

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Automatización de flujos de procesamiento de imágenes satelitales para monitoreo
de desplazamiento de tierra

TECH-441

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera/o en Ciencias de la Computación

Presentado por:

Victor Miguel Peña Barragan

Stephany Carolina Cabezas Tufiño

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Primeramente, dedico todo mi proceso a Dios por darme la fuerza necesaria para no rendirme y guiarme en cada paso. A mis padres, Jorge Cabezas y a mi mami Bertha Tufiño, por su amor infinito, apoyo constante y por haberme acompañado y respaldado durante todo este camino hasta lograr culminar mi carrera universitaria. Este logro es gracias a ustedes.

Stephany Cabezas

El presente proyecto lo dedico a mi padre Miguel Peña, mi madre Nely Barragan y mi hermana Marina Peña, por apoyarme sin dudar en cada decisión de que tomé a lo largo de este camino y ser mi soporte en los momentos difíciles; A mi papi Olmedo por ser mi ejemplo a seguir de constancia y superación en todo momento; A mi mami Marina por siempre estar presente; A mi primo y mejor amigo Victor por acompañarme en cada paso desde siempre e inspirarme a ser mejor en todo aspecto.

Victor Peña

Agradecimientos

Dejo constancia de mi agradecimiento a quienes, con su apoyo, orientación y acompañamiento, hicieron posible la culminación de mi formación académica y la obtención de este título.

Stephany Cabezas

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de cualquier forma en mi vida durante mi formación académica hasta la obtención de este título.

Victor Peña

Declaración Expresa

Nosotros Victor Miguel Peña Barragan y Stephany Carolina Cabezas Tufiño acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 28 de octubre del 2025.

Victor Miguel Peña
Barragan

Stephany Carolina
Cabezas Tufiño

Evaluadores

Federico Dominguez

Profesor de Materia

Miguel Realpe

Tutor de proyecto

Resumen

El proyecto surge de la necesidad de optimizar el procesamiento de imágenes satelitales dentro de la plataforma SNAP, ya que este procedimiento se realiza de forma manual y requiere múltiples pasos dependientes del usuario. El objetivo principal es diseñar e implementar una aplicación web que automatice los flujos de trabajo con la finalidad de permitir la disminución de tiempos de ejecución y mejorar la eficiencia en el análisis de deslizamientos de tierra. Se utilizó imágenes de los satélites Sentinel-1 obtenidas de la plataforma ASF, además se emplearon herramientas como React para la interfaz gráfica, Flask para el backend y SNAP/GPT para la ejecución de flujos, además de contenerización con Docker para garantizar reproducibilidad. Entre los resultados se evidenció la disminución en los tiempos de procesamiento, además de una facilidad de uso por parte de los usuarios en el sistema. Así mismo se integró un módulo de visualización que permitió interpretar los resultados de forma clara y accesible. Se concluye que la automatización constituye una herramienta eficaz para optimizar el monitoreo de deslizamientos de tierra y fortalecer la gestión del riesgo geológico en el Ecuador.

Palabras clave: Automatización, SNAP, Sentinel-1, deslizamientos de tierra, procesamiento satelital.

Abstract

The project arises from the need to optimize the processing of satellite imagery within the SNAP platform, as this procedure is currently performed manually and requires multiple user-dependent steps. The main objective is to design and implement a web application that automates workflow processes in order to reduce execution times and improve efficiency in landslide analysis. Sentinel-1 satellite images obtained from the ASF platform were used. Additionally, tools such as React for the graphical interface, Flask for the backend, and SNAP/GPT for workflow execution were employed, along with containerization using Docker to ensure reproducibility. Among the results, a reduction in processing times was observed, as well as improved usability for system users. Furthermore, a visualization module was integrated to enable clear and accessible interpretation of the results. It is concluded that automation constitutes an effective tool to optimize landslide monitoring and strengthen geological risk management in Ecuador.

Keywords: Automation, SNAP, Sentinel-1, landslides, satellite processing.

ÍNDICE GENERAL

1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema.....	4
1.3 Justificación del Problema	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Marco teórico	5
1.5.1 Fundamentos sobre deslizamientos de tierra.....	5
1.5.2 Métodos de monitoreo y detección.....	6
1.5.2.1 Imágenes SAR y los satélites Sentinel-1	7
1.5.2.2 Procesamiento de imágenes satelitales mediante SNAP y GPT	8
1.5.3 Estado del arte de proyectos relacionados	8
2. Metodología	11
2.1 Selección y adquisición de datos	11
2.2 Requerimientos.....	12
2.2.1 Requerimientos Funcionales	12
2.2.2 Requerimientos no Funcionales.....	13
2.3 Alternativas consideradas.....	13
2.4 Arquitectura del sistema.....	14
2.4.1 Interfaz de usuario	14
2.4.2 Backend	15
2.4.3 Motor de procesamiento (SNAP/GPT)	15
2.4.4 Visualización	15
2.4.5 Despliegue y contenerización.....	15
2.5 Diagramas del Sistema.....	16
2.5.1 Diagrama de caso de uso	16

2.5.2 Diagrama de Secuencia	17
2.6 Plan de implementación	18
2.6.1. Prototipo.....	18
2.7 Matriz de riesgo	21
2.8 Plan de ejecución	22
3. Resultados y análisis.....	25
3.1 Tiempo de ejecución de acciones - Evaluación cuantitativa	25
3.1.1 Tareas para el procesamiento de flujo individual	25
3.1.2 Tareas para el procesamiento de flujo completo.....	26
3.1.3 Carga y edición del gráfico	27
3.1.4 Visualizador de la imagen procesada.....	28
3.2 Percepción del uso - Evaluación cualitativa	28
4.1 Conclusiones y recomendaciones	31
4.1.1 Conclusiones.....	31
4.1.1.1 Procesamiento de flujo individual	31
4.1.1.2 Procesamiento de flujo completo	31
4.1.1.3 Carga y edición del grafico	31
4.1.1.4 Visualizador de imagen procesada	31
4.1.2 Recomendaciones	32
4.1.2.1 Mejora de visibilidad de funcionalidades	32
4.1.2.2 Recomendaciones futuras.....	32

Abreviaturas

AH Asistencia Humanitaria

ASF Alaska Satellite Facility

DInSAR Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar

ESA European Space Agency

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

FICT Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

GPT Graph Processing Tool

InSAR Interferometric Synthetic Aperture Radar

IW Interferometric Wide Swath Mode

LiCSAR Landslide and Interferometric SAR System

NASA National Aeronautics and Space Administration

ONU Organización de las Naciones Unidas

PSInSAR Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar

SAR Synthetic Aperture Radar

SAR-C C-band Synthetic Aperture Radar

SNAP Sentinel Application Platform

SNGR Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias

UNDRR United Nations Office for Disaster Risk Reduction

Índice de figuras

FIGURA 1	14
FIGURA 2	16
FIGURA 3	16
FIGURA 4	17
FIGURA 5	17
FIGURA 6	18
FIGURA 7	19
FIGURA 8	19
FIGURA 9	20
FIGURA 10	25
FIGURA 11	25
FIGURA 12	26
FIGURA 13	27
FIGURA 14	28

Índice de tablas

TABLA 1	20
TABLA 2	21

Capítulo 1

1.1 Introducción

Los deslizamientos de tierra, denominados también masas de suelo o roca sobre una o varias superficies de rotura, son zonas relativamente delgadas con intensa deformación de corte, que en general conservan la forma original de la masa desplazada [1]. La identificación de los desplazamientos de tierra requiere un monitoreo sistemático mediante tecnologías de detección, debido a que los deslizamientos se suelen dar de manera dinámica lo que puede ser lenta o progresiva [2].

Según el informe anual de 2021 del Banco Mundial, los deslizamientos de tierra representan una amenaza natural continua a nivel mundial que genera pérdidas económicas, especialmente en regiones vulnerables como son las montañas y los lugares tropicales [3]. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2019 estos eventos superan los 4000 millones de dólares en pérdidas económicas y causan muertes anuales de hasta 25000 personas. Esta ocurrencia se puede dar en cualquier región montañosa o con pendientes pronunciadas, afectando zonas rurales como urbanas [3].

En Ecuador, las provincias andinas como Loja, Azuay y Pichincha presentan una alta susceptibilidad a deslizamientos, debido a su geología, pendientes pronunciadas y altas precipitaciones [3]. Según datos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGR), entre 2018 y 2023 se registraron un total de 243.822 personas que fueron atendidas con asistencia humanitaria (AH), por diversos eventos peligrosos [4].

El monitoreo de desplazamientos de tierra constituye una herramienta esencial para la gestión del riesgo geológico, la planificación territorial y la prevención de desastres naturales. En Ecuador, los deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas o aluviones representan una de las amenazas geológicas más recurrentes y de mayor impacto, lo que puede provocar daños significativos en la infraestructura, poner en riesgo a las comunidades y deteriorar las condiciones ambientales [5].

Para detectar y caracterizar estos fenómenos, el uso de imágenes satelitales radar se considera como una alternativa frente a los métodos de observación terrestre, debido a su alta resolución temporal y espacial, y su capacidad para obtener datos independientemente de las condiciones atmosféricas o de iluminación [6].

Las imágenes provenientes de la constelación de satélites Sentinel-1, operada por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del programa Copernicus, representan una de las principales herramientas para la observación de la Tierra. Estos satélites utilizan un radar de apertura sintética (SAR) en banda C, lo que permite capturar cambios en la superficie terrestre con mayor precisión sin afectar las condiciones climáticas o luminosidad en la que se encuentren [7]. Las imágenes de los satélites Sentinel-1 pueden ser descargadas de forma gratuita a través del portal Alaska Satellite Facility (ASF) Vertex, una plataforma mantenida por la NASA que facilita el acceso a datos SAR para fines científicos y de monitoreo [8]. El procesamiento de estas imágenes se realiza con el software Sentinel Application Platform (SNAP), desarrollado por la ESA, que permite ejecutar diversas operaciones como calibración radiométrica, recorte, corrección, filtrado y geocodificaciones necesarias para la generación de productos geoespaciales que apoyan el monitoreo de desplazamientos superficiales [9].

No obstante, el proceso mediante la plataforma SNAP sigue siendo un procedimiento manual que depende de la persona que lo opere, esto limita la velocidad para reproducir resultados a grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Desde una perspectiva científica, este procesamiento manual dificulta que otros investigadores puedan aplicar este método y así mismo obtener resultados equivalentes. Por otra parte, desde un enfoque práctico, la automatización de este proceso permitirá reducir tiempos de análisis, minimizar errores humanos y mejorar la gestión del riesgo geológico en el país.

1.2 Descripción del Problema

En la actualidad, en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se desarrollan análisis de desplazamientos de tierra usando el aplicativo SNAP mediante la ejecución manual de flujos de trabajo (graph.xml). Este método ha permitido generar imágenes geoespaciales que han sido útiles para la detección de movimientos de tierra, sin embargo, presenta limitaciones operativas como son: alta dependencia del operador, lentitud en la ejecución y dificultades para reproducir resultados o escalar el procesamiento a múltiples escenas. Esta situación limita la capacidad institucional para obtener grandes volúmenes de datos a menor tiempo, como también complica la trazabilidad de los resultados.

1.3 Justificación del Problema

Ante esta problemática, surge la necesidad de automatizar los flujos de trabajo (workflows) ya validados por el equipo técnico, con el fin de estandarizar la ejecución de procesos, reducir la intervención manual y mejorar la eficiencia operativa. El componente Graph Processing Tool (GPT) de SNAP permite ejecutar estos flujos por la línea de comandos, lo que posibilita el procesamiento por lotes y la integración con scripts externos [8]. Sin embargo, su uso requiere conocimientos avanzados y carece de una interfaz intuitiva para usuarios no especializados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar una aplicación web que permita a usuarios técnicos cargar escenas satelitales, seleccionar, parametrizar y ejecutar flujos de trabajo en una interfaz gráfica con exportación estandarizada de productos para mejorar la eficiencia en el análisis de desplazamientos de tierras.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar una interfaz gráfica para carga de escenas, selección de graph y edición/validación de parámetros.
- Implementar backend que invoque Graph Processing Tool.
- Implementar módulo de publicación que exporte resultados en una estructura estándar.
- Validar resultados con casos reales de la Facultad, comparando contra ejecuciones manuales en SNAP para verificar equivalencia de productos.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Fundamentos sobre deslizamientos de tierra

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los procesos geodinámicos más frecuentes y destructivos del planeta. Se definen como el movimiento descendente de una masa de suelo, detrito o roca a lo largo de una o varias superficies de ruptura bajo la influencia de la gravedad [1]. Según Cruden y Varnes [1], los deslizamientos pueden clasificarse de acuerdo con la naturaleza del material y el mecanismo de movimiento, distinguiéndose los de tipo rotacional, traslacional, flujo, caída y expansión lateral.

Estos fenómenos son producto de la interacción entre factores condicionantes —como la pendiente del terreno, la litología, la estructura geológica, la vegetación y las precipitaciones intensas— y factores desencadenantes como sismos o lluvias extremas [2]. De acuerdo con el Banco Mundial [3], los desastres naturales representan una amenaza persistente para el desarrollo sostenible, con efectos económicos y sociales significativos, particularmente en regiones montañosas y tropicales vulnerables. Asimismo, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) [4] señala que entre 1998 y 2017 los desastres

naturales causaron pérdidas económicas globales estimadas en 2.9 billones de dólares y más de 1.3 millones de muertes, afectando de forma desproporcionada a países de ingresos medios y bajos.

En Ecuador, los deslizamientos de tierra representan una de las principales amenazas geológicas, especialmente en las provincias de la sierra interandina del Ecuador como Loja, Azuay y Pichincha, donde la combinación del alto volumen de lluvias, pendientes de gran inclinación y junto con las condiciones geológicas inestables favorece la ocurrencia de estos eventos catastróficos [3].

1.5.2 Métodos de monitoreo y detección

El monitoreo de movimientos de tierra ha evolucionado desde técnicas locales hacia sistemas de observación remota. Los métodos tradicionales, como inclinómetros, estaciones GPS o extensómetros, proporcionan mediciones de alta precisión puntual, pero su aplicación es limitada en términos de cobertura espacial y frecuencia temporal [5].

En respuesta a estas restricciones, se han desarrollado interfaces gráficas de usuario (GUI) que son utilizadas para la gestión de datos satelitales como una estrategia para facilitar el acceso a herramientas de procesamiento de radar. Estas plataformas buscan simplificar tareas que anteriormente requerían conocimientos técnicos avanzados, como la carga de escenas Sentinel-1, la selección de flujos de trabajo(graph.xml) y la configuración de parámetros de entrada. Un ejemplo que evidencia la necesidad de automatización dentro del uso de la plataforma SNAP es en el proyecto desarrollado por Hansanee Fernando et al. (2025), publicado en MethodsX, que propone un flujo de trabajo automatizado para el procesamiento de imágenes Sentinel-1 SLC [10]. El proceso de automatización requirió de cuatro fases: (i) instalación de las herramientas SNAP, PolSARpro y RStudio incluyendo la integración de sus ejecutables en el entorno de línea de comandos; (ii) descarga masiva de imágenes Sentinel-1 SLC mediante scripts en Python; (iii) generación de gráficos SNAP personalizados por cada escena; y (iv) procesamiento paralelo de

los datos utilizando RStudio y librerías como parallelMap, permitiendo ejecutar múltiples tareas SNAP al mismo tiempo desde scripts en R. Las salidas generadas (imágenes calibradas y corregidas) se convierten automáticamente a formatos compatibles con PolSARpro, lo que permite obtener información detallada sobre cómo se comporta la superficie del terreno a partir de parámetros extraídos con PolSARpro, su textura, orientación o nivel de dispersión, a partir de las imágenes satelitales procesadas. Esta propuesta elimina la intervención manual y permite escalar el procesamiento a grandes volúmenes de datos. [10]

En contraste, las tecnologías de teledetección también han permitido obtener información continua y de gran escala sobre el comportamiento del terreno. Entre ellas, la Interferometría Radar de Apertura Sintética (InSAR) se ha consolidado como una herramienta eficaz para detectar desplazamientos milimétricos mediante la comparación de la fase de señales radar adquiridas en diferentes fechas [6]. Esta técnica resulta especialmente útil en áreas de difícil acceso o con nubosidad persistente, donde las observaciones ópticas son poco viables.

1.5.2.1 Imágenes SAR y los satélites Sentinel-1

El radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés) es una técnica activa que emite pulsos de microondas y analiza la energía reflejada para formar imágenes de alta resolución de la superficie terrestre, sin depender de las condiciones de luz o clima [7]. Esto lo convierte en una herramienta fundamental para el monitoreo geológico y ambiental.

La constelación Sentinel-1, operado por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del programa Copernicus, emplea un radar en banda C con una longitud de onda de 5.6 cm, ofreciendo resoluciones espaciales de hasta 10 m y revisitas de entre 6 y 12 días [8]. Su modo de adquisición interferométrico (IW) permite generar pares coherentes para el análisis de deformaciones del terreno.

Las técnicas derivadas de InSAR, como la Interferometría Diferencial (DInSAR) y la

Interferometría de Dispersores Persistentes (PSInSAR), permiten estimar desplazamientos con precisión milimétrica a partir de imágenes de los satélites Sentinel-1 [9], [10].

1.5.2.2 Procesamiento de imágenes satelitales mediante SNAP y GPT

El procesamiento de datos SAR requiere una secuencia de operaciones técnicas: calibración radiométrica, eliminación de ruido speckle, co-registro, generación de interferogramas, filtrado, desempaqueado de fase y geocodificación. Para ello, la ESA desarrolló el software Sentinel Application Platform (SNAP), una herramienta de código abierto que soporta la manipulación y análisis de datos ópticos y radar provenientes de las misiones Sentinel [11].

SNAP permite la ejecución de flujos de trabajo definidos en archivos graph.xml, que pueden correr manualmente o de manera automatizada mediante el componente Graph Processing Tool (GPT). Este último posibilita ejecutar procesos por la línea de comandos, facilitando el procesamiento por lotes e integración con scripts externos [12]. Sin embargo, el uso manual de SNAP implica una alta dependencia del operador y una limitada capacidad de replicar resultados en grandes volúmenes de datos.

Crosetto et al. [13] demostraron que la automatización del flujo interferométrico mediante herramientas como GPT mejora la reproducibilidad científica y reduce los tiempos de procesamiento, al minimizar la intervención humana y estandarizar los resultados.

1.5.3 Estado del arte de proyectos relacionados

A nivel internacional, el sistema LiCSAR se ha establecido como una de las plataformas más completas para el procesamiento automático de datos Sentinel-1 a gran escala, utilizando scripts basados en SNAP-GPT y permitiendo la generación sistemática de interferogramas para análisis geodinámicos [14]. Su implementación en Europa ha demostrado la viabilidad de los sistemas automatizados para la detección de deformaciones en tiempo casi real.

Un estudio realizado por Moskolaï en 2022 describe que, para obtener series temporales de imágenes satelitales, el proceso resulta complicado, lento y con un alto consumo de almacenamiento. El objetivo de obtener estos datos era utilizarlos con algoritmos de aprendizaje profundo (DL) [11]. Los autores propusieron un flujo de trabajo automatizado para recolectar, procesar y preparar imágenes Sentinel-1, usando scripts para la descarga y el preprocesamiento técnico (calibración, filtrado, geocodificación, etc.). El flujo se ejecutó mediante la herramienta SNAP-GPT, que permite ejecutar estos procesos por lotes sin intervención manual. Su resultado fue un total de 628 imágenes de manera eficiente [11].

En el contexto ecuatoriano, Mayorga y Platzeck [15] aplicaron la técnica DInSAR para identificar zonas susceptibles a deslizamientos en los Andes del sur del país, demostrando la aplicabilidad de los datos Sentinel-1 y el potencial del radar para estudios de estabilidad del terreno.

Estos antecedentes evidencian la importancia de automatizar el procesamiento de imágenes radar, no solo para mejorar la eficiencia y trazabilidad de los resultados, sino también para fortalecer la gestión del riesgo geológico mediante herramientas accesibles y reproducibles.

Capítulo 2

2. Metodología

El presente trabajo describe la metodología aplicada en un enfoque técnico-automatizado para el procesamiento de imágenes Sentinel-1, orientado al monitoreo de desplazamientos de tierra. Se dio prioridad a garantizar la replicabilidad del flujo, la trazabilidad de los resultados y la claridad en la documentación, con el propósito de que tanto especialistas como usuarios con menor experiencia puedan entender el procedimiento y reproducirlo de manera confiable.

Luego de reuniones con el equipo técnico, se identificaron los requerimientos fundamentales que debía contener el aplicativo web. Estos requerimientos se definieron considerando tanto las necesidades operativas como las expectativas de accesibilidad. En consecuencia, se establecieron criterios de funcionalidad, que guiaron el diseño del flujo automatizado asegurando que la solución propuesta respondiera de manera efectiva a los objetivos del proyecto.

2.1 Selección y adquisición de datos

Inicialmente los datos que se emplearon corresponden a conjuntos de prueba provenientes del sensor Sentinel-1, obtenidos a través de ASF en formatos compatibles para el procesamiento (.zip y .frame). La selección se realizó de acuerdo con criterios de cobertura espacial y temporal adecuado para el análisis de desplazamiento, a partir de esos criterios se seleccionaron muestras representativas de escenas para las pruebas. Como parte del proceso de validación se utilizó un grafo de ejemplo GRAPH_#.xml, el cual corresponde a un archivo de configuración creado previamente por el investigador dentro de la plataforma SNAP, que describe la secuencia de operaciones a aplicar sobre los datos provenientes de los paquetes descargados previamente a través de ASF. Al cargarse en SNAP, este archivo permite visualizar una interpretación de nodos conectados, reflejando el flujo del procedimiento a seguir. Todos los insumos se almacenaron y documentaron con metadatos relevantes (fecha, órbita, identificador de producto) y versiones de los archivos de configuración. Esta estrategia de muestreo y documentación se justificó por ser

apropiada para identificar la metodología aplicada, permitir la reproducibilidad de las ejecuciones y asegurar el cumplimiento de las condiciones de uso de los datos.

2.2 Requerimientos

Se recopilaron ideas obtenidas durante las primeras reuniones para el levantamiento de requerimientos del sistema. Se discutieron puntos claves no considerados anteriormente, por lo que fue posible definir casos de uso concretos mediante historias de usuario (HUs), las cuales se presentan en el Apéndice A.

2.2.1 Requerimientos Funcionales

RF-01: El sistema debe permitir la carga de escenas satelitales en formatos estándar (FRAME, .ZIP), verificando la validez de dicho formato.

RF-02: La plataforma debe permitir la selección de workflows (graph.xml) previamente definidos para obtener resultados reproducibles sin intervención manual.

RF-03: El sistema debe permitir la edición y validación de parámetros de ejecución tales como la ruta de entrada y salida, para organizar los resultados en ubicaciones específicas y evitar que se guarden por defectos en rutas desconocidas o difíciles de ubicar.

RF-04: El sistema debe permitir la integración de visualización desarrollado en CIDIS, para que los resultados generados de los grafos .xml puedan ser interpretados de manera clara y accesible.

RF-05: El sistema debe permitir la exportación de resultados en formato compatible con SNAP para que puedan ser reutilizados en otros flujos de trabajo y facilitar su análisis en herramientas externas.

RF-06: El sistema debe permitir la ejecución automática de un mismo grafo .xml para varios archivos a procesar, de manera que no requiera la ejecución uno por uno de forma manual.

2.2.2 Requerimientos no Funcionales

RNF-01: El aplicativo web debe garantizar tiempos de respuesta adecuados en la ejecución de workflows para que el procesamiento de imágenes Sentinel-1 se realice de manera eficiente y sin retrasos significativos.

RNF-02: El aplicativo web debe contar con mecanismos de seguridad y control de acceso para que solo usuarios autorizados puedan cargar escenas, ejecutar workflows y visualizar resultados.

RNF-03: La interfaz gráfica debe ser intuitiva y clara para que tanto especialistas como usuarios no expertos puedan comprender y utilizar la aplicación sin dificultad.

RNF-04: El sistema debe ser escalable para que puedan procesar grandes volúmenes de datos sin afectar el rendimiento general.

2.3 Alternativas consideradas

Antes de definir la arquitectura final, se revisaron varias opciones para automatizar el procesamiento de imágenes Sentinel-1. Una alternativa fue utilizar plataformas más avanzadas como LiCSAR o servicios en la nube (por ejemplo, Google Earth Engine o Sentinel Hub). Estas herramientas son potentes y tienen la capacidad de manejar grandes volúmenes de datos, pero su uso implica costos, configuraciones más complejas o infraestructura que excede lo que se puede implementar dentro del alcance del proyecto.

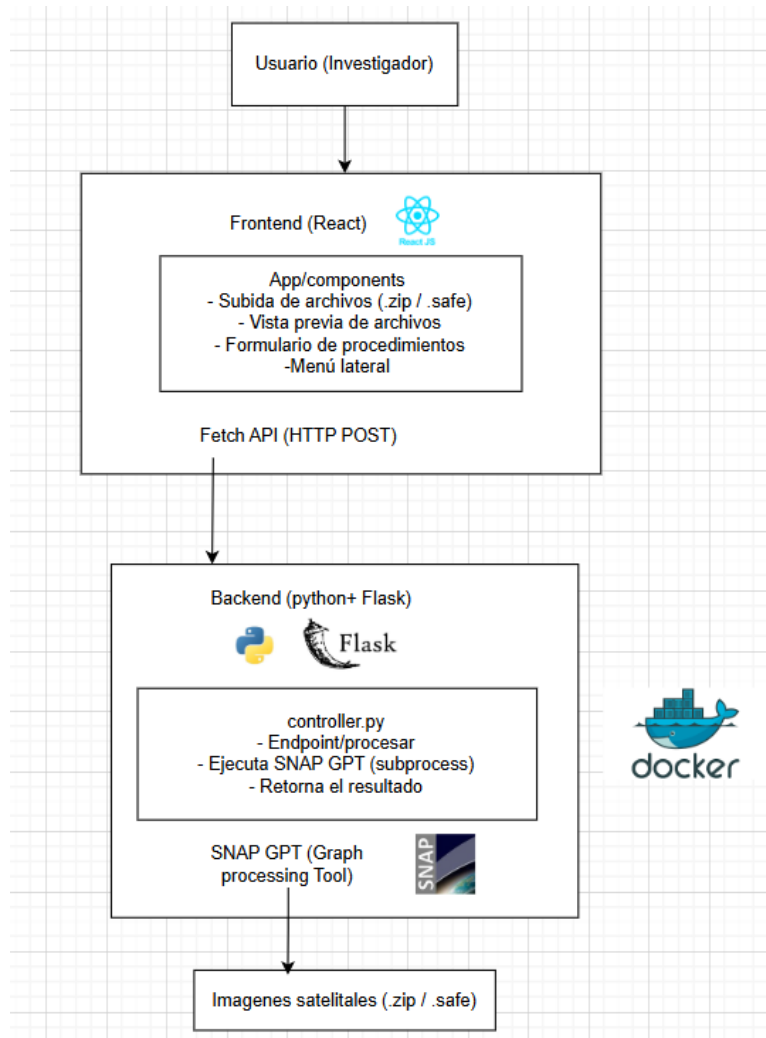
Otra alternativa fue desarrollar todo el sistema únicamente con scripts en Python o R. Si bien estos lenguajes permiten automatizar los flujos con SNAP-GPT, esa opción no incluye una interfaz clara para el usuario. En la práctica, obligaría a ejecutar comandos por consola y manejar archivos manualmente, lo cual no es ideal para personas que no tienen experiencia técnica o que necesitan una herramienta más intuitiva.

Por estas razones, se decidió diseñar una arquitectura más accesible y ajustada a los requerimientos del proyecto, la cual se presenta a continuación.

2.4 Arquitectura del sistema

Figura 1

Diagrama de arquitectura del sistema



2.4.1 Interfaz de usuario

La interfaz se construyó como una aplicación web para facilitar el acceso y la operación por parte de usuarios con distintos niveles de experiencia. Se empleó React para desarrollar formularios y vistas que permitieron seleccionar procesos, cargar parámetros y supervisar ejecuciones de manera intuitiva.

El frontend estuvo pensado para guiar al usuario paso a paso, mostrando solo las opciones relevantes y reduciendo la necesidad de conocimientos técnicos para ejecutar los flujos de procesamiento.

2.4.2 Backend

El backend actuó como coordinador de las tareas de procesamiento: recibió las solicitudes desde la interfaz, validó los parámetros básicos e inició la ejecución de los grafos de procesamiento. Se implementó de forma ligera y práctica, priorizando la fiabilidad en la ejecución de comandos y la gestión de resultados. Su responsabilidad principal fue garantizar que las peticiones de los usuarios se generen como ejecuciones reproducibles y en la correcta entrega de los productos generados.

2.4.3 Motor de procesamiento (SNAP/GPT)

Para el procesamiento de radar se utilizó SNAP, invocado mediante GPT para ejecutar los grafos .xml que describían las cadenas de operaciones (por ejemplo, correcciones, filtrados y generación de productos). Esta elección se basó en la capacidad de SNAP para procesar datos Sentinel-1 y en la posibilidad de ejecutar grafos parametrizables que permiten repetir y ajustar el flujo sin modificar la aplicación principal.

2.4.4 Visualización

Durante el desarrollo se integró un módulo de visualización previamente construido en el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas (CIDIS) de la ESPOL, con el fin de mostrar los resultados generados por los flujos de procesamiento. Este componente permitió representar de manera gráfica los productos obtenidos, aunque no constituyó un objetivo específico del proyecto, sino una integración necesaria para completar la experiencia de usuario.

2.4.5 Despliegue y contenerización

Para garantizar reproducibilidad y simplificar la instalación se empaquetó el backend y SNAP en un contenedor Docker. El Dockerfile instaló dependencias del sistema, Java (requerido

por SNAP), Python y SNAP en /opt/snap, configuró PATH para incluir /opt/snap/bin y expuso el puerto 8080 para el servicio Flask. Esta estrategia permitió levantar el servicio con un docker build seguido de docker run y obtener un entorno consistente independientemente de la máquina anfitriona, reduciendo problemas derivados de diferencias en versiones o configuraciones locales.

2.5 Diagramas del Sistema

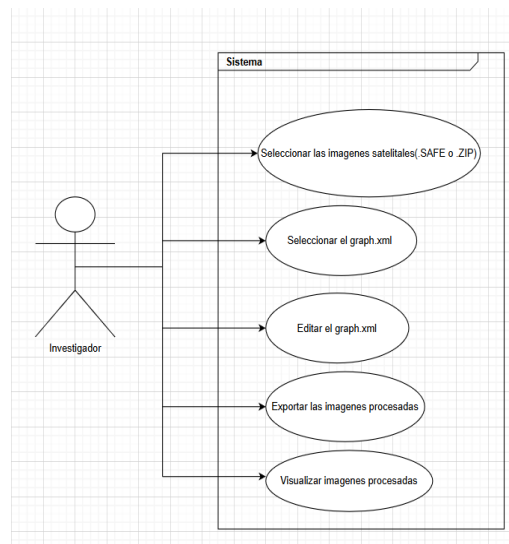
Se desarrollaron los siguientes diagramas para documentar la arquitectura y funcionamiento:

2.5.1 Diagrama de caso de uso

El sistema tiene un solo rol, el investigador; éste tiene la opción de realizar todo el funcionamiento del aplicativo web.

Figura 2

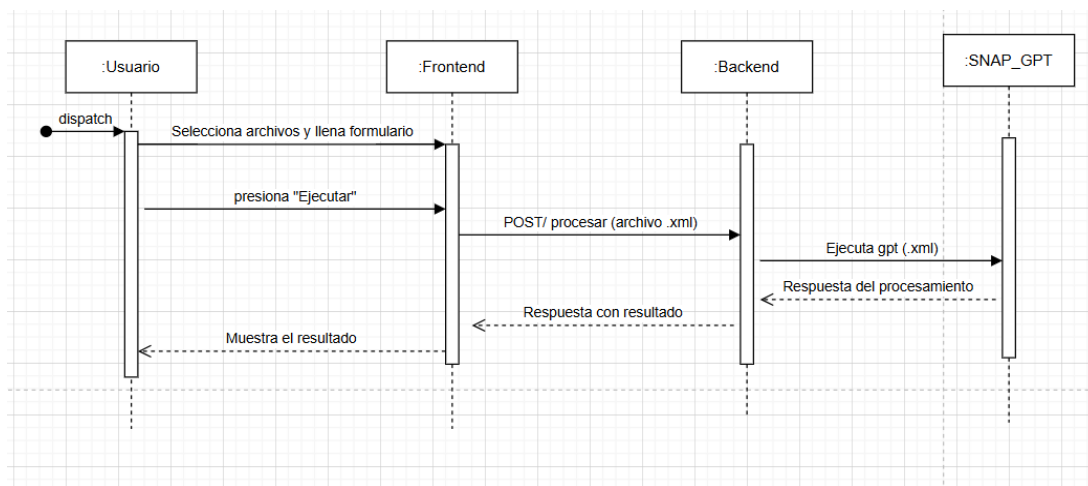
Diagrama de Caso de Uso



2.5.2 Diagrama de Secuencia

Figura 3

Diagrama de despliegue

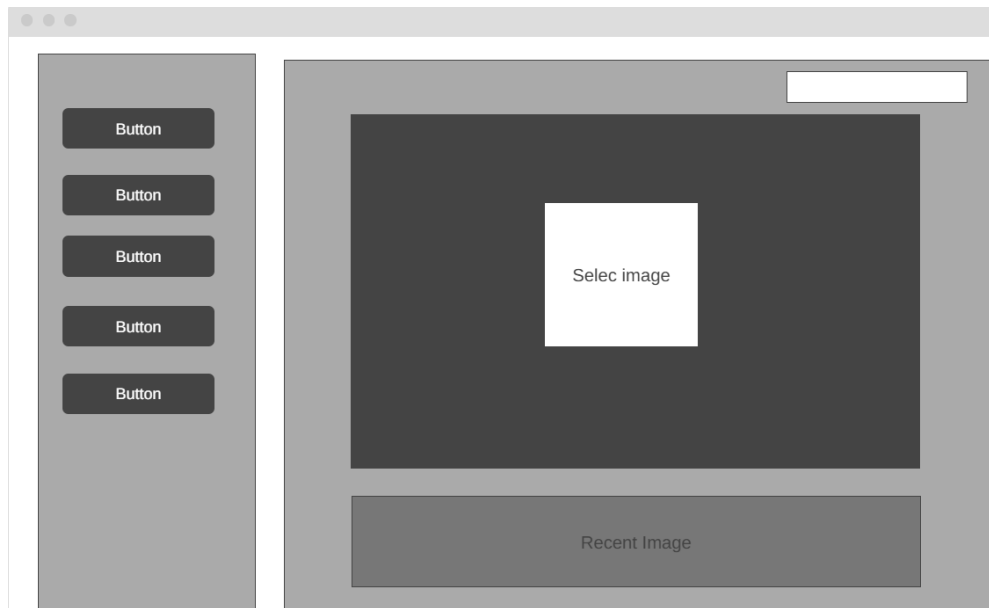


2.6 Plan de implementación

2.6.1. Prototipo

Figura 4

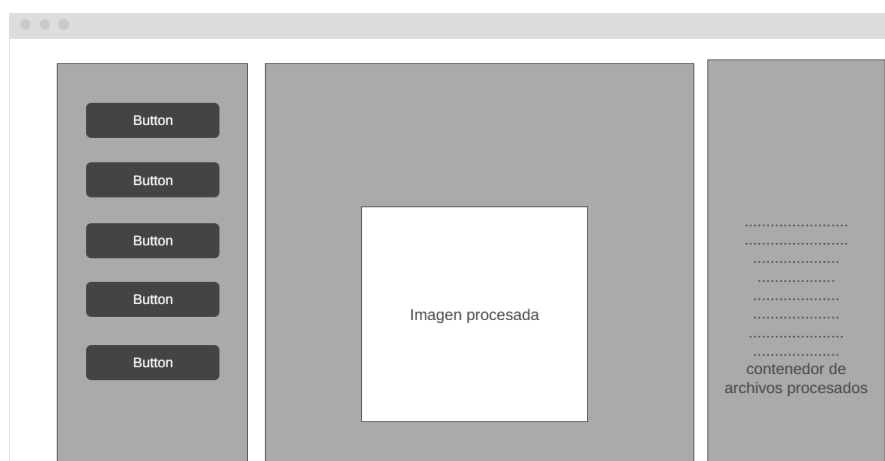
Prototipo de baja fidelidad



El prototipo de baja fidelidad se elaboró en primera instancia como una representación funcional que permitió identificar las características esenciales del sistema, sin contemplar aspectos visuales ni interacciones complejas. Este modelo inicial funcionó como referencia para comprobar los requerimientos funcionales y garantizar que las funcionalidades críticas fueran comprendidas y validadas adecuadamente.

Figura 5

Visualización de imagen



Posteriormente, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad realizado en Figma para la visualización, interacción del usuario incluyendo la parte del diseño. Este prototipo es una representación de una versión mejorada y vista previa del producto final, se logró la experiencia de usuario mediante expectativas funcionales y visuales del cliente. Véase el Apéndice A para la visualización de todas las pantallas.

Figura 6

Pantalla inicial del prototipo de alta fidelidad

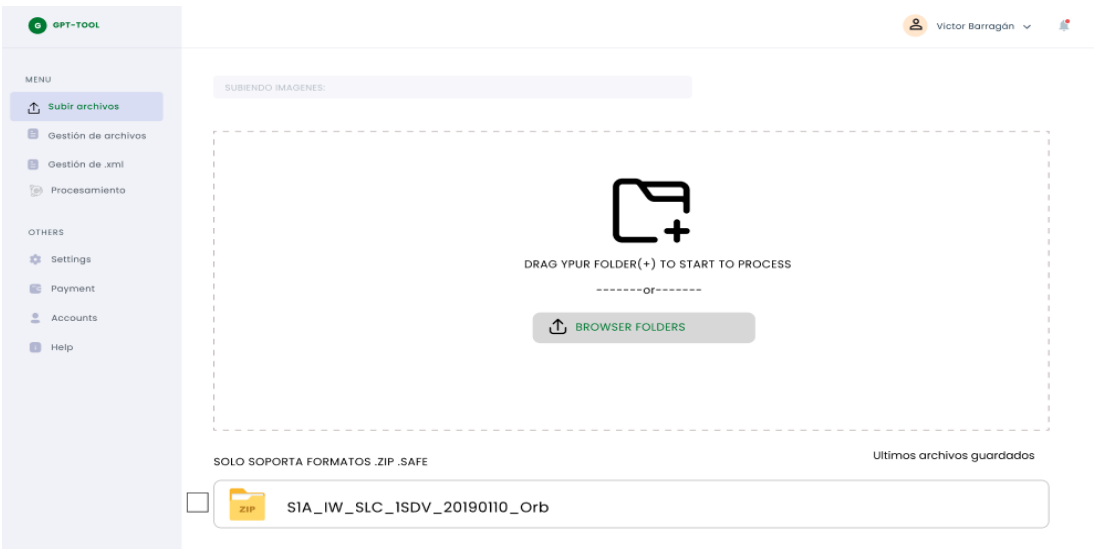


Figura 7

Pantalla del archivo xml subido al sistema

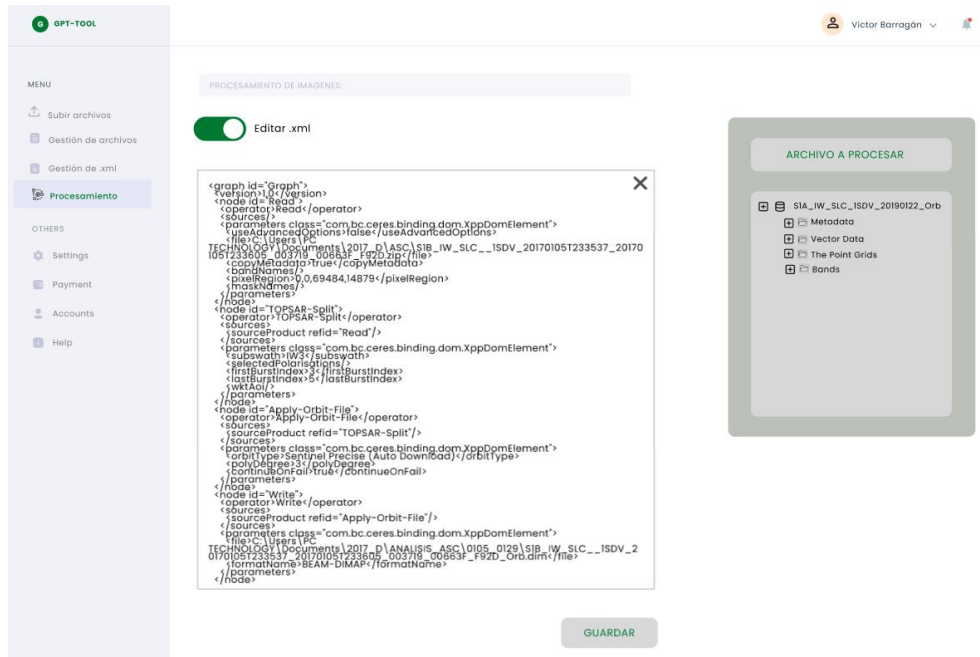


Figura 8

Pantalla de imágenes y archivos procesados

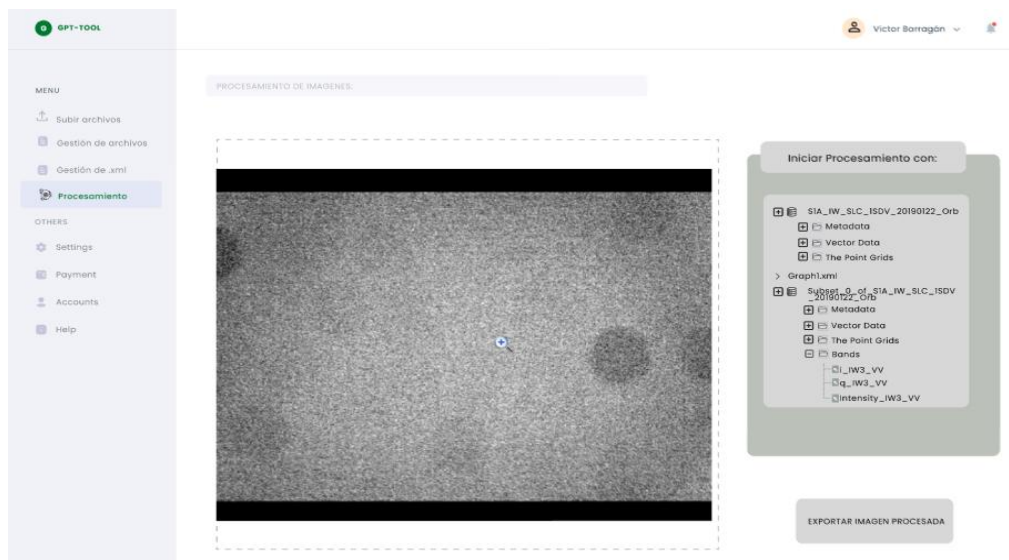


Figura 9

Pantalla de gestionamiento de archivos



2.7 Matriz de riesgo

La matriz de riesgos se construyó como una herramienta práctica para anticipar posibles dificultades durante el desarrollo del proyecto. Su propósito fue reconocer aquellas situaciones que podrían afectar el trabajo y valorar tanto la magnitud de sus consecuencias como la probabilidad de que ocurran. El impacto se consideró como el nivel de influencia que cada riesgo tendría sobre el cumplimiento de los objetivos, clasificándose en alto, medio o bajo según su gravedad. De manera complementaria, la probabilidad se evaluó considerando qué tan frecuente o posible era que cada escenario se presentara, también bajo la misma escala.

Tabla 1

Matriz de Riesgos identificados

Riesgo	Impacto	Probabilidad	Descripción	Solución
Cambio en los requerimientos del cliente	Alto	Medio	El cliente puede agregar o modificar nuevas funciones durante el desarrollo.	Documentar cambios como “futuro” y congelar requerimientos iniciales.
Fallos en la integración con SNAP/GPT	Alto	Medio	Dificultades técnicas al ejecutar el graph .xml	Validar los .xml en entornos de prueba antes de producción.
Problemas en la	Alto	Medio	Errores en	Usar Docker Compose

infraestructura del Docker			contenedores o red interna.	con documentación clara y pruebas de despliegue.
Sobrecarga de procesamiento	Medio	Medio	Procesar múltiples escenas puede afectar el rendimiento.	Implementar ejecución por lotes y monitoreo de recursos.
Retrasos por falta de datos satelitales	Medio	Alto	Escenas no disponibles a tiempo.	Usar datos simulados para pruebas y planificar con anticipación.
Limitaciones de conocimiento técnico del equipo	Alto	Bajo	Falta de experiencia en el entorno de trabajo.	Usar tecnologías conocidas, con capacitaciones previas y uso de guías en canales oficiales.
Problemas de comunicación con el cliente	Medio	Medio	La comunicación poco precisa puede provocar confusiones respecto al alcance del proyecto o los progresos realizados.	Establecer reuniones semanales o quincenales para revisar avances y aclarar dudas.

2.8 Plan de ejecución

La presente tabla muestra las fechas de inicio y finalización de las tareas definidas en el proyecto.

Tabla 2

Plan de ejecución detallado por tareas

Tarea	Fecha de inicio	Fecha de finalización
Toma de requerimientos	15/10/2025	22/10/2025
Elaboración de historias de usuario	23/10/2025	26/10/2025
Validación de las historias de usuario	27/10/2025	30/10/2025
Elaboración del prototipo de baja fidelidad	1/11/2025	7/11/2025
Validación del prototipo de baja fidelidad	8/11/2025	11/11/2025
Diseño del prototipo	12/11/2025	17/11/2025
Diagramas de flujos y UML	18/11/2025	26/11/2025
Desarrollo del módulo de carga y validación de escenas	27/11/2025	4/12/2025
Desarrollo del módulo de ejecución de workflows (GPT)	5/12/2025	8/12/2025

Desarrollo de visualización con CIDIS Espol de los grafos .xml	9/12/2025	12/12/2025
Detalles de imagen procesada	14/12/2025	17/12/2025
Procesamiento por lotes	18/12/2025	23/12/2025
Imagen con escala de colores	3/01/2026	5/01/2026

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

El prototipo fue diseñado de forma colaborativa por medio de la plataforma Figma, en total se obtuvieron 20 pantallas que fueron revisadas y aprobadas por el cliente. Por medio de estas pantallas se fueron aumentando los requerimientos funcionales y cambios de diseño de cada imagen procesada. Este capítulo presenta los resultados que se obtuvieron al implementar dichos requerimientos junto con las pruebas para el rol de investigador dentro de la plataforma web.

Con el fin del prototipo desarrollado, se realizaron pruebas orientadas a medir la eficiencia como la percepción del uso del sistema, estas pruebas se organizados en dos secciones principales:

3.1 Tiempo de ejecución de acciones - Evaluación cuantitativa

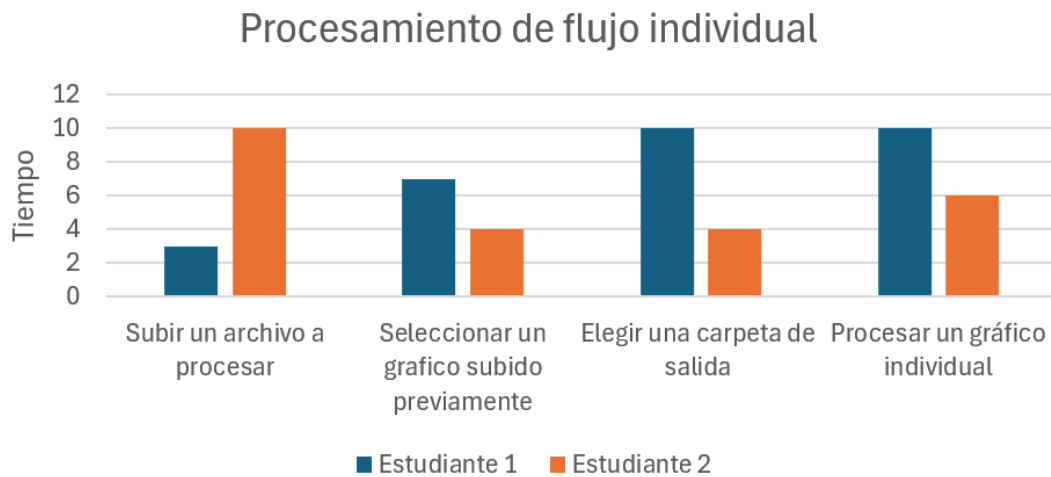
En esta prueba se buscó evaluar la eficiencia del uso del aplicativo web verificando la rapidez en cumplir tareas específicas, para ello, se cronometró el tiempo que se tardó cada participante en realizar acciones definidas dentro de cada prueba. Los tiempos obtenidos fueron registrados en una tabla comparativa con el objetivo de verificar que tareas fueron más rápido en acceder y entender que otras.

3.1.1 Tareas para el procesamiento de flujo individual

De acuerdo con la figura 10, se evidencia que ambos participantes pudieron completar las tareas establecidas para el procesamiento de flujo individual, ya que tenemos un tiempo cronometrado por cada estudiante que se evaluó. Además, se observa un rango de 3 a 10 segundos, siendo este último el tiempo máximo empleado para realizar alguna acción. En el caso de *“Procesar un gráfico individual”* podemos observar que ambos estudiantes tuvieron dificultad en realizar esta acción ya que tenemos un tiempo de respuesta mayor en comparación con las otras. Estos datos nos muestran que a pesar de que se completaron las acciones, existen variaciones de rapidez y fluidez de la interacción.

Figura 10

Procesamiento de flujo individual

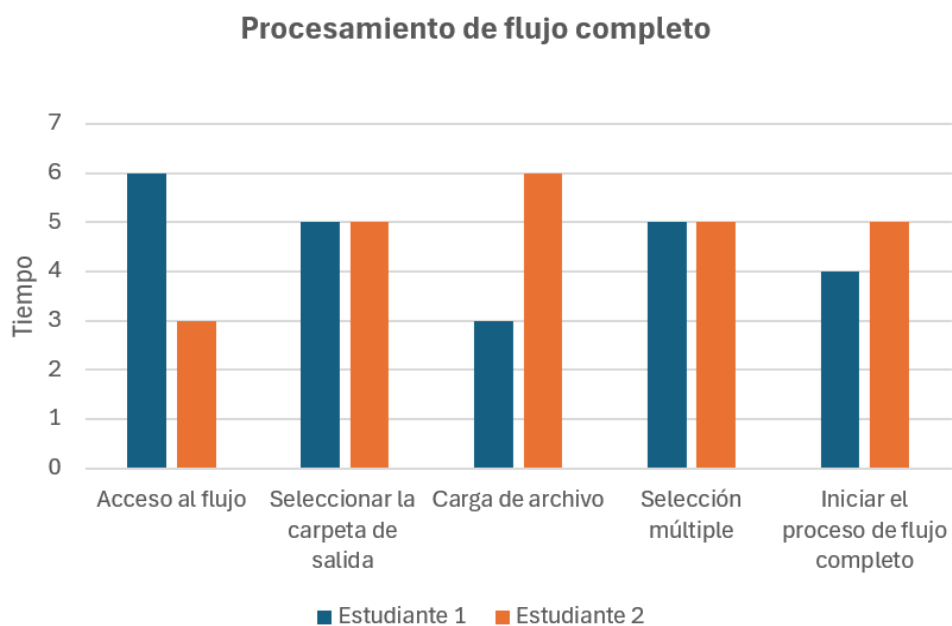


3.1.2 Tareas para el procesamiento de flujo completo

El análisis se centró en identificar si las funcionalidades del flujo completo propuesto por el sistema eran comprensibles a simple vista y si las tareas establecidas eran completadas sin obstáculos sin la necesidad de un manual o instrucción adicional.

Figura 11

Procesamiento de flujo completo



De acuerdo con los resultados mostrados en esta sección, podemos apreciar que el rango de tiempo es de 3 a 6 segundos, siendo el 6 el máximo tiempo de tardanza en completar una tarea,

por lo tanto, específicamente para las tareas “*Seleccionar una carpeta de salida*” y “*Selección múltiple*” ambos participantes tuvieron dificultad en realizarlo, lo que resultó un proceso menos inmediato, reflejando una ejecución pausada por parte de los estudiantes.

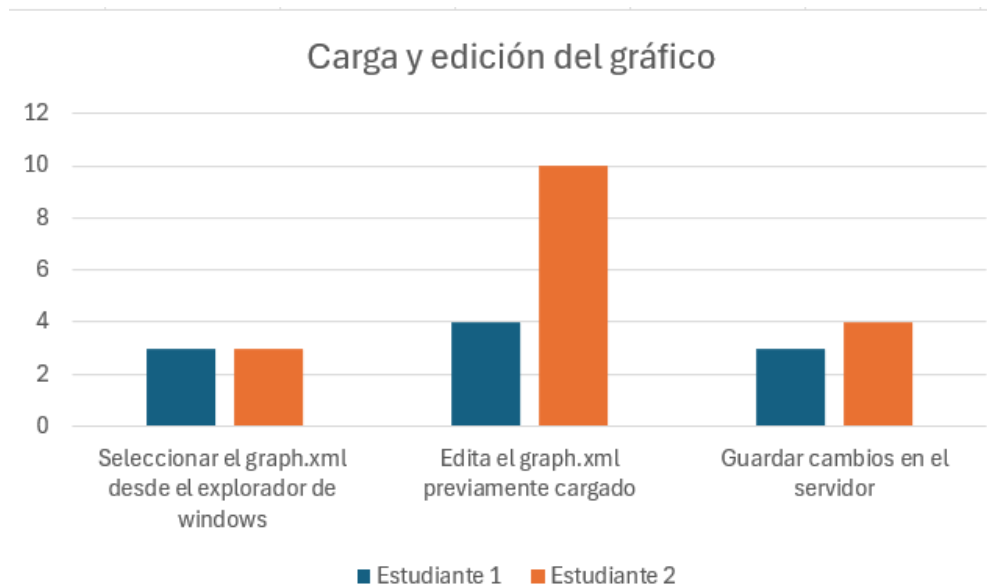
3.1.3 Carga y edición del gráfico

Durante la prueba, se verificó que el usuario pueda identificar correctamente el archivo a editar y comprendiera las opciones disponibles dentro del aplicativo web para realizar modificaciones básicas, sin afectar la estructura del gráfico. Además, se evaluó que el sistema proporcione una retroalimentación clara al momento de guardar los cambios.

Se espera que el estudiante complete la edición del gráfico de forma correcta, eligiendo parámetros a modificar establecidos por el sistema, además de seguir el flujo propuesto por la interfaz y realizarlo dentro del tiempo establecido para cada acción.

Figura 12

Tareas de carga y edición de gráfico



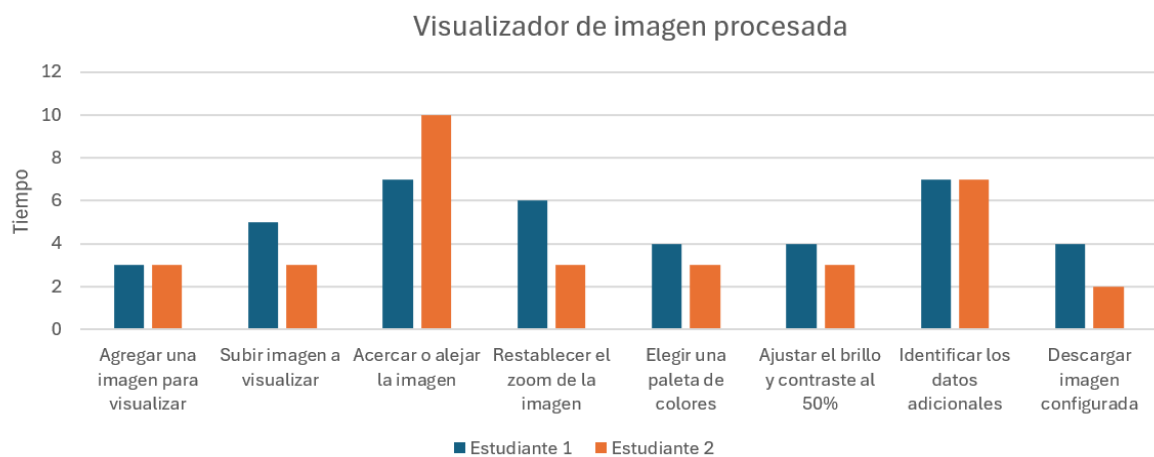
De acuerdo con los resultados mostrados en esta sección, se obtuvo un tiempo máximo de 10 segundos para completar la tarea “*Editar un gráfico xml previamente cargado*”, lo que evidencia que aunque la acción fuera realizada satisfactoriamente, requirió mayor tiempo de interacción en comparación con otras tareas evaluadas.

3.1.4 Visualizador de la imagen procesada

En esta sección se evaluó la interacción de los estudiantes con la pestaña de visualizador de imágenes procesadas. El objetivo fue determinar la facilidad de uso del prototipo, de manera que se puedan completar satisfactoriamente las tareas establecidas para esta sección. El resultado esperado fue que las acciones solicitadas fueran identificadas de manera intuitiva y ejecutadas sin dificultad.

Figura 13

Tareas del visualizador de imagen procesada



De acuerdo con los resultados mostrados en esta sección, tenemos que las tareas “*Acercar o alejar la imagen*” e “*Identificar los datos adicionales*” no fueron reconocidas a simple vista por los estudiantes teniendo una variación entre 7 a 10 segundos, esto evidencia que estas funciones no resultaron inmediatamente intuitivas dentro de la interfaz, generando mayor tiempo de búsqueda en comparación con las otras tareas.

3.2 Percepción del uso - Evaluación cualitativa

En esta prueba se buscó evaluar la perspectiva individual del participante respecto al aplicativo web con el propósito de analizar la experiencia de usuario. Se utilizó la opinión de los participantes como instrumento de evaluación del sistema. La metodología consistió en la aplicación de un cuestionario conformado por seis preguntas, el cual fue respondido por los participantes después

de interactuar con el aplicativo web. Las preguntas fueron estructuradas bajo una escala tipo Likert de cinco niveles, con el objetivo de medir la facilidad de uso, la claridad del flujo de trabajo y la satisfacción del sistema. Así mismo, se presentó un cuestionario de preguntas abiertas que nos permitieron recopilar mayor información sobre la satisfacción del sistema, lo que nos ayudaron a identificar las principales fortalezas y posibles mejoras dentro del aplicativo web.

Figura 14

Respuestas de preguntas abiertas

#	Pregunta
P1	¿En qué momento del flujo sentiste más dificultad y por qué?
P2	¿Algún término, botón o sección te resultó confuso? Propón un nombre alternativo.
P3	¿Qué funcionalidades adicionales le gustaría observar en el aplicativo web? ¿Tiene alguna sugerencia de mejora?

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cuestionario realizado, los participantes mostraron una percepción positiva con respecto al aplicativo web. En la escala de Likert, ambos consideraron que el sistema tuvo una navegación entre secciones muy clara y coherente, que los resultados obtenidos fueron confiables y repetibles, además que el sistema logró evidenciar de manera clara el estado de los procesos, es decir, al momento de cargar un archivo y al completar una tarea.

En respuesta a las preguntas abiertas se evidenció que tuvieron dificultad en la edición del gráfico, principalmente porque desconocían que esta opción estaba disponible dentro del sistema. También mencionaron que, aunque los botones y funciones principales resultaron intuitivos, se pueden realizar mejoras relacionadas con el tamaño de los parámetros, puesto que algunas funcionalidades se percibieron demasiado pequeñas y no ofrecían una visualización adecuada dentro del sistema.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

Tras la aplicación de las fases necesarias de la propuesta, se obtuvieron resultados que permiten establecer las siguientes conclusiones:

4.1.1 Conclusiones

4.1.1.1 Procesamiento de flujo individual

Esta funcionalidad muestra una efectividad de procesamiento individual en tiempos de ejecución entre 3 y 10 segundos, lo cual refleja que, si bien las acciones fueron realizadas con éxito, sugiere una necesidad de optimizar la disposición de las opciones para reducir la demora en tareas específicas.

4.1.1.2 Procesamiento de flujo completo

En esta funcionalidad, los participantes lograron ejecutar las acciones solicitadas de manera satisfactoria, manteniendo un desempeño estable en los tiempos registrados. Esto refleja que la interfaz permitió seguir un flujo de trabajo sin confusiones.

4.1.1.3 Carga y edición del gráfico

La funcionalidad de carga y edición del archivo graph.xml fue completada con éxito, pero recibió una valoración neutral en cuanto a las preguntas abiertas, esto refleja que no resulta tan evidente para el usuario realizar la edición de un gráfico. Se indica que el sistema requiere mejoras en esta funcionalidad.

4.1.1.4 Visualizador de imagen procesada

En esta sección los participantes tuvieron dificultad en 2 de las 8 tareas a completar, con una variación alta de 7-10 segundos, lo que sugiere una mejora de visualización del sistema, también la incorporación de una retroalimentación más clara que facilite la comprensión de las funciones.

En síntesis, la interfaz gráfica permite realizar las tareas de carga, edición y visualización de manera satisfactoria, también refleja oportunidades de mejora en cuanto a la claridad de la opción de edición y tamaño de ciertos elementos. El backend implementado logró invocar

correctamente la herramienta GPT garantizando la ejecución del flujo de trabajo. El módulo de publicación cumplió con la exportación de resultados en una estructura estándar, lo que nos asegura la consistencia de descarga de los productos, además de la validación de casos reales se demostró junto con los investigadores y se corroboró que dichos resultados obtenidos fueron equivalentes a los generados manualmente dentro del SNAP, esto confirma la confiabilidad del sistema.

4.1.2 Recomendaciones

Tras culminar lo planificado en la propuesta se obtienen las siguientes recomendaciones:

4.1.2.1 Mejora de visibilidad de funcionalidades

- Se recomienda optimizar el diseño y ubicación de las opciones de edición de gráficos incluyendo elementos visuales más claros que faciliten su identificación.
- Ampliar el tamaño de botones y parámetros críticos de manera que reduzca el tiempo de interacción y la posibilidad de errores, ofreciendo una experiencia más eficiente al usuario.

4.1.2.2 Recomendaciones futuras

- En estudios futuros, podría incorporarse un sistema de ayuda de interacción como los tooltips que facilite la identificación de estas funciones.
- Agregar el tiempo que se tarda cada procesamiento en ejecutarse de manera que esto permita a los usuarios evaluar el rendimiento entre distintos flujos de trabajo.
- Implementar más parámetros o funcionalidades que provee GPT de manera que el sistema no se limite a usar parámetros comunes, esto permitiría a los usuarios explorar un mayor rango de configuraciones.

Referencias

- [1] R. A. Rodas Toral, C. A. Sellers Walden, D. F. Pacheco Prado, P. E. Bravo López y V. O. Delgado Inga, “Establecimiento de una red de monitoreo GPS diferencial para el monitoreo de movimiento de tierras,” *Revista Geoespacial*, vol. 19, no. 1, p. 11, 2022.
- [2] B. A. Zárate Torres, “Monitoreo de movimientos de ladera en el sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS,” *Maskana*, vol. 2, no. 2, pp. 17–24, dic. 2011.
- [3] Grupo del Banco Mundial, “Banco Mundial: Informe Anual 2021 — De la crisis a la recuperación verde, resiliente e inclusiva,” 1 oct. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/567261633068897551>
- [4] Secretaría Nacional de Planificación, “Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024–2025: Eje 5 – Gestión de riesgos,” Quito, Ecuador, 2024.
- [5] J. V. Macas Vilema y S. A. Orozco Lovato, “Movimientos en masa en Ecuador: una revisión geotécnica y sus implicaciones en la gestión del riesgo,” *Polo del Conocimiento*, vol. 10, no. 7, p. 1685, 2025.
- [6] F. F. Camargo, E. E. Sano y E. A. T. Matricardi, “Estado da arte do sensoriamento remoto por radar: fundamentos, sensores, processamento de imagens e aplicações,” *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 72, ed. esp. 50 años, pp. 1458–1483, dic. 2020, doi: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56568.
- [7] NASA Earthdata, “Sentinel-1 C-band Synthetic Aperture Radar.” [En línea]. Disponible en: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/sentinel-1-c-sar> (accedido: 29-oct-2025).
- [8] Alaska Satellite Facility (ASF), “Vertex: Getting Started User Guide — SAR Data Search Manual.” [En línea]. Disponible en: <https://docs.asf.alaska.edu/vertex/manual/> (accedido: 14-oct-2025).
- [9] Copernicus Data Space Ecosystem, “Sentinel-1 — Documentation.” [En línea]. Disponible en: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel1.html> (accedido: 29-oct-2025).
- [10] H. Fernando, K. Nketia, T. Ha, S. van Steenbergen, H. McNairn y S. Shirliffe, “Automating Sentinel-1 SLC product processing: Parallelization and optimization for efficient polarimetric parameter extraction,” *MethodsX*, vol. 14, art. 103253, jun. 2025, doi: 10.1016/j.mex.2025.103253.

- [11] W. R. Moskolai, W. Abdou, A. Dipanda y Kolyang, “A workflow for collecting and preprocessing Sentinel-1 images for time series prediction suitable for deep learning algorithms,” *Geomatics*, vol. 2, no. 4, pp. 435–456, oct. 2022, doi: 10.3390/geomatics2040024.
- [12] ESA, “SNAP Graph Processing Tool (GPT),” *SNAP Online Help*, European Space Agency (ESA). [En línea]. Disponible en: <https://step.esa.int/main/wp-content/help/?version=11.0.0&helpid=gpf.graphProcessingTool> (accedido: 20-diciembre-2025).
- [13] M. Crosetto, O. Monserrat, G. Luzi, N. Devanthéry, M. Cuevas-González y A. Barra, “Data processing and analysis tools based on ground-based synthetic aperture radar imagery,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLII-2/W7, pp. 593–596, 2017, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-593-2017.
- [14] M. Lazecký, K. Spaans, P. J. González, Y. Maghsoudi, Y. Morishita, F. Albino, J. Elliott, N. Greenall, E. Hatton, A. Hooper, D. Juncu, A. McDougall, R. J. Walters, C. S. Watson, J. R. Weiss y T. J. Wright, “LiCSAR: An Automatic InSAR Tool for Measuring and Monitoring Tectonic and Volcanic Activity,” *Remote Sens.*, vol. 12, no. 15, art. 2430, 2020, doi: 10.3390/rs12152430
- [15] T. Mayorga Torres y G. Platzeck, “Aplicación de interferometría diferencial de radar de apertura sintética (DInSAR) como una herramienta para detectar deslizamientos en una región de los Andes en Ecuador,” [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/75417468/Aplicación_de_interferometría_diferencial_de_radar_de_apertura_sintética_DInSAR_como_una_herramienta_para_detectar_deslizamientos_en_una_región_de_los_Andes_en_Ecuador (accedido: 14-octubre-2025).

APÉNDICES

APÉNDICE A - PROTOTIPO

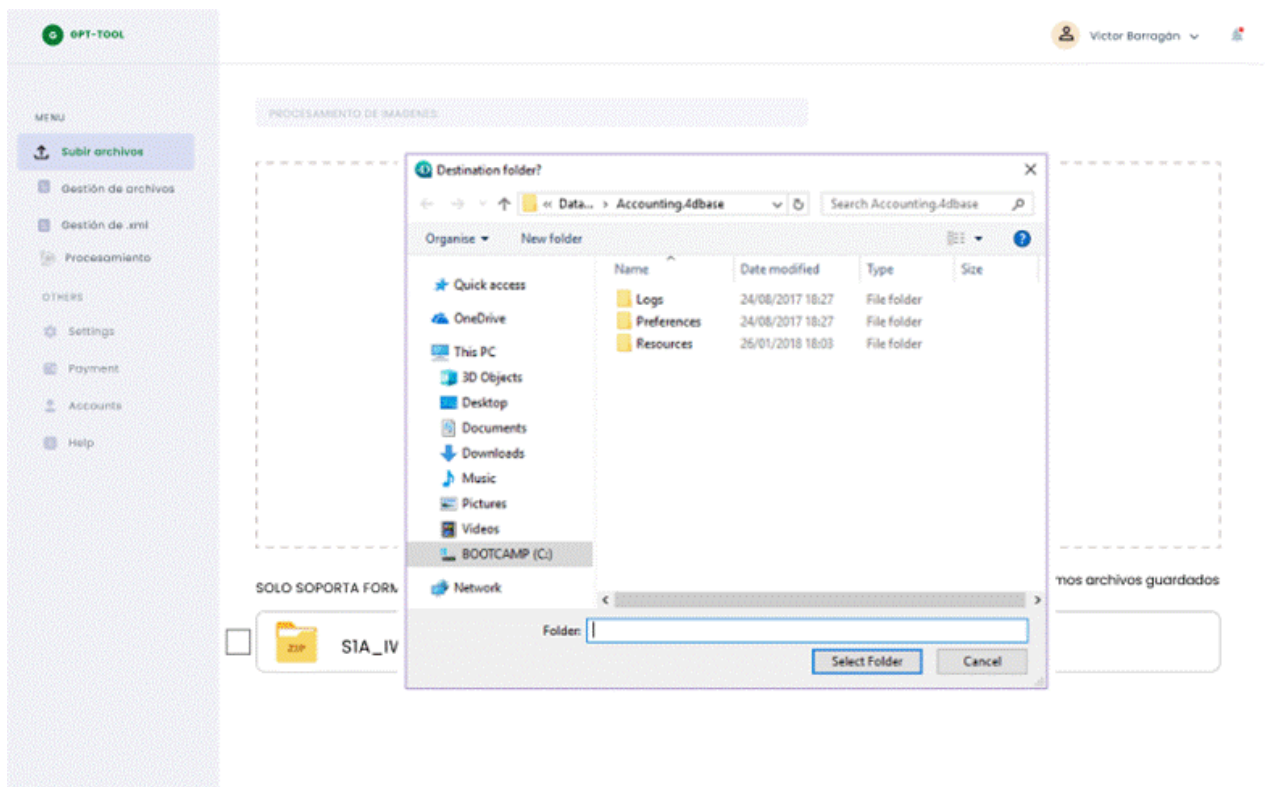


Figura A.1: Pantalla de carga de archivos .zip o .frame

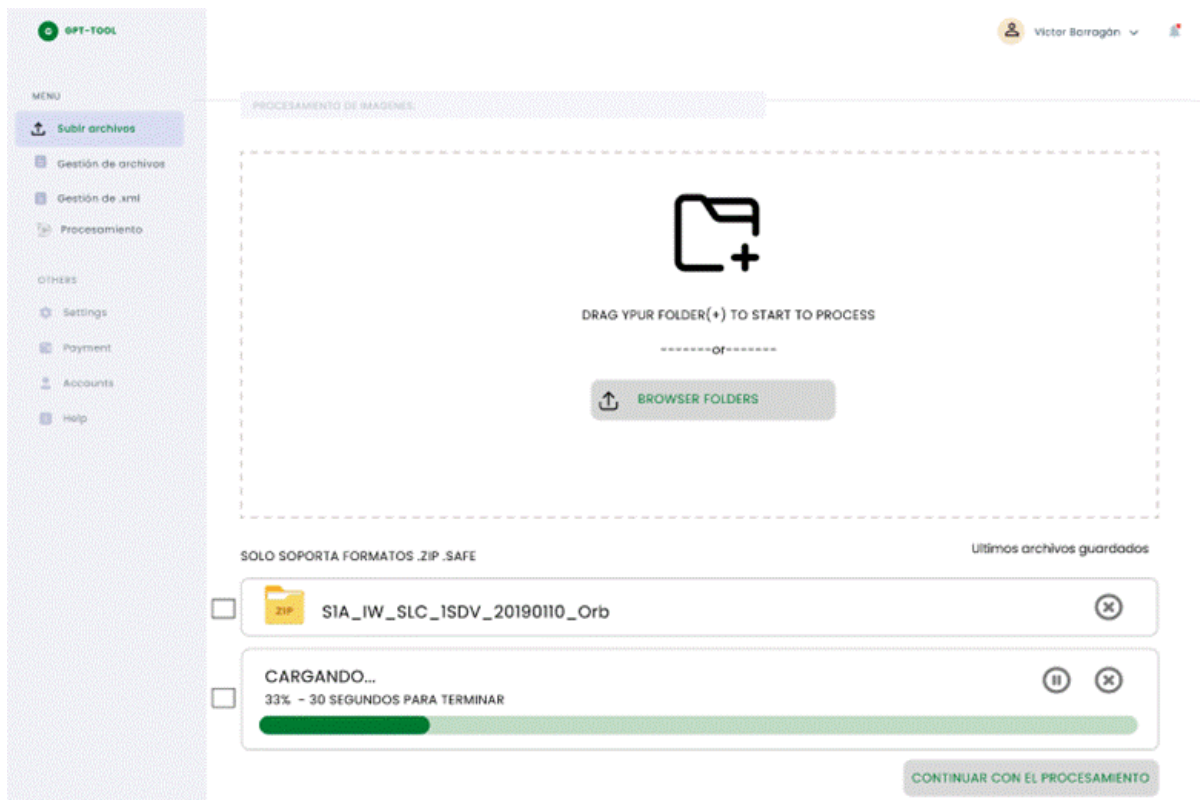


Figura A.2: Pantalla de proceso de la carga de archivos

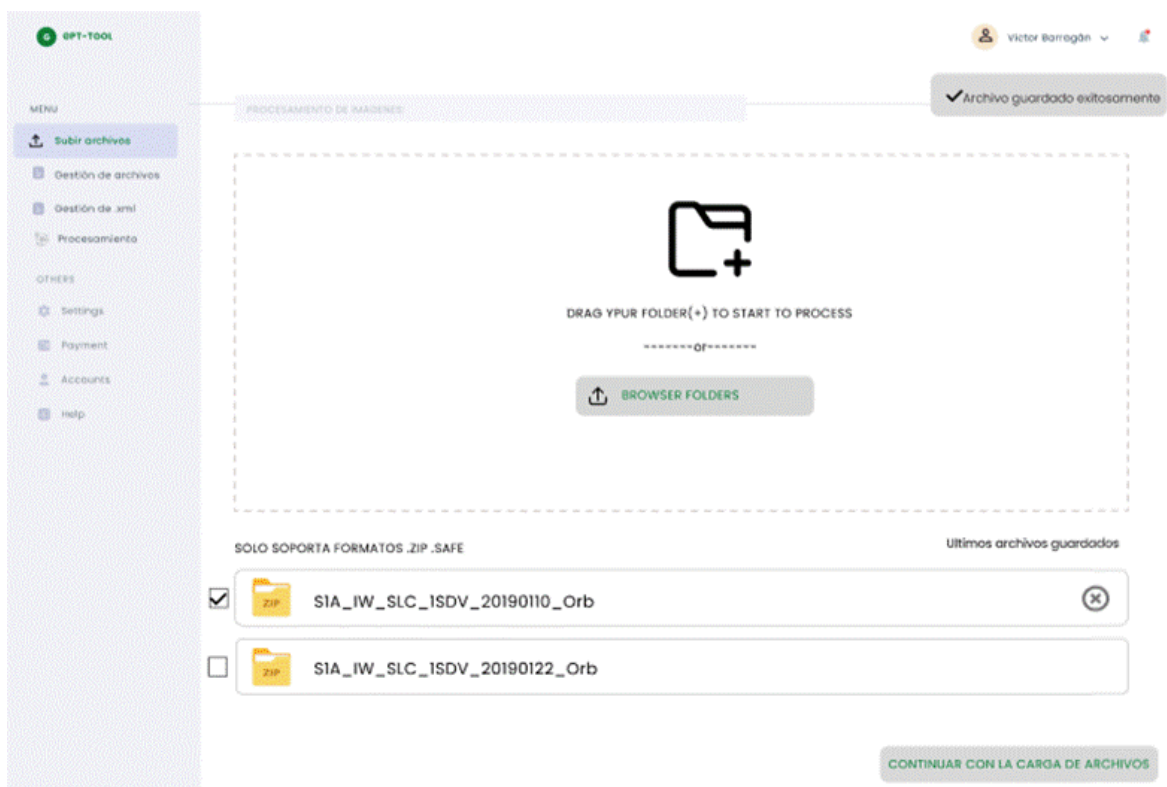


Figura A.3: Pantalla de selección de archivos subidos recientemente

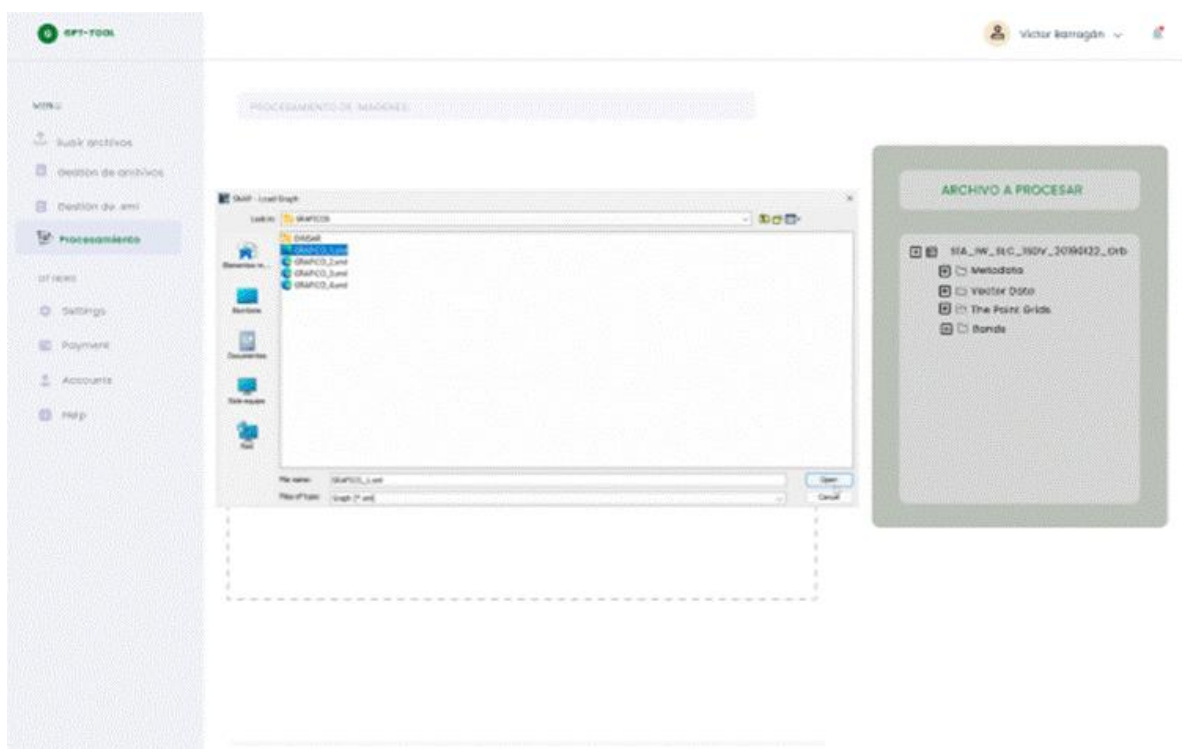


Figura A.4: Pantalla de inicio de procesamiento-subir .xml



Figura A.5: Pantalla del flujo .xml modo visualización

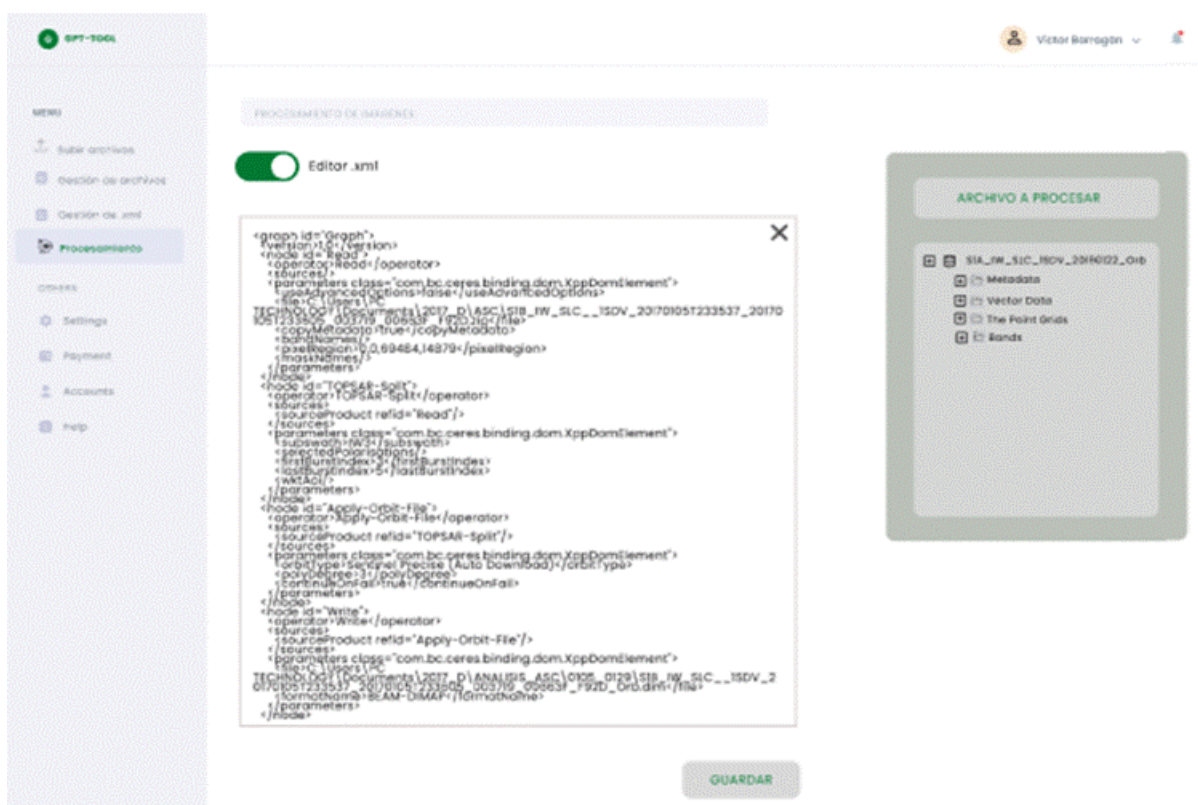


Figura A.6: Pantalla del flujo .xml modo edición.

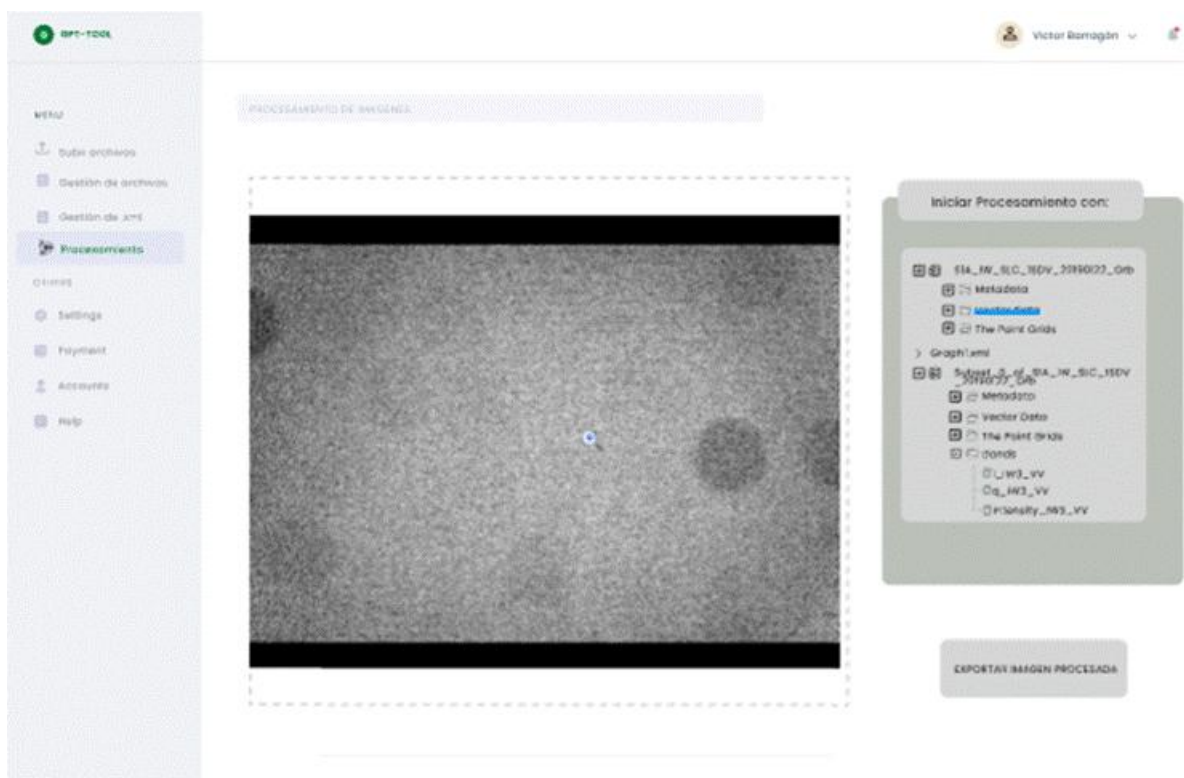


Figura A.7: Pantalla de imagen procesada por GPT

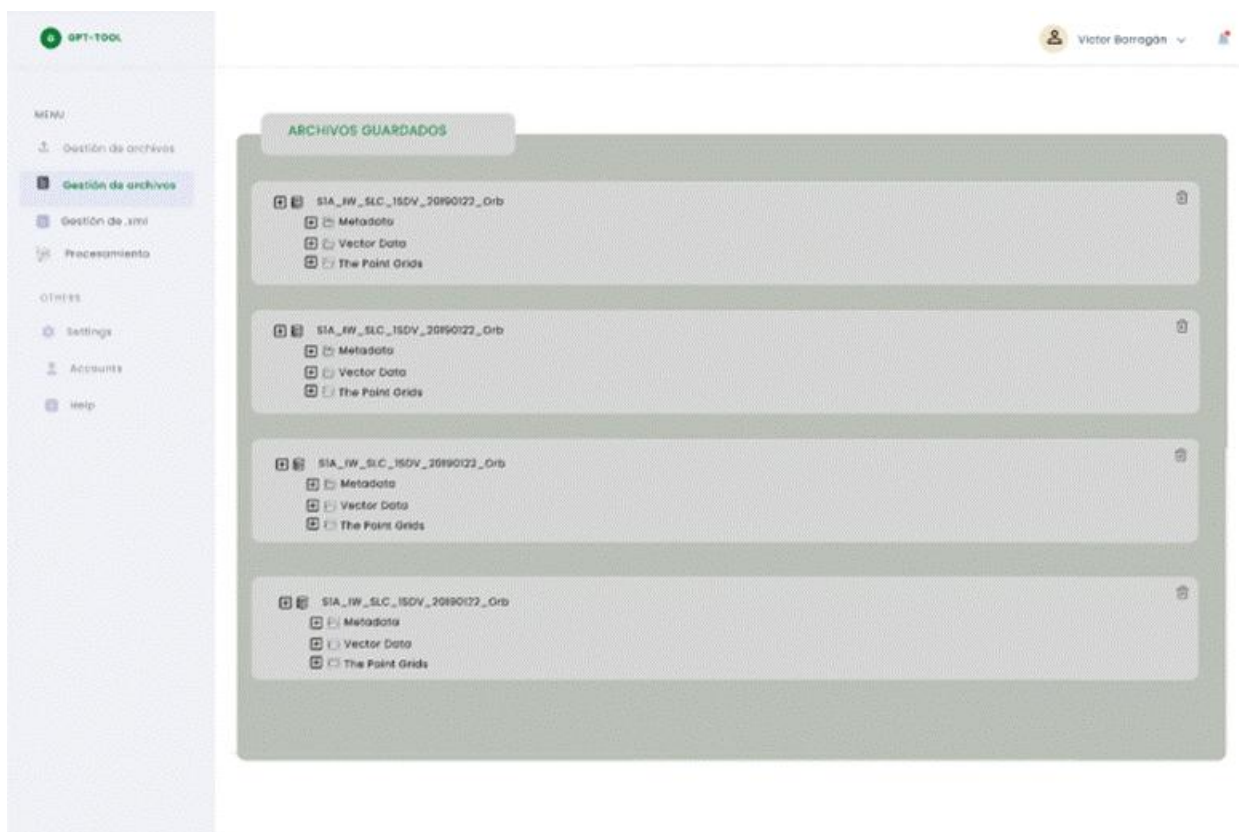


Figura A.8: Pantalla de gestionamiento de archivos



Figura A.9: Vista previa de imagen cargada y seleccionada