



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Desarrollo de una Aplicación en Matlab para el
Procesamiento y Visualización de Imágenes del Satélite
Sentinel-2

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e
Imagen

AUTOR/A: Roque Bernal, Maria Beatriz

Tutor/a: Flores Asenjo, Santiago José

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado se centra en el diseño y desarrollo de una aplicación en Matlab App Designer, orientada al procesamiento y visualización de imágenes del satélite de teledetección Sentinel-2. Existen repositorios públicos en donde es posible descargar imágenes multiespectrales captadas por el satélite de teledetección Sentinel-2 en alta resolución y con las correcciones atmosféricas ya realizadas (Sentinel-2 L2A). Con la aplicación diseñada, estas imágenes se pueden procesar y visualizar en color verdadero o falso color con diferentes propósitos: monitorización de espacios naturales, rurales o urbanos, seguimiento y análisis de incendios forestales, etc. También se puede obtener el cálculo de índices de uso ambiental como el NDVI, NDMI, NDWI y NDSI.

PALABRAS CLAVE

Matlab; Sentinel-2; Imágenes Satelitales; Procesamiento de Imágenes; Teledetección.

ABSTRACT

This Final Degree Project focuses on the design and development of an application in Matlab App Designer, aimed at the processing and visualization of images from the Sentinel-2 remote sensing satellite. There are public repositories where it is possible to download high-resolution multispectral images captured by the Sentinel-2 remote sensing satellite with atmospheric corrections already applied (Sentinel-2 L2A). With the designed application, these images can be processed and visualized in true color or false color for different purposes: monitoring natural, rural, or urban areas, tracking and analyzing forest fires, etc. It is also possible to obtain the calculation of environmental use indices such as NDVI, NDMI, NDWI, and NDSI.

KEY WORDS

Matlab; Sentinel-2; Satellite Images; Image Processing; Remote Sensing.

ÍNDICE

RESUMEN	1
PALABRAS CLAVE	1
ABSTRACT	1
KEY WORDS	1
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. PRESENTACIÓN	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. METODOLOGÍA	5
1.4. ETAPAS	5
1.4.1. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO	5
1.4.2. IMPLEMENTACIÓN	6
1.4.3. PRUEBAS	6
1.4.4. VALIDACIÓN	6
2. DESARROLLO DEL TRABAJO	7
2.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE TELEDETECCIÓN	7
2.1.1. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	7
2.1.2. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA	8
2.1.3. SENSORES REMOTOS	8
2.1.4. RESOLUCIÓN EN TELEDETECCIÓN	8
2.1.5. ÓRBITAS	9
2.1.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TELEDETECCIÓN	10
2.1.7. APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN	10

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SATÉLITE SENTINEL-2	11
2.2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	11
2.2.3. BANDAS ESPECTRALES	12
2.2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS	13
2.2.5. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE APOYO	14
2.2.6. BENEFICIOS CLAVE	14
2.3. DISEÑO DE LA APLICACIÓN	15
2.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
3. CONCLUSIONES	41
4. REFERENCIAS	44
4.1. FUENTES PRINCIPALES	44
4.2. OTRAS FUENTES CONSULTADAS	46
5. LISTADO DE ANEXOS	47
5.1. ANEXO I: APLICACIÓN SENTINEL2VISUALIZER	47
5.2. ANEXO II: MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN SENTINEL2VISUALIZER	47
5.3. ANEXO III: IMÁGENES DE EJEMPLO	47
5.4. ANEXO IV: RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030	48

1. Introducción

1.1. Presentación

El desarrollo tecnológico en el ámbito de la teledetección ha permitido obtener información valiosa sobre nuestro entorno de manera remota, utilizando satélites como el Sentinel-2. La capacidad de observar y analizar el planeta desde el espacio ofrece perspectivas únicas y datos esenciales para una amplia gama de aplicaciones científicas y prácticas. Este Trabajo de Fin de Grado se enmarca en esta área, buscando crear una herramienta que facilite el acceso y procesamiento de las imágenes captadas por este satélite.

La aplicación Sentinel2Visualizer, desarrollada en Matlab App Designer, está diseñada para usuarios que necesitan analizar imágenes satelitales con fines diversos, como la monitorización de ecosistemas naturales, el análisis de áreas urbanas, o la evaluación de eventos naturales como incendios forestales e inundaciones. Esta herramienta permite la visualización de las imágenes en distintos modos de color y también ofrece la capacidad de calcular índices relevantes para estudios ambientales, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones informadas.

El diseño de la aplicación se ha enfocado en ofrecer una interfaz intuitiva y accesible, que permita a usuarios con distintos niveles de experiencia en Matlab y teledetección aprovechar al máximo las capacidades de la herramienta. Además, la aplicación se ha construido con una arquitectura flexible, lo que facilita su expansión y adaptación a futuras necesidades y avances tecnológicos en el campo de la teledetección.

Con este proyecto, se espera aportar una solución eficiente para el procesamiento de imágenes satelitales, aprovechando las capacidades de Matlab para manejar grandes volúmenes de datos y ejecutar algoritmos complejos de manera rápida y precisa. Al ofrecer una herramienta versátil, se contribuye al avance de la investigación y gestión ambiental, apoyando esfuerzos en conservación, planificación urbana y respuesta a desastres naturales.

1.2. Objetivos

- Procesamiento de imágenes satelitales en color verdadero y falso color. Integración de funciones para combinar distintas bandas espectrales y generar imágenes mejoradas.
- Implementación del cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI), del Índice Diferencial Normalizado de Humedad (NDMI), del Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) y del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI).
- Validación de los resultados obtenidos analizando la funcionalidad de la aplicación.

1.3. Metodología

- Revisión bibliográfica: Investigación de las características técnicas de los instrumentos de teledetección a bordo del satélite Sentinel-2. Revisión de métodos y técnicas de procesamiento de imágenes satelitales.
- Desarrollo de la aplicación: Implementación de la interfaz gráfica y de técnicas para la generación de imágenes en color verdadero y falso color. Implementación del cálculo del NDVI, NDMI, NDWI y NDSI.
- Validación y evaluación: Análisis de usabilidad y funcionalidad.

1.4. Etapas

1.4.1. Planificación y diseño

En esta etapa se establecieron los objetivos específicos del proyecto, orientados hacia el procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para entender las características técnicas del satélite Sentinel-2 y las metodologías existentes para el procesamiento de imágenes. Se definieron los requerimientos funcionales y se diseñó la arquitectura general de la aplicación, incluyendo la estructura de la interfaz gráfica y los módulos de cálculo de índices.

1.4.2. Implementación

Durante la implementación, se desarrollaron los componentes principales de la aplicación en Matlab App Designer. Esto incluyó la programación de funciones para la carga y visualización de imágenes en color verdadero y falso color, y la integración de algoritmos para el cálculo de los índices. Se diseñó y construyó una interfaz gráfica intuitiva para facilitar la interacción del usuario con la aplicación, asegurando que todas las funcionalidades estuvieran correctamente integradas.

1.4.3. Pruebas

En la fase de pruebas, se llevaron a cabo ensayos para verificar el correcto funcionamiento de cada módulo de la aplicación. Se realizaron pruebas de usuario para evaluar la experiencia de uso y la funcionalidad general de la aplicación. Los resultados de las pruebas se utilizaron para identificar y corregir errores, optimizando el rendimiento y la estabilidad del software.

1.4.4. Validación

La etapa de validación se enfocó en comprobar que los botones de la aplicación Sentinel2Visualizer cumplen con las funciones esperadas y producen los resultados correctos. Para ello, se utilizaron datos reales de imágenes del satélite Sentinel-2. Se verificó que cada botón realizara correctamente los cálculos y visualizaciones pertinentes, garantizando la precisión y utilidad de la aplicación en diversas aplicaciones reales. La validación incluyó la comprobación de que las fórmulas y métodos de procesamiento implementados en la aplicación generan resultados precisos. Además, se realizó una revisión visual para asegurar que las imágenes procesadas reflejan adecuadamente las características del terreno y los fenómenos ambientales previstos. De este modo, se constató que la aplicación cumple con los objetivos propuestos, proporcionando una herramienta fiable para el análisis y el monitoreo ambiental basado en imágenes satelitales.

2. Desarrollo del trabajo

2.1. Principios básicos de teledetección

La teledetección es una técnica que permite obtener información sobre la superficie terrestre mediante el uso de sensores que capturan datos a distancia. Estos sensores pueden estar ubicados en satélites, aviones o drones, y recopilan datos en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético ([NASA Earthdata, 2024](#)). Los principios básicos de la teledetección incluyen la adquisición, procesamiento y análisis de estos datos para diversas aplicaciones, como la agricultura, la gestión de recursos naturales, y la monitorización ambiental ([Escuela Politécnica Superior de Gandía, 2024](#)).

2.1.1. Radiación electromagnética

La teledetección se basa en la detección de la radiación electromagnética, que abarca una amplia gama de longitudes de onda desde los rayos gamma hasta las ondas de radio ([ESA, 2024](#)). Las principales regiones del espectro utilizadas en teledetección son:

- Visible (400-700 nm): Permite la observación de la luz reflejada por la vegetación, el suelo y el agua.
- Infrarrojo cercano (700-1400 nm): Es particularmente útil para distinguir la vegetación saludable, ya que las plantas sanas reflejan fuertemente en esta región.
- Infrarrojo medio (1400-3000 nm): Utilizado para detectar la humedad del suelo y la vegetación, y es efectivo en la identificación de minerales.
- Infrarrojo termal (3000-14000 nm): Mide la radiación térmica emitida por la Tierra, lo que permite el estudio de la temperatura de la superficie y las emisiones de calor.
- Microondas (>1 mm): Penetra nubes y vegetación, siendo útil para la observación de la superficie terrestre bajo condiciones meteorológicas adversas y para estudios de humedad del suelo.

2.1.2. Interacción de la radiación con la materia

La radiación electromagnética puede ser reflejada, absorbida o transmitida al interactuar con la materia. Estas interacciones dependen de las propiedades físicas y químicas de los materiales, permitiendo la identificación de diferentes tipos de cobertura del suelo ([ESA, 2024](#)). Por ejemplo:

- Vegetación: Refleja fuertemente en el infrarrojo cercano y menos en el visible.
- Agua: Absorbe más radiación en el infrarrojo medio y termal, reflejando principalmente en el visible.
- Suelo desnudo: Muestra variaciones en la reflectancia dependiendo de su composición y humedad.

2.1.3. Sensores remotos

Los sensores remotos son dispositivos que capturan la radiación electromagnética reflejada o emitida por la Tierra. Se dividen en dos categorías principales:

- Sensores pasivos: Detectan la radiación natural del sol reflejada por la superficie terrestre. Ejemplos incluyen cámaras ópticas y escáneres multiespectrales ([ESA, 2024](#)).
- Sensores activos: Emiten su propia radiación y miden el retorno. Ejemplos son el radar y el lidar, que son capaces de operar independientemente de las condiciones de iluminación y penetrar nubes y vegetación ([ESA, 2024](#)).

2.1.4. Resolución en teledetección

La resolución en teledetección es fundamental para la calidad y utilidad de los datos capturados. Existen cuatro tipos principales de resolución ([Oštir, 2024](#)):

- Resolución espacial: Indica el tamaño del área en la superficie terrestre representada por cada píxel de la imagen. Por ejemplo, una resolución de 10 metros significa que cada píxel representa un área de 10x10 metros.

- Resolución espectral: Define el número y ancho de las bandas espectrales detectadas por el sensor. Sensores con alta resolución espectral pueden captar información en cientos de bandas estrechas, como los sensores hiperespectrales.
- Resolución temporal: Se refiere a la frecuencia con la que un sensor puede observar la misma área, esencial para monitorizar cambios a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los satélites Sentinel-2 revisitan la misma área cada 5 días.
- Resolución radiométrica: Indica la capacidad de un sensor para discriminar diferencias en la intensidad de la radiación. Una alta resolución radiométrica permite detectar variaciones sutiles en la reflectancia.

2.1.5. Órbitas

Las órbitas espaciales de los satélites se definen por varios parámetros clave: altitud, inclinación y periodo orbital. Cada tipo de órbita tiene características específicas que afectan cómo y cuándo un satélite puede observar la Tierra ([Escuela Politécnica Superior de Gandía, 2024](#)).

- Órbita baja (LEO, Low Earth Orbit): Situada entre 160 y 2.000 kilómetros sobre la Tierra, permite a los satélites capturar imágenes con alta resolución y realizar observaciones detalladas cada 90 a 120 minutos. Ideal para monitoreo ambiental y observación de la superficie, como los satélites Landsat y Sentinel-2.
- Órbita geoestacionaria (GEO, Geostationary Earth Orbit): A unos 35.786 kilómetros sobre el ecuador, permite que los satélites parezcan estacionarios desde la Tierra, proporcionando una vista continua de la misma área. Es útil para el monitoreo meteorológico y comunicaciones, como en el caso de los satélites GOES.
- Órbita polar: Los satélites en esta órbita pasan sobre los polos, ofreciendo una cobertura global a medida que la Tierra rota. Ideal para estudios climáticos y ambientales, como los satélites Landsat y Sentinel.
- Órbita heliosíncrona: Variante de la órbita polar, en la que los satélites pasan sobre el mismo punto de la superficie a la misma hora solar local. Esto asegura condiciones de iluminación consistentes para una comparación precisa entre imágenes. Ejemplos son los satélites Terra, Aqua y Sentinel-2.

2.1.6. Ventajas y desventajas de la teledetección

Ventajas ([NASA Applied Sciences Program, 2024](#)):

- Proporciona información en áreas donde no existen mediciones en tierra.
- Ofrece observaciones consistentes a nivel global.
- Permite una monitorización continua del planeta.
- Los datos están disponibles de forma gratuita y se pueden analizar mediante herramientas web.

Desventajas:

- Es muy difícil conseguir alta resolución espectral, espacial, temporal y radiométrica al mismo tiempo.
- La gran cantidad de datos en diversos formatos puede requerir mucho tiempo de procesamiento.
- Aunque los datos generalmente se validan mediante mediciones superficiales seleccionadas, se aconseja llevar a cabo evaluaciones a nivel regional y local.

2.1.7. Aplicaciones de la teledetección

La teledetección tiene una amplia gama de aplicaciones prácticas, que incluyen ([MappingGIS, 2018](#)):

- Agricultura: Permite el monitoreo de cultivos, detección de plagas y enfermedades, gestión de recursos hídricos y análisis de productividad. Ayuda a los agricultores a optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia de las prácticas agrícolas.
- Medio ambiente: Es decisiva para el seguimiento de la deforestación, evaluación de la biodiversidad, monitorización de desastres naturales como incendios forestales, inundaciones y terremotos, y análisis de la calidad del agua. Facilita la gestión sostenible de los recursos naturales.
- Planificación urbana: Ayuda en el análisis del crecimiento urbano, planificación y gestión de infraestructuras, y evaluación de impactos ambientales. Proporciona datos precisos para la toma de decisiones en el desarrollo urbano.

- **Climatología y meteorología:** Utilizada para el estudio del cambio climático, predicción del tiempo y monitorización de eventos meteorológicos extremos como huracanes, tormentas y sequías. Proporciona información necesaria para la gestión de riesgos y la mitigación de desastres.
- **Geología y minería:** Facilita la exploración de recursos minerales, cartografía geológica y monitorización de riesgos geológicos. Ayuda a identificar depósitos minerales y evaluar la estabilidad del terreno.
- **Recursos hídricos:** Permite la evaluación y monitorización de cuerpos de agua, gestión de cuencas hidrográficas y control de la calidad del agua. Ayuda a garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos.
- **Defensa y seguridad:** Utilizada para la vigilancia y monitorización de áreas sensibles, gestión de emergencias y planificación de operaciones militares. Proporciona información estratégica para la toma de decisiones en situaciones críticas.

2.2. Descripción del satélite Sentinel-2

2.2.1. Introducción

El satélite Sentinel-2 es parte del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), destinado a proporcionar datos de observación de la Tierra para diversos usos, incluyendo la gestión de recursos naturales, la agricultura, la vigilancia del medio ambiente, y la respuesta a emergencias. El Sentinel-2 consta de dos satélites gemelos, Sentinel-2A y Sentinel-2B, que juntos permiten una cobertura global y revisita rápida de cualquier punto del planeta ([Copernicus, 2024](#)).

2.2.2. Características técnicas

Resolución espacial

Sentinel-2 proporciona imágenes con diferentes resoluciones espaciales, dependiendo de la banda espectral:

- 10 metros: Bandas visibles y NIR (B2, B3, B4, B8)
- 20 metros: Bandas red edge y SWIR (B5, B6, B7, B8A, B11, B12)
- 60 metros: Bandas de corrección atmosférica (B1, B9, B10)

Resolución espectral

Cada satélite Sentinel-2 está equipado con un instrumento multiespectral (MSI) que captura datos en 13 bandas espectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta. Estas bandas permiten una amplia gama de aplicaciones de observación de la Tierra.

Resolución temporal

Los dos satélites Sentinel-2 operan en una configuración de fase que permite que cada punto de la Tierra sea revisitado cada 5 días bajo las mismas condiciones de iluminación, imprescindible para la monitorización de cambios a lo largo del tiempo.

Ancho de barrido

Cada satélite Sentinel-2 tiene un ancho de barrido de 290 km, permitiendo una cobertura eficiente de grandes áreas de la superficie terrestre.

Órbita

Los satélites Sentinel-2 operan en una órbita polar heliosíncrona a una altitud de aproximadamente 786 km. Esta órbita permite capturar imágenes bajo condiciones de iluminación solar constante.

2.2.3. Bandas espectrales

Las 13 bandas espectrales del Sentinel-2 son las siguientes ([Sentinel Hub, 2024](#)):

- B1 (Aerosol Costero): 443 nm (60 m) - Utilizada para estudios atmosféricos y de calidad del agua.
- B2 (Azul): 490 nm (10 m) - Ideal para la discriminación de cuerpos de agua y la salud de la vegetación.

- B3 (Verde): 560 nm (10 m) - Usada para evaluar la biomasa de la vegetación y la cobertura terrestre.
- B4 (Rojo): 665 nm (10 m) - Esencial para la detección de clorofila y el análisis de la vegetación.
- B5 (Red Edge 1): 705 nm (20 m) - Sensible a la clorofila, útil para la discriminación de tipos de vegetación.
- B6 (Red Edge 2): 740 nm (20 m) - Similar a B5, proporciona información adicional sobre la salud de la vegetación.
- B7 (Red Edge 3): 783 nm (20 m) - Ayuda en la detección de estrés en la vegetación.
- B8 (NIR): 842 nm (10 m) - Utilizada para la monitorización de la biomasa y la salud de la vegetación.
- B8A (NIR de banda estrecha): 865 nm (20 m) - Proporciona detalles adicionales sobre la vegetación.
- B9 (Vapor de agua): 945 nm (60 m) - Útil para la corrección de efectos atmosféricos.
- B10 (Cirrus): 1375 nm (60 m) - Detecta nubes de alta altitud (no se incluye en el Sentinel-2 L2A).
- B11 (SWIR 1): 1610 nm (20 m) - Importante para la detección de la humedad del suelo y la discriminación de la vegetación.
- B12 (SWIR 2): 2190 nm (20 m) - Usada para identificar suelos y vegetación quemada.

2.2.4. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos de Sentinel-2 incluye varias etapas críticas para asegurar la calidad y utilidad de las imágenes ([NASA Applied Sciences Program, 2024](#)):

- Corrección radiométrica: Ajusta las imágenes para eliminar los efectos de la atmósfera y del sensor, garantizando que los datos reflejen correctamente las propiedades del suelo.
- Corrección geométrica: Corrige las distorsiones geométricas para alinear las imágenes con coordenadas geográficas precisas, esencial para la integración con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- **Clasificación:** Asigna categorías a los píxeles de la imagen según sus firmas espectrales, facilitando la identificación de diferentes tipos de cobertura terrestre. Los métodos de clasificación pueden ser supervisados (utilizando muestras conocidas) o no supervisados (basados en algoritmos de agrupamiento).
- **Análisis multitemporal:** Compara imágenes de diferentes momentos para detectar cambios y tendencias a lo largo del tiempo, útil en el estudio de fenómenos como la deforestación, el crecimiento urbano o la evolución de cultivos.

2.2.5. Tecnologías y herramientas de apoyo

- **Procesadores de nivel 1C y nivel 2A:** Los datos de Sentinel-2 están disponibles en dos niveles de procesamiento. Nivel 1C proporciona imágenes ortorrectificadas (corregidas geoméricamente) y nivel 2A proporciona imágenes corregidas atmosféricamente y listas para análisis. Para la aplicación Sentinel2Visualizer se han utilizado imágenes de nivel 2A (L2A). El producto L2A del Sentinel-2 es una imagen procesada a nivel de usuario con correcciones atmosféricas aplicadas para obtener valores precisos de reflectancia de superficie. Utiliza el algoritmo Sen2Cor para eliminar los efectos de aerosoles y humedad en la atmósfera, mejorando la calidad de las imágenes para análisis detallados ([Copernicus, 2024](#)).
- **Software de procesamiento:** Existen diversas herramientas de software, como SNAP (Sentinel Application Platform) y QGIS, que facilitan el procesamiento y análisis de los datos de Sentinel-2 ([Copernicus, 2024](#)).
- **Plataformas de distribución:** Los datos de Sentinel-2 están disponibles a través de varias plataformas de distribución, incluyendo el Copernicus Open Access Hub.

2.2.6. Beneficios clave

- **Cobertura global y frecuencia de revisión:** La configuración de los dos satélites permite una cobertura global con un intervalo de revisión de 5 días, permitiendo una monitorización continua y detectar cambios rápidos.
- **Acceso abierto a los datos:** Los datos de Sentinel-2 están disponibles de forma gratuita a través del Copernicus Open Access Hub, facilitando su uso por parte de investigadores, organizaciones y gobiernos de todo el mundo.

- **Versatilidad:** La combinación de múltiples bandas espectrales y alta resolución espacial hace que Sentinel-2 sea extremadamente versátil y útil para una amplia variedad de aplicaciones en la observación de la Tierra.

2.3. Diseño de la aplicación

La aplicación Sentinel2Visualizer está desarrollada en Matlab utilizando el App Designer, que facilita la creación de interfaces gráficas de usuario (GUI). La aplicación está diseñada para ser modular y extensible, permitiendo agregar nuevas utilidades y mantener el código de manera eficiente. La aplicación se estructura en varias secciones, cada una de las cuales maneja diferentes aspectos de la funcionalidad general.

Ventana principal

La ventana principal de la aplicación contiene todos los componentes de la interfaz de usuario. La interfaz gráfica de usuario (GUI) está diseñada para ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo al usuario interactuar con las diversas funcionalidades de la aplicación de manera sencilla.

Barra de menú

- Menú "Archivo": Contiene opciones para cargar imágenes, guardar la imagen procesada y salir de la aplicación.
- Menú "Ayuda": Ofrece acceso al manual de usuario y a la información "Acerca de" de la aplicación.

Eje de visualización

El eje de visualización muestra las imágenes combinadas y procesadas por la aplicación. Los resultados de las combinaciones de bandas, así como los índices calculados, se presentan en esta área, proporcionando al usuario una visualización clara de los datos satelitales procesados.

Sección de "Inicio"

- Botón "Cargar imágenes": Permite al usuario seleccionar una carpeta que contiene las imágenes TIFF de las diferentes bandas del satélite Sentinel-2. Al hacer clic en este botón, se abre un cuadro de diálogo que permite al usuario navegar por el sistema de archivos y seleccionar la carpeta deseada. Una vez seleccionada, la aplicación carga todas las imágenes disponibles en memoria y las prepara para su visualización y procesamiento.
- Botón "Color verdadero": Combina las bandas de color rojo (B04), verde (B03) y azul (B02) para generar una imagen en color verdadero. Al hacer clic en este botón, la aplicación verifica si las bandas necesarias están cargadas y, de ser así, las combina y muestra la imagen resultante en el área de visualización.
- Checkbox "Ecuilibrar la imagen": Ajusta automáticamente el contraste de la imagen mostrada en el eje de visualización. Este ajuste se realiza mediante la normalización de los valores de los píxeles y el ajuste del histograma para mejorar la visualización, resaltando los detalles de la imagen. Con el checkbox activado, la imagen se procesa para distribuir mejor los niveles de intensidad y ampliar el rango de contraste, haciendo que los detalles sean más visibles y claros. Sin el ajuste, la imagen se muestra tal como está, sin modificaciones adicionales en su visualización.
- Desplegables de selección de canal (Canal ROJO, Canal VERDE, Canal AZUL): Estos desplegables permiten al usuario seleccionar de forma personalizada las bandas que se utilizarán para los canales rojo, verde y azul en la combinación de imágenes. Los desplegables se llenan automáticamente con las bandas disponibles tras cargar las imágenes. El usuario puede seleccionar las bandas deseadas y combinarlas usando el botón "Combinar".
- Botón "Combinar": Combina las bandas seleccionadas en los desplegables de los canales rojo, verde y azul. Al hacer clic en este botón, la aplicación toma las bandas seleccionadas, las combina en una imagen RGB y muestra la imagen combinada en el área de visualización. Esto permite al usuario crear combinaciones personalizadas de bandas para distintos análisis visuales.

Sección de “Índices”

- Botón "NDVI": Calcula y muestra el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación usando las bandas NIR (B08) y rojo (B04).
- Botón "NDWI": Calcula y muestra el Índice Diferencial Normalizado de Agua usando las bandas verde (B03) y NIR (B08).
- Botón "NDMI": Calcula y muestra el Índice Diferencial Normalizado de Humedad usando las bandas NIR (B08) y SWIR 1 (B11).
- Botón "NDSI": Calcula y muestra el Índice Diferencial Normalizado de Nieve usando las bandas verde (B03) y SWIR 1 (B11).

Sección de “Gestión de recursos naturales”

- Botón "Vegetación": Muestra la vegetación en falso color usando las bandas NIR (B08), rojo (B04) y verde (B03).
- Botón "Salud vegetal": Muestra la salud de la vegetación en falso color usando las bandas Red Edge (B05, B06, B07).
- Botón "Humedad": Visualiza la humedad del suelo usando las bandas SWIR 1 (B11), NIR (B08) y azul (B02).
- Botón "Zonas urbanas": Analiza las zonas urbanas usando las bandas SWIR 2 (B12), SWIR 1 (B11) y NIR (B08).
- Botón "Arrecifes": Resalta áreas de arrecife usando las bandas NIR (B08), verde (B03) y SWIR 1 (B11).

Sección de “Monitorización de emergencias”

- Botón "Fenómenos meteorológicos": Visualiza fenómenos meteorológicos usando las bandas Water Vapour (B09), Narrow NIR (B8A) y azul (B02).
- Botón "Nieve": Resalta la nieve usando las bandas verde (B03), SWIR 1 (B11) y rojo (B04).
- Botón "Inundaciones": Identifica áreas inundadas usando las bandas SWIR 1 (B11), NIR (B08) y verde (B03).

- Botón "Incendios forestales": Resalta áreas afectadas por incendios usando las bandas SWIR 2 (B12), SWIR 1 (B11) y NIR (B08).
- Botón "Zonas quemadas": Resalta áreas quemadas usando las bandas SWIR 2 (B12), NIR (B08) y rojo (B04).

2.4. Resultados y análisis

En este apartado se presentarán los resultados obtenidos al utilizar la aplicación "Sentinel2Visualizer" para diversos casos de estudio. Se ilustrará la funcionalidad de cada botón específico de la aplicación mediante imágenes que demuestren cómo se visualizan y procesan los datos satelitales. Cada imagen se acompaña de una descripción detallada que explica cómo las diferentes combinaciones de bandas espectrales permiten resaltar características específicas del terreno o fenómenos ambientales.

La aplicación "Sentinel2Visualizer" ha sido diseñada para facilitar el análisis y monitorización ambiental utilizando imágenes del satélite Sentinel-2. A través de sus diferentes botones, es posible generar visualizaciones en color verdadero, índices de vegetación, mapas de humedad, entre otros. Estos resultados son esenciales para diversas aplicaciones, como la gestión de recursos naturales, la planificación urbana, la agricultura de precisión y la respuesta a desastres naturales.

A continuación, se describen los casos de estudio correspondientes a cada botón de la aplicación, demostrando la versatilidad de "Sentinel2Visualizer" en el procesamiento y visualización de imágenes satelitales.

Botón "Color verdadero"

El botón "Color verdadero" combina las bandas de color rojo (B04), verde (B03) y azul (B02) para generar una imagen en color verdadero. Ésta también se genera automáticamente cuando se cargan las imágenes, siempre que la carpeta seleccionada contenga las tres bandas necesarias. La imagen resultante ofrece una visualización natural de la escena capturada por el satélite.

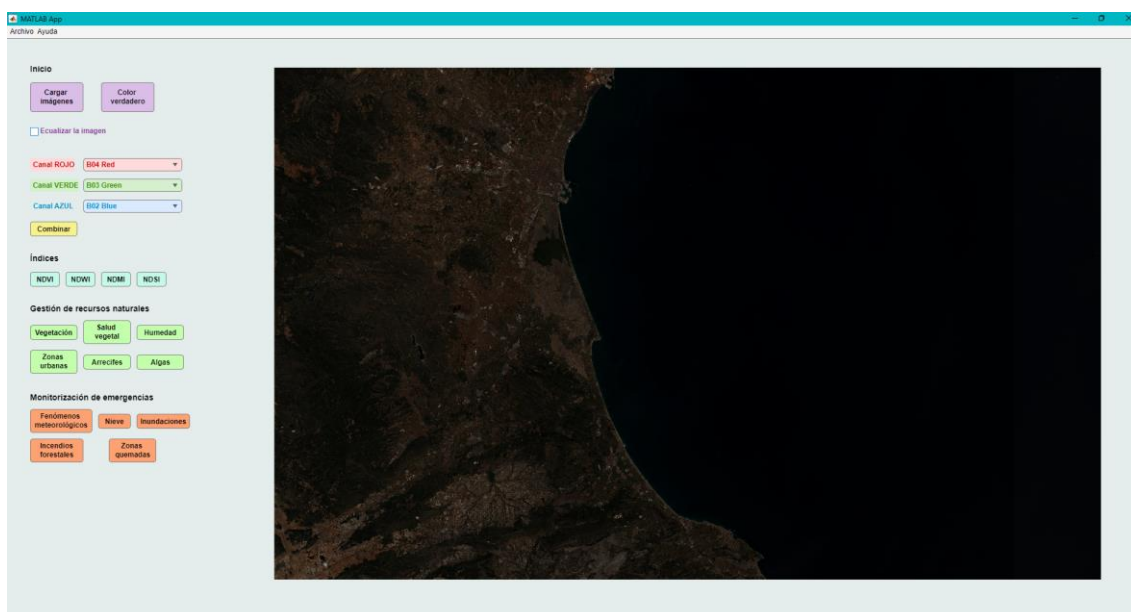


Imagen 1: Color verdadero sin ecualizar del golfo de Valencia

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\5mar2024_GolfoValencia

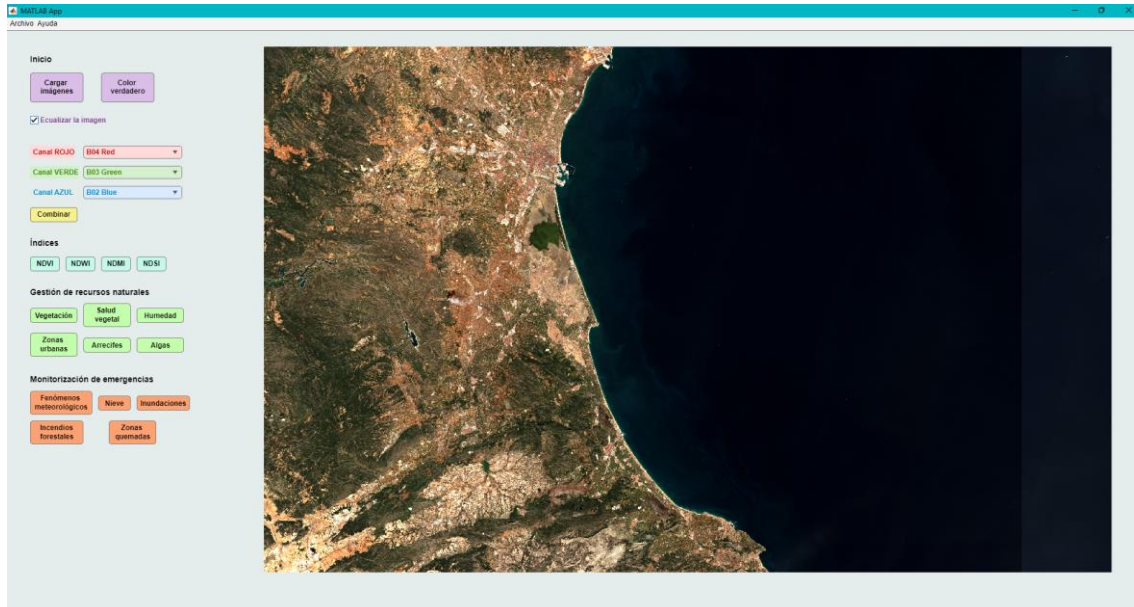


Imagen 2: Color verdadero ecualizado del golfo de Valencia

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\5mar2024_GolfoValencia

Las imágenes 1 y 2 muestran claramente la diferencia entre una imagen en color verdadero sin ecualizar y una con ecualización de contraste aplicada. La imagen sin ecualizar presenta los colores tal y como son capturados por las bandas del satélite, que puede resultar en una representación menos clara y con contrastes menos definidos. En cambio, la imagen ecualizada ajusta el contraste y mejora la distribución de los niveles de intensidad, destacando detalles que podrían no ser visibles de otra manera.

Botón "NDVI"

El botón "NDVI" calcula el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) utilizando las bandas NIR (B08) y rojo (B04). El NDVI es un indicador de la salud de la vegetación.

$$\text{El NDVI se calcula utilizando la fórmula: } \text{NDVI} = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$$

El resultado es un valor que varía entre -1 y 1. Los valores cercanos a 1 indican vegetación densa y saludable, mientras que los valores cercanos a -1 indican la ausencia de vegetación, como cuerpos de agua o áreas urbanas.

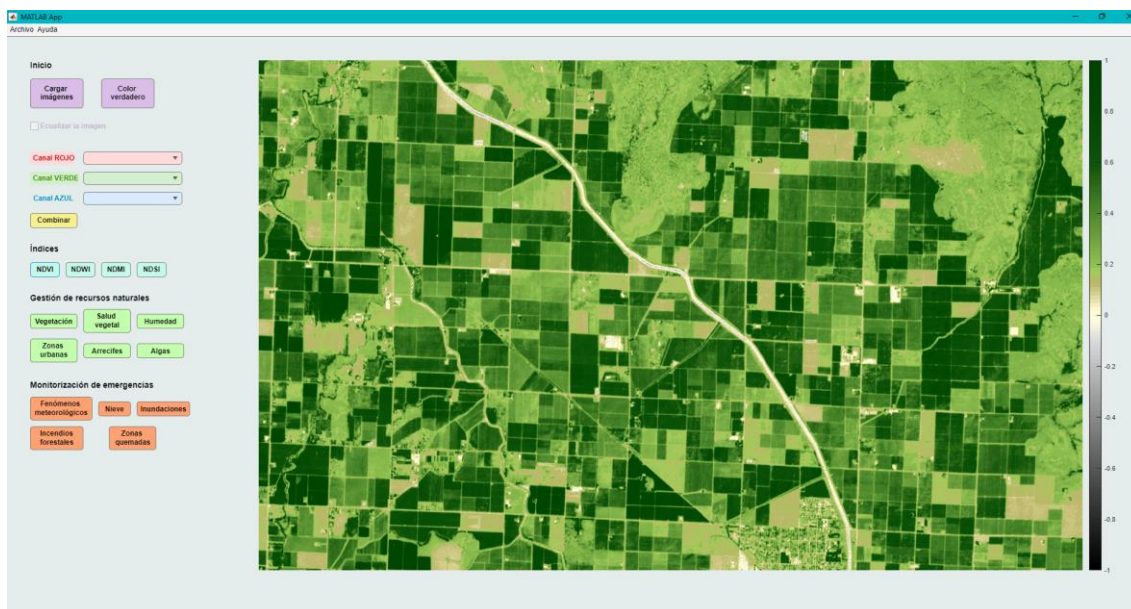


Imagen 3: NDVI

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\5jul2023_California*

La imagen 3 muestra una región agrícola en California. El color verde predominante indica áreas con alta vegetación y buena salud vegetal, mientras que las áreas más claras o menos saturadas indican menor densidad de vegetación o vegetación estresada. La estructura de la imagen revela parcelas de cultivo claramente definidas, caminos y posibles áreas urbanizadas o sin vegetación.

Botón "NDWI"

El botón "NDWI" calcula el Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) utilizando las bandas verde (B03) y NIR (B08). El NDWI destaca las áreas con presencia de agua.

$$\text{Se calcula mediante: } \text{NDWI} = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$$

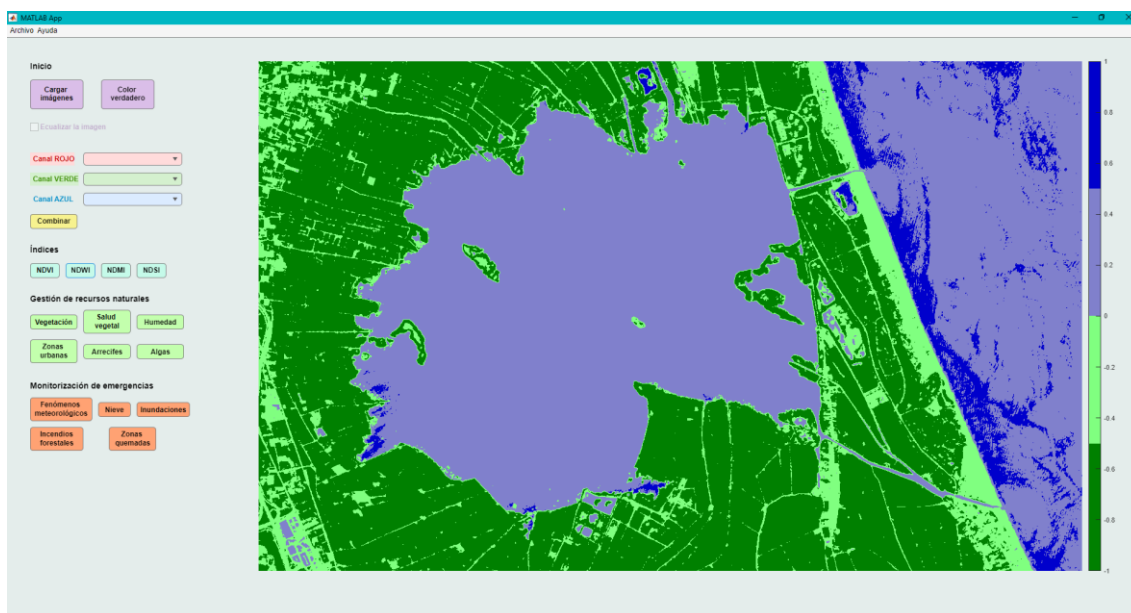


Imagen 4: NDWI

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\4jul2023_Albufera*

En la imagen 4, se presenta un mapa de NDWI de la Albufera de Valencia. En él, las áreas con agua se destacan en tonos de azul, mientras que las áreas de vegetación y suelo seco se representan en tonos de verde. Este contraste permite una rápida identificación de las zonas acuáticas, facilitando el análisis de la distribución y extensión del agua en el área de estudio. La aplicación utiliza un mapa de colores específico para resaltar las diferencias de reflectancia entre el agua y las demás superficies, proporcionando una visualización clara.

Botón "NDMI"

El botón "NDMI" calcula el Índice Diferencial Normalizado de Humedad (NDMI) utilizando las bandas NIR (B08) y SWIR 1 (B11). Este índice es útil para evaluar la humedad del suelo o de las copas de los árboles.

$$\text{Se calcula con la fórmula: } \text{NDMI} = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$$

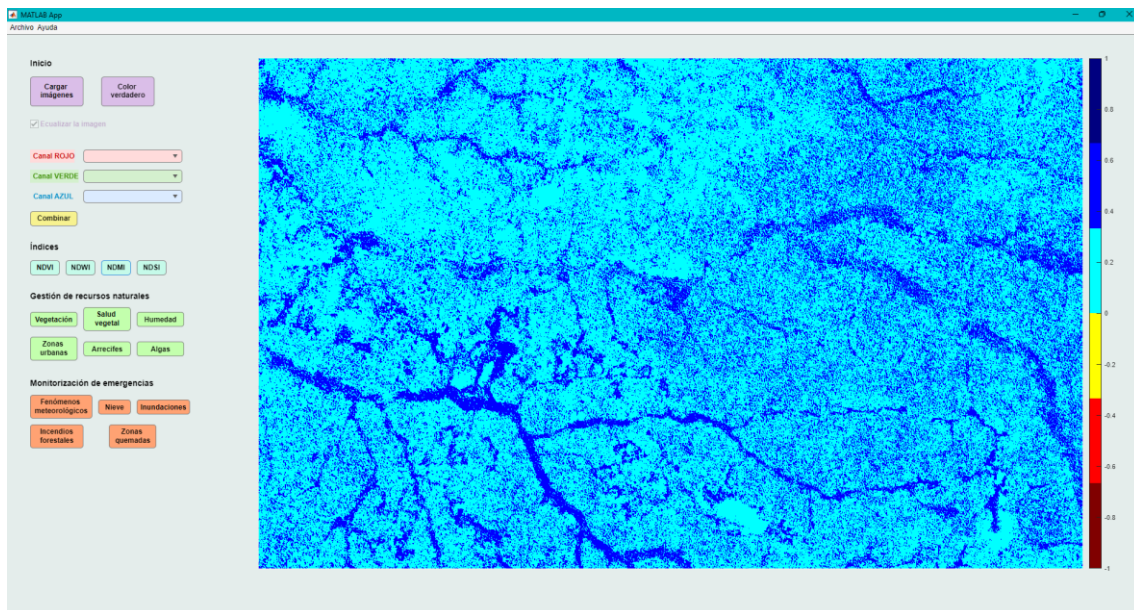


Imagen 5: NDMI

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\23ago2023_Amazonas*

En la imagen 5, se presenta un mapa de NDMI de una región del Amazonas. Los diferentes colores en la imagen indican variaciones en el contenido de humedad de la vegetación. Los tonos más oscuros (azules y púrpuras) indican áreas con mayor contenido de humedad, mientras que los tonos más claros (amarillos y rojos) indican áreas con menor humedad.

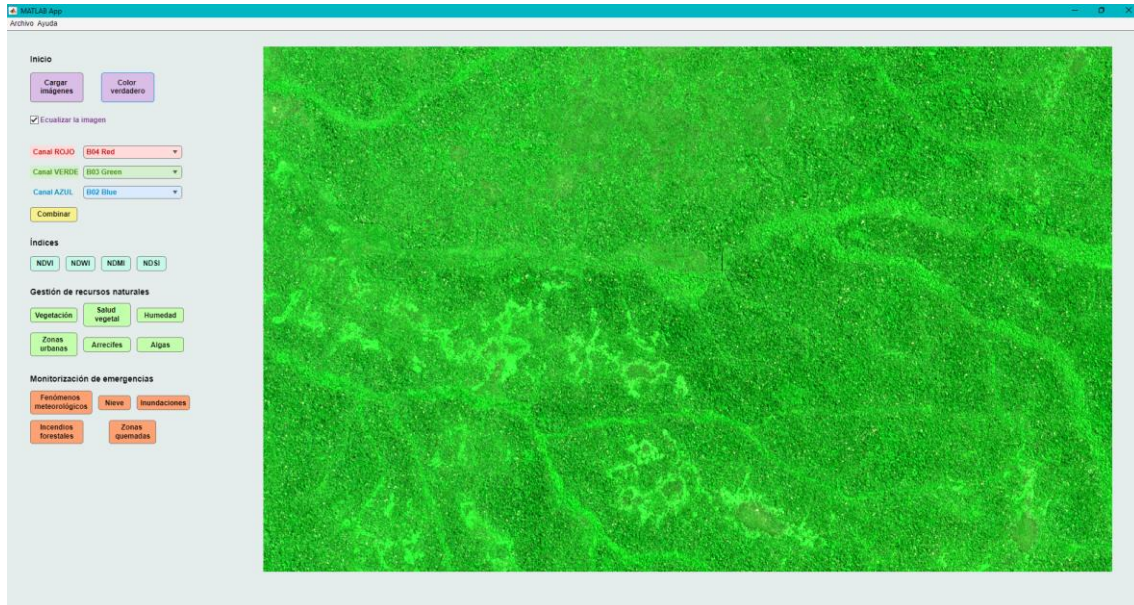


Imagen 6: Color verdadero ecualizado del Amazonas

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\23ago2023_Amazonas

La imagen 6 muestra la misma región en una combinación de color verdadero ecualizado. Esta imagen se utiliza para comparación visual, permitiendo observar cómo se corresponde la visualización natural de la escena con el mapa de NDMI. En la imagen de color verdadero, la vegetación aparece en verde brillante, y las diferencias en la salud y el contenido de humedad de la vegetación no son tan evidentes como en el mapa de NDMI.

Botón "NDSI"

El botón "NDSI" calcula el Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI) utilizando las bandas verde (B03) y SWIR 1 (B11). Este índice resalta las áreas cubiertas de nieve.

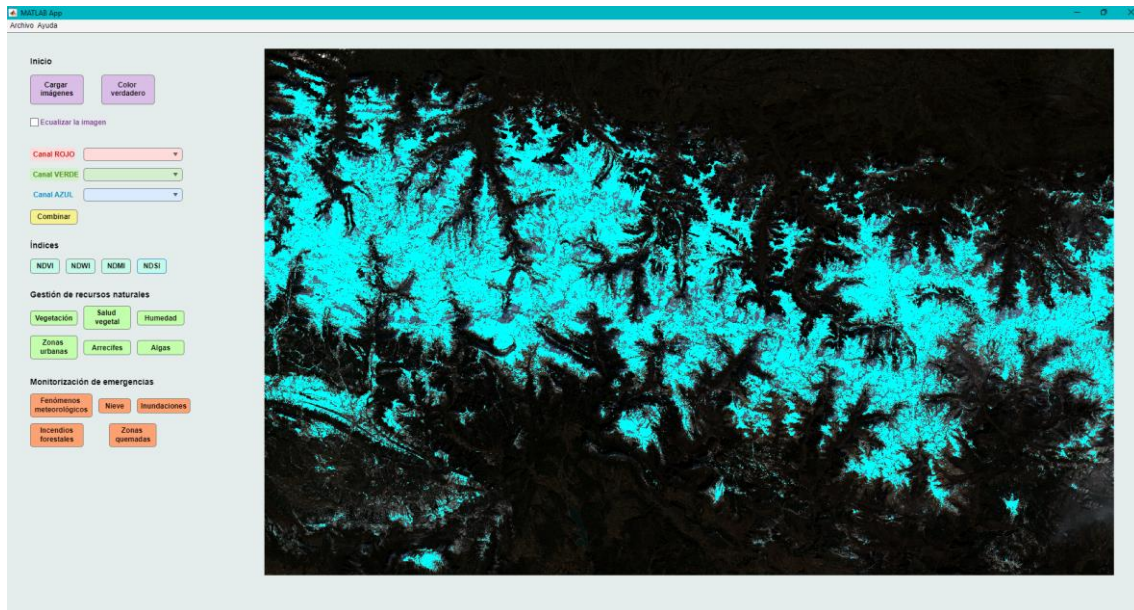


Imagen 7: NDSI

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\4feb2023_Pirineos*

La fórmula utilizada para calcular el NDSI es:
$$\text{NDSI} = \frac{B03 - B11}{B03 + B11}$$

En la imagen 7, se presenta un mapa de NDSI de una región de los Pirineos. El cian en la imagen resalta las áreas cubiertas de nieve, distinguiéndolas claramente del resto del terreno. La máscara aplicada sobre el color verdadero facilita la identificación de las áreas nevadas, permitiendo un análisis más preciso y visualmente accesible.

Botón "Vegetación"

El botón "Vegetación" utiliza las bandas NIR (B08), rojo (B04) y verde (B03) para mostrar la vegetación en un esquema de falso color que resalta la vegetación.

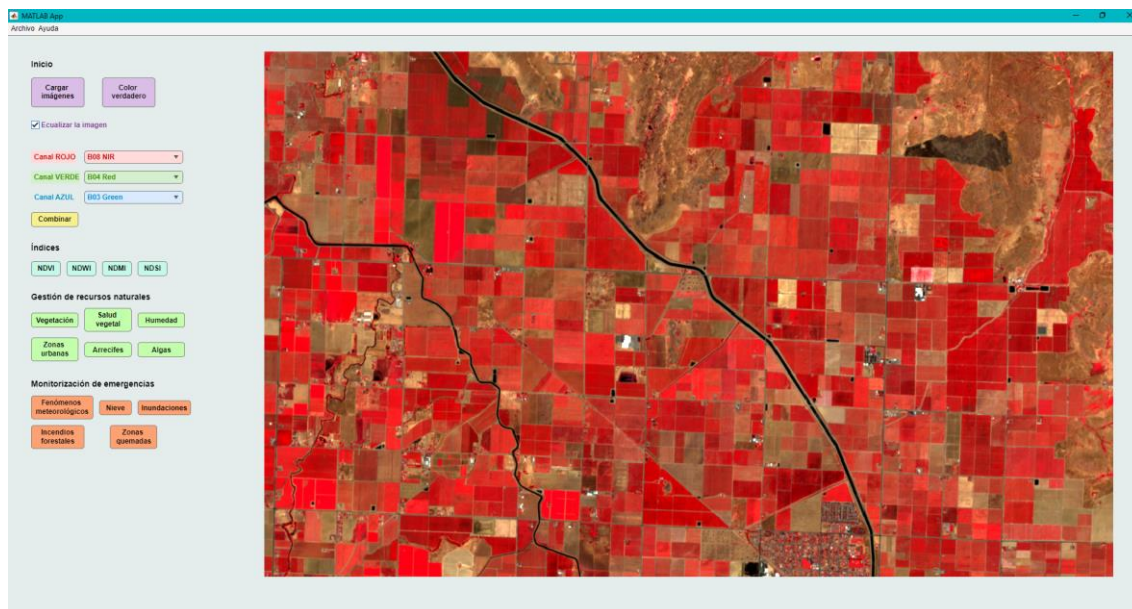


Imagen 8: Vegetación en California

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\5jul2023_California

En la imagen 8, se observa la región agrícola de California que se ha presentado anteriormente para el botón "NDVI", en un esquema de falso color que destaca las áreas de vegetación. Las áreas en tonos rojos indican presencia de vegetación, ya que la vegetación sana refleja fuertemente la luz en la banda NIR y menos en las bandas roja y verde. Este contraste se utiliza para distinguir claramente las áreas cultivadas y con vegetación de otras superficies, como suelo desnudo o cuerpos de agua. Así, las zonas de vegetación más densa se presentan en tonos rojos brillantes.

Al comparar esta imagen con la creada por el botón "NDVI", se comprueba que coinciden las zonas de mayor vegetación, siendo verde oscuro en "NDVI" y rojo brillante en "Vegetación".



Imagen 9: Vegetación en Madrid

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\19nov2023_Madrid*

De la misma forma, en la imagen 9 se observa la ciudad de Madrid utilizando este esquema de falso color. Las áreas que aparecen en tonos rojos brillantes corresponden a parques y zonas verdes de la ciudad, como El Retiro y la Casa de Campo. Esta representación permite identificar fácilmente las áreas verdes dentro del entorno urbano, facilitando el control de la cobertura vegetal en entornos urbanos densamente poblados.

Botón "Salud vegetal"

El botón "Salud vegetal" utiliza las bandas Red Edge (B05, B06, B07) para mostrar la salud de la vegetación en falso color.

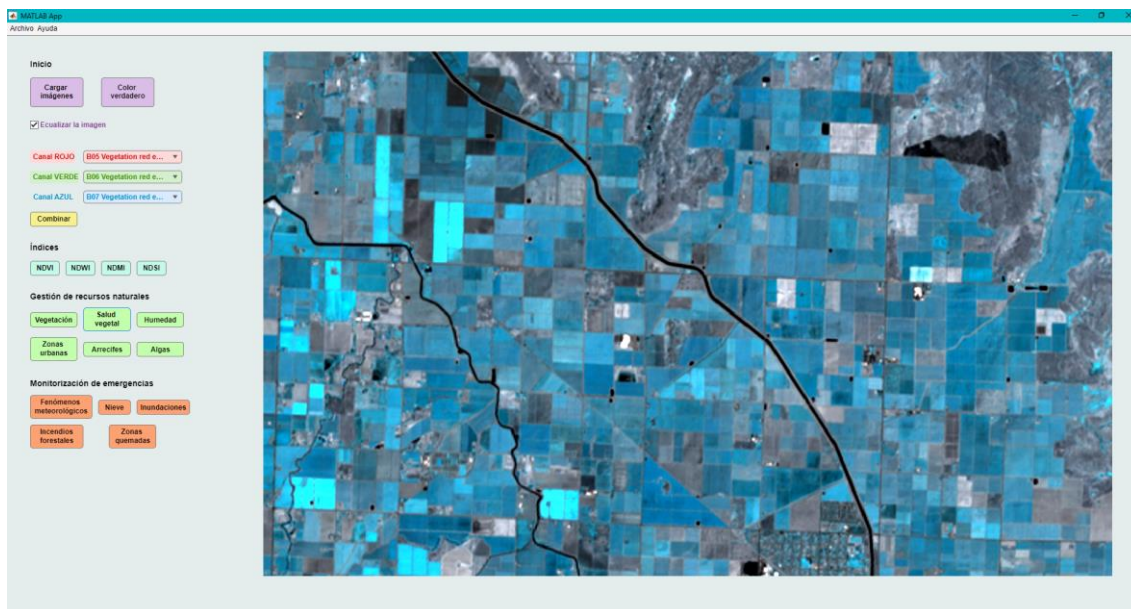


Imagen 10: Salud vegetal

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\5jul2023_California*

La imagen 10 muestra una representación en falso color de la salud de la vegetación en la misma región de California que se ha visto antes. En esta visualización, las bandas Red Edge se utilizan para destacar variaciones en la salud de la vegetación. Los diferentes tonos de azul indican diversas condiciones de la vegetación, donde los tonos más claros representan vegetación más saludable y vigorosa, mientras que los tonos más oscuros indican vegetación menos saludable o áreas con menor densidad de vegetación. Esta herramienta es útil para el monitorización agrícola y la gestión de recursos naturales, ya que permite identificar rápidamente las áreas que pueden necesitar atención o intervención.

Botón "Humedad"

El botón "Humedad" utiliza las bandas SWIR 1 (B11), NIR (B08) y azul (B02) para visualizar la humedad del suelo en falso color.



Imagen 11: Humedad

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\29feb2024_Vietnam*

La imagen 11 muestra un mapa de humedad del suelo en falso color de una región de Vietnam. Los tonos más brillantes, predominantemente verdes y amarillos, indican áreas con mayor contenido de humedad, mientras que los tonos más oscuros y rojizos indican áreas con menor contenido de humedad. Esta visualización es útil para el monitorización agrícola y la gestión de recursos hídricos.

Esta combinación de bandas es especialmente efectiva para identificar diferencias en la humedad del suelo debido a que la banda SWIR es sensible al contenido de agua en la vegetación y el suelo, mientras que las bandas NIR y azul ayudan a resaltar la vegetación y el suelo respectivamente, proporcionando un contraste claro entre las áreas húmedas y secas.

Botón "Zonas urbanas"

El botón "Zonas urbanas" utiliza las bandas SWIR 2 (B12), SWIR 1 (B11) y NIR (B08) para analizar las zonas urbanas.

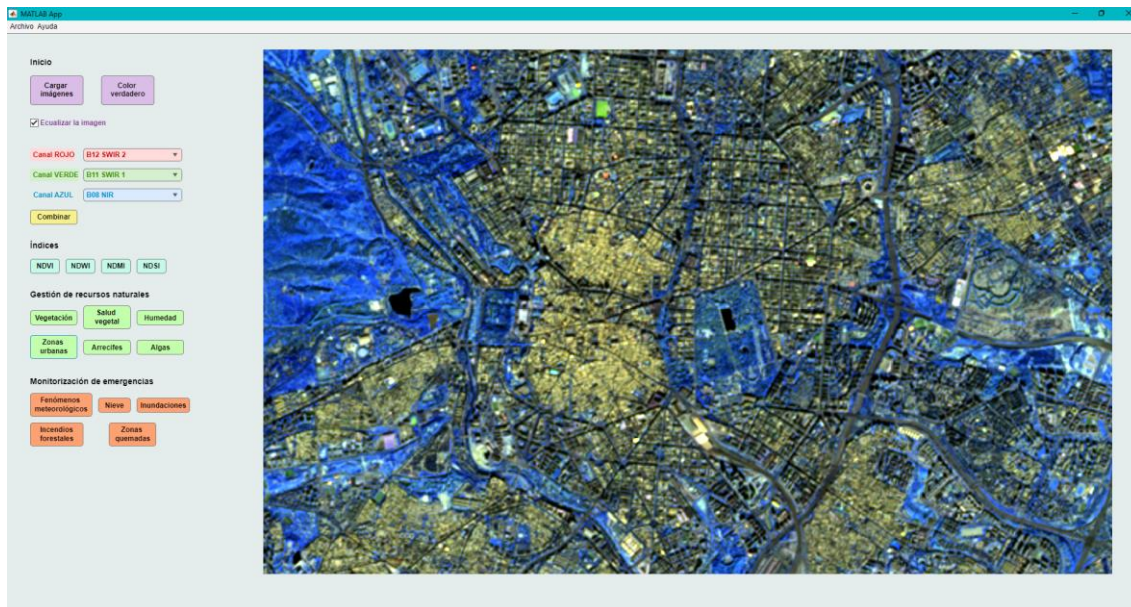


Imagen 12: Zonas urbanas

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\19nov2023_Madrid

En la imagen 12, se observa una representación en falso color de la ciudad de Madrid. En esta visualización, los edificios y las áreas construidas se destacan en tonos amarillos, mientras que las zonas verdes y los parques aparecen en azul. Esta diferenciación facilita la identificación de áreas urbanizadas frente a las áreas naturales.

TFG GISTSI: Desarrollo de una aplicación en Matlab para el procesamiento y visualización de imágenes del satélite Sentinel-2

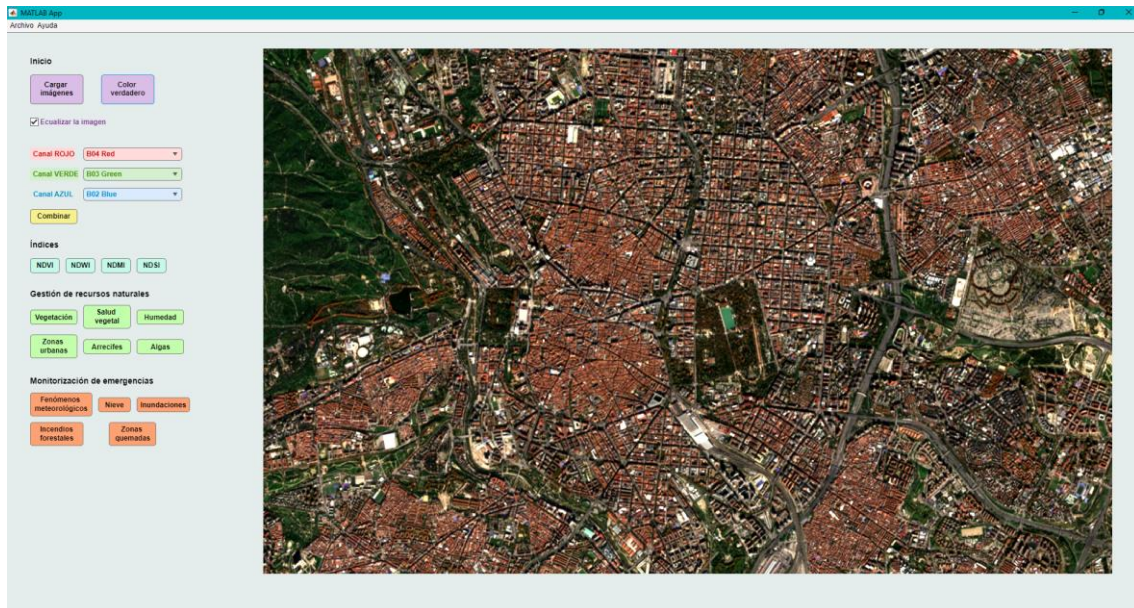


Imagen 13: Color verdadero ecualizado de Madrid

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\19nov2023_Madrid

En la imagen 13, se muestra la misma área en color verdadero ecualizado, proporcionando una comparación directa con la representación en falso color. Esta comparación permite evaluar la eficacia del uso de bandas SWIR y NIR para resaltar las áreas urbanas. En el color verdadero, los edificios se mezclan más con el entorno, mientras que en el falso color se resaltan claramente en amarillo, facilitando su identificación.

Botón "Arrecifes"

El botón "Arrecifes" utiliza las bandas NIR (B08), verde (B03) y SWIR 1 (B11) para resaltar áreas de arrecife.

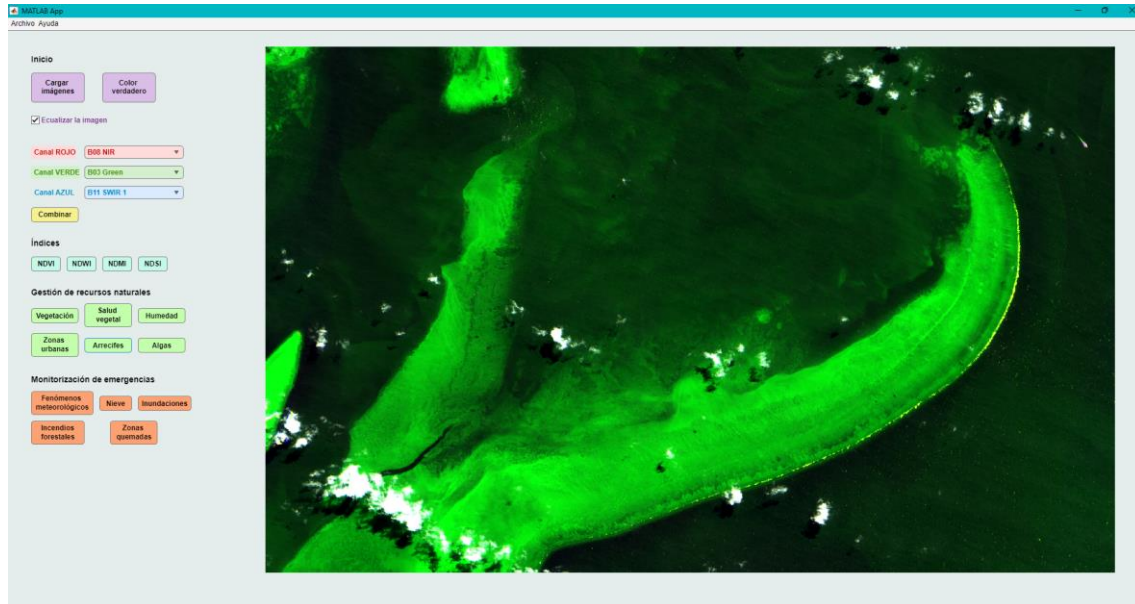


Imagen 14: Arrecifes

Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\25abr2024_GranBarrera

La imagen 14 muestra un ejemplo de cómo se visualizan los arrecifes de coral utilizando esta combinación de bandas. En la imagen, los arrecifes se destacan en tonos brillantes, permitiendo identificar claramente las áreas de coral. Este tipo de visualización es fundamental para la conservación y el estudio de los arrecifes, ya que permite detectar cambios en la estructura y salud de estos ecosistemas a lo largo del tiempo.

La banda NIR (B08) es muy útil para diferenciar la vegetación de otras características y puede penetrar ligeramente en el agua, ayudando a resaltar estructuras sumergidas. La banda verde (B03) es sensible a la clorofila, que es abundante en los corales, permitiendo distinguirlos del fondo marino y otras características. La banda SWIR 1 (B11) ayuda a identificar la humedad y las características del suelo, siendo útil también para resaltar la estructura de los arrecifes bajo el agua.

Botón "Fenómenos meteorológicos"

El botón "Fenómenos meteorológicos" utiliza las bandas Water Vapour (B09), Narrow NIR (B8A) y azul (B02).



Imagen 15: Fenómenos meteorológicos

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\6jul2023_Tarragona*

En la imagen 15, las áreas nubosas y con alta humedad se muestran en tonos brillantes, permitiendo una identificación clara de las estructuras de las tormentas y los frentes fríos. Este tipo de visualización sirve para monitorizar eventos meteorológicos severos, ya que permite detectar y seguir la evolución de las tormentas a lo largo del tiempo.

La banda Water Vapour (B09) es muy útil para detectar el vapor de agua en la atmósfera, lo que ayuda a identificar áreas de alta humedad y nubes altas. La banda Narrow NIR (B8A) ayuda a resaltar la vegetación y las nubes, proporcionando detalles adicionales sobre la estructura de las nubes y la superficie terrestre. La banda azul (B02) se usa para visualizar las nubes y la cubierta de agua, facilitando la identificación de las características de las tormentas y otros fenómenos meteorológicos.

Botón "Nieve"

El botón "Nieve" utiliza las bandas verde (B03), SWIR 1 (B11) y rojo (B04) para resaltar la nieve en las imágenes.



Imagen 16: Nieve

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\4feb2023_Pirineos*

La imagen 16 muestra un ejemplo de cómo se visualiza la nieve utilizando esta combinación de bandas, mediante tonos brillantes. Esta visualización facilita la detección y el seguimiento de cambios en la extensión y densidad de la nieve a lo largo del tiempo.

La banda verde (B03) es efectiva para diferenciar la vegetación y otras características del terreno. La banda SWIR 1 (B11) es especialmente útil para identificar la humedad y las propiedades del suelo, resaltando la nieve y el hielo. La banda roja (B04) proporciona un contraste adicional, mejorando la visibilidad de la nieve frente a otras superficies.

El botón "Nieve" y el botón "NDSI" utilizan bandas similares para resaltar la presencia de nieve, pero lo hacen de maneras diferentes.

Botón "Inundaciones"

El botón "Inundaciones" permite identificar áreas inundadas utilizando las bandas SWIR 1 (B11), NIR (B08) y verde (B03).

La banda SWIR 1 (B11) es eficaz para detectar agua debido a su alta absorción en esta longitud de onda, lo que hace que el agua aparezca oscura en las imágenes. Por otro lado, la banda NIR (B08) ayuda a distinguir el agua de la vegetación y el suelo seco, ya que el agua refleja muy poco en esta banda. Además, la banda verde (B03) proporciona información adicional sobre la vegetación y el terreno, complementando así la detección y el análisis de las áreas inundadas.



Imagen 17: Inundaciones

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\31ago2022_Pakistan*

La imagen 17 muestra una región de Pakistán afectada por inundaciones el 31 de agosto de 2022 ([NASA Earth Observatory, 2022](https://www.nasa.gov/content/20220831pak)). En esta imagen, las áreas inundadas se destacan en tonos oscuros debido a la alta absorción del agua en la banda SWIR 1 (B11). Las zonas verdes representan la vegetación y el suelo seco, permitiendo una clara identificación de las áreas afectadas por las inundaciones.



Imagen 18: Inundaciones

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\11ago2022_Pakistan*

La imagen 18 muestra la misma región de Pakistán el 11 de agosto de 2022, antes de las inundaciones significativas. En esta imagen, se observa que las áreas que posteriormente fueron inundadas están representadas en tonos verdes claros y beige, sin las manchas oscuras que indican la presencia de agua.

Botón "Incendios forestales"

El botón "Incendios forestales" utiliza las bandas SWIR 2 (B12), SWIR 1 (B11) y NIR (B08) para resaltar áreas zonas donde el fuego está presente y zonas que han sido afectadas recientemente.

La banda SWIR 2 (B12) es eficaz para detectar áreas quemadas debido a su baja reflectancia, lo que hace que estas áreas aparezcan oscuras en las imágenes. La banda SWIR 1 (B11) complementa esta detección, ayudando a diferenciar entre zonas húmedas y secas. Por su parte, la banda NIR (B08) distingue la vegetación saludable de las áreas afectadas por el fuego, ya que la vegetación refleja fuertemente en esta banda.

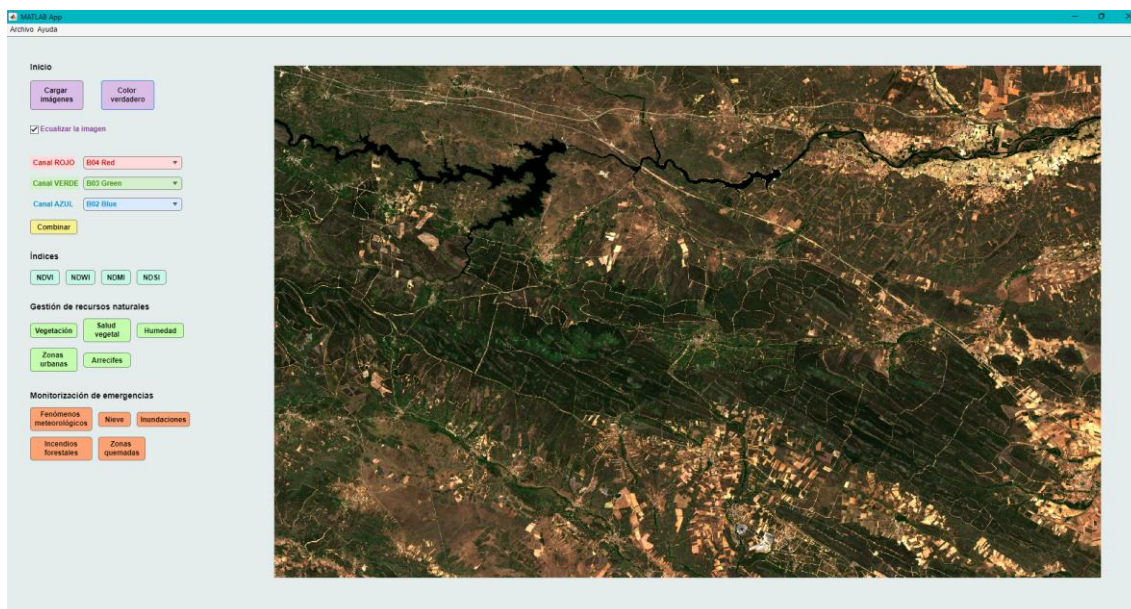


Imagen 19: Color verdadero ecualizado de Zamora antes del incendio

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\10jun2022_Zamora*

La imagen 19 muestra una vista en color verdadero de la región de la sierra de la Culebra, en Zamora, antes del incendio del 15 de junio de 2022 ([Wikipedia, 2022](https://es.wikipedia.org/wiki/Incendio_de_la_sierra_de_la_Culebra)). Esta imagen proporciona una referencia clara de la vegetación de la zona.

TFG GISTSI: Desarrollo de una aplicación en Matlab para el procesamiento y visualización de imágenes del satélite Sentinel-2

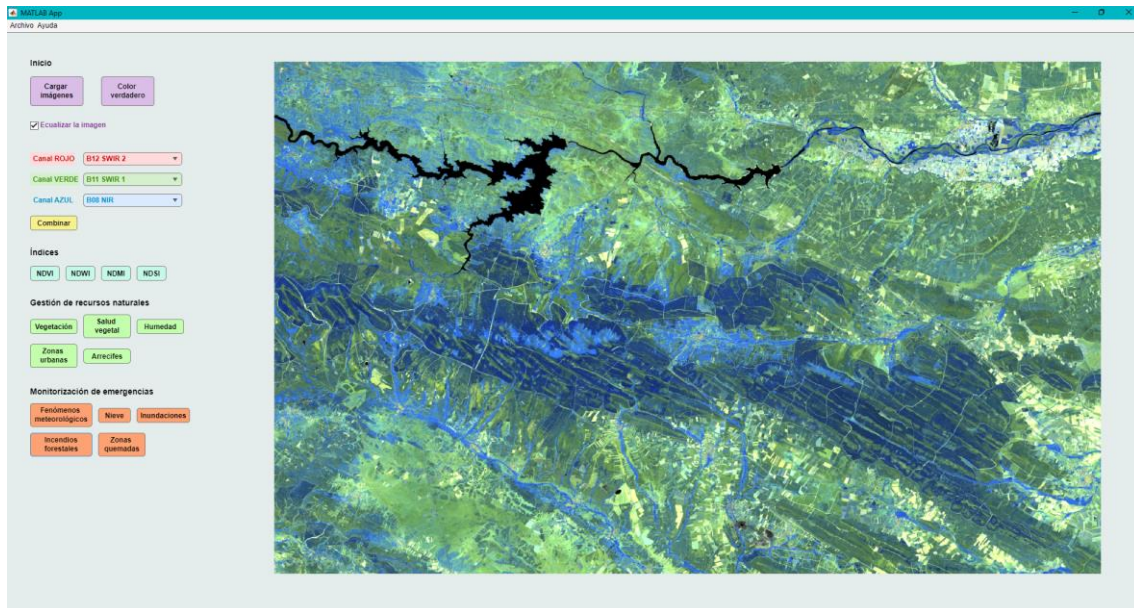


Imagen 20: Incendios forestales. Zamora antes del incendio
Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\10jun2022_Zamora

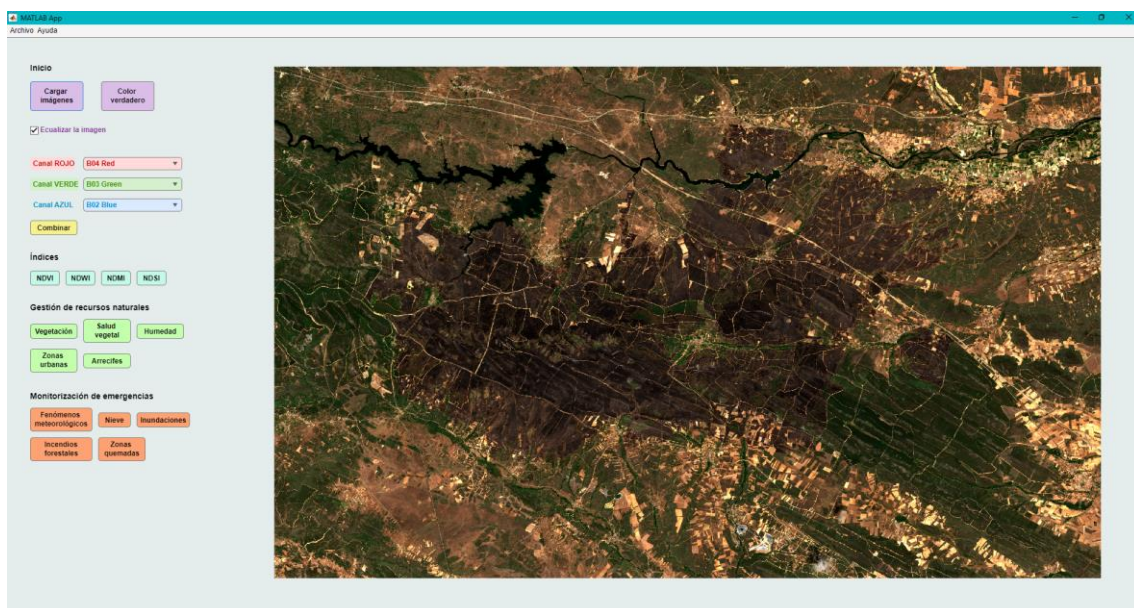


Imagen 21: Color verdadero ecualizado de Zamora después del incendio
Carpeta de imágenes utilizada: Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\25jun2022_Zamora

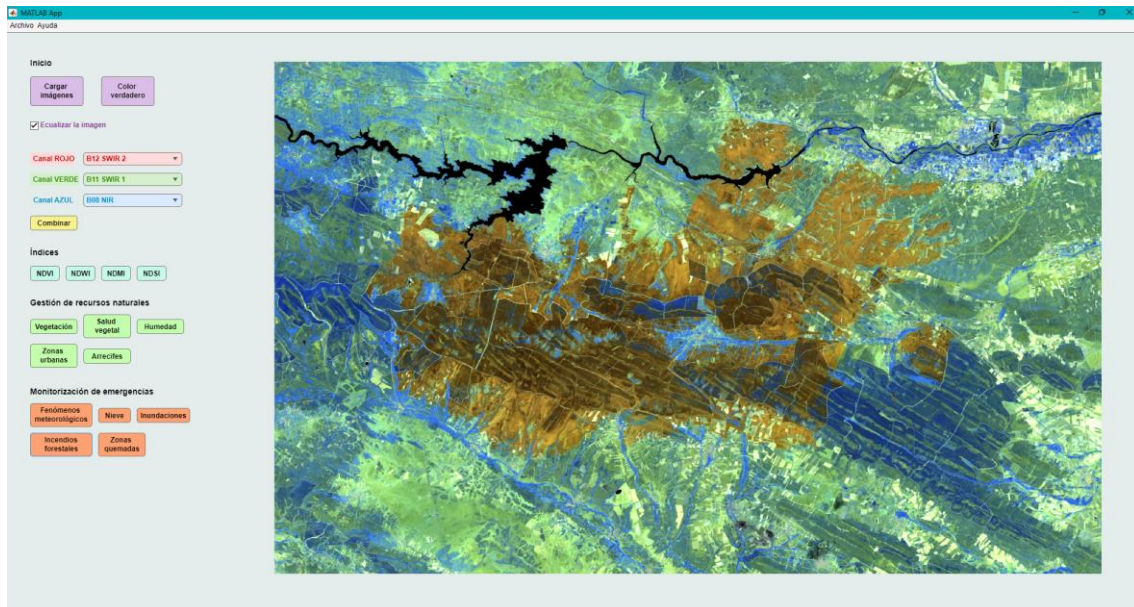


Imagen 22: Incendios forestales. Zamora después del incendio

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\25jun2022_Zamora*

La imagen 20 utiliza las bandas SWIR 2, SWIR 1 y NIR para mostrar la misma región antes del incendio. La vegetación saludable se destaca en tonos brillantes azules y verdes.

La imagen 21 muestra una vista en color verdadero de la misma región después del incendio del 15 de junio de 2022. Las áreas afectadas por el fuego son visibles como zonas oscuras en la imagen.

La imagen 22 utiliza las bandas SWIR 2, SWIR 1 y NIR para mostrar la misma región después del incendio. Las áreas quemadas se destacan claramente en tonos oscuros, permitiendo un análisis de la extensión del daño.

Botón "Zonas quemadas"

El botón "Zonas quemadas" utiliza las bandas SWIR 2 (B12), NIR (B08) y rojo (B04) para resaltar zonas ya quemadas para evaluar el daño post incendio.

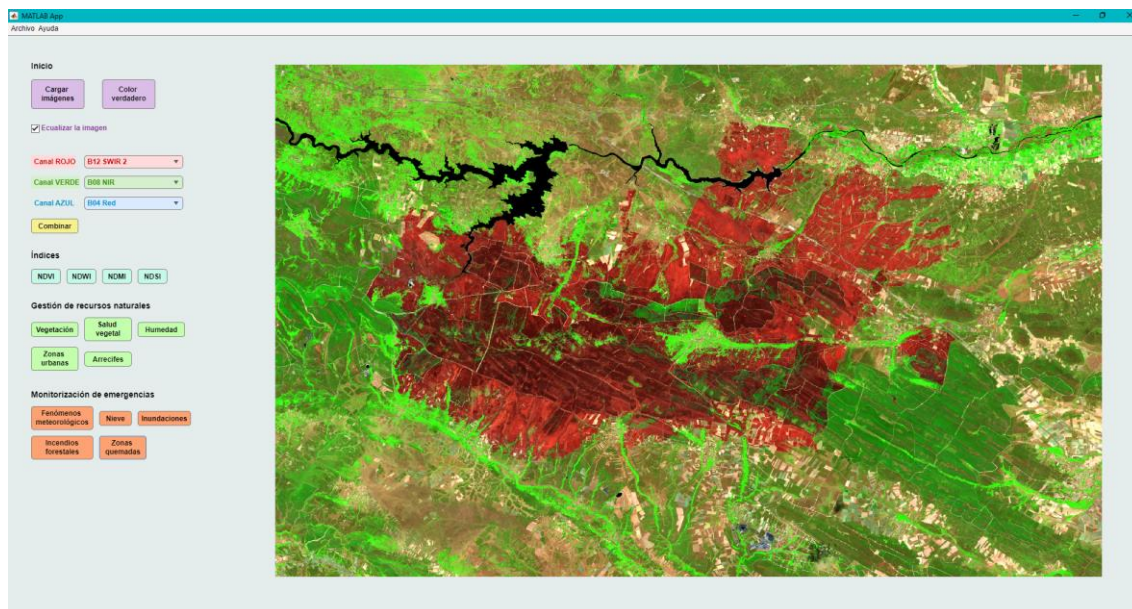


Imagen 23: Zonas quemadas

Carpeta de imágenes utilizada: *Ficheros anexos\Imágenes de ejemplo\25jun2022_Zamora*

La imagen 23 muestra la misma región de Zamora después del incendio, utilizando las bandas SWIR 2 (B12), NIR (B08) y rojo (B04) para resaltar las áreas quemadas. En esta imagen, las zonas afectadas por el fuego se destacan en tonos rojos, mientras que la vegetación saludable aparece en tonos verdes. Esta visualización facilita la evaluación del daño causado por el incendio y permite un análisis detallado de las áreas quemadas.

La banda SWIR 2 (B12) es eficaz para detectar áreas quemadas debido a su baja reflectancia, que hace aparecer estas zonas oscuras. La banda NIR (B08) distingue la vegetación saludable de las áreas afectadas por el fuego, ya que la vegetación refleja en esta banda. La banda roja (B04) resalta la vegetación estresada o dañada, proporcionando un contraste adicional para las áreas quemadas.

3. Conclusiones

La creación de la aplicación "Sentinel2Visualizer" utilizando Matlab App Designer ha supuesto un avance significativo en el procesamiento y visualización de imágenes satelitales captadas por el satélite Sentinel-2. A lo largo del desarrollo de este proyecto, se han alcanzado los objetivos planteados inicialmente, logrando una herramienta versátil que facilita el análisis y la monitorización de múltiples aspectos del entorno terrestre.

La aplicación permite la generación de imágenes en color verdadero y falso color mediante la combinación de diferentes bandas espectrales. Esta capacidad es básica para una interpretación visual precisa y para resaltar diversas características de la superficie terrestre. Por ejemplo, la combinación de bandas específicas puede destacar la vegetación, el agua, el suelo desnudo, o áreas afectadas por desastres naturales. La posibilidad de visualizar estas imágenes de diferentes maneras facilita el trabajo de investigadores y profesionales que necesitan analizar datos geoespaciales con fines variados.

Además de los botones automáticos para visualizar diferentes combinaciones de falso color, la aplicación también permite a los usuarios elegir manualmente las bandas que desean combinar. Esta flexibilidad es determinante para ajustarse a las necesidades específicas de cada análisis, permitiendo a los usuarios personalizar las combinaciones de bandas para obtener la información más relevante según el contexto de su estudio. Esta funcionalidad manual amplía significativamente las posibilidades de uso de la aplicación, adaptándose a diversos escenarios y requerimientos de investigación.

La posibilidad de personalizar las combinaciones de bandas no solo facilita el análisis específico de ciertas características del terreno, sino que también permite a los usuarios investigar nuevas maneras de interpretar los datos. Esta funcionalidad es especialmente valiosa en investigaciones que demandan un enfoque flexible para el análisis geoespacial avanzado.

Otro de los logros más apreciables de "Sentinel2Visualizer" es la implementación del cálculo de índices medioambientales como el NDVI (Índice Diferencial Normalizado de Vegetación), NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua), NDMI (Índice Diferencial Normalizado de Humedad) y NDSI (Índice Diferencial Normalizado de Nieve). Estos índices proporcionan información decisiva sobre la salud de la vegetación, la presencia de agua, la humedad del suelo y la cobertura de nieve, respectivamente. La facilidad con la que estos índices pueden ser calculados y visualizados mediante la aplicación representa una herramienta eficaz para la gestión de recursos naturales y la monitorización ambiental.

La interfaz gráfica de usuario (GUI) de la aplicación ha sido diseñada con un enfoque en la intuición y accesibilidad, permitiendo a usuarios con diferentes niveles de experiencia en Matlab y teledetección utilizar la aplicación de manera eficiente. La estructura modular de la interfaz facilita la navegación y el acceso a diversas funcionalidades, asegurando que los usuarios puedan maximizar el potencial de la herramienta sin enfrentar barreras técnicas significativas. Esta accesibilidad es clave para fomentar una adopción más amplia de la aplicación en diversos sectores, incluyendo la investigación académica, la gestión ambiental y la planificación urbana.

La validación de los resultados obtenidos con "Sentinel2Visualizer" ha sido un aspecto crítico del proyecto. Se ha demostrado que la aplicación produce resultados precisos, confirmando su utilidad. Las imágenes generadas han demostrado que la aplicación es capaz de manejar datos complejos de teledetección de manera efectiva, proporcionando resultados coherentes y útiles para el análisis ambiental.

La aplicación ha mostrado su potencial en diversas áreas prácticas. En el ámbito de la monitorización ambiental, "Sentinel2Visualizer" facilita el análisis detallado de ecosistemas naturales, proporcionando herramientas para evaluar la salud de la vegetación, la humedad del suelo y la presencia de agua. Estos análisis son fundamentales para la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. En la planificación urbana, la capacidad de analizar zonas urbanas y su entorno permite a los planificadores tomar decisiones informadas sobre el desarrollo y la gestión de

infraestructuras. Las imágenes en falso color y los índices medioambientales proporcionan datos precisos para evaluar el impacto ambiental de las actividades humanas.

Además, la aplicación ha demostrado ser valiosa en la gestión de emergencias. La visualización y análisis de fenómenos meteorológicos, incendios forestales e inundaciones son primordiales para una respuesta rápida y efectiva a desastres naturales. "Sentinel2Visualizer" proporciona herramientas para identificar y monitorizar estas situaciones, facilitando la planificación y ejecución de medidas de emergencia. La capacidad de resaltar áreas afectadas por desastres naturales, como incendios o inundaciones, permite una evaluación rápida y precisa de los daños, lo que resulta esencial para llevar a cabo estrategias de mitigación y recuperación.

Aunque "Sentinel2Visualizer" ha alcanzado sus objetivos iniciales, existen numerosas oportunidades para futuras mejoras. La integración de nuevos algoritmos y técnicas de procesamiento puede ampliar significativamente las capacidades de la aplicación. Por ejemplo, la implementación de análisis multitemporal y la detección de cambios pueden mejorar su utilidad en estudios a largo plazo, permitiendo una monitorización continua y detallada de los cambios en el entorno. Además, la optimización del rendimiento de la aplicación, especialmente en el manejo de grandes volúmenes de datos, puede hacer que la herramienta sea más ágil y responda mejor a las necesidades de los usuarios.

Para finalizar, "Sentinel2Visualizer" representa un avance importante en la accesibilidad y funcionalidad de las herramientas de procesamiento de imágenes satelitales. Su desarrollo ha demostrado la capacidad de Matlab para manejar datos complejos de teledetección y ha proporcionado una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la monitorización ambiental y la gestión de recursos naturales. La versatilidad y precisión de la aplicación la convierten en una herramienta valiosa para investigadores, planificadores y gestores que trabajan en la conservación, planificación urbana y respuesta a desastres, contribuyendo así al avance de la investigación y la gestión ambiental.

4. Referencias

4.1. Fuentes principales

Copernicus. (2024). *Copernicus and the free & open source software community.* <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-and-free-open-source-software-community>. (Última visita el 24/07/2024)

Copernicus. (2024). *Sentinel-2 Mission.* <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>. (Última visita el 24/07/2024)

Copernicus. (2024). *Sentinel-2 Products.* <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-products>. (Última visita el 24/07/2024)

Escuela Politécnica Superior de Gandía [Universidad Politécnica de Valencia]. (2024). Tema 5: Sistemas de Teledetección. Asignatura: Redes, comunicaciones y teledetección. Máster Universitario en Evaluación y Seguimiento Ambiental de Ecosistemas Marinos y Costeros.

European Space Agency (ESA). (2024). *Active sensors.* https://www.esa.int/Education/7._Active_sensors. (Última visita el 24/07/2024)

European Space Agency (ESA). (2024). *Electromagnetic spectrum.* https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEM7IQ3Z2OF_0.html. (Última visita el 24/07/2024)

European Space Agency (ESA). (2024). *Passive sensors.* https://www.esa.int/Education/6._Passive_sensors. (Última visita el 24/07/2024)

European Space Agency (ESA). (2024). *What is electromagnetic radiation?* https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/What_is_electromagnetic_radiation. (Última visita el 24/07/2024)

- MappingGIS.** (2018). *50 aplicaciones de la teledetección.* <https://mappinggis.com/2018/10/50-aplicaciones-de-la-teledeteccion/>. (Última visita el 24/07/2024)
- NASA Applied Sciences Program.** (2024). *Fundamentals of Remote Sensing.* https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2022-11/Fundamentals_of_RS_Edited_SC.pdf. (Última visita el 24/07/2024)
- NASA Earth Observatory.** (2022). *Devastating Floods in Pakistan.* <https://earthobservatory.nasa.gov/images/150279/devastating-floods-in-pakistan>. (Última visita el 24/07/2024)
- NASA Earthdata.** (2024). *What is Remote Sensing?* <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensing>. (Última visita el 24/07/2024)
- Oštir, K.** (2024). *Introduction to Optical Remote Sensing for Forestry.* 10th Advanced Training Course on Land Remote Sensing. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering. https://eo4society.esa.int/training_uploads/LTC2021/pdf/0_Monday/009_Introduction_to_Optical_Remote_Sensing_for_Forests_-_Ostir.pdf. (Última visita el 24/07/2024)
- Sentinel Hub.** (2024). *Sentinel-2 Bands.* <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/bands/>. (Última visita el 24/07/2024)
- Wikipedia.** (2022). *Incendios de la sierra de la Culebra de 2022.* https://es.wikipedia.org/wiki/Incendios_de_la_sierra_de_la_Culebra_de_2022. (Última visita el 24/07/2024)

4.2. Otras fuentes consultadas

Para este trabajo, las imágenes satelitales fueron obtenidas a través del Copernicus Open Access Hub, disponible en <https://browser.dataspace.copernicus.eu>. Estas imágenes, contenidas en la carpeta de “Ficheros anexos”, fueron luego procesadas y combinadas mediante la aplicación Sentinel2Visualizer, obteniéndose así las imágenes presentadas en el apartado 2.4. Resultados y análisis.

Para el desarrollo de la aplicación Sentinel2Visualizer, se consultaron los recursos disponibles en la página oficial de Matlab, en la sección de App Designer, específicamente en el enlace <https://es.mathworks.com/help/matlab/app-designer.html>. Esta fuente ofreció información detallada y las guías necesarias para diseñar una interfaz de usuario intuitiva y para implementar el código de las funciones.

Además, para desarrollar las funciones de la aplicación, se utilizaron como base los scripts personalizados disponibles en <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel/sentinel-2/>. Estos scripts sirvieron de guía para crear una aplicación interactiva y eficiente, asegurando un desarrollo funcional y bien estructurado.

5. Listado de anexos

Los anexos I, II y III se encuentran en la carpeta “Ficheros anexos”. El anexo IV se incluye aquí.

5.1. ANEXO I: Aplicación Sentinel2Visualizer

La aplicación Sentinel2Visualizer se encuentra en la carpeta “Ficheros anexos” con el siguiente nombre: “Sentinel2Visualizer.mlapp”

5.2. ANEXO II: Manual de usuario de la aplicación Sentinel2Visualizer

El manual de usuario se encuentra en la carpeta “Ficheros anexos” con el siguiente nombre: “Manual_Usuario.pdf”

5.3. ANEXO III: Imágenes de ejemplo

La carpeta con imágenes de ejemplo descargadas del repositorio del satélite Sentinel-2 Copernicus Browser se encuentra en la carpeta “Ficheros anexos” con el siguiente nombre: “Imágenes de ejemplo”

5.4. ANEXO IV: Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

Objetivos de Desarrollo Sostenibles		Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1.	Fin de la pobreza				x
ODS 2.	Hambre cero			x	
ODS 3.	Salud y bienestar			x	
ODS 4.	Educación de calidad				x
ODS 5.	Igualdad de género				x
ODS 6.	Agua limpia y saneamiento	x			
ODS 7.	Energía asequible y no contaminante				x
ODS 8.	Trabajo decente y crecimiento económico			x	
ODS 9.	Industria, innovación e infraestructuras		x		
ODS 10.	Reducción de las desigualdades				x
ODS 11.	Ciudades y comunidades sostenibles		x		
ODS 12.	Producción y consumo responsables		x		
ODS 13.	Acción por el clima	x			
ODS 14.	Vida submarina	x			
ODS 15.	Vida de ecosistemas terrestres	x			
ODS 16.	Paz, justicia e instituciones sólidas				x
ODS 17.	Alianzas para lograr objetivos			x	

Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto:

ODS 6: Agua limpia y saneamiento. Este objetivo busca garantizar el acceso a agua limpia y la gestión sostenible de los recursos hídricos. La aplicación facilita esta tarea mediante la monitorización de masas de agua utilizando índices como el NDWI. Esto permite detectar cambios en la calidad y cantidad de agua, identificar fuentes de contaminación y gestionar los recursos hídricos eficientemente.

ODS 13: Acción por el clima. El TFG se alinea con este objetivo al monitorizar cambios ambientales críticos que pueden ser afectados por el cambio climático. Los datos obtenidos pueden utilizarse para planificar estrategias de adaptación y mitigación, ayudando a reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y desarrollando soluciones más efectivas para combatir el cambio climático.

ODS 14: Vida submarina. El proyecto contribuye a la observación y preservación de los ecosistemas acuáticos mediante la oferta de herramientas que permiten analizar la calidad del agua y detectar variaciones en las masas de agua. Esto es fundamental para proteger la vida marina y gestionar de manera sostenible los recursos acuáticos.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres. El TFG contribuye a la conservación de los ecosistemas terrestres mediante el análisis y monitorización de la salud de la vegetación y otros recursos naturales. Proporciona datos que pueden ser utilizados para proteger y restaurar ecosistemas, apoyando la biodiversidad y la sostenibilidad.