen las pruebas ejecutadas sobre las funcionalidades solicitadas en el aplicativo a desarrollar, detallando los resultados esperados y los resultados reales en cada módulo. Se expondrán imágenes del funcionamiento de cada sección de la aplicación:

Id Prueba	001
Funcionalidad	Gestión de Registro
Caso de Uso	Registro de usuario nuevo en la Aplicación
Descripción de la prueba	Esta funcionalidad debe permitir la creación de usuario con el ingreso de correo y contraseña para permitir el acceso al aplicativo.
Resultado esperado	Creación de usuario diligenciando campos indispensables para el acceso como lo son el Correo y Contraseña
Resultado Real	Se realiza de forma correcta la creación de usuario en el aplicativo, en el cual se deben diligenciar los campos de Nombre, Usuario, Contraseña y Correo Electrónico de forma obligatoria. Adicional se brinda la posibilidad de ingresar número telefónico personal pero este campo no es obligatorio.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	El flujo para creación de usuario es de fácil acceso sin inconvenientes en la interpretación de la información requerida.

Tabla 17 Caso de prueba funcional de software 001. (Elaboración propia).

Para el caso de prueba funcional de software 001, se revisan las siguientes pantallas en las cuales se observan los formularios para acceder al registro de un usuario, y los campos obligatorios para realizar la creación de este:



personal-xnhmynrx.outsystemscloud.com/Crosol/SignUp

Registro

Nombre *

Usuario *

Contraseña

Correo Electrónico *

Telefono

Registrarse

Figura 59 Formulario para registro de usuarios en el aplicativo

Id Prueba	002
Funcionalidad	Gestión de Sesión
Caso de Uso	Ingreso de usuario en la Aplicación
Descripción de la prueba	El aplicativo debe permitir acceder con las credenciales de un usuario ya registrado, y administrar el control de la sesión con el cierre voluntario
Resultado esperado	Se debe diligenciar un formulario con las credenciales usuario y contraseña para acceder a los diferentes módulos disponibles en la aplicación.
Resultado Real	Se muestra en pantalla el formulario que permite el ingreso de Usuario y Contraseña, y se obtiene autenticación correcta con los datos de los usuarios ya registrados anteriormente.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	No se presentan observaciones sobre el ingreso al aplicativo

Tabla 18 Caso de prueba funcional de software 002. (Elaboración propia).

A continuación, se evidencia el formulario expuesto por el aplicativo para el ingreso con usuario y contraseña, de usuarios anteriormente registrados:

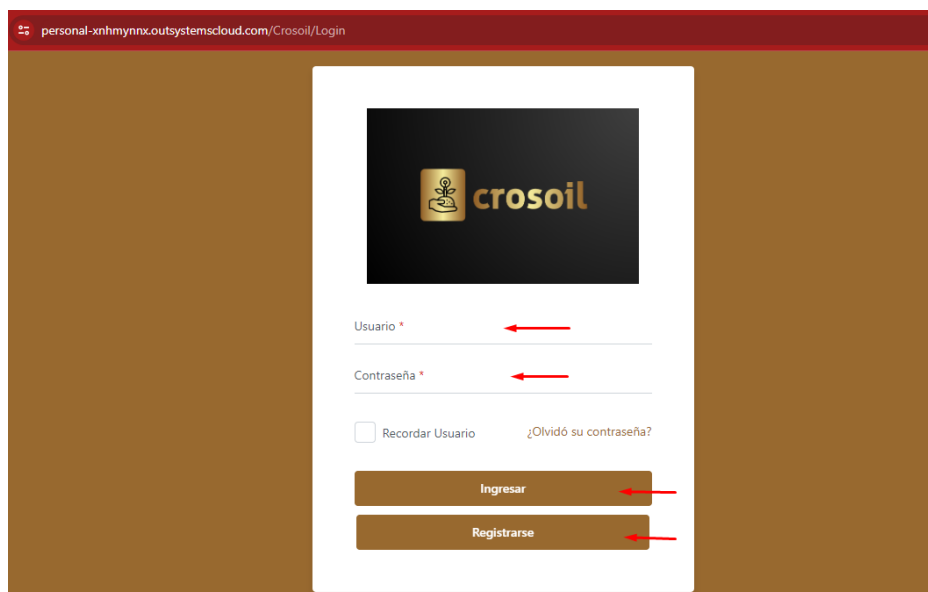


Figura 60 Formulario para ingreso de usuarios en el aplicativo

Id Prueba	003
Funcionalidad	Gestión de Instructivos
Caso de Uso	Visualización de manuales de uso del aplicativo, y manual para generación de cromograma a partir de una muestra del suelo a evaluar.
Descripción de la prueba	El aplicativo debe permitir al usuario acceder a los manuales de uso del aplicativo, así como a un manual para la toma de muestras de suelo y la generación del cromograma requerido.
Resultado esperado	Se debe tener acceso a un apartado con manuales que sirvan como guía para el uso de la aplicación, además de un manual para el trabajo previo que se debe ejecutar para tener apoyo en la generación del cromograma a evaluar.
Resultado Real	Al ingresar al aplicativo, se tiene acceso a dos apartados diferentes. 1. El primero contiene instructivos para el registro e ingreso de usuarios al aplicativo, así como la forma en la que se realiza el cargue de la imagen del cromograma, y su posterior evaluación. 2. El segundo apartado presenta el proceso descrito en el libro "Cromatografía - Imágenes de vida y destrucción del suelo" en el cual se muestra paso a paso el método y materiales correctos para la generación del cromograma que será evaluado posteriormente por el aplicativo de análisis de salud del suelo.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	Los módulos en los cuales se encuentran los manuales se encuentran visibles en la barra de menú principal, por lo tanto, se encuentran al alcance del usuario sin inconveniente alguno para tener acceso a estas guías.

Tabla 19 Caso de prueba funcional de software 003. (Elaboración propia).

Los módulos que corresponden a la visualización de manuales de uso del aplicativo, así como a un manual para la toma de muestras de suelo y la generación del croma requerido, se muestran a continuación:

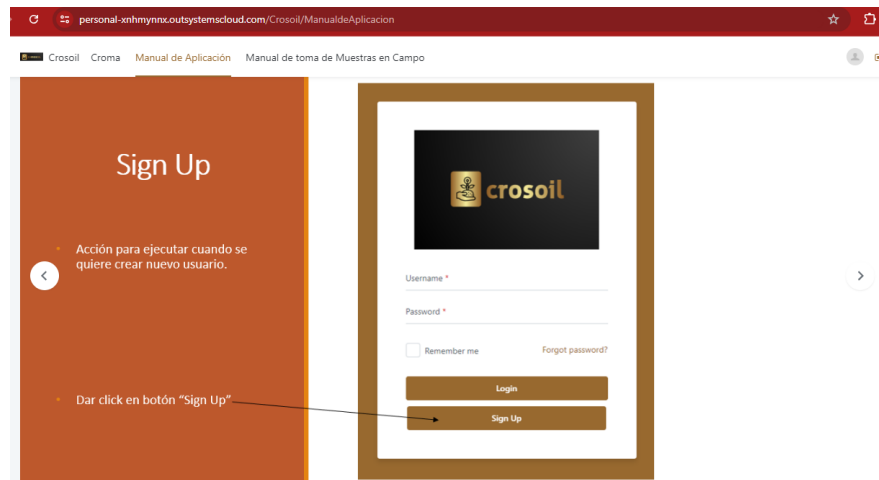


Figura 61 Manual de Aplicación

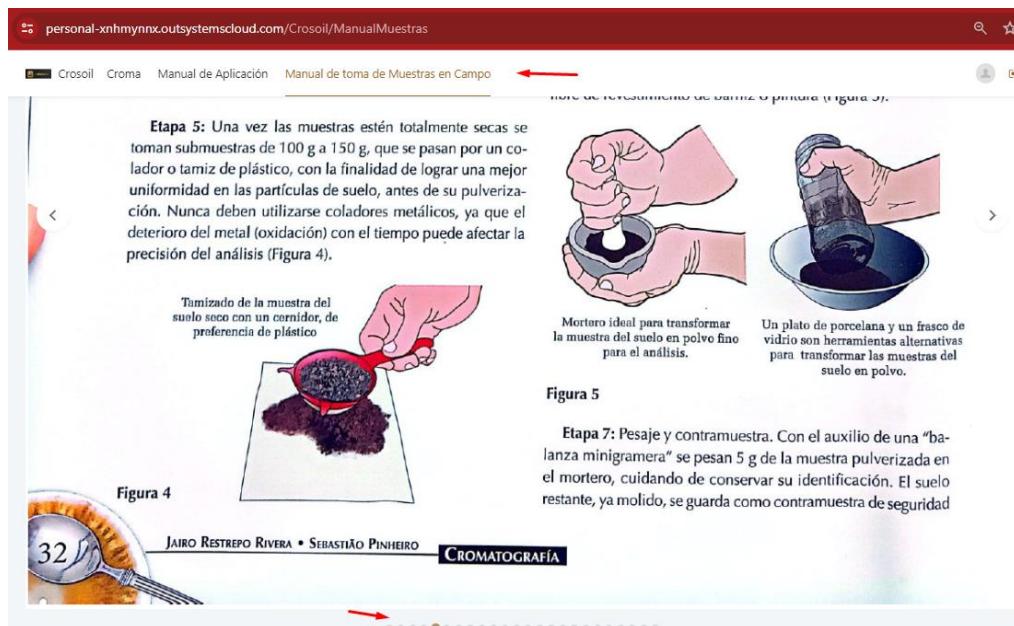


Figura 62 Manual de toma de muestras en Campo

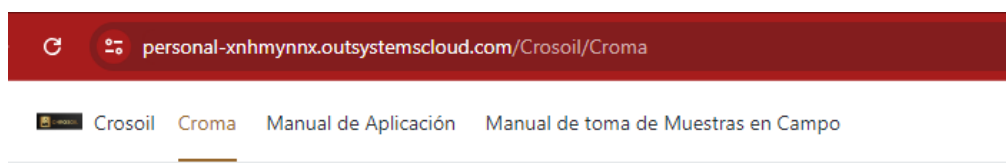


Figura 63 Menú Principal del Aplicativo

Id Prueba	004
Funcionalidad	Procesamiento de Imagen
Caso de Uso	Análisis correcto del croma cargado en la aplicación para ser evaluado
Descripción de la prueba	Se debe realizar el cargue de la imagen del croma a revisar y se debe mostrar en pantalla el resultado de la evaluación ejecutada por el aplicativo.
Resultado esperado	El sistema debe permitir el cargue de una imagen, y ejecutar el análisis del croma en evaluación, aportando un resultado aproximado al análisis que sea ejecutado por un profesional en la revisión de este tipo de cromas.
Resultado Real	1. El cargue del croma a evaluar se ejecuta de forma sencilla y práctica. 2. El análisis ejecutado por la aplicación da como resultado que es acertado en la evaluación de los colores del croma, pero se hace indispensable tener en cuenta el análisis a ejecutar con base en las formas y contornos presentados por cada región del croma.
Responsable de Ejecución	José Alejandro Bustos, Sebastián Felipe Guerrero, Carlos Andrés Bustos, Jhally Alejandra Sanabria Forero, Helmer Civel Duque Álvarez
Comentarios	Tanto el cargue de la imagen a revisar, como la exposición de los resultados de la evaluación ejecutada por el aplicativo, son visibles de forma clara y práctica para el usuario final.

Tabla 20 Caso de prueba funcional de software 004. (Elaboración propia).

La primera parte de este caso de prueba se enfoca en el cargue del croma destinado para evaluación por parte del aplicativo. Se encuentra un proceso sencillo de carga de imágenes locales:



Figura 64 Visualización de opción para cargar imagen a evaluar

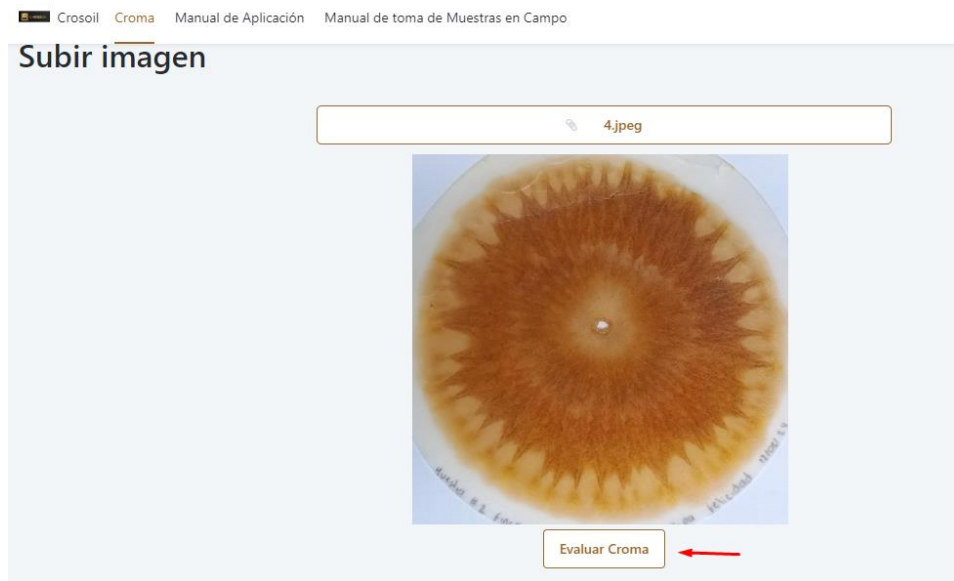


Figura 65 Imagen cargada y lista para ser revisada por el aplicativo

En la segunda parte de este caso de prueba, se tiene en cuenta que para la correcta evaluación del procesamiento de imágenes ejecutado por el aplicativo desarrollado, se tomará como referencia la descripción dada por Restrepo y Pinheiro en su publicación "CROMATOGRAFÍA. Imágenes de vida y destrucción del suelo", donde se expone el significado de las diferentes tonalidades de color según la zona evaluada de cada cromatograma. Asimismo, se evaluará en conjunto con el Ingeniero Carlos Bustos la interpretación de cada muestra de suelo, aprovechando su experiencia en este tipo de lecturas para obtener otro punto de comparación y verificar el funcionamiento del análisis ejecutado por el aplicativo CROSOIL.

El trabajo de recolección de muestras de suelo y el procesamiento de las mismas para obtener los cromas a evaluar fue realizado por los estudiantes de Ingeniería Agroecológica de la Universidad del Tolima: Jhally Alejandra Sanabria Forero y Helmer Civel Duque Álvarez, quien también cuenta con el título de Bombero Agroecológico. En el presente artículo se exponen 4 cromas con características relacionadas a distintos suelos evaluados.

En la siguiente imagen se observa la ejecución de la orden para Evaluar el Croma cargado en el aplicativo:

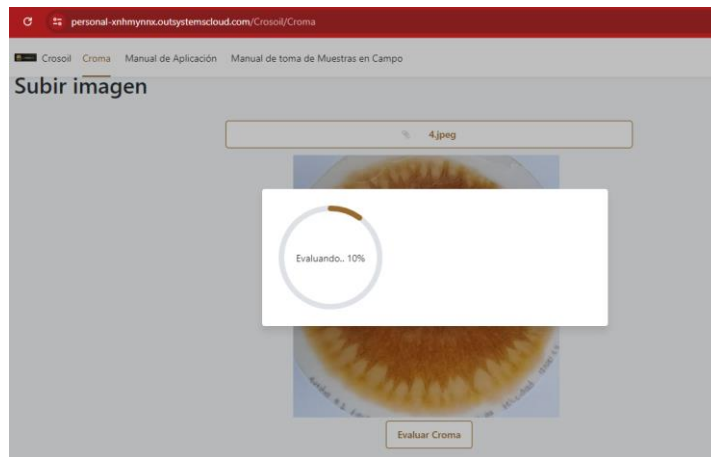


Figura 66 Envío de Croma para Evaluación

Una vez ejecutado el análisis de la imagen cargada, los resultados se muestran por cada una de las cuatro regiones en las cuales se divide el Croma (Zona Central, Zona Interna, Zona Intermedia y Zona Externa), y para cada zona se emite un concepto por parte del aplicativo desarrollado. Cada zona cuenta con una ventana desplegable que contiene la imagen de la región evaluada y el concepto emitido por el aplicativo:

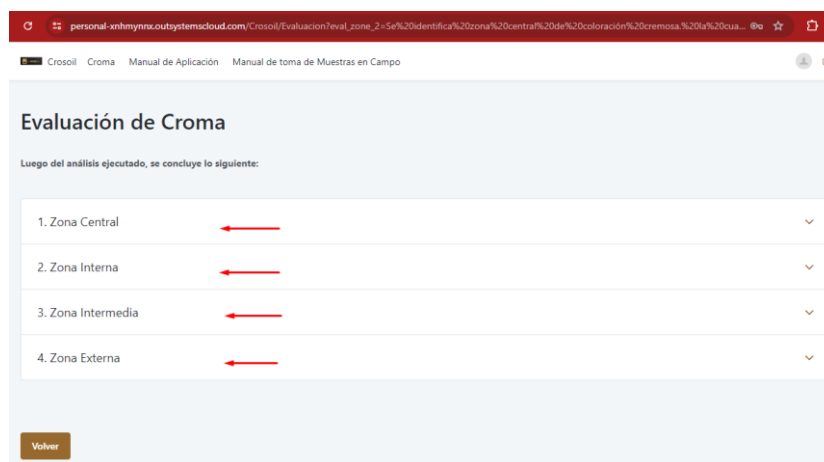


Figura 67 Resultado de Análisis por cada región

El Análisis entregado por el aplicativo se enfoca en el detalle de cada región identificada en el croma seleccionado para ser evaluado. Se muestra en detalle la información entregada luego de la evaluación.

- Zona Central: Se muestra región del croma evaluado, y la descripción de la evaluación a partir del color evidenciado.

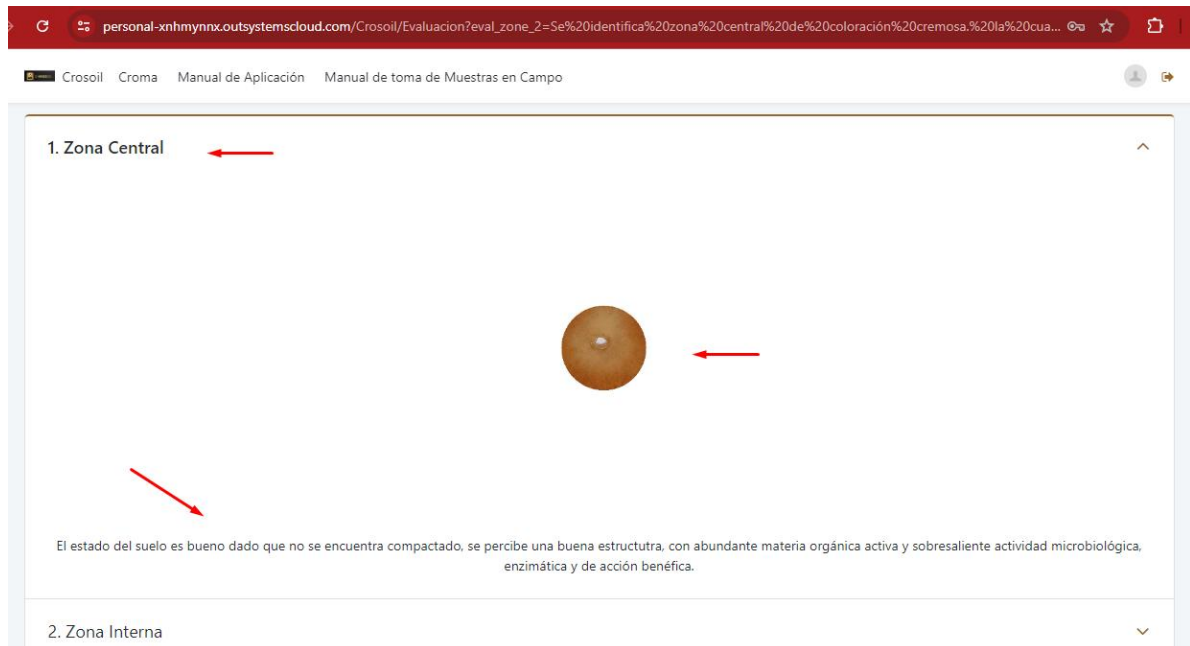


Figura 68 Evaluación Zona Central

- Zona Interna: Se muestra región del croma evaluado, y la descripción de la evaluación a partir del color evidenciado.

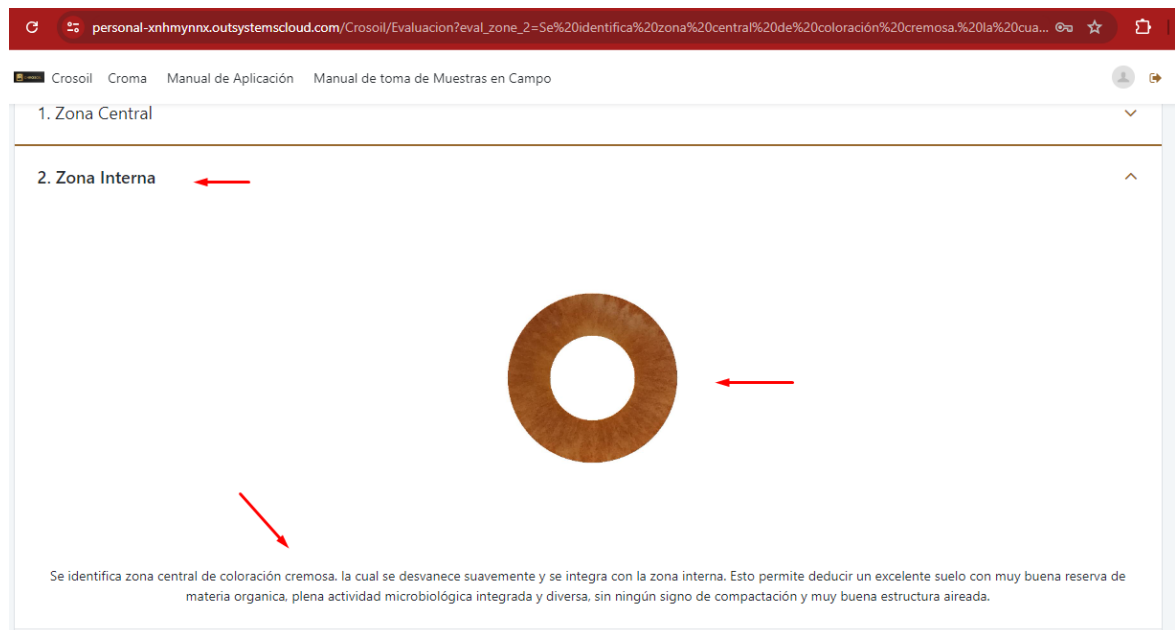


Figura 69 Evaluación Zona Interna

- **Zona Intermedia:** Se muestra región del croma evaluado, y la descripción de la evaluación a partir del color evidenciado.

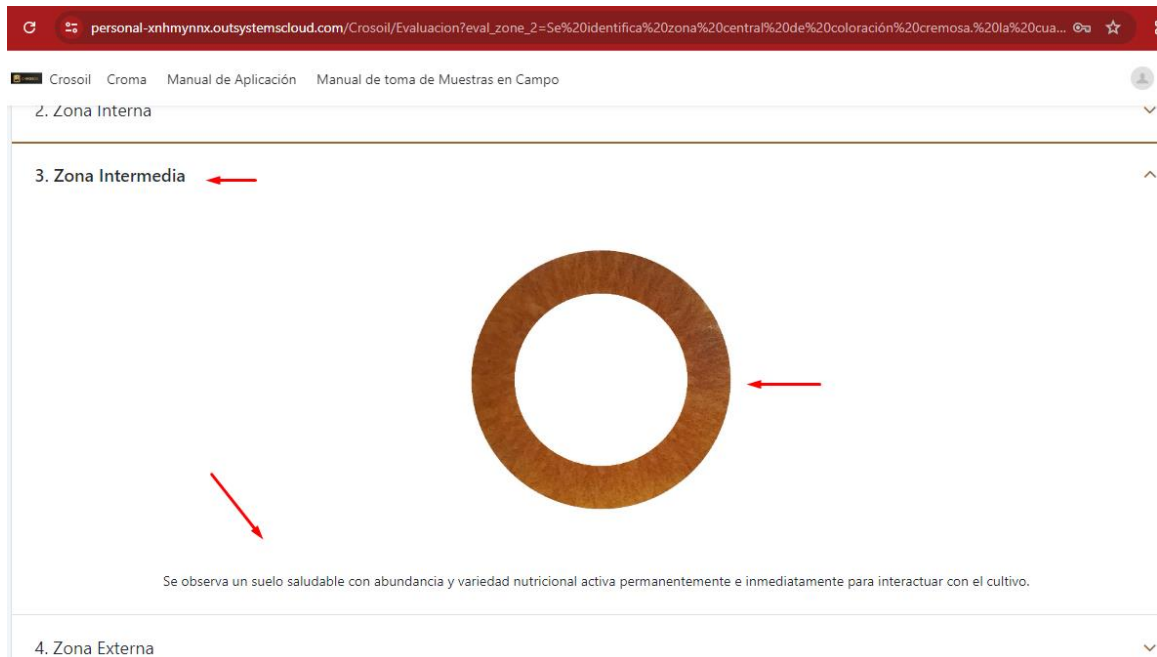


Figura 70 Evaluación Zona Intermedia

- **Zona Externa:** Se muestra región del croma evaluado, y la descripción de la evaluación a partir del color evidenciado.

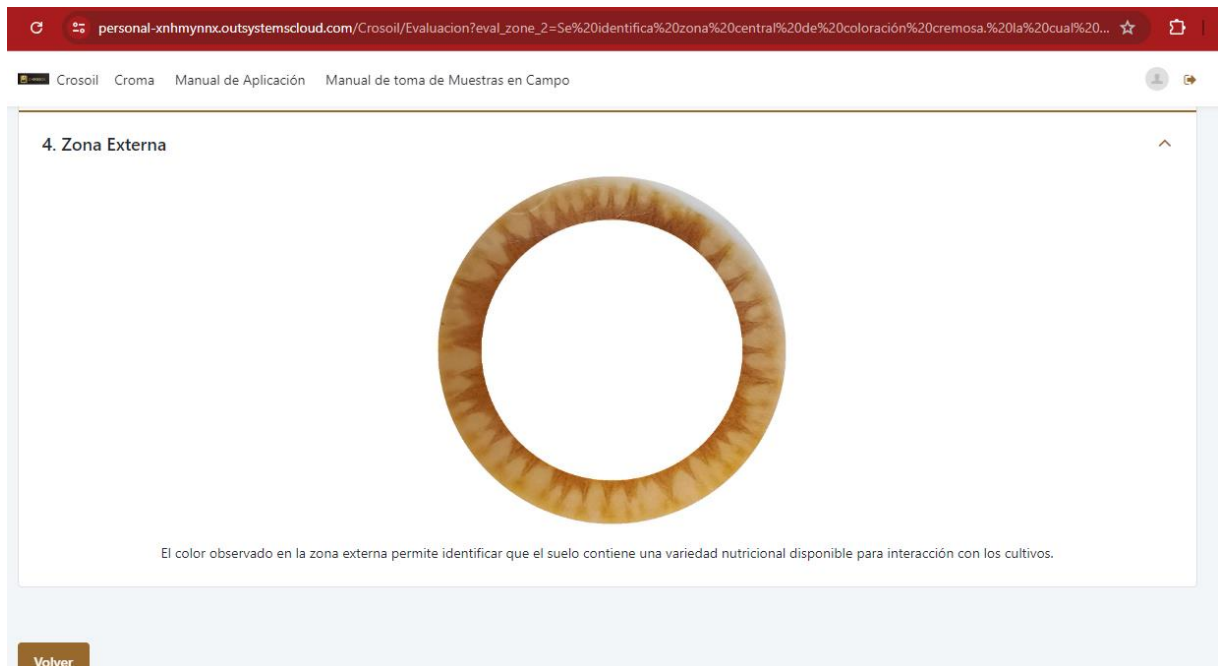


Figura 71 Evaluación Zona Externa

Ahora bien, a continuación, se realiza comparativo del concepto emitido por CROSOIL sobre 4 cromas de diferentes características y la revisión ejecutada con la práctica y teoría de la publicación dada por Restrepo y Pinheiro en su trabajo "CROMATOGRFÍA. Imágenes de vida y destrucción del suelo".

CROMA 1



Concepto de Aplicativo Crosoil

1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos o exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege.
2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica.
3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.

Concepto Restrepo y Pinheiro

1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos y exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege. Suelo totalmente compactado y sin estructura. No hay en él materia Orgánica.
2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica. Características propias en suelos de textura arcillosa o franco arenosa.
3. Ausencia total de zona intermedia. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición. El suelo se encuentra totalmente mineralizado, compactado y destruido por la acción de la mecanización, o por falta de cobertura vegetal, o por aplicación de fertilizantes químicos altamente solubles y de venenos agrícolas.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.

CROMA 2



Concepto de Aplicativo Crosoil

1. El estado del suelo es bueno dado que no se encuentra compactado, se percibe una buena estructura, con abundante materia orgánica activa y sobresaliente actividad microbiológica, enzimática y de acción benéfica.
2. Se identifica zona central de coloración cremosa. la cual se desvanece suavemente y se integra con la zona interna. Esto permite deducir un excelente suelo con muy buena reserva de materia orgánica, plena actividad microbiológica integrada y diversa, sin ningún signo de compactación y muy buena estructura aireada.
3. Se observa un suelo saludable con abundancia y variedad nutricional activa permanente e inmediatamente para interactuar con el cultivo.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible para interacción con los cultivos.

Concepto Restrepo y Pinheiro

1. El estado del suelo es bueno dado que no se encuentra compactado, se percibe una buena estructura, con abundante materia orgánica activa y sobresaliente actividad microbiológica, enzimática y de acción benéfica.
2. Se identifica zona central de coloración cremosa. la cual se desvanece suavemente y se integra con la zona interna. Esto permite deducir un excelente suelo con muy buena reserva de materia orgánica, plena actividad microbiológica integrada y diversa, sin ningún signo de compactación y muy buena estructura aireada.
3. Se observa un suelo saludable con abundancia y variedad nutricional activa permanente e inmediatamente para interactuar con el cultivo.
4. El color y formas observadas en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible activa permanente e inmediatamente para interacción con los cultivos.

Tabla 21 Evaluación Cromas 1 y 2

CROMA 3



Concepto de Aplicativo Crosoil

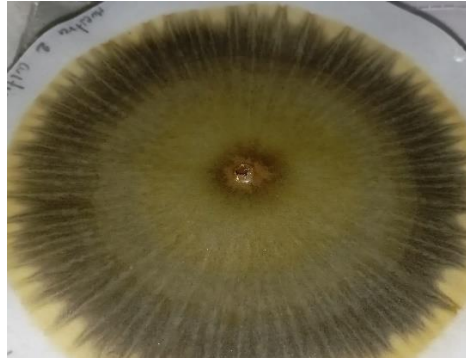
1. La zona central refleja dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos comerciales altamente solubles, o constante aplicación de herbicidas.
2. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme.
3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible para interacción con los cultivos.

Concepto Restrepo y Pinheiro

1. La zona central refleja dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos comerciales altamente solubles, o constante aplicación de herbicidas. Se evidencia el uso de abonos de mala calidad elaborados a partir de pollinaza y adulterados con fertilizante químico a base de urea.
2. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme. Nula actividad biológica.
3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible para interacción con los cultivos.

Tabla 22 Evaluación Croma 3

CROMA 4



Concepto de Aplicativo Crosoil

1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos o exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege.
2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica.
3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.

Concepto Restrepo y Pinheiro

1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos y exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege. Suelo totalmente compactado y sin estructura. No hay en él materia Orgánica.
2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica. Características propias en suelos de textura arcillosa o franco arenosa.
3. Ausencia total de zona intermedia. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición. El suelo se encuentra totalmente mineralizado, compactado y destruido por la acción de la mecanización, o por falta de cobertura vegetal, o por aplicación de fertilizantes químicos altamente solubles y de venenos agrícolas.
4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.

Tabla 23 Evaluación Croma 4

5. Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones

A partir del impacto que genera el mal uso del suelo terrestre en los diferentes ecosistemas, se tiene como uno de los objetivos la recuperación de la salud del suelo para beneficiar las actividades agrarias. Para encaminar las actividades de recuperación del suelo, es vital conocer la estructura actual del terreno a tratar, por lo que el análisis cromatográfico surge como una solución rápida y de fácil aplicación para la población rural que necesita recuperar la salud perdida en sus terrenos.

Crosoil surge como un habilitador que permite al sector agrario realizar un primer análisis del estado del suelo a tratar. Con solo obtener el cromatograma de una muestra de suelo, ya no será necesario esperar a la revisión de un profesional en la materia, ya que Crosoil puede evaluar y emitir un primer análisis sobre el estado de salud del suelo en cuestión.

Para identificar la necesidad del usuario se empleó la metodología Design Thinking, la cual permitió encontrar de manera eficaz la solución requerida para ejecutar un análisis del suelo de forma temprana. El aplicativo desarrollado se enfoca en ser intuitivo para el manejo por parte del usuario final.

El frontend del aplicativo se implementó siguiendo los estándares de diseño de usabilidad, teniendo en cuenta el usuario final de este aplicativo. Como resultado, se diseñó una interfaz de usuario intuitiva que permite una interacción fluida y eficiente con el sistema. Las pruebas de usuarios indicaron una alta satisfacción con la experiencia de usuario, confirmando el cumplimiento de los objetivos de usabilidad. Además, se incorporó un módulo exclusivo para manuales de uso del aplicativo y el procesamiento de cromas a partir de la toma de muestras terrestres.

El desarrollo del backend propuesto se completó con éxito, mediante el uso del lenguaje de programación Python y su framework Django, este fue correctamente desplegado y documentado con swagger, adicionalmente se hizo uso de las librerías OpenCv, Pillow, y Numpy como factor clave para el procesamiento de las imágenes, finalmente el backend es capaz de realizar la identificación y segmentación de las diferentes zonas, así como el

promedio de sus colores, proporcionando información clave para el análisis de los cromas, cabe resaltar que no fue posible llegar al nivel de detalle de obtener la información precisa de las formas como por ejemplo número de picos en la zona externa, sin embargo según los resultados obtenidos el análisis por colores nos brinda una respuesta acertada de la evaluación.

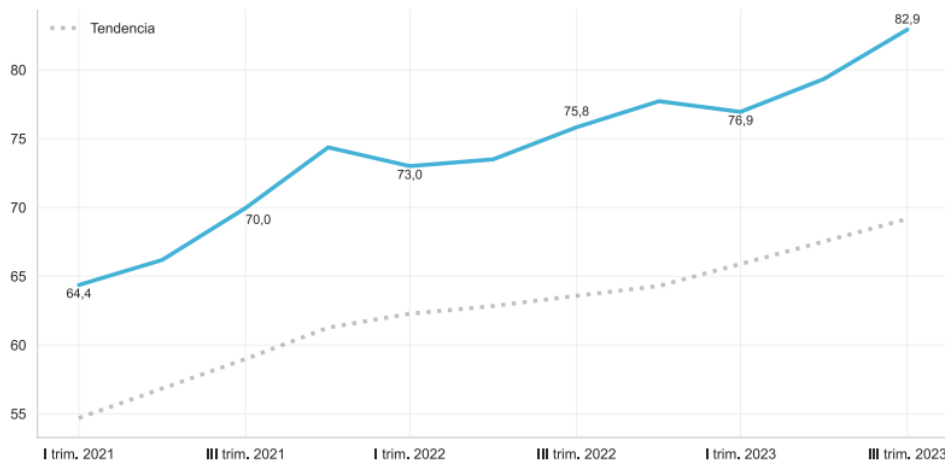
La revisión de las publicaciones y estudios previos sobre cromatografía del suelo proporcionó una base sólida de conocimiento sobre los patrones y parámetros clave a observar en los cromatogramas. Esta investigación permitió identificar los elementos esenciales para la evaluación de cromatogramas, lo cual fue fundamental para el desarrollo del análisis de imágenes que debe ejecutar el aplicativo.

El análisis de las aplicaciones existentes en el mercado reveló que no existen soluciones que ofrezcan una funcionalidad completamente automatizada para el análisis de cromatografía del suelo. Esto confirmó la oportunidad de desarrollar un software con características disruptivas que superen las limitaciones de las herramientas disponibles, aportando un valor añadido significativo a los usuarios.

Cabe destacar que el análisis desarrollado por el aplicativo Crosoil se aproxima en gran medida al revisado en la teoría sobre el análisis de cromatografía del suelo. Se encontró que una diferencia notable en los resultados es la revisión detallada de las formas geométricas en las que se dividen las zonas del cromatograma.

Ahora bien, Crosoil tiene como objetivo beneficiar a cualquier persona que necesite evaluar el suelo para sus actividades agropecuarias, independientemente de su ubicación geográfica en cualquier parte del mundo. Según datos proporcionados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en 2023, "Hasta 5.400 millones de personas utilizan Internet, lo que representa el 67% de la población mundial"(Albertini et al., 2023). Por lo tanto, ofrecer Crosoil como una solución global para la evaluación rápida de la salud del suelo es una gran ventaja. Además, cabe anotar que en un país como Colombia, el cual basa su economía en actividades agropecuarias, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), informa en el Boletín del tercer trimestre de 2023, publicado en febrero de 2024, que "El número de accesos a Internet móvil por cada 100 habitantes se situó en 82,9"(Mauricio et al., 2023).

Accesos a Internet móvil por cada 100 habitantes



Fuente: Datos reportados por los proveedores de redes y servicios a Colombia TIC, y proyecciones de población del DANE con base en el Censo 2018. Fecha de consulta: 12 de febrero de 2024. Pr: (3T-2023); Pv: (2T-2023 a 4T-2021); Df: (3T-2021).

Figura 72 Acceso a internet por cada 100 habitantes en Colombia.(Mauricio et al., 2023)

Con base en la problemática que se buscó abordar con el desarrollo de este aplicativo, los resultados obtenidos revelan factores clave que ofrecen grandes ventajas para promover el uso de Crosoil. A continuación, se presenta el análisis realizado, el cual evidencia la eficiencia en los tiempos de atención para el análisis cromatográfico y los ahorros en costos que se pueden lograr mediante el uso de esta aplicación.

A partir de la información proporcionada por el Ingeniero Carlos Andrés Bustos, el análisis de un croma, incluyendo la elaboración y entrega del informe con el concepto sobre la salud del suelo, toma un tiempo total de 2 horas. Suponiendo que la disponibilidad del ingeniero es inmediata al momento de recibir el croma para análisis, esta actividad tomará en promedio 2 horas. En contraste, la aplicación Crosoil, disponible públicamente en la red y desarrollada en formato responsive, garantiza su disponibilidad inmediata con conexión a internet desde cualquier dispositivo móvil o PC, y realiza el análisis cromatográfico en un tiempo estimado de 2 minutos. Esto demuestra que la aplicación reduce el tiempo necesario para generar un informe en alrededor de un 98.33% en comparación con un especialista que realiza estas evaluaciones.

En la siguiente figura se observa la diferencia estimada en tiempo en horas para el análisis del croma y emisión del concepto:

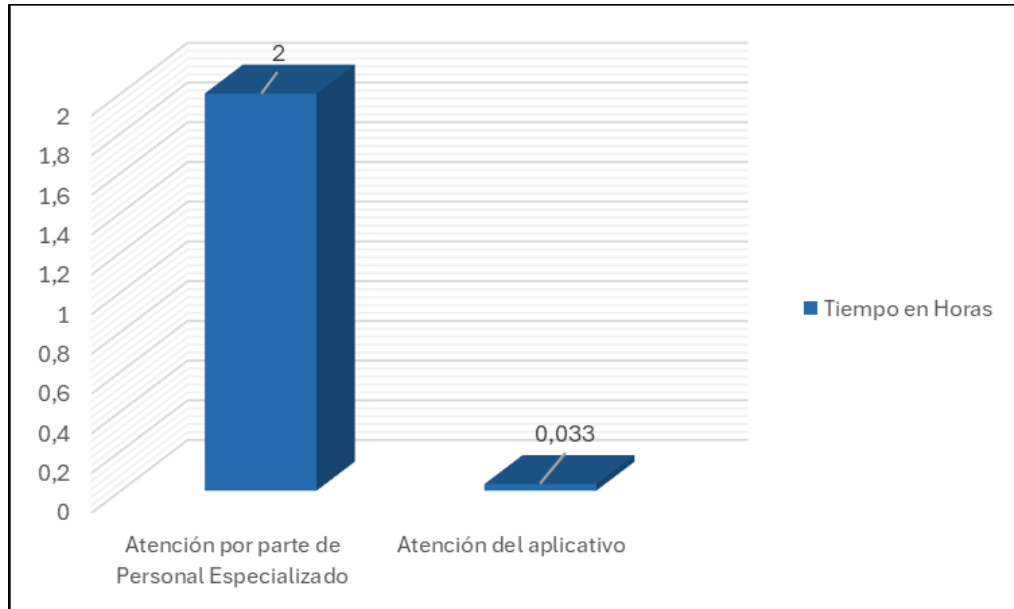


Figura 73 Tiempo de análisis del croma (Elaboración propia)

Luego de observar la ventaja que ofrece Crosoil en el tiempo empleado para realizar el análisis cromatográfico, se evalúa el ahorro económico que puede generar para el usuario que requiere dicha evaluación. Para ello, se tomaron los salarios anuales promedio en euros de ingenieros agrónomos en Colombia(computrabajo, 2024), Estados Unidos(Business School, 2024) y Europa(Business School, 2024), y se estimó el costo por hora de cada uno, generando los valores ubicados en la siguiente tabla:

	Salario Promedio Anual	Valor Promedio Hora
USA	€ 47.593,21	€ 27,54
Europa	€ 40.000,00	€ 12,35
Colombia	€ 5.885,88	€ 1,82

Tabla 24 Salarios promedio de Ingeniero Agrónomo (Elaboración propia)

Si comparamos el valor de dos horas de contratación de un ingeniero agrónomo, se evidencia que el ahorro puede variar entre 3 y 55 euros, dependiendo de la zona geográfica en la que

se utilice Crosoil. A continuación, se presenta un comparativo de los costos asociados al análisis realizado por un profesional con relación al costo del uso del aplicativo:

	Tiempo en Horas	Costo del análisis USA (euros)	Costo del análisis Europa (euros)	Costo del análisis Colombia (euros)
Atención por parte de Personal Especializado	2	€ 55,08	€ 24,69	€ 3,63
Atención del aplicativo	0,033	0	0	0

Tabla 25 Costo de análisis de Croma (Elaboración propia)

Por último, es importante señalar que, si bien Crosoil genera un ahorro significativo en tiempo y costos, es necesario alimentar la base de conocimiento y evolucionar la lógica del aplicativo que permita profundizar en la revisión del contorno de cada región, teniendo en cuenta su forma representativa y las repeticiones de esta. Una vez adicionadas estas nuevas características para el análisis cromatográfico, Crosoil puede generar informes con una evaluación más detallada que brinde más información al usuario sobre el estado del suelo analizado.

5.2. Trabajo futuro

A partir del desarrollo realizado se identifican una serie de puntos de mejora que pueden llegar a ser implementados como líneas futuras de trabajo.

1. Se plantea realizar como trabajo futuro la implementación del análisis de los cromas mediante estrategias de inteligencia artificial, esto con el fin de llegar a ser más acertados.
2. Se plantea realizar la Implementación de históricos de análisis y a su vez el estado de progresión en el suelo.
3. Se plantea realizar el manejo de la integración front – back mediante un proceso asíncrono con el fin de evitar las esperas en el procesamiento de las imágenes.
4. Se sugiere como evolutivo de la aplicación, la opción de seleccionar el idioma con el cual interactúa el usuario.

Referencias bibliográficas

- Albertini, M., Bourdin, A., & Hirsch, D. (2023, November 27). *Los últimos datos sobre conectividad mundial muestran un crecimiento, si bien persisten las brechas*. Ginebra.
- Araceli, M., Roldolfo Soberón, J., Alejandro Sampietro, D., & Amelia Vattuone, M. (2010). CROMATOGRFÍA: CONCEPTOS Y APLICACIONES. *Revista Arakuku*, 1(2), 1–6. www.csnat.unt.edu.ar/academica/publicaciones/revista-arakuku
- Business School, E. (2024). *¿Cuánto gana un Ingeniero Agrónomo en Estados Unidos?* Educa Edtech Group.
- Carrillo Velarde, Cristhyan Javier. (n.d.).
- computrabajo. (2024, July 9). *Salario de Ingeniero agrónomo en Colombia*.
- Gallardo García, H., & José Miguel, J. P. (n.d.). *Navegación por Procesamiento de Imágenes Usando OpenCV*.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (Richard E. (2008). *Digital image processing*. Prentice Hall.
- HERNÁNDEZ, O. (2018). *Análisis de suelo y sus relaciones para una producción sana, por el método de cromatografía en papel*.
- Hernández-Rodríguez, A., Ochoa-Rodríguez, B., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Sánchez-Rosales, R., Rodríguez-Roque, M. J., & Sánchez-Chávez, E. (2021). Patterns for estimating soil fertility using Pfeiffer's chromatography technique. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.844>
- Mauricio, O., Arango, L., Jurado, G. A., Transformación, V., Sindey, D., Bernal, C., Secretaria, V., Molina, J., Jefe, G., Asesora De Planeación, O., Sectoriales, E., Alexandra, J., Fredy, A. S., De La, A., Rojas, O., Miguel, L., Sierra, C., Iván, J., Rojas, R., ... Vanegas, A. (2023). *Boletín trimestral de las TIC*. www.mintic.gov.co
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2021). *CROMATOGRFÍA IMÁGENES DE VIDA Y DESTRUCCIÓN DEL SUELO*.
- Rubin, K. (2013). *Essential Scrum A Practical Guide to The Most Popular Agile Process*.

- Sánchez, L., & Ángel Fernandez-Díaz, R. (2003). *Procesamiento Digital de Imágenes. Fundamentos y Practicas con Matlab (Digital image processing. Fundamentals and practices with Matlab)*. <https://www.researchgate.net/publication/229828279>
- SCION Instruments. (2024). <https://scioninstruments.com/products/compass-cds/>.
- Tapias, J. C. (2019). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE CROMATOGRAFÍAS DE SUELOS ENFOCADO A LA INTERPRETACIÓN DE PATRONES DE DISPERSIÓN DEL COLOR Y SU ASOCIACIÓN CON CUALIDADES DEL SUELO. In *Diagonal* (Vol. 18, Issue 20). www.ucundinamarca.edu.co
- tecnicas de segmentacion en procesamiento digital de imagenes.* (n.d.).
- Viera-Maza, G. (n.d.). *Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú Repositorio institucional PIRHUA-Universidad de Piura.*

Anexo A. Artículo

Desarrollo de un software para el análisis de imágenes cromatográficas del suelo

José Alejandro Bustos González, Sebastián Felipe Guerrero Silva

Universidad Internacional de la Rioja, Logroño (España)

10 de Julio de 2024



RESUMEN

Este trabajo presenta la planificación, diseño, evaluación y despliegue de la aplicación web Crosoil, diseñada para realizar un análisis automatizado mediante el procesamiento de imágenes de cromatogramas obtenidos en la cromatografía del suelo. Este análisis es crucial en agricultura para evaluar la salud del suelo y promover su recuperación o conservación. La automatización de este proceso busca democratizar el acceso a esta información, eliminando la dependencia de expertos y facilitando su uso por cualquier persona.

Se utilizaron tecnologías como la plataforma low code Outsystems para el Frontend y el framework Django de Python para el Backend, junto con librerías como OpenCV, Pillow y Numpy para el procesamiento de imágenes. Las metodologías Design Thinking y Scrum guiaron el desarrollo, identificando necesidades de usuarios y gestionando ágilmente el proyecto. La evaluación final confirmó que la aplicación cumple con los requisitos establecidos, asegurando su funcionalidad y utilidad.

PALABRAS CLAVE

Cromatograma de suelo, Django, OutSystems, Design Thinking, Scrum.

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN La salud del suelo es fundamental para la preservación de los ecosistemas terrestres. Entre las técnicas desarrolladas para evaluar el estado y equilibrio de los componentes del suelo, la cromatografía de Pfeiffer destaca como una de las más efectivas [1]. Tradicionalmente, este análisis se ha realizado de manera visual por profesionales especializados en la interpretación de cromatogramas.

Este trabajo se centra en el desarrollo de una aplicación de software que permite analizar cromatogramas de muestras de suelo de manera automatizada, eliminando la necesidad de un experto. La aplicación busca proporcionar a cualquier usuario la capacidad de evaluar el estado del terreno de manera sencilla y comprensible, incluso sin experiencia especializada.

La relevancia de esta aplicación radica en su potencial para ser accesible públicamente, otorgando agilidad en el análisis del suelo, facilitando respuestas rápidas y eficaces en la recuperación de estos, y contribuyendo a la restauración de diversos ecosistemas terrestres. Además, permite a los usuarios tomar medidas de mejora de forma temprana, incluso sin la asesoría presencial de profesionales.

El documento detalla el desarrollo del software, incluyendo su arquitectura y componentes de despliegue, así como los resultados de las pruebas realizadas que demuestran su eficacia en el análisis de los cromatogramas. Finalmente, se proporciona información sobre cómo los usuarios pueden acceder a esta solución digital, incluyendo un manual de usuario y un sitio de acceso público para su utilización.

II. ESTADO DEL ARTE

Es crucial asegurar un estado óptimo del suelo para el crecimiento de plantas y organismos, garantizando así la producción de alimentos adecuados para los seres vivos dependientes. Sin embargo, el enfoque predominante en la salud de las plantas ha llevado al descuido del suelo, generando un desequilibrio en su composición que requiere atención urgente por parte de las organizaciones dedicadas a la agricultura ecológica.

Tras investigar los avances y trabajos relacionados con esta problemática, se destacan las siguientes referencias documentales importantes para el desarrollo del objetivo propuesto en este trabajo de fin de máster:

- Gabriela Viera, En su tesis de ingeniería mecánica, titulada "Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao", utilizó OpenCV y algoritmos de visión artificial para clasificar granos de cacao según características como tamaño y fase de secado. Logró un 89% de precisión en 300 imágenes y propuso mejoras en la adquisición de imágenes para ampliar el espectro.[2]
- Gallardo y Parga, en su artículo "Navegación por procesamiento de imágenes usando OpenCV", desarrollaron un vehículo terrestre autónomo con navegación basada en procesamiento de imágenes, destacando la precisión superior del procesamiento de imágenes frente a otros sensores en robótica.[3]
- Hernández Godines, en su tesis "Análisis de suelo y sus relaciones para una producción sana, por el método de cromatografía en papel", comparó muestras de suelo utilizando cromatografía en papel, resaltando su accesibilidad y utilidad en comparación con técnicas convencionales, además de la

necesidad de automatizar el análisis de datos.[4]

- En el libro "CROMATOGRFÍA: Imágenes de vida y destrucción del suelo" de Restrepo y Pinheiro, se analizan cromatogramas de muestras de suelo, proporcionando una comprensión clara de las características observadas y ejemplos de deficiencias en el suelo evaluado.[1]

- Otro proyecto revisado es "PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE CROMATOGRFÍAS DE SUELOS ENFOCADO A LA INTERPRETACIÓN DE PATRONES DE DISPERSIÓN DEL COLOR Y SU ASOCIACIÓN CON CUALIDADES DEL SUELO", realizado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, se destaca el procesamiento de imágenes para digitalizar cromatogramas de suelo, utilizando niveles de intensidad de color para evaluar el estado de salud del suelo.[5]

III. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Objetivo general

El objetivo de este proyecto es desarrollar una aplicación de software para analizar cromatogramas de muestras de suelo mediante técnicas de reconocimiento de patrones. Esta herramienta automatizará el análisis del estado del suelo, eliminando la dependencia de expertos para evaluar su salud. La aplicación permitirá realizar un análisis inmediato desde cualquier dispositivo con acceso a internet a partir de una fotografía del cromatograma.

Objetivos específicos

- Identificar trabajos previos sobre cromatografía del suelo para guiar el desarrollo del aplicativo, enfocándose en los patrones clave de los cromatogramas.
- Evaluar aplicaciones existentes con funcionalidades similares para ofrecer una solución innovadora en el mercado.
- Diseñar un aplicativo accesible y fácil de usar, asegurando alta usabilidad.
- Desarrollar el backend para el procesamiento de imágenes y análisis del color de zonas específicas en los cromatogramas.
- Implementar un frontend que cumpla con estándares de usabilidad.
- Verificar los conceptos generados por el aplicativo tras el análisis de cromatogramas, comparándolos con resultados de estudios previos.

IV. CONTRIBUCIÓN

Desarrollar la descripción de tu contribución.

A continuación, se detalla el sistema de software desarrollado.

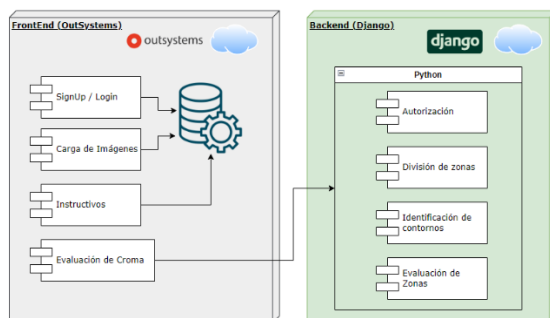


Figura 1 Diagrama de componentes. (Elaboración propia)

En la figura 1 se observa el diagrama que detalla la solución planteada y desarrollada, el sistema está compuesto por:

Frontend: El Frontend está implementado en la plataforma Outsystems en una platilla ya existente de aplicaciones web reactivas, esto debido a su facilidad de implementación y despliegue, sus componentes son: SignUp/Login, Carga de imágenes, Instructivos, Evaluación de cromograma.

Backend: El backend está implementado en el lenguaje de programación Python con el framework Django para la lógica del sistema se hizo uso de librerías como pillow, OpenCv, numpy, base64, adicionalmente se realizó uso de swagger para su documentación, el despliegue de este se realizó en una plataforma PaaS llamada render, sus componentes son: Autorización, División de zonas, Identificación de contornos, Evaluación de zonas.

Diagrama de secuencia:

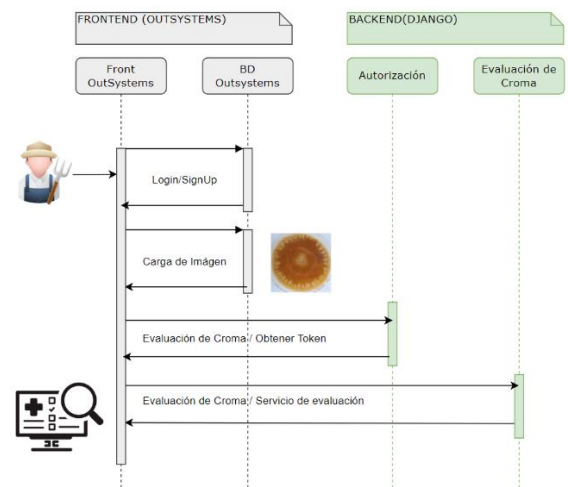


Figura 2 Diagrama de secuencia. (Elaboración propia)

Como se puede evidenciar en la figura 2, se contempla el diagrama de secuencia desde el Login del usuario hasta el resultado de la evaluación del cromograma, así como también la interacción entre el front-end y el back-end.

A continuación, se presenta la descripción del flujo y la codificación implementada para el procesamiento de las imágenes cromatográficas, haciendo uso de las librerías mencionadas anteriormente.

Como se puede observar en la figura 3, se muestra el flujo completo del desarrollo, el cual se describe de la siguiente manera:

A nivel general, el algoritmo implementado en el backend del sistema de procesamiento de las imágenes cromatográficas se basa en los siguientes segmentos: autenticación, acondicionamiento de la imagen, análisis de contorno, detección de centro, recorte de imagen circular, segmentación de zonas (central, interna, intermedia, externa), obtención de colores por zonas y análisis por zonas.

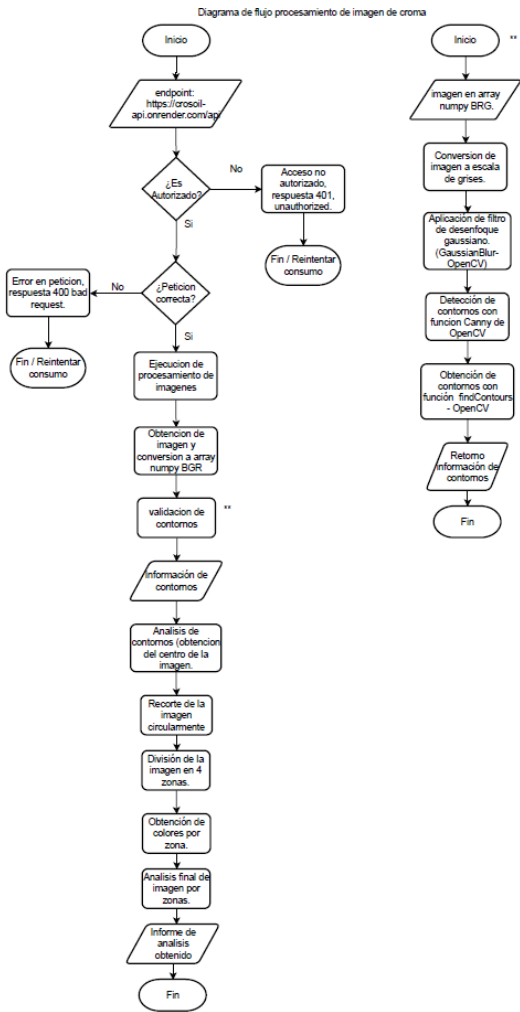


Figura 3 Diagrama de flujo procesamiento de imagen. (Elaboración propia)

Despliegue

El despliegue del aplicativo se realiza en la plataforma de alojamiento Render, la cual ofrece una amplia gama de servicios. Render proporciona un entorno de despliegue fácil e intuitivo para aplicaciones web con soporte para Node.js, Django, Go, Rust, entre otros. Esta es una plataforma como servicio (PaaS), lo que implica que no es necesario preocuparse por la infraestructura, ya que la plataforma se encarga de administrarla. Adicionalmente, Render cuenta con implementación de despliegue continuo, lo que significa que, una vez configurado el despliegue inicial, este se desplegará automáticamente las veces que sea necesario.

El proceso de despliegue se basó, en primera instancia, en realizar la conexión entre Render y el repositorio en el cual se aloja la aplicación. Posteriormente, se realizaron las configuraciones de despliegue donde se indica el comando de construcción, el comando de arranque, y finalmente se establecen las variables de entorno requeridas. Con estos pasos completados, el despliegue queda realizado, como se observa a continuación.

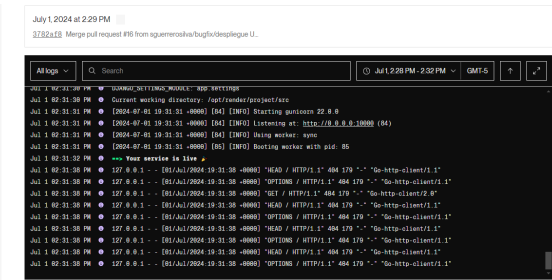


Figura 4 Despliegue render. (Elaboración propia)

Como se puede evidenciar la aplicación quedó desplegada correctamente y expuesta en la url: <https://crosoil-api.onrender.com>.

V. RESULTADOS

Descripción de los resultados obtenidos.

A continuación, se describen las pruebas ejecutadas sobre las funcionalidades solicitadas en el aplicativo a desarrollar, detallando los resultados esperados y los resultados reales en cada módulo. Se expondrán imágenes del funcionamiento de cada sección de la aplicación:

Id Prueba	001
Funcionalidad	Gestión de Registro
Caso de Uso	Registro de usuario nuevo en la Aplicación
Descripción de la prueba	Esta funcionalidad debe permitir la creación de usuario con el ingreso de correo y contraseña para permitir el acceso al aplicativo.
Resultado esperado	Creación de usuario diligenciando campos indispensables para el acceso como lo son el Correo y Contraseña
Resultado Real	Se realiza de forma correcta la creación de usuario en el aplicativo, en el cual se deben diligenciar los campos de Nombre, Usuario, Contraseña y Correo Electrónico de forma obligatoria. Adicional se brinda la posibilidad de ingresar número telefónico personal pero este campo no es obligatorio.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	El flujo para creación de usuario es de fácil acceso sin inconvenientes en la interpretación de la información requerida.

Tabla 1 Caso de prueba funcional de software 001. (Elaboración propia).

Id Prueba	002
Funcionalidad	Gestión de Sesión
Caso de Uso	Ingreso de usuario en la Aplicación
Descripción de la prueba	El aplicativo debe permitir acceder con las credenciales de un usuario ya registrado, y administrar el control de la sesión con el cierre voluntario
Resultado esperado	Se debe diligenciar un formulario con las credenciales usuario y contraseña para acceder a los diferentes módulos disponibles en la aplicación.
Resultado Real	Se muestra en pantalla el formulario que permite el ingreso de Usuario y Contraseña, y se obtiene autenticación correcta con los datos de los usuarios ya registrados anteriormente.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	No se presentan observaciones sobre el ingreso al aplicativo

Tabla 2 Caso de prueba funcional de software 002.
(Elaboración propia).

Id Prueba	003
Funcionalidad	Gestión de Instructivos
Caso de Uso	Visualización de manuales de uso del aplicativo, y manual para generación de cromas a partir de una muestra del suelo a evaluar.
Descripción de la prueba	El aplicativo debe permitir al usuario acceder a los manuales de uso del aplicativo, así como a un manual para la toma de muestras de suelo y la generación del cromas requerido.
Resultado esperado	Se debe tener acceso a un apartado con manuales que sirvan como guía para el uso de la aplicación, además de un manual para el trabajo previo que se debe ejecutar para tener apoyo en la generación del cromas a evaluar.
Resultado Real	Al ingresar al aplicativo, se tiene acceso a dos apartados diferentes. 1. El primero contiene instructivos para el registro e ingreso de usuarios al aplicativo, así como la forma en la que se realiza el cargue de la imagen del cromas, y su posterior evaluación. 2. El segundo apartado presenta el proceso descrito el libro "Cromatografía - Imágenes de vida y destrucción del suelo"

	en el cual se muestra paso a paso el método y materiales correctos para la generación del cromas que será evaluado posteriormente por el aplicativo de análisis de salud del suelo.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero
Comentarios	Los módulos en los cuales se encuentran los manuales se encuentran visibles en la barra de menú principal, por lo tanto, se encuentran al alcance del usuario sin inconveniente alguno para tener acceso a estas guías.

Tabla 3 Caso de prueba funcional de software 003.
(Elaboración propia).

Id Prueba	004
Funcionalidad	Procesamiento de Imagen
Caso de Uso	Análisis correcto del cromas cargado en la aplicación para ser evaluado
Descripción de la prueba	Se debe realizar el cargue de la imagen del cromas a revisar y se debe mostrar en pantalla el resultado de la evaluación ejecutada por el aplicativo.
Resultado esperado	El sistema debe permitir el cargue de una imagen, y ejecutar el análisis del cromas en evaluación, aportando un resultado aproximado al análisis que sea ejecutado por un profesional en la revisión de este tipo de cromas.
Resultado Real	1. El cargue del cromas a evaluar se ejecuta de forma sencilla y práctica. 2. El análisis ejecutado por la aplicación da como resultado que es acertado en la evaluación de los colores del cromas, pero se hace indispensable tener en cuenta el análisis a ejecutar con base en las formas y contornos presentados por cada región del cromas.
Responsable de Ejecución	Alejandro Bustos, Sebastián Guerrero, Carlos Bustos, Alejandra Sanabria, Helmer Duque
Comentarios	Tanto el cargue de la imagen a revisar, como la exposición de los resultados de la evaluación ejecutada por el aplicativo, son visibles de forma clara y práctica para el usuario final.


Tabla 4 Caso de prueba funcional de software 004.
(Elaboración propia).


En la segunda parte de este caso de prueba, se tiene en cuenta que para la correcta evaluación del procesamiento de imágenes ejecutado por el aplicativo desarrollado, se tomará como referencia la descripción dada por Restrepo y Pinheiro en su publicación "CROMATOGRAFÍA.[1] Imágenes de vida y destrucción del suelo". Asimismo, se evaluará en conjunto con el Ingeniero Carlos Bustos la interpretación de cada muestra de suelo.

Una vez ejecutado el análisis de la imagen cargada, los resultados se muestran por cada una de las cuatro regiones en las cuales se divide el Croma (Zona Central, Zona Interna, Zona Intermedia y Zona Externa).

VI. DISCUSIÓN

Se presenta un comparativo entre los conceptos emitidos por Crosoil para cuatro cromatogramas de diferentes características y la evaluación realizada según la teoría expuesta por Restrepo y Pinheiro en su trabajo "CROMATOGRAFÍA. Imágenes de vida y destrucción del suelo".

CROMA 1	
	
Concepto de Aplicativo Crosoil	Concepto Restrepo y Pinheiro
<p>1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos o exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege.</p> <p>2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica.</p> <p>3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.</p>	<p>1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos o exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege. Suelo totalmente compactado y sin estructura. No hay en él materia Orgánica.</p> <p>2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica. Características propias en suelos de textura arcillosa o franco arenosa.</p> <p>3. Ausencia total de zona intermedia. Se observa un</p>

	<p>suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición. El suelo se encuentra totalmente mineralizado, compactado y destruido por la acción de la mecanización, o por falta de cobertura vegetal, o por aplicación de fertilizantes químicos altamente solubles y de venenos agrícolas.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.</p>
CROMA 2	
	
Concepto de Aplicativo Crosoil	Concepto Restrepo y Pinheiro
<p>1. El estado del suelo es bueno dado que no se encuentra compactado, se percibe una buena estructura, con abundante materia orgánica activa y sobresaliente actividad microbiológica, enzimática y de acción benéfica.</p> <p>2. Se identifica zona central de coloración cremosa. la cual se desvanece suavemente y se integra con la zona interna. Esto permite deducir un excelente suelo con muy buena reserva de materia orgánica, plena actividad microbiológica integrada y diversa, sin ningún signo de compactación y muy buena estructura aireada.</p> <p>3. Se observa un suelo saludable con abundancia y variedad nutricional activa permanente e inmediatamente para interactuar con el cultivo.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad</p>	<p>1. El estado del suelo es bueno dado que no se encuentra compactado, se percibe una buena estructura, con abundante materia orgánica activa y sobresaliente actividad microbiológica, enzimática y de acción benéfica.</p> <p>2. Se identifica zona central de coloración cremosa. la cual se desvanece suavemente y se integra con la zona interna. Esto permite deducir un excelente suelo con muy buena reserva de materia orgánica, plena actividad microbiológica integrada y diversa, sin ningún signo de compactación y muy buena estructura aireada.</p> <p>3. Se observa un suelo saludable con abundancia y variedad nutricional activa permanente e inmediatamente para interactuar con el cultivo.</p> <p>4. El color y formas observadas en la zona externa permite identificar</p>

nutricional disponible para interacción con los cultivos.	que el suelo contiene una variedad nutricional disponible activa permanente e inmediatamente para interacción con los cultivos.
---	---

Tabla 5 Evaluación Cromas 1 y 2 (Elaboración propia)


<p>CROMA 3</p> 	
Concepto de Aplicativo Crosoil	Concepto Restrepo y Pinheiro
<p>1. La zona central refleja dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos comerciales altamente solubles, o constante aplicación de herbicidas.</p> <p>2. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme.</p> <p>3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible para interacción con los cultivos.</p>	<p>1. La zona central refleja dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos comerciales altamente solubles, o constante aplicación de herbicidas. Se evidencia el uso de abonos de mala calidad elaborados a partir de pollinaza y adulterados con fertilizante químico a base de urea.</p> <p>2. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme. Nula actividad biológica.</p> <p>3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo contiene una variedad nutricional disponible para interacción con los cultivos.</p>

Tabla 6 Evaluación Croma 3 (Elaboración propia)

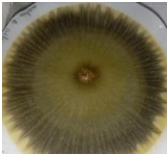
<p>CROMA 4</p> 	
Concepto de Aplicativo Crosoil	Concepto Restrepo y Pinheiro
<p>1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos o exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege.</p> <p>2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica.</p> <p>3. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.</p>	<p>1. Estado del suelo preocupante en la zona central. Puede ser generado por maltrato o destrucción del suelo debido al uso de mecanización pesada, aplicación de venenos y exposición directa a rayos del sol al retirar la cobertura vegetal que lo protege. Suelo totalmente compactado y sin estructura. No hay en él materia Orgánica.</p> <p>2. Se identifica color pardo o negruzco no deseado en zona central y zona interna. Se percibe a partir del croma que el suelo se encuentra altamente mineralizado y muy uniforme, erosionado, sin materia orgánica y ninguna actividad biológica. Características propias en suelos de textura arcillosa o franco arenosa.</p> <p>3. Ausencia total de zona intermedia. Se observa un suelo con alta presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición. El suelo se encuentra totalmente mineralizado, compactado y destruido por la acción de la mecanización, o por falta de cobertura vegetal, o por aplicación de fertilizantes químicos altamente solubles y de venenos agrícolas.</p> <p>4. El color observado en la zona externa permite identificar que el suelo no se encuentra apto para interacción con los cultivos.</p>

Tabla 7 Evaluación Croma 4 (Elaboración propia)

VII. CONCLUSIONES

El proyecto se centra en la recuperación de la salud del suelo afectado por prácticas agrícolas inadecuadas, utilizando el análisis cromatográfico como herramienta clave para evaluar rápidamente el estado del terreno. Crosoil facilita este proceso al permitir a los agricultores realizar un análisis inicial del suelo a partir de un cromatograma, sin depender de la presencia de un experto.

La metodología Design Thinking guio el desarrollo del aplicativo, asegurando que fuera intuitivo y fácil de usar para los usuarios finales.

El frontend fue diseñado con estándares de usabilidad, resultando en una interfaz amigable que ofrece una interacción fluida.

Las pruebas de usuario confirmaron alta satisfacción con la experiencia, validando la eficacia en el cumplimiento de los objetivos de usabilidad. Además, se incorporó un módulo para manuales de uso y procesamiento de cromas a partir de muestras terrestres.

El backend desarrollado con Python y Django se implementó con éxito para procesar imágenes de cromatogramas, utilizando librerías como OpenCV, Pillow y Numpy. El sistema segmenta zonas y calcula promedios de colores, proporcionando información clave para el análisis. Sin embargo, no logró capturar detalles precisos como el número de picos en zonas externas.

La investigación previa en cromatografía del suelo guio el desarrollo, identificando patrones críticos para la evaluación de cromas. La revisión del mercado confirmó la falta de soluciones automatizadas completas, validando la oportunidad de Crosoil como una herramienta disruptiva.

Crosoil busca beneficiar globalmente a cualquier persona que necesite evaluar el suelo para actividades agropecuarias, según datos de la UIT de 2023 que indican que el 67% de la población mundial utiliza Internet [6]. En Colombia, donde la economía se centra en actividades agropecuarias, el MinTIC informa que el acceso a Internet móvil alcanzó 82,9 accesos por cada 100 habitantes según el boletín del tercer trimestre de 2023, publicado en febrero de 2024.[7]

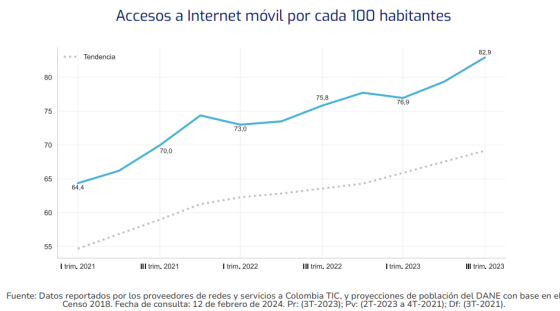


Figura 5 Acceso a internet por cada 100 habitantes en Colombia. [7]

Los resultados del desarrollo de Crosoil destacan la eficiencia en los tiempos de análisis cromatográfico y los significativos ahorros en costos, ofreciendo ventajas clave para su adopción y uso generalizado.

La aplicación Crosoil, al realizar el análisis cromatográfico de muestras de suelo, ofrece una reducción significativa en el tiempo necesario para generar informes comparado con la evaluación realizada por un especialista. Mientras que el análisis manual por

un ingeniero puede llevar aproximadamente 2 horas, Crosoil realiza el mismo proceso en tan solo 2 minutos, representando una disminución del 98.33% en el tiempo requerido para completar esta tarea.

En la siguiente figura se observa la diferencia estimada en tiempo en horas para el análisis del cromograma y emisión del concepto:

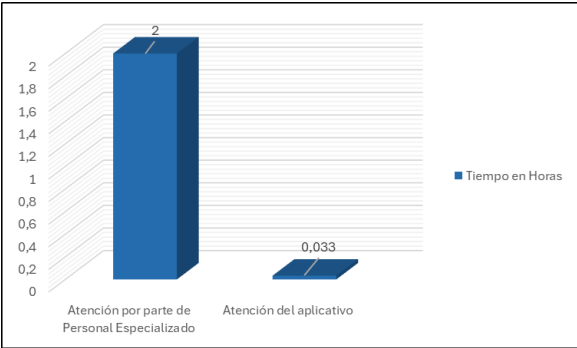


Figura 6 Tiempo de análisis del cromograma (Elaboración propia)

Para evaluar la diferencia en costos, se tomaron los salarios anuales promedio en euros de ingenieros agrónomos en Colombia[8], Estados Unidos[9] y Europa[9], y se estimó el costo por hora de cada uno, generando los valores ubicados en la siguiente tabla:

	Salario Anual Promedio	Valor Promedio Hora
USA	€ 47.593,21	€ 27,54
Europa	€ 40.000,00	€ 12,35
Colombia	€ 5.885,88	€ 1,82

Tabla 8 Salarios promedio de Ingeniero Agrónomo (Elaboración propia)

Se observa que el ahorro puede variar entre 3 y 55 euros, dependiendo de la zona geográfica en la que se utilice Crosoil. A continuación, se presenta un comparativo de los costos asociados al análisis:

	Tiempo en Horas	Costo del análisis USA (euros)	Costo del análisis Europa (euros)	Costo del análisis Colombia (euros)
Atención por parte de Personal Especializado	2	€ 55,08	€ 24,69	€ 3,63
Atención del aplicativo	0,033	€ 0	€ 0	€ 0

Tabla 9 Costo de análisis de Cromograma (Elaboración propia)

Crosoil ofrece ahorros notables en tiempo y costos, pero es crucial mejorar su base de conocimiento y la lógica del aplicativo para profundizar en la revisión detallada de cada región del cromatograma. Este avance permitirá generar informes más detallados que proporcionen al usuario una evaluación más

completa del estado del suelo analizado.

REFERENCIAS

- [1] Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2021). CROMATOGRAFÍA IMÁGENES DE VIDA Y DESTRUCCIÓN DEL SUELO.
- [2] Viera-Maza, G. (n.d.). Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú Repositorio institucional PIRHUA-Universidad de Piura.
- [3] Gallardo García, H., & José Miguel, J. P. (n.d.). Navegación por Procesamiento de Imágenes Usando OpenCV.
- [4] Hernández-Rodríguez, A., Ochoa-Rodríguez, B., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Sánchez-Rosales, R., Rodríguez-Roque, M. J., & Sánchez-Chávez, E. (2021). Patterns for estimating soil fertility using Pfeiffer's chromatography technique. Terra Latinoamericana, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.844>
- [5] Tapias, J. C. (2019). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE CROMATOGRAFÍAS DE SUELOS ENFOCADO A LA INTERPRETACIÓN DE PATRONES DE DISPERSIÓN DEL COLOR Y SU ASOCIACIÓN CON CUALIDADES DEL SUELO. In Diagonal (Vol. 18, Issue 20). www.ucundinamarca.edu.co
- [6] Albertini, M., Bourdin, A., & Hirsch, D. (2023, November 27). Los últimos datos sobre conectividad mundial muestran un crecimiento, si bien persisten las brechas. Ginebra.
- [7] Mauricio, O., Arango, L., Jurado, G. A., Transformación, V., Sindey, D., Bernal, C., secretaria, V., Molina, J., jefe, G., Asesora De Planeación, O., Sectoriales, E., Alexandra, J., Fredy, A. S., De La, A., Rojas, O., Miguel, L., Sierra, C., Iván, J., Rojas, R., ... Vanegas, A. (2023). Boletín trimestral de las TIC. www.mintic.gov.co
- [8] computrabajo. (2024, July 9). Salario de Ingeniero agrónomo en Colombia.
- [9] Business School, E. (2024). ¿Cuánto gana un Ingeniero Agrónomo en Estados Unidos? Educa Edtech Group.

