



Universidad Politécnica
de Madrid



**Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Informáticos**

Grado en Informática

Trabajo Fin de Grado

**Aplicación de OIF (Optimum Index
Factor) en Clasificación de Imágenes de
Teledetección.**

Autor: Ester Redondo Carpio

Tutor(a): María Estíbaliz Martínez Izquierdo

Madrid, Junio 2024

Este Trabajo Fin de Grado se ha depositado en la ETSI Informáticos de la Universidad Politécnica de Madrid para su defensa.

*Trabajo Fin de Grado
Grado en Informática*

Título: Aplicación de OIF (Optimum Index Factor) en Clasificación de Imágenes de Teledetección.

Junio 2024

Autor: Ester Redondo Carpio

Tutor: María Estíbaliz Martínez Izquierdo
Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos
ETSI Informáticos
Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

El objetivo general de este proyecto es establecer y desarrollar una metodología basada en el procesamiento de imágenes digitales multibanda registradas mediante Teledetección. Esta metodología utiliza visualizaciones mediante combinaciones color, índices espectrales y el algoritmo K-MEANS, para realizar un estudio de recursos hídricos superficiales.

El estudio se centra geográficamente en el Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo) perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. El registro temporal de las imágenes utilizadas corresponde a diferentes estaciones, concretamente del mes de febrero desde 2017 hasta 2024, realizando así un estudio en una temporada más húmeda como el invierno, y otro estudio con imágenes registradas en agosto desde 2017 hasta 2023, abarcando una temporada más seca como el verano.

Para la consecución del objetivo general expuesto, se plantean diferentes tareas como la realización de composiciones a color con distintas combinaciones tipo color verdadero o natural (RGB) y falso color NIRRG. Completando a esta prueba anteriormente reseñada, se calculan el OIF (Optimum Index Factor) y el MOIF (Modified Optimum Index Factor) y además se realiza una clasificación no supervisada mediante el algoritmo KMEANS. Por último, se evaluará la extensión de coberturas acuosas detectadas.

El propósito de este trabajo es proporcionar una solución competitiva que contribuya a mejorar la productividad en proyectos de investigación y desarrollo en este campo de investigación, como el monitoreo de los recursos hídricos. El estudio de las cubiertas de agua permite detectar cómo el cambio climático está afectando este tipo de ecosistemas. Los resultados obtenidos en este estudio se pueden utilizar como base para la implementación de estrategias de conservación y gestión sostenible de los recursos naturales en la zona.

Palabras clave: Teledetección, Imágenes Digitales Multibanda, Recursos Hídricos, Color verdadero-RGB, Falso color-NIRRG, OIF, MOIF, Algoritmo K-MEANS, Cambio Climático, Estrategias de seguimiento medio ambiental.

Abstract

The main aim of this project is to establish and develop a methodology based in digital multiband images registered through tele detection. This methodology makes use of visualizations of colour combinations, spectral indices and the K-MEANS algorithm to carry out a study of the surface water resources.

The study is geographically based in the “Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo), localized in the region of Castilla-La Mancha. The time study of the images is registered though different seasons and years, we use February as the cold and humid season and August as the hot and dry season. For the time frame we use years from 2017 till 2024 (2023 for August).

For the achievement of the general aim, we propose different tasks, such as the creation of colour compositions in different combinations, such as RGB (real or natural colour) or NIRRG (false colour). Furthermore, we calculate the OIF (Optimum Index Factor) and the MOIF (Medium Optimum Index Factors). Additionally, we will perform a non-supervised classification using the K-MEANS algorithm. Finally, we will evaluate the extent of the water cover.

Therefore, the purpose of this essay is to produce a competitive solution that contributes to the improvement of productivity in research and development projects in this area of study, such as the monitoring of the earth water surface. The study of the water covers allow us to detect how the climate change is affecting the water environments. The obtained results can be later be used as a base for the implementation of conservative and sustainable management strategies of the resources.

Keywords: Remote sensing, Multiband Digital Images, Water Resources, True color-RGB, False color-NIRRG, OIF, MOIF, K-MEANS Algorithm, Climate Change, Environmental Monitoring Strategies

Índice General

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivos del TFG.....	1
2	Desarrollo.....	3
2.1	Teledetección.....	3
2.2	Imágenes multibanda y combinación entre bandas.....	5
2.3	Composiciones color.....	6
2.3.1	Color Natural – RGB.....	6
2.3.2	Falso color - NIRRG.....	6
2.4	Índices espectrales.....	7
2.5	Reducción del espacio espectral.....	8
2.5.1	Aplicación del OIF (Optimum Index Factor).....	8
2.5.2	MOIF (Modified Optimum Index Factor).....	9
2.6	Clasificación temática – No supervisada.....	9
2.6.1	Algoritmo K-MEANS.....	10
2.7	Satélites.....	11
2.7.1	SENTINEL-2A.....	11
2.8	Herramientas utilizadas.....	13
2.8.1	Image J.....	13
2.8.2	Sentinel Hub EO Browser.....	14
2.8.3	SNAP.....	15
3	Zona de Estudio.....	17
3.1	Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo).....	17
3.1.1	Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo).....	20
3.2	Diagrama de flujo.....	21
4	Resultados y Conclusiones.....	24
4.1	Composición color (color verdadero y falso color).....	24
4.2	Aplicación de índices espectrales.....	33
4.3	Algoritmo K-MEANS.....	35
4.4	Cambio Climático.....	45
5	Análisis de Impacto.....	49
6	Bibliografía.....	51
7	Anexo.....	54

Índice Figuras

FIGURA 1: ELEMENTOS EN UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN	3
FIGURA 2: FORMACIÓN DE UNA IMAGEN CON SENSOR MULTIESPECTRAL	4
FIGURA 3: COMPONENTES Y PROCESO DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN.....	4
FIGURA 4: IMÁGENES MULTIBANDA EN COLOR NATURAL	5
FIGURA 5: IMÁGENES MULTIBANDA EN FALSO COLOR	6
FIGURA 6: EJEMPLO DE IMAGEN SENTINEL-2 VISUALIZACIÓN COLOR VERDADERO DE LAS LAGUNAS DE VILLA FRANCA DE LOS CABALLEROS EN AGOSTO 2017.	6
FIGURA 7: EJEMPLO DE COLORACIÓN NIRRG DE UNA IMAGEN SENTINEL-2 DE LAS LAGUNAS DE VILLA FRANCA DE LOS CABALLEROS EN AGOSTO 2017	7
FIGURA 8: IMÁGENES DEL SATÉLITE SENTINEL-2 REAL Y SIMULACIÓN DEL REGISTRO DE ESTE SATÉLITE, RESPECTIVAMENTE	11
FIGURA 9: INTERFAZ DEL SOFTWARE IMAGE J PARA UN EJEMPLO DADO	13
FIGURA 10: INTERFAZ DE LA APLICACIÓN WEB EO BROWSER PARA UN EJEMPLO DADO	14
FIGURA 11: APARTADO PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES DESDE EO BROWSER.....	15
FIGURA 12: INTERFAZ DE LA APLICACIÓN SNAP PARA UN EJEMPLO DADO.....	16
FIGURA 13: IMAGEN SENTINEL2 (VISUALIZACIÓN COLOR RGB 432) QUE CONTIENE LA ZONA DE ESTUDIO	17
FIGURA 14: EXTENSIÓN GEOGRÁFICA DE LA MANCHA HÚMEDA	18
FIGURA 15: TEMPERATURAS MEDIAS Y PRECIPITACIONES EN CADA MES EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS.	18
FIGURA 16: MAPA DEL COMPLEJO LAGUNAR.....	19
FIGURA 17: COMPLEJO LAGUNAS DE VILLA FRANCA DE LOS CABALLEROS.....	21
FIGURA 18: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2017 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	25
FIGURA 19: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2018 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	26
FIGURA 20: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2019 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	27
FIGURA 21: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2020 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	28
FIGURA 22: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2021 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	29
FIGURA 23: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2022 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	30
FIGURA 24: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2023 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	31
FIGURA 25: COMPARATIVA DE LA ZONA DE ESTUDIO EN LAS FECHAS DE FEBRERO Y AGOSTO EN 2024 PARA LAS DIFERENTES COMPOSICIONES COLOR.	32
FIGURA 26: SCRIPT NDWI.....	34
FIGURA 27: SUPERVISIÓN TEMPORAL CON LAS IMÁGENES NDWI EN LOS MESES DE FEBRERO Y AGOSTO DURANTE LOS AÑOS 2017-2024.	35
FIGURA 28: RESULTADO DE CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN DE FEBRERO 2017.	36

ÍNDICE ECUACIONES

ECUACIÓN 1.....	8
ECUACIÓN 2.....	9
ECUACIÓN 3.....	9
ECUACIÓN 4.....	10
ECUACIÓN 5.....	10

Índice Tablas

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS BANDAS SENTINEL-2.....	12
TABLA 2: RESULTADOS DE CLASIFICACIONES OBTENIDAS	44
TABLA 3: TEMPERATURAS MÁXIMA MÁS ALTA REGISTRADA.	45
TABLA 4: LLUVIAS REGISTRADAS.	46

Índice Diagramas

DIAGRAMA 1: DIAGRAMA DE PROCESO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	23
DIAGRAMA 2: TEMPERATURA MÁS ALTA REGISTRADA EN DIFERENTES FECHAS...	33
DIAGRAMA 3: REGISTRO TEMPERATURAS MÁXIMAS EN COMPARACIÓN CON LAS PRECIPITACIONES	47
DIAGRAMA 4: REGISTRO DE CANTIDAD DE AGUA EN PÍXELES DE LAS IMÁGENES OBTENIDAS K-MEANS	47

1 Introducción

El propósito central y finalidad de este proyecto es establecer una metodología, basada en procesamiento de imágenes digitales multibanda registradas mediante Teledetección. En el procesamiento estará incluido un algoritmo de clasificación de imágenes con índices espectrales, previamente obtenidas mediante álgebra de imágenes aplicado a un estudio de seguimiento de los recursos hídricos superficiales. Las imágenes utilizadas provendrán del sensor situado en el satélite SENTINEL-2, que forma parte de una misión de observación terrestre desarrollada por la ESA (Agencia Espacial Europea) como parte del programa Copérnico, diseñado para analizar y estudiar la evolución de los bosques, los cambios en la corteza terrestre y la gestión de los desastres naturales.

Se va a analizar en concreto la zona geográfica del Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros en Toledo perteneciente a la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha. El registro temporal de las imágenes a utilizar corresponde a los diferentes meses de febrero desde 2017 hasta 2024, realizando así un estudio de una estación más húmeda como es el invierno y otro estudio con imágenes registradas en los meses de agosto desde 2017 hasta 2023, siendo una estación más seca como es el verano. Por tanto, el propósito de este trabajo es proporcionar una solución competitiva que contribuya a mejorar la productividad en proyectos de investigación y desarrollo en este ámbito de investigación, como es el seguimiento de recursos hídricos.

El estudio de las coberturas acuosas permite detectar como está afectando el cambio climático a las masas de agua. Su estudio cobra mayor importancia dado que la cantidad de agua dulce que hay en la tierra es limitada y con una demanda cada vez mayor de agua dulce, su preservación y gestión sostenible de los recursos naturales en la zona.

1.1 Objetivos del TFG

- **Objetivo 1:** Analizar aquellos índices espectrales que nos permitan obtener mejores resultados.
- **Objetivo 2:** Determinar las fuentes de información más apropiadas para llevar a cabo el proyecto, en función de la resolución de las imágenes disponibles y de los algoritmos/herramientas de la actualidad.
- **Objetivo 3:** Analizar aquellas imágenes del caso de estudio que se utilizaran para la investigación.
- **Objetivo 4:** Comparar herramientas y analizar su contribución al éxito de la investigación.
- **Objetivo 5:** Determinar aquellos algoritmos que se usaran en el desarrollo del trabajo.
- **Objetivo 6:** Establecer la metodología para una serie de casos de prueba.
- **Objetivo 7:** Evaluar y analizar resultados.
- **Objetivo 8:** Elaborar el informe final.

2 Desarrollo

2.1 Teledetección

Los avances en informática y tecnología de sensores remotos cambian la forma de recoger, procesar y usar la información geoespacial. La teledetección y la visión artificial son herramientas eficientes para procesar este tipo de información y facilitar el análisis de los datos, permitiendo el seguimiento de los cambios en la superficie terrestre [Chen 2004].

La teledetección es la técnica para detectar objetos terrestres a distancia. Para desarrollar un proceso de teledetección se necesita un sensor (b) que sea capaz de registrar radiación electromagnética (a) de la superficie de la Tierra (c), los objetivos o cubiertas terrestres y la plataforma portadora de ese sensor (Figura 1). La técnica de teledetección también incluye todo el trabajo realizado a posteriori con esas imágenes, es decir, su procesamiento e interpretación. Cuando el sensor va a bordo de un satélite se habla de teledetección espacial, si captura información desde un avión se habla de teledetección aerotransportada.

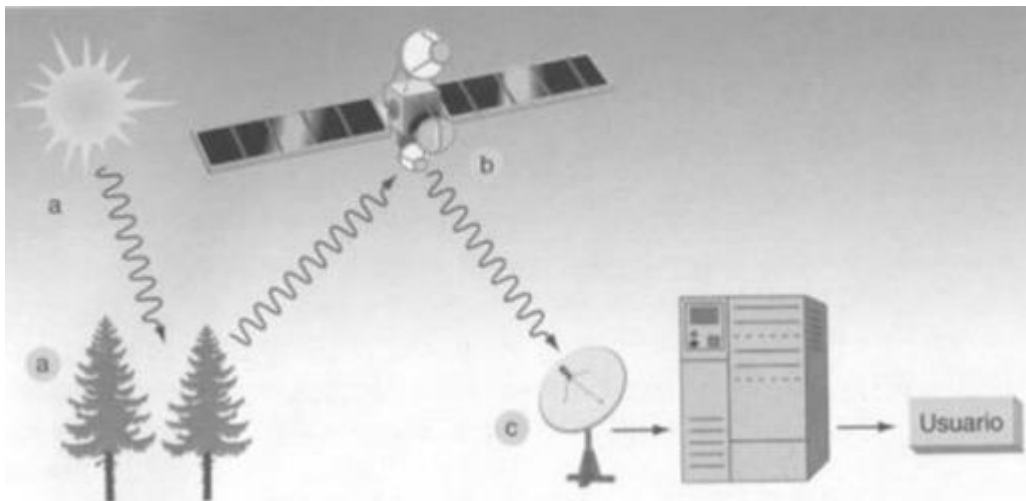


Figura 1: Elementos en un sistema de teledetección

Tomada de [1]

Existen dos tipos de sensores, sensores pasivos y sensores activos. En este estudio se utilizarán sensores pasivos, se llaman así porque no portan su propia fuente de irradiación, capturan la información procedente de la radiación solar que refleja la Tierra o que emiten los propios objetos terrestres.

Los sensores pasivos se pueden clasificar de acuerdo con la resolución espectral, según el número de bandas o canales espectrales de las imágenes adquiridas, en este trabajo se utilizan imágenes registradas por un sensor multispectral. Éstos capturan información en varias bandas, asignando una banda para cada rango del espectro electromagnético del que pueden capturar información (Figura 2).

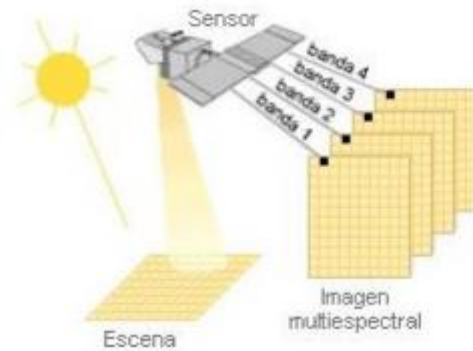


Figura 2: Formación de una imagen con sensor multispectral

Tomada de [1]

Desde el sensor se captura la energía que emite y/o refleja la Tierra procedente del Sol, que se discretiza y almacena y se transmite a una estación de recepción y procesamiento en la Tierra donde los datos se convierten en imágenes digitales. La imagen procesada se interpreta, visualmente y/o digitalmente, para extraer información acerca de los objetos que fueron iluminados. Los factores que intervienen en la formación de una imagen por teledetección, cuando se utilizan sensores pasivos son (Figura 3):

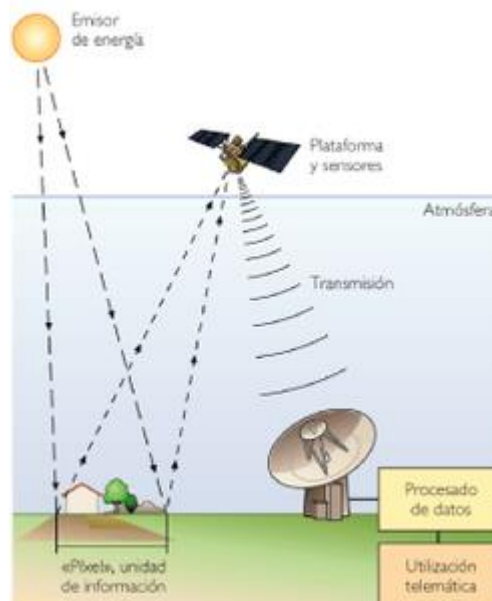


Figura 3: Componentes y proceso de un sistema de Teledetección

Tomada de [2]

Los componentes son los siguientes:

- Emisor de energía: en el caso de los sensores pasivos es el Sol.
- Sensor que registra la energía del Sol reflejada por la superficie de la Tierra.
- Antena en Tierra para recepción de la información capturada por los sensores.
- Software adecuado para el procesamiento y análisis de la información.

- Usuarios de los distintos productos obtenidos de los procesos anteriores.

2.2 Imágenes multibanda y combinación entre bandas

Las imágenes multibanda, también conocidas como imágenes de bandas múltiples o imágenes multiespectrales, son imágenes digitales que contienen información espectral, lo que permite detectar y medir diferentes propiedades y características de los objetos y superficies que se encuentran en la imagen.

Estas imágenes se utilizan en diversas áreas como la agricultura, la geología, la meteorología, la cartografía, la monitorización ambiental, entre otras. Por ejemplo, en la agricultura se pueden utilizar imágenes multibanda para monitorear la salud de los cultivos y detectar enfermedades, plagas o deficiencias nutricionales.

Las imágenes multibanda se componen de varias bandas o canales, cada una de las cuales corresponde a un intervalo de longitudes de onda específicas. Por ejemplo, una imagen multibanda puede tener bandas para los intervalos del espectro electromagnético: visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio, infrarrojo térmico, etc.

La información de cada banda se utiliza para crear diferentes mapas temáticos que pueden representar las características de la superficie de la imagen, así como la temperatura, la humedad, la vegetación, la composición química, entre otras.

La combinación entre bandas es una técnica común en el procesamiento de imágenes, especialmente en Teledetección y Fotogrametría. La combinación color se refiere a la superposición de dos o más bandas de una imagen para producir una nueva imagen que muestre información de ambas bandas combinadas.

Por ejemplo, con las siguientes imágenes (Figuras 4 y 5), se puede comprobar como las diferentes combinaciones entre bandas permiten a los investigadores diferenciar minerales y rocas que parecen similares. Los afloramientos rocosos cerca de Khirbat en-Nahas que son uniformemente oscuros en color natural (Figura 4) son variados en falso color (Figura 5), lo que indica diferentes tipos de rocas.



Figura 4: Imágenes Multibanda en color natural

Tomada de [3]



Figura 5: Imágenes Multibanda en falso color

Tomada de [3]

2.3 Composiciones color

2.3.1 Color Natural – RGB

Para la combinación RGB “color natural” se involucra a las tres bandas visibles (Rojo, Verde y Azul del espectro visible) y se le asigna a cada una de ellas el canal de visualización correspondiente a su color, resultando una combinación que se aproxima a los colores naturales de la escena. La visualización RGB color verdadero (o natural) se realiza con la siguiente combinación de bandas: B4, B3 y B2 en el caso de las imágenes SENTINEL-2. En la siguiente figura (Figura 6) se puede observar este tipo de composición color generada con imágenes objeto de este estudio.



Figura 6: Ejemplo de imagen SENTINEL-2 visualización color verdadero de las Lagunas de Villafranca de los Caballeros en Agosto 2017.

2.3.2 Falso color - NIRRG

La realización de la composición RGB en falso color es una combinación de bandas que no da como resultado colores próximos a la realidad, pero que, sin embargo, se suele utilizar para resaltar las diferencias entre las diferentes coberturas terrestres. Por ejemplo, cuando se introduce la banda del NIR (Near Infrared, Infrarrojo cercano del espectro electromagnético) por el canal del Rojo, la banda Roja (del Visible) por el canal del Verde y la banda Verde (del Visible) por el canal del Azul, se obtiene una coloración con buena sensibilidad a la vegetación verde (la cual aparecerá representada en una tonalidad roja), debido a la alta reflectividad en el infrarrojo y la baja en el Visible, y representa de forma clara caminos y masas de agua. Además, muestra bosques coníferos con un rojo más oscuro, mientras que los bosques caducifolios lo hacen con un rojo más claro.

La composición RGB falso color se realiza con la siguiente combinación de bandas para la composición NIRRG: B8, B4 y B3 en el caso de las imágenes SENTINEL-2. Esta composición permitirá ver la vegetación en color rojo (Figura 7).



Figura 7: Ejemplo de coloración NIRRG de una imagen SENTINEL-2 de las Lagunas de Villafranca de los Caballeros en Agosto 2017

2.4 Índices espectrales

Para la detección de distintas coberturas terrestres se combinan las bandas (mediante operaciones algebraicas) para formar imágenes índices espectrales que destaquen la cobertura terrestre a estudiar. Existen una gran variedad de índices espectrales de gran aplicación en diferentes ámbitos siendo los más destacados el agrícola, hidrológico y forestal. De entre todos ellos, tres de los más conocidos son: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada) que es uno de los índices más utilizados en el ámbito de la agricultura, NBR (Normalized Burn Ratio, Índice Normalizado de Quemado) con el que se puede cuantificar y analizar la severidad de los incendios y el NDWI (Normalized Difference Water Index, Índice de Agua de la Diferencia Normalizada) que se utiliza para diferenciar zonas con

agua y zonas de tierra seca, con lo cual es uno de los más adecuados para el mapeo de cuerpos de agua.

La detección de agua es útil para muchas aplicaciones, como la monitorización de la sequía, la gestión de recursos hídricos, la detección de inundaciones y la evaluación del impacto del cambio climático. Este índice se utiliza para la detección de coberturas acuosas en este trabajo. Los cuerpos de agua tienen una respuesta espectral o radiancia baja y una fuerte absorción en el rango de longitudes de onda del infrarrojo del espectro electromagnético. El NDWI utiliza las bandas del infrarrojo cercano y del verde de imágenes de teledetección, para detectar la presencia de agua. Este índice fue expresado (ecuación 1) por Stuart K. MacFeeters [McFeeters 1996].

$$\text{NDWI} = (B3 - B8) / (B3 + B8) \quad \text{Ecuación 1}$$

Para el caso de SENTINEL-2 la B8 representada en la ecuación 1 corresponde a la banda NIR, correspondiente a la banda 8 del sensor de dicho satélite. Y el otro componente de la ecuación (B3) es la banda del Verde, correspondiente a la banda 3 de dicho sensor.

2.5 Reducción del espacio espectral

El espacio espectral de las imágenes originales registradas mediante teledetección tiene la dimensión indicada por la resolución espectral de la imagen multibanda. La reducción de la dimensionalidad de los datos se hace necesaria para permitir la aplicación eficiente de algoritmos de procesado de imagen. En este trabajo se utilizan imágenes SENTINEL-2 que presentan una resolución espectral de 13 bandas, de las cuales 6 bandas son las seleccionadas para realizar una reducción optimizada del espacio espectral a 3 bandas, mediante el cálculo de dos factores: OIF (Optimum Index Factor) y MOIF (Modified Optimum Index Factor).

2.5.1 Aplicación del OIF (Optimum Index Factor)

El OIF [Chavez 1982] es un valor estadístico que puede ser usado para seleccionar la combinación a color óptima de tres bandas de una imagen multiespectral. El cálculo de OIF se realiza sobre todas las posibles combinaciones de bandas de la imagen tomadas de tres en tres. Para saber cuántas posibles combinaciones de bandas son posibles, se utiliza la ecuación siguiente (ecuación 2):

$$\binom{N}{3} = \frac{N!}{3!(N-3)!} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo N el número total de bandas de la imagen multiespectral de partida.

El OIF se basa en la selección de las bandas de todas las combinaciones que conserven la mayor información espectral (mayores covarianzas

entre bandas) y la menor duplicidad de información (menores correlaciones entre bandas), matemáticamente se expresa según la siguiente ecuación (ecuación 3):

$$OIF = Max \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sigma(i)}{\sum_{j=1}^n |r(j)|} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

$\sigma(i)$ la desviación estándar de la banda k y
 $r(j)$ el valor de coeficiente de correlación

2.5.2 MOIF (Modified Optimum Index Factor)

El MOIF [Figliomeni 2023] es un índice de mejora que se utiliza para identificar las bandas que no solo están correlacionadas, sino que también tienen un amplio intervalo de valores de respuesta espectral. La desviación estándar puede no ser suficiente para cualificar una imagen para diferenciar clases de cobertura terrestre e identificar la cantidad de información. Así si se considera el rango más amplio de valores (Max-Min) de valores digitales (niveles de gris) existentes en una imagen, puede mejorar dicha identificación. Se propone introducir un factor correctivo al OIF proporcionado por la siguiente ecuación (ecuación 4):

$$CF_{ijq} = Mean(Max_i - Min_i; Max_j - Min_j; Max_q - Min_q) \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo i, j, k las tres bandas consideradas, *Mean* la media, *Max* el valor máximo y *Min* el valor mínimo para cada banda. El factor de corrección (CF) se aplica al OIF calculado (ecuación 5) obteniendo el MOIF.

$$MOIF = CF_{ijq} \times OIF_{ijq} \quad \text{Ecuación 5}$$

El resultado del cálculo justifica que combinación de tres bandas es la más adecuada para aplicar procedimientos de reconocimiento de diferentes clases en una imagen y otros procesos aplicados sobre imágenes digitales.

2.6 Clasificación temática – No supervisada

La clasificación de imágenes está constituida por una secuencia de pasos en la que se busca extraer información temática de una imagen raster y el resultado sirve para crear mapas temáticos [Duda 2002].

Existen dos tipos de clasificación: la supervisada en la cual se utilizan muestras de entrenamiento que definen el número de clases a identificar, y la clasificación no supervisada en la que se obtienen clases espectrales

donde el algoritmo utiliza sus propias estrategias para encontrar y presentar la estructura de los datos.

La clasificación no supervisada (CNS) que frecuentemente está basada en un algoritmo de “clustering”, utiliza las propiedades y la distribución estadística de los píxeles en un espacio característico de bandas espectrales para hacer una diferenciación espectral entre grupos relativamente similares.

La CNS persigue de una manera eficaz, para las imágenes tomadas por sensores remotos en un espacio con características espectrales, la extracción de información útil sobre las coberturas terrestres. Este tipo de clasificación utiliza clústeres o grupos de los píxeles que tienen valores espectrales (radiométricos) similares. A diferencia de la clasificación supervisada, la CNS no necesita que el usuario aporte datos de entrenamiento. La clasificación no supervisada requiere únicamente en algunos casos, definir el número de grupos (cluster) y las bandas de la imagen que se van a utilizar. Finalmente, para obtener un mapa temático deberá realizarse una supervisión posterior, para continuar la asignación de clases espectrales obtenidas por el algoritmo, a clases temáticas con significado real.

2.6.1 Algoritmo K-MEANS

El algoritmo K-MEANS es un método de aprendizaje automático no supervisado utilizado para la agrupación de datos en clusters **[Ahmed 2020]**.

El algoritmo K-medias o medias migradas comienza seleccionando aleatoriamente un número de semillas que inicia el algoritmo y debe finalizar en un número de centroides igual al número de clústeres deseado.

La idea que subyace detrás del algoritmo K-MEANS es fijar el número de clases K y mejorar secuencialmente la agrupación de píxeles en ellas, asignando cada píxel a la clase con la media más cercana, para volver a calcular la media después del píxel asignación. Las etapas que trascurren en el algoritmo se resumen a continuación:

Paso 1.- Selección de las posiciones de K píxeles como posiciones iniciales (semillas) de las medias m_i , $i = 1, 2, \dots, K$. Hay que tener en cuenta que estas primeras semillas son píxeles existentes en la imagen.

Paso 2.- Asignación de cada píxel al clúster cuya media este más cercana (mínima distancia) y cálculo de las nuevas medias para cada clúster. Estas nuevas medias o centroides pueden ser píxeles inexistentes en las imágenes.

Paso 3 y siguientes. - De nuevo se produce una reasignación de cada píxel al clúster cuya media este más cercana (mínima distancia) y de nuevo cálculo de las nuevas medias para cada clúster.

Este proceso de asignación y recálculo se repite hasta que los centroides ya no cambian de posición (migración) espectral significativamente. El resultado final del algoritmo K-MEANS es una partición de los datos en K grupos (donde K es el número de clústeres deseado), donde cada grupo está representado por su centroide final. Por lo tanto, los datos que son similares entre sí espectralmente se agrupan en el mismo clúster, mientras que los datos que son diferentes se separan en diferentes

clústeres. Este algoritmo resuelve un problema de optimización, siendo la función para optimizar (minimizar) la suma de las distancias cuadráticas de cada píxel al centroide de su cluster.

Es importante tener en cuenta que el resultado del algoritmo K-MEANS puede variar según la selección del procedimiento llevado a cabo inicialmente para la selección de los centroides. Aunque hay diferentes procedimientos, uno de los métodos más frecuentes para inicializar el proceso, consiste en generar una partición aleatoria del conjunto de datos y calcular sus centroides. Su ventaja es que evita coger puntos no representativos de la muestra (outliers), pero puede provocar una aglomeración de centroides en la zona central del conjunto de datos.

Además, según la configuración de los parámetros establecidos en el software de procesado, para la actuación del algoritmo, el procedimiento debe ejecutarse varias veces para garantizar que se obtenga un resultado óptimo.

2.7 Satélites

2.7.1 SENTINEL-2A

Los SENTINEL (Figura 8) son una flota de satélites diseñada específicamente para proporcionar los abundantes datos e imágenes de que se nutre el programa Copernicus, de la Comisión Europea. En el caso de SENTINEL-2, son dos satélites gemelos:

- SENTINEL-2A que fue lanzado el 23 de junio de 2015.
- SENTINEL-2B, que fue lanzado el 7 de marzo de 2017.

Este programa se consideró único de vigilancia medioambiental porque cambia drásticamente la forma en que se gestionaba nuestro entorno, se entiende y se abordan los efectos del cambio climático y se protege nuestra vida cotidiana.

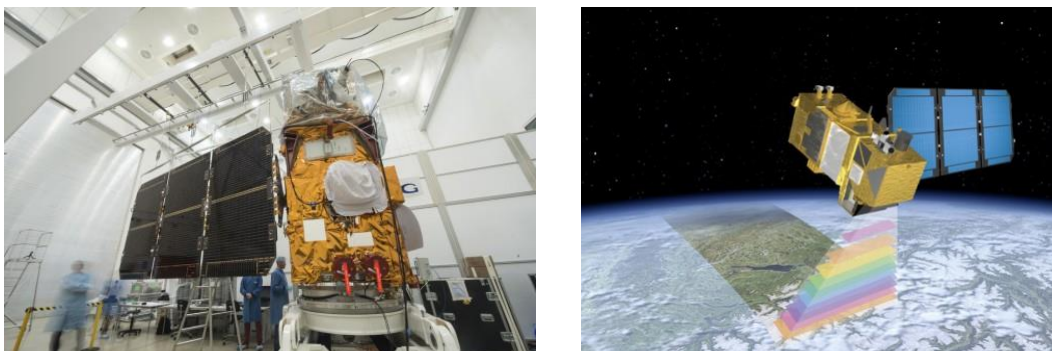


Figura 8: Imágenes del satélite SENTINEL-2 real y simulación del registro de este satélite, respectivamente

Tomada de [16 y 17]

Estos satélites llevan una cámara multispectral de alta resolución, con 13 bandas espectrales (Tabla 1) que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación. Estos dos satélites gemelos (Figura 9) situados en la misma órbita y separados por 180 grados están

desarrollados para observar la vegetación, la cobertura del suelo y monitorear el medio ambiente, con un campo de visión (IFOV) de 290 km de anchura.

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de las bandas del satélite, con las longitudes de onda y resolución espacial de cada banda.

Tabla 1: Características de las bandas SENTINEL-2

Bandas	Longitud de onda/μm	Resolución espacial/m
Banda 1 – Aerosol Costero	0,433 – 0,453	60
Banda 2 – Azul	0,4575 – 0,5225	10
Banda 3 – Verde	0,5425 – 0,5775	10
Banda 4 – Rojo	0,65 – 0,68	10
Banda 5 – Vegetación Red Edge 1 (VRE1)	0,6975 – 0,7125	20
Banda 6 – Vegetación Red Edge 2 (VRE2)	0,7325 – 0,7475	20
Banda 7 Vegetación Red Edge 3 (VRE3)	0,773 – 0,793	20
Banda 8 – Near Infrared (NIR)	0,7845 – 0,8995	10
Banda 8A – Vegetación Red Edge 4	0,855 – 0,875	20
Banda 9 – Vapor de agua	0,935 – 0,955	60
Banda 10 – Shortwave Infrared 1 (SWIR 1)	1,36 – 1,39	60
Banda 11 – Shortwave Infrared 2 (SWIR 2)	1,565 – 1,655	20
Banda 12 – Shortwave Infrared 3 (SWIR 3)	2,1 – 2,28	20

Tomada de [17]

SENTINEL 2 es el resultado de una colaboración estrecha entre la ESA (European Space Agency), la Comisión Europea, la Industria, los proveedores de servicios y los usuarios de datos.

2.8 Herramientas utilizadas

2.8.1 Image J

Image J es un software de dominio público programado en Java que sirve para el procesamiento digital de imágenes desarrollado en el National Institute of Health (NIH) que es una agencia de investigación médica ubicada en Estados Unidos. ImageJ estaba orientado a las Ciencias de la Salud originalmente, dado que médicos, bioquímicos, farmacéuticos intervinieron en su diseño, pero también puede extenderse por tanto, puede llegar a ser aplicable a casi cualquier ámbito de análisis y tratamiento digital de imagen, gracias al desarrollo de los plugins por parte de la comunidad desarrolladora e investigadora que utiliza esta herramienta.

Image J puede mostrar, editar (cambiar el tipo de imágenes, modificar sus dimensiones), analizar, procesar (dado que posee una gran multitud de filtros espaciales), guardar, e imprimir imágenes de 8 bits, 16 bits y 32 bits. Puede leer varios formatos de imagen incluyendo TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FTS, así como formatos RAW. Dicho software puede calcular el área definida por el usuario y la intensidad de objetos, puede medir distancias y ángulos. También se pueden crear histogramas de densidad y gráficos de línea de perfil. Dicho programa es compatible con cualquier número de imágenes simultáneas.

En la Figura 9 se muestra la visualización color de una imagen utilizada en este TFG en el entorno de ImageJ.

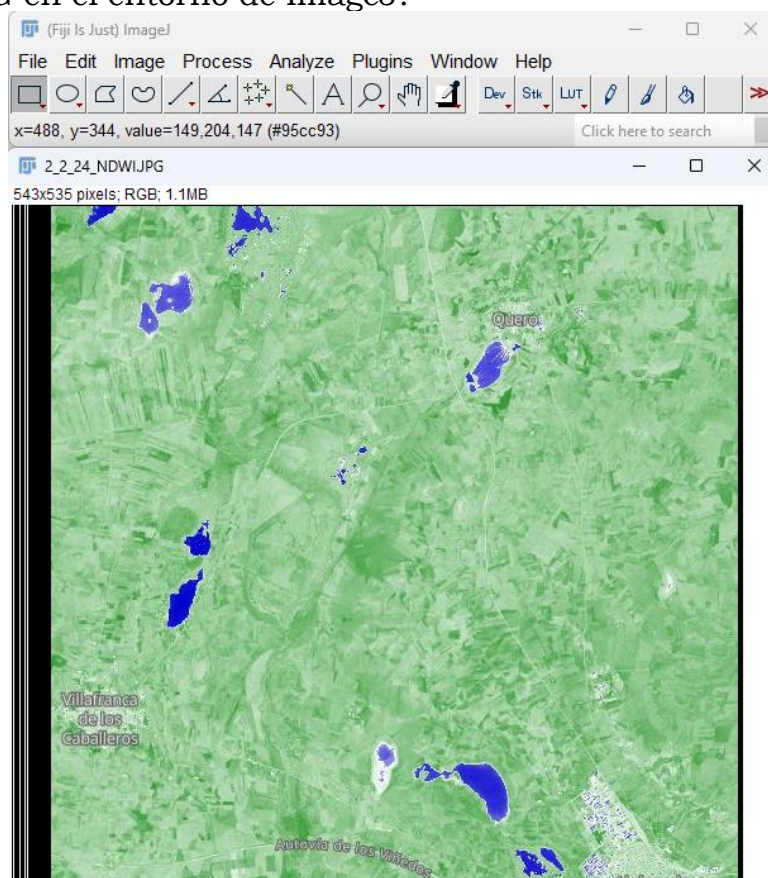


Figura 9: Interfaz del software Image J para un ejemplo dado

2.8.2 Sentinel Hub EO Browser

EO Browser es un sitio web diseñado por Sinergise que posibilita la exploración del extenso catálogo de imágenes capturadas por los satélites SENTINEL-1, SENTINEL-2, SENTINEL-3 y SENTINEL-5P. Además, ofrece acceso a catálogos de imágenes provenientes de otros programas espaciales como: Landsat, MODIS, Proba-V y GIBS.

Posibilita el acceso y la visualización eficientes, de la totalidad del repositorio de imágenes Copernicus de manera ágil y fácil de entender. Asimismo, simplifica significativamente la aplicación de índices espectrales y la creación de diversas composiciones color.

El panel lateral izquierdo de EO Browser, bajo el menú "Descubrir", ofrece las herramientas que se necesitan para localizar imágenes de los satélites disponibles. (Figura 10).

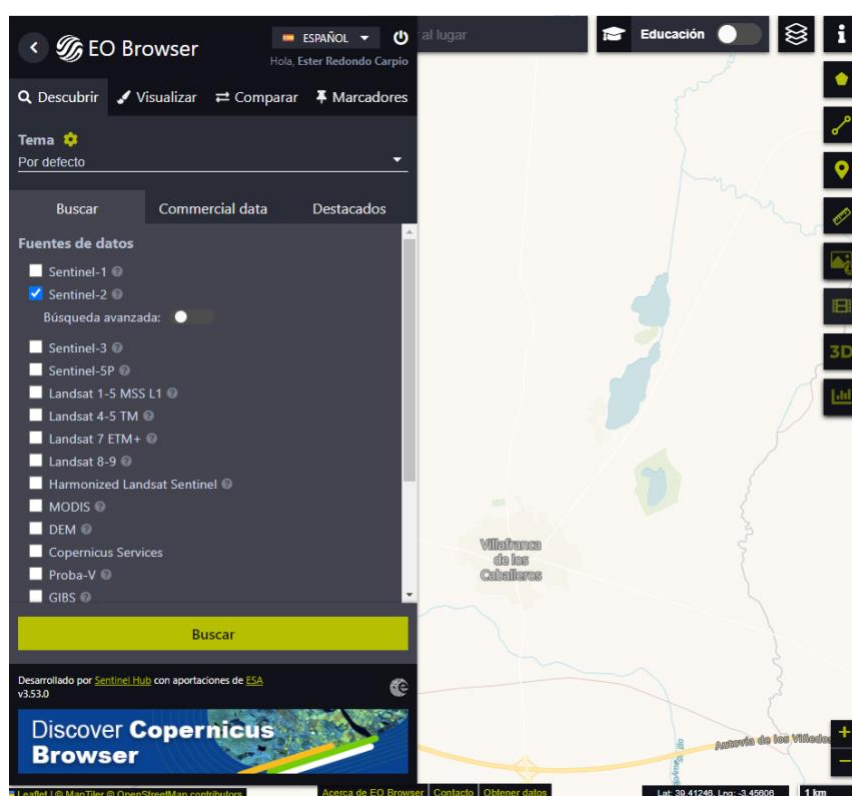


Figura 10: Interfaz de la aplicación web EO Browser para un ejemplo dado

Se pueden seleccionar diferentes tipos de búsqueda en esta interfaz, ya sea por área, por satélite o por tema, en el caso de esta investigación se utilizan los datos del satélite SENTINEL-2 y en el área de la zona geográfica del Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros en Toledo perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, lo que se muestra en la imagen de la Figura 10.

Los sensores en los satélites capturan imágenes en diversos intervalos de longitudes de onda del espectro electromagnético. En el contexto específico del SENTINEL-2, las imágenes se obtienen en los intervalos electromagnéticos del azul, verde y rojo del Visible, infrarrojo cercano

(NIR) y región de onda corta del infrarrojo (SWIR). Al trabajar con estas bandas, mediante la utilización de combinaciones color RGB asignadas a los diferentes canales, se pueden extraer datos sumamente significativos, como es el caso de este estudio.

En este contexto, la herramienta EO Browser Hub proporciona diversas combinaciones e índices predefinidos implementados mediante script que pueden ser aplicados de manera sencilla sobre la imagen elegida (Figura 11).

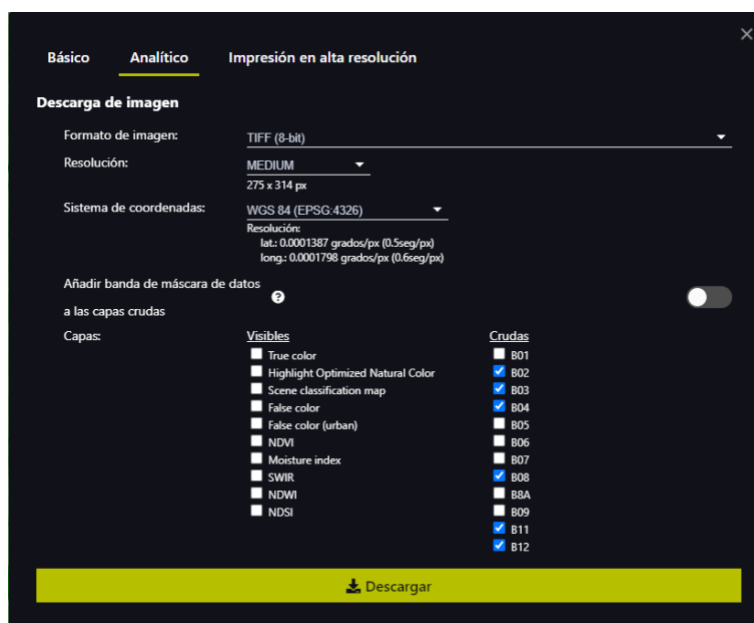


Figura 11: Apartado para la descarga de imágenes desde EO Browser

2.8.3 SNAP

SNAP, acrónimo de SeNTinel Application Platform, es un programa gratuito desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) para el procesamiento y análisis de imágenes SENTINEL. Se trata de una completa plataforma que, al igual que las conocidas Sextante y ArcToolbox de gvSIG y ArcGIS, ofrece un conjunto de herramientas específicas para trabajar con cada tipo de imagen.

Con SENTINEL-2, SNAP facilita entre otros procedimientos, la clasificación de coberturas terrestres, el análisis de la vegetación y otras coberturas particularmente, además de la monitorización de los cambios ambientales. No solo ofrece una amplia gama de herramientas, sino que también cuenta con otras funcionalidades que la convierten en una plataforma completa.

En la siguiente imagen (Figura 12) se presenta la pantalla de inicio de SNAP cuándo se realiza la edición de una imagen, donde se muestra el área geográfica de estudio en esta investigación.

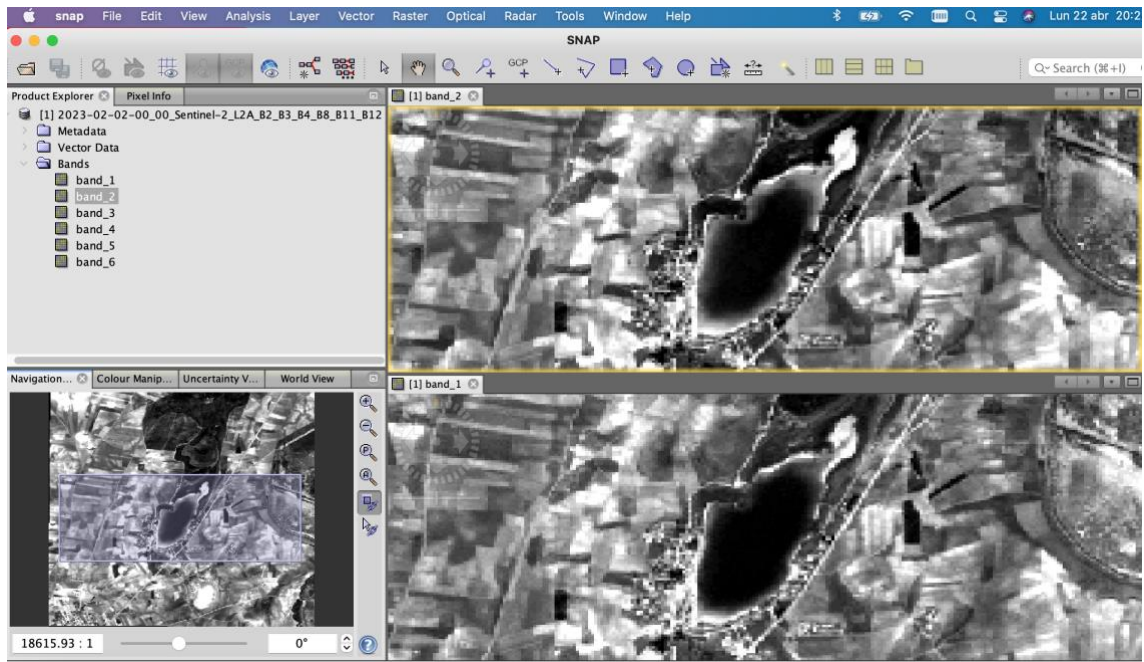


Figura 12: Interfaz de la aplicación SNAP para un ejemplo dado

3 Zona de Estudio

3.1 Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo)

La zona geográfica de estudio se sitúa en el Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo) (Figura 13)

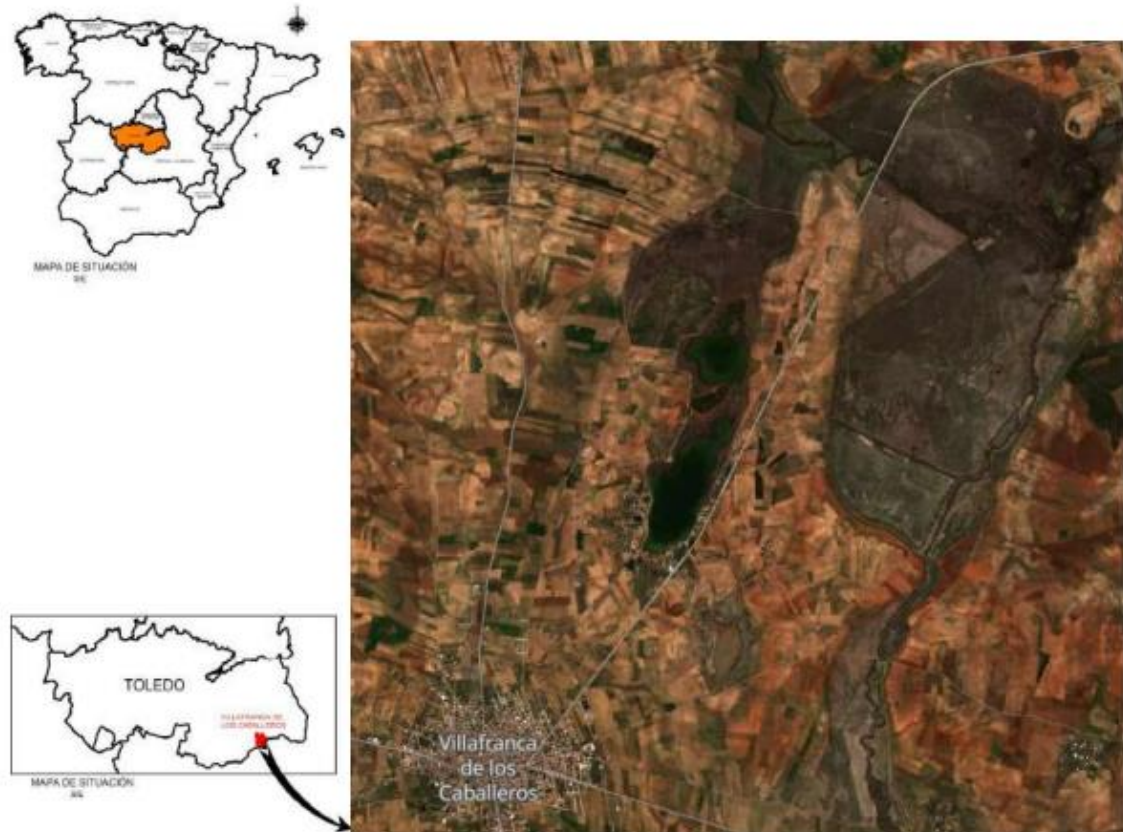


Figura 13: Imagen SENTINEL2 (visualización color RGB 432) que contiene la zona de estudio

El 17 de febrero de 1981, por decisión de la Mesa Directiva del Consejo Internacional de Coordinación del Programa sobre el Hombre y la Biosfera, el Director General de la UNESCO, extiende el certificado por el que la Mancha Húmeda, comenzaba a formar parte integrante de la Red Internacional de Reservas de la Biosfera. En sus inicios, la Mancha Húmeda, contaba con una superficie de 25.000 ha (se puede apreciar en la imagen Figura 14), en la que había una zona fundamental de 6.000 ha, con una gran variación de esta extensión en función de las condiciones climáticas estacionales. Básicamente, constaba de encharcados, irregularmente repartidos por las provincias de Ciudad Real, Toledo, Cuenca y Albacete, donde los principales ríos que surcan la región (Guadiana, Cigüela, Riánsares, Záncara y Córcoles) y se caracterizan por un régimen hídrico extremadamente irregular. Por lo tanto, no existe una delimitación precisa para ese conjunto de humedales.

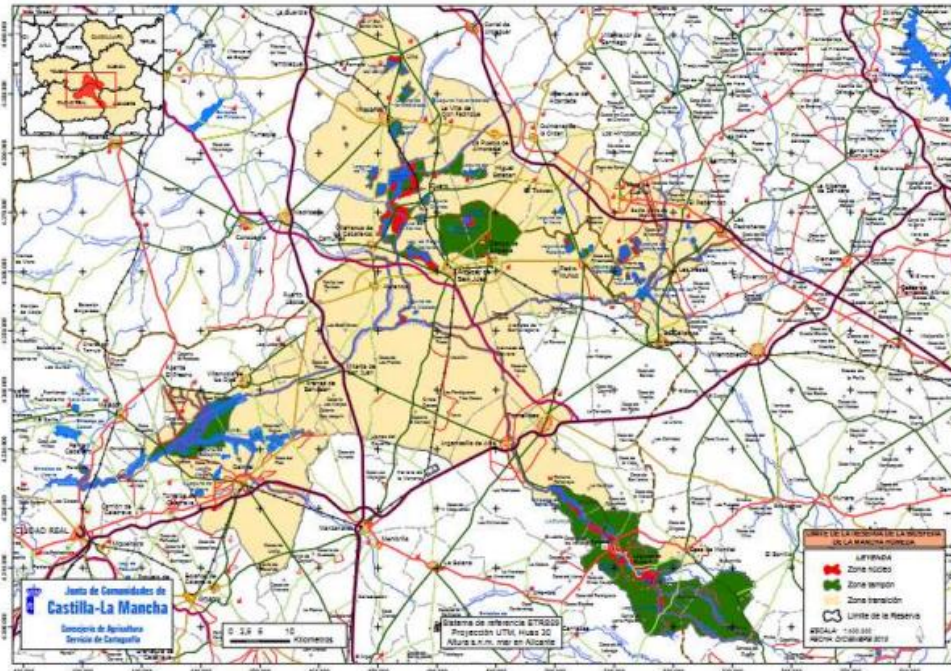


Figura 14: Extensión geográfica de la Mancha Húmeda

El territorio de la Reserva es un paisaje prácticamente plano, con ligeras ondulaciones y con predominio de cultivos agrícolas. Está formado por depósitos terciarios horizontales, en el que los desbordamientos de los principales ríos forman las características “tablas” y encharcamientos, que junto a lagunas endorreicas y a las surgencias del acuífero constituyen el fundamento de esta extensión húmeda. La altitud media de los humedales oscila entre los 600 y 700 m. sobre el nivel del mar y salvo contadas excepciones, la pendiente es imperceptible a simple vista. La climatología, con claro acento continental y mediterráneo, se caracteriza por una precipitación media próxima a los 400mm anuales, con temperaturas registradas que varían desde los -15°C a los 40°C, en función de la época y la zona, como se puede observar en la siguiente imagen (Figura 15).

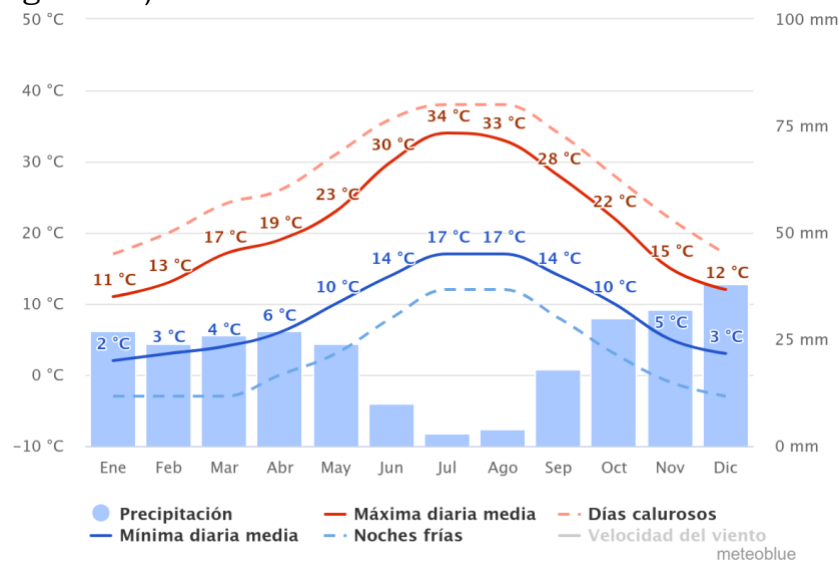


Figura 15: Temperaturas medias y precipitaciones en cada mes en los últimos 30 años.

Incluido dentro de la llamada Mancha Húmeda, el municipio de Villafranca de los Caballeros cuenta con uno de los Humedales de mayor importancia ecológica de toda la región castellano-manchega, refugio de fauna y declarado Reserva de la Biosfera. Se trata de un ecosistema formado por lagunas (Figura 16) de origen endorreico y fluvial que se abastecen con aportes de agua de escorrentía, de precipitación directa, de aportaciones del Acuífero 20 o de concesiones de aguas procedentes del río Cigüela.

La Laguna Grande es utilizada con fines recreativos, por lo que sus características naturales han sido en parte modificadas, y la riqueza natural del conjunto se centra fundamentalmente en la Laguna Chica. La Laguna Grande es una de las lagunas fluviales más grandes de La Mancha. En la Laguna Chica, cabe destacar su flora y fauna. La Laguna de la Sal se sitúa dentro de la llanura manchega, en la cuenca hidrográfica del río Guadiana (subcuenca del río Cigüela). Esta laguna salina es de carácter endorreico estepario con acusada estacionalidad y escasa profundidad, que mantiene un régimen de ciclos cortos de encharcamiento-deseccación, llegando a secarse en los meses de mayor déficit hídrico. Véase siguiente imagen para la ubicación y diferentes zonas del Complejo Lagunar (Figura 16).



Figura 16: Mapa del Complejo Lagunar.

3.1.1 Complejo Lagunar de Villafranca de los Caballeros (Toledo)

Para asegurar que el área de estudio en este trabajo fuese siempre de las mismas dimensiones, se traza y selecciona un rectángulo enmarcando dicho Complejo Lagunar en el navegador Google Earth *on line* y se descarga en formato KML (Keyhole Markup Language). KML es un formato de archivo que se utiliza para mostrar datos geográficos en navegadores, como Google Earth, Google Maps y Google Maps para móviles. KML utiliza una estructura basada en etiquetas con atributos y elementos anidados y está basado en el estándar XML. El modelo más simple de documento KML es el que se puede crear directamente en Google Earth; es decir, no es necesario editar ni crear ningún archivo KML en un editor de texto. Las marcas de posición, las superposiciones de suelo, las rutas y los polígonos se pueden crear directamente en Google Earth. Este archivo resultante se puede cargar desde las herramientas del EO Browser Hub.

El KML trazado comprende un área de 20,51 km², como se puede observar en la esquina superior derecha de la imagen mostrada (Figura 17). Las coordenadas longitud/latitud (GPS) del archivo seleccionado son:

- Esquina superior izquierda: 39.47470, -3.36164
- Esquina superior derecha: 39.47483, -3.31221
- Esquina inferior derecha: 39.43109, -3.31203
- Esquina inferior izquierda: 39.43115, -3.36199

En la imagen (Figura 17) se puede ver el área de estudio enmarcada por un rectángulo azul, donde se encuentran incluidas las tres lagunas mencionadas anteriormente.

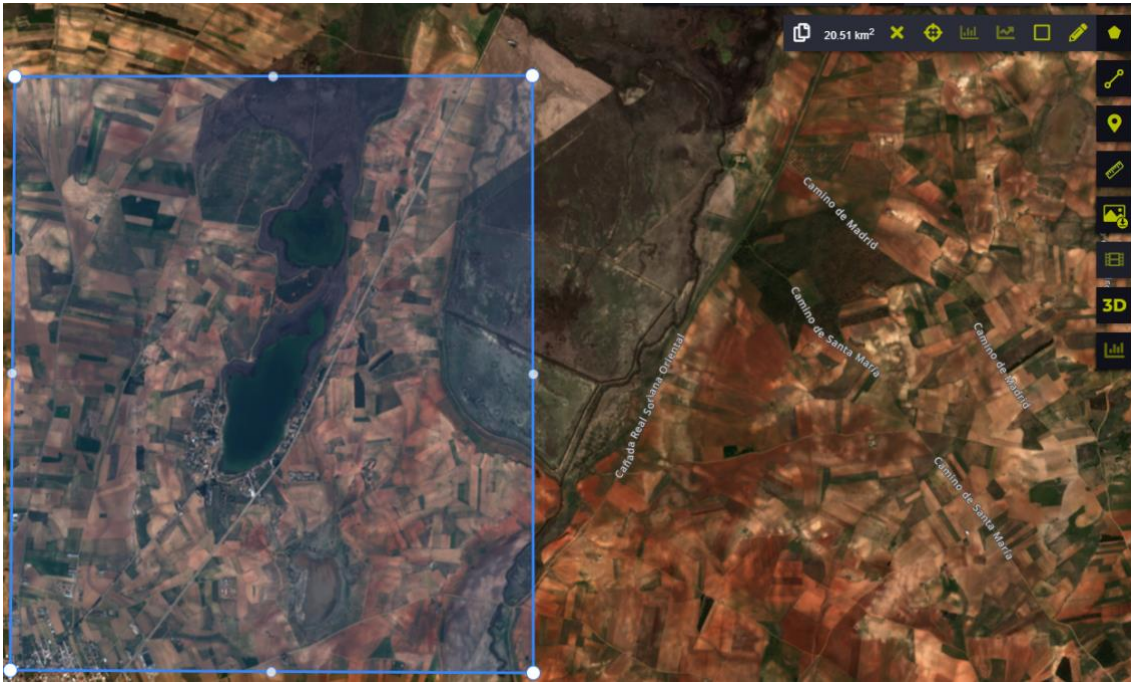


Figura 17: Complejo Lagunas de Villafranca de los Caballeros.

Imagen tomada del EO Brower Hub (carga de KML)

3.2 Diagrama de flujo

En este apartado se proporciona una especificación del diagrama de flujo de procesado que se puede observar en el final de esta sección en la ilustración 1. Este diagrama muestra el proceso seguido en la realización de este trabajo de investigación.

El proceso comienza con la obtención de imágenes en dos épocas del año (invierno y verano) durante un período de 8 años. Habitualmente, en este tipo de investigación, se comienza con la etapa previa del preprocesado. Sin embargo, en este caso no se ha realizado preprocesado de imágenes ya que se han descargado (de la plataforma de la ESA) imágenes de calidad 2A que ya están preprocesadas con la calidad suficiente que requiere este trabajo. Son imágenes corregidas atmosféricamente y que ofrecen datos de reflectancia (radiancia espectral relativa) más próximos a la realidad, lo que significa, que se pueden observar una vez realizada una composición color natural, colores más realistas.

A continuación, se lleva a cabo la composición color de las imágenes en diferentes modos de color, como color natural (color verdadero) y falso color: NIRRG y lo indicado por OIF y MOIF, para supervisar los datos capturados por el satélite SENTINEL-2. Después de este proceso, se realiza la reducción óptima del espacio multispectral de características a tres bandas, aplicando el cálculo del factor índice óptimo (OIF, Optimum Index Factor) y posteriormente el cálculo del OIF mejorado (MOIF, Modified Optimum Index Factor), realizando en ambos casos, las composiciones color de las bandas seleccionadas a partir del cálculo del

OIF y MOIF, para obtener una supervisión visual y observar las diferencias.

A continuación, en la siguiente etapa, las imágenes tanto multiespectrales originales, como las imágenes de tres bandas generadas a partir del espacio reducido, calculado en la etapa anterior, se clasifican mediante una estrategia no supervisada (CNS) utilizando el algoritmo K-MEANS, algoritmo basado en un clustering no supervisado indicado en 2.6.1.

A partir de los resultados obtenidos de las clasificaciones realizadas, se realiza una evaluación cuantitativa de la extensión de las diferentes coberturas de terreno, haciendo un estudio pormenorizado de las coberturas acuosas, lo que implica estimar la cantidad de área cubierta por agua para el Complejo Lagunar en estudio.

Finalmente, se pasa a la etapa de obtención de resultados, donde se genera un documento final para posteriormente, presentar y difundir los resultados.

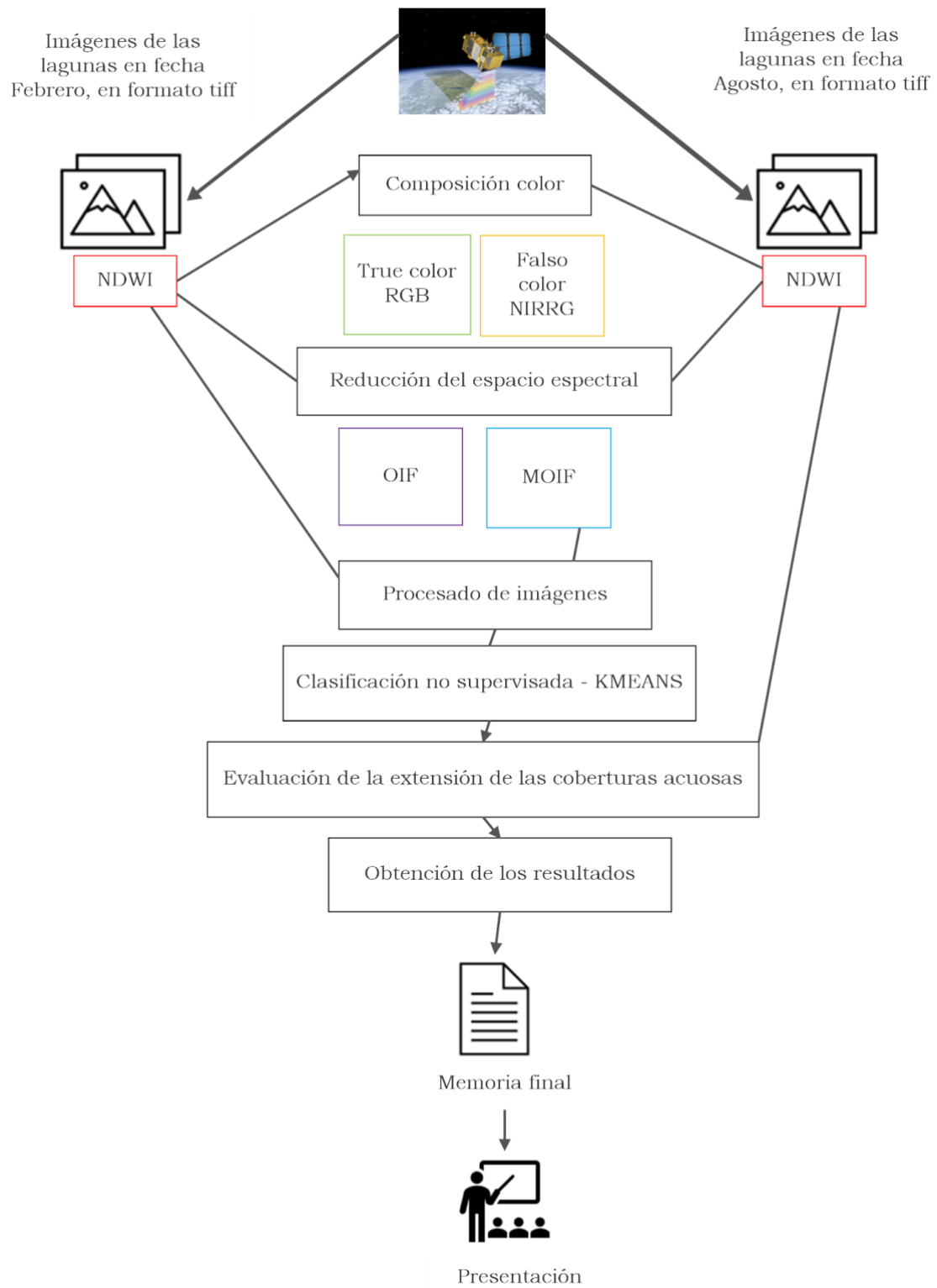


Diagrama 1: Diagrama de proceso de obtención de resultados.

4 Resultados y Conclusiones

En este capítulo, se muestran algunos de los resultados más representativos que los que se han obtenido en la realización de este trabajo de investigación, cuyas tareas fueron comentadas en la sección anterior. Y en el apartado final, se encontrará el resumen de conclusiones a las que se ha llegado de la presente investigación.

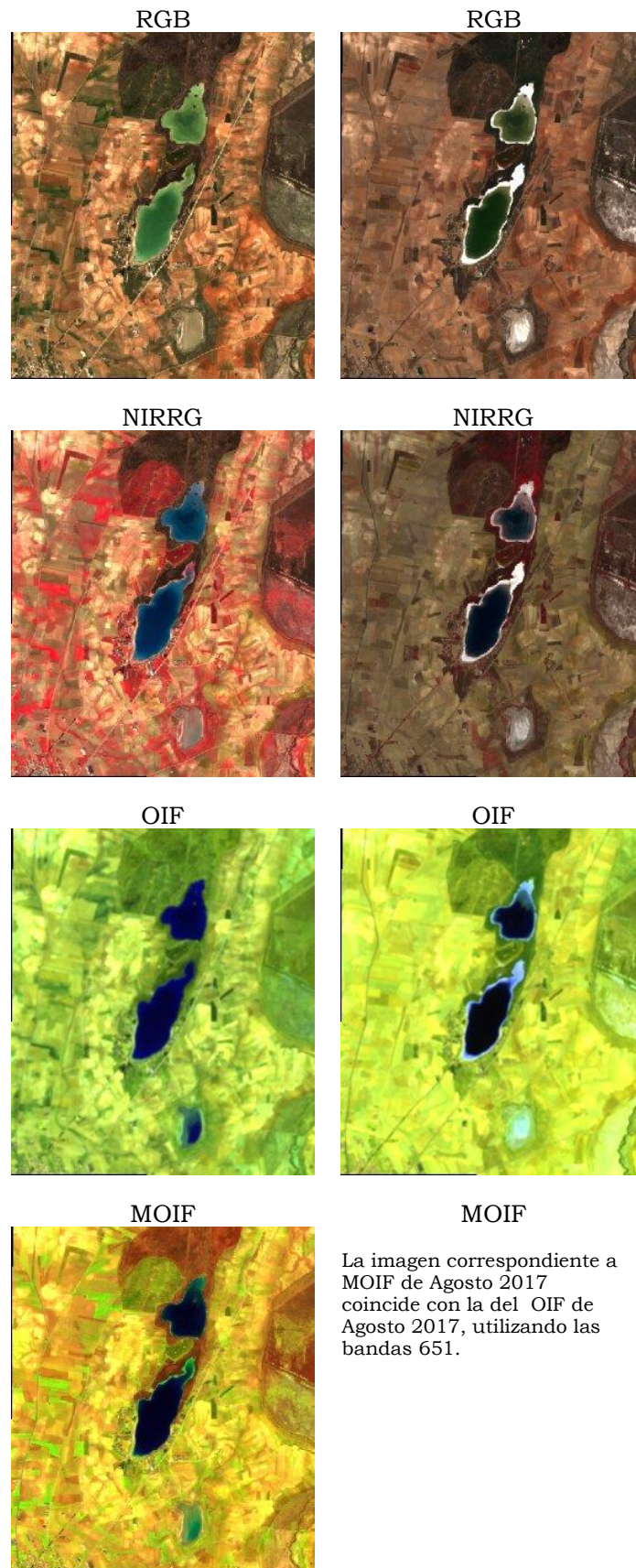
4.1 Composición color (color verdadero y falso color)

En esta sección se muestran los resultados de la aplicación de tres diferentes composiciones a color como color verdadero RGB, falso color NIRRG, y falso color con las bandas indicadas por el cálculo del OIF y MOIF, para cada una de las fechas seleccionadas de la zona del estudio.

Lo que se puede observar en las imágenes (Figuras 18-25) que se muestran a continuación, es que en las composiciones color obtenidas a partir del OIF y MOIF presentan una mejor discriminación visual de las zonas de agua, dado que se tiñen de un color azul/ciano que hace mucho más fácil su detección, de hecho, se aprecian mejor estas zonas que en la propia composición color natural.

Con NIRRG se pueden visualizar claramente también las zonas de vegetación, dado que, en este caso, se detecta la vegetación en rojo que corresponde a la zona verde de la composición color natural. Por lo tanto, hay que hacer notar que en las composiciones falso color, la cobertura de vegetación se detecta mucho mejor que en la composición natural. Esto es debido a que el ojo humano en la mayoría de los casos es mucho más sensible a los colores rojos.

Lo que, si hay que hacer notar, es que en todas las composiciones color, la zona seca (suelo desnudo) presenta colores más claros y en algunos casos prácticamente blancos para el caso de las lagunas salinas más secas.



La imagen correspondiente a MOIF de Agosto 2017 coincide con la del OIF de Agosto 2017, utilizando las bandas 651.

Figura 18: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2017 para las diferentes composiciones color.

8 de Febrero de 2018

2 de Agosto de 2018

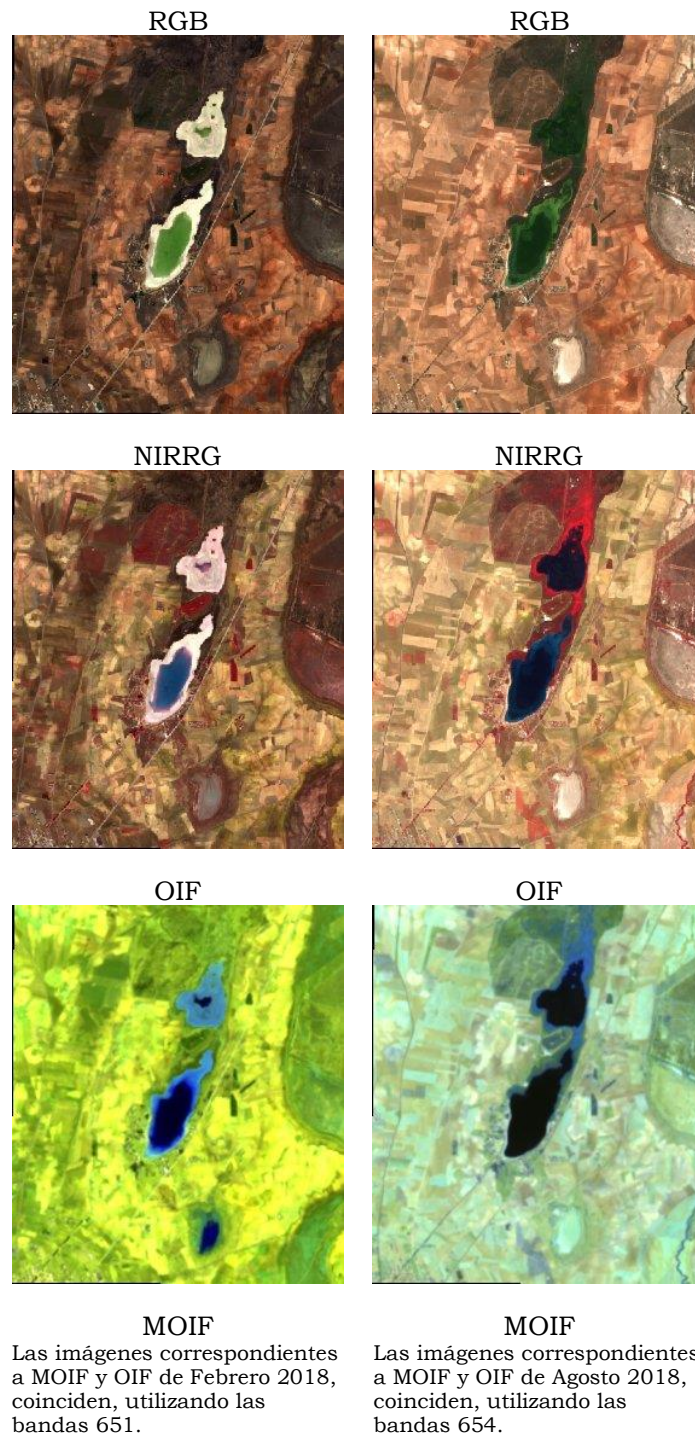
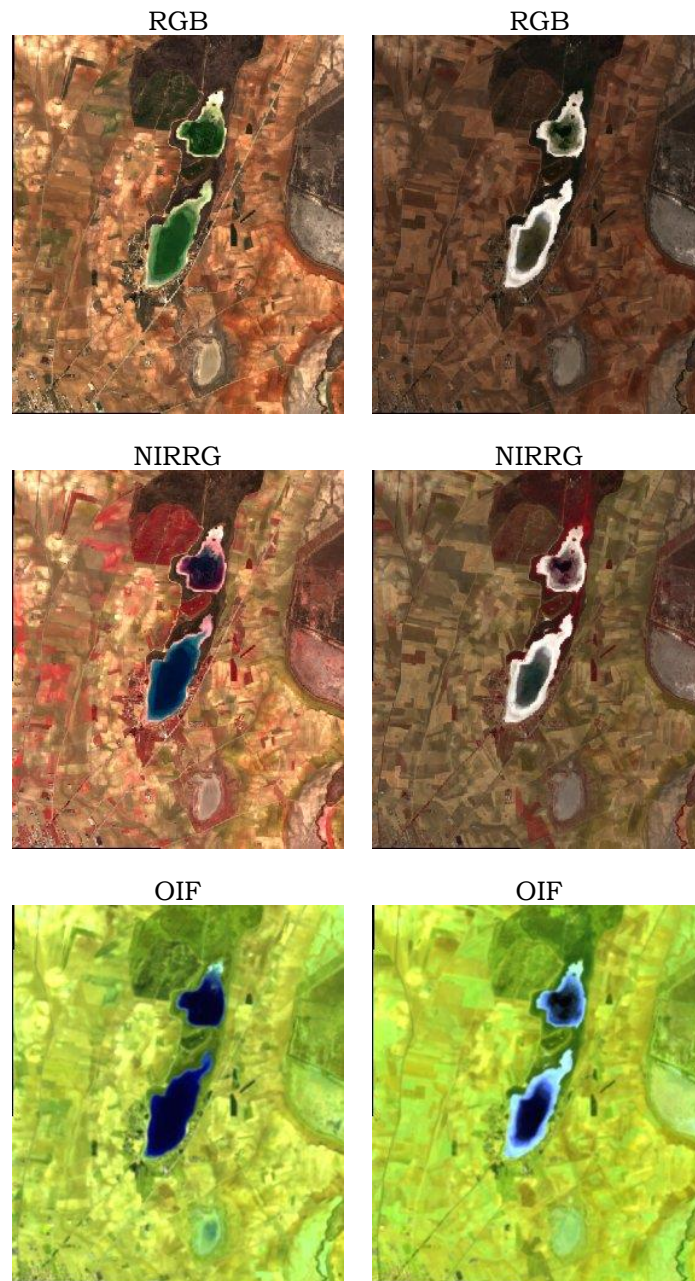


Figura 19: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2018 para las diferentes composiciones color.

3 de Febrero de 2019

2 de Agosto de 2019



MOIF
 Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Febrero 2019, coinciden, utilizando las bandas 652.

MOIF
 Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Agosto 2019, coinciden, utilizando las bandas 651.

Figura 20: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2019 para las diferentes composiciones color.

23 de Febrero de 2020
 RGB

1 de Agosto de 2020
 RGB



NIRRG



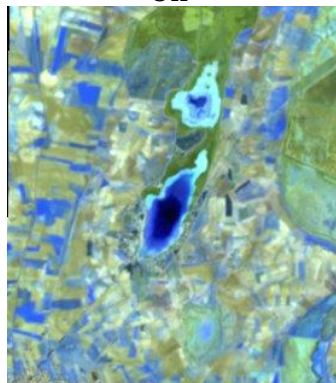
NIRRG



OIF



OIF



MOIF

Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Febrero 2020, coinciden, utilizando las bandas 654.



MOIF

Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Agosto 2020, coinciden, utilizando las bandas 651.

Figura 21: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2020 para las diferentes composiciones color.

2 de Febrero de 2021
RGB



1 de Agosto de 2021
RGB



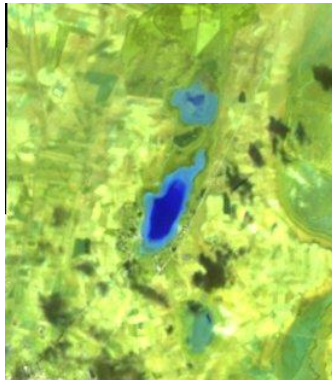
NIRRG



NIRRG



OIF



OIF



MOIF

Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Febrero 2021, coinciden, utilizando las bandas 652.

MOIF

Las imágenes correspondientes a MOIF y OIF de Agosto 2021, coinciden, utilizando las bandas 654.

Figura 22: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2021 para las diferentes composiciones color.

2 de Febrero de 2022

6 de Agosto de 2022

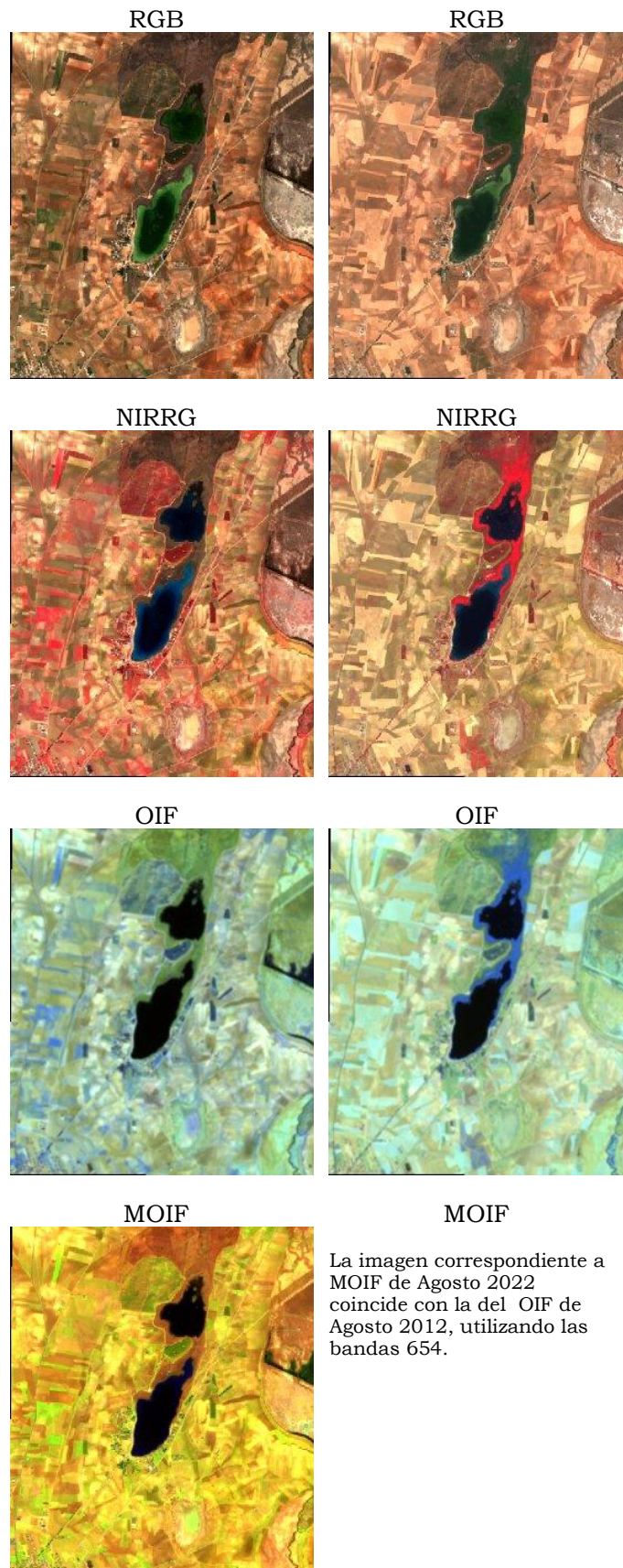


Figura 23: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2022 para las diferentes composiciones color.

2 de Febrero de 2023
RGB

1 de Agosto de 2023
RGB

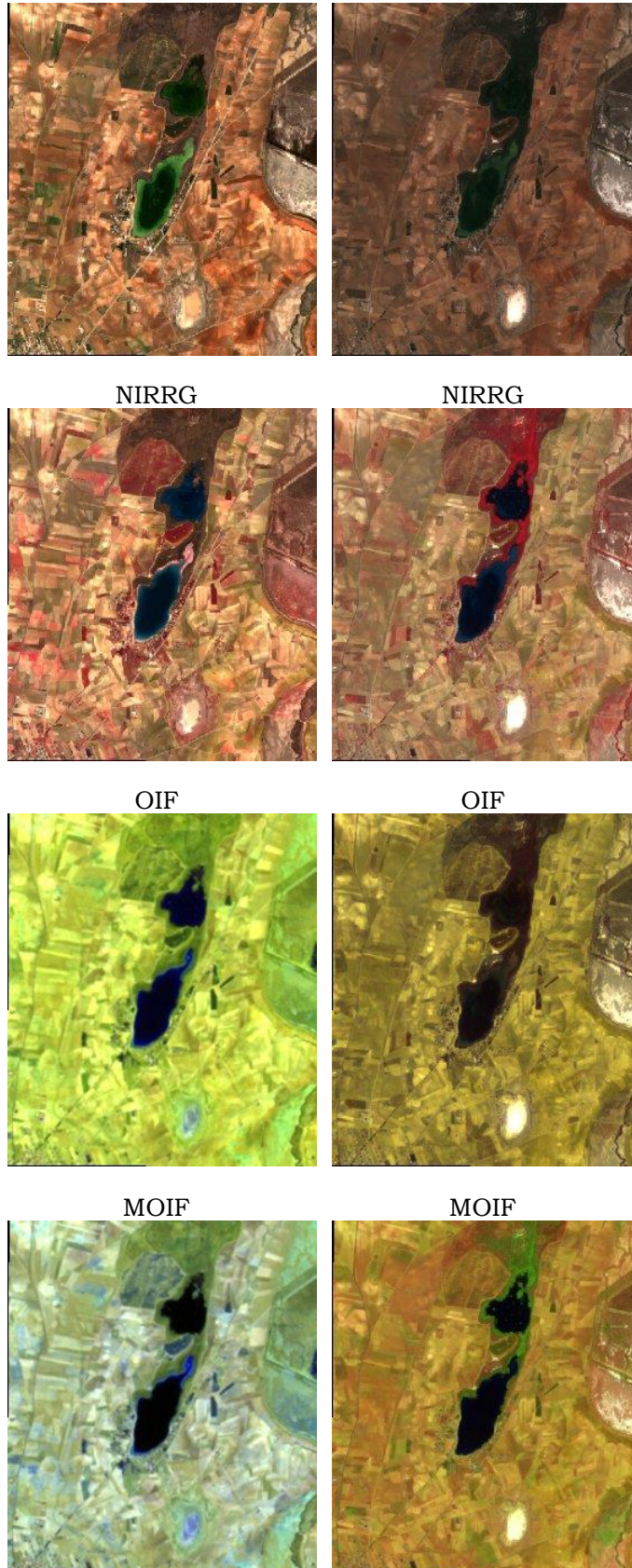


Figura 24: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2023 para las diferentes composiciones color.

2 de Febrero de 2024

RGB



NIRRG



OIF



MOIF

La imagen correspondiente a MOIF de Febrero 2024 coincide con la del OIF de Febrero 2024, utilizando las bandas 543.

Figura 25: Comparativa de la zona de estudio en las fechas de Febrero y Agosto en 2024 para las diferentes composiciones color.

Se observan en las Figuras 18-25, las imágenes pertenecientes a la zona de estudio en las diferentes fechas para las diferentes composiciones color. Se contempla una desecación según se observa en las visualizaciones color, sobre todo en las fechas desde finales de 2019 hasta principios de 2021. Como se puede ver en el Diagrama 2, las

temperaturas en esas fechas fueron muy elevadas, lo que puede justificar la desecación que se ha apreciado en las imágenes.

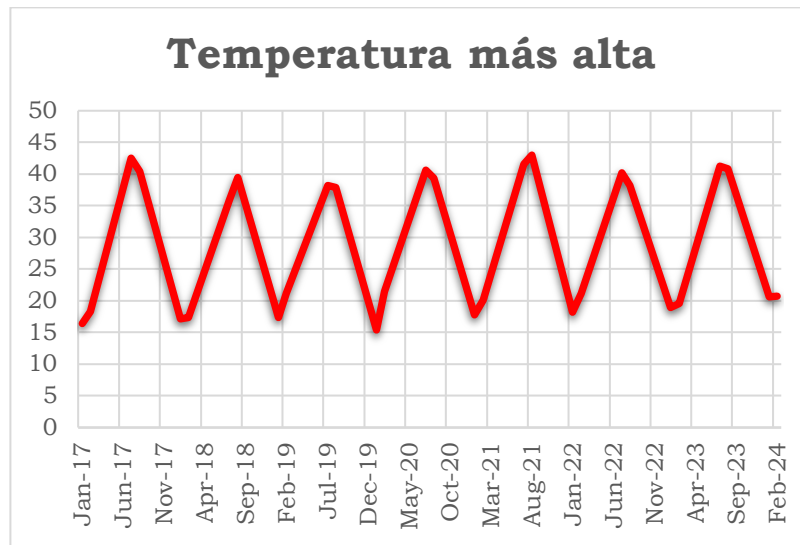


Diagrama 2: Temperatura más alta registrada en diferentes fechas

4.2 Aplicación de índices espectrales

En esta sección se muestran los resultados de la aplicación del índice espectral NDWI en las imágenes objeto de estudio.

Las siguientes imágenes (Figura 26) se han obtenido desde *script* de EO Browser Hub:

```
//ndwi
const colorRamp1 = [
  [0, 0xFFFFFF],
  [1, 0x008000]
];
const colorRamp2 = [
  [0, 0xFFFFFF],
  [1, 0x0000CC]
];
let viz1 = new ColorRampVisualizer(colorRamp1);
let viz2 = new ColorRampVisualizer(colorRamp2);

function setup() {
  return {
    input: ["B03", "B08", "SCL", "dataMask"],
    output: [
      { id: "default", bands: 4 },
      { id: "index", bands: 1, sampleType: "FLOAT32" },
      { id: "eobrowserStats", bands: 2, sampleType: "FLOAT32" },
      { id: "dataMask", bands: 1 }
    ]
  };
}
```

```

function evaluatePixel(samples) {
  let val = index(samples.B03, samples.B08);
  let imgVals = null;
  // The library for tiffs works well only if there is only one channel returned.
  // So we encode the "no data" as NaN here and ignore NaNs on frontend.
  const indexVal = samples.dataMask === 1 ? val : NaN;

  if (val < -0) {
    imgVals = [...viz1.process(-val), samples.dataMask];
  } else {
    imgVals = [...viz2.process(Math.sqrt(Math.sqrt(val))), samples.dataMask];
  }
  return {
    default: imgVals,
    index: [indexVal],
    eobrowserStats:[val,isCloud(samples.SCL)?1:0],
    dataMask: [samples.dataMask]
  };
}

function isCloud(scl) {
  if (scl == 3) {
    // SC_CLOUD_SHADOW
    return false;
  } else if (scl == 9) {
    // SC_CLOUD_HIGH_PROBA
    return true;
  } else if (scl == 8) {
    // SC_CLOUD_MEDIUM_PROBA
    return true;
  } else if (scl == 7) {
    // SC_CLOUD_LOW_PROBA
    return false;
  } else if (scl == 10) {
    // SC_THIN_CIRRUS
    return true;
  } else if (scl == 11) {
    // SC_SNOW_ICE
    return false;
  } else if (scl == 1) {
    // SC_SATURATED_DEFECTIVE
    return false;
  } else if (scl == 2) {
    // SC_DARK_FEATURE_SHADOW
    return false;
  }
  return false;
}

```

Figura 26: Script NDWI

En las imágenes mostradas en la Figura 27, se puede observar la zona de las coberturas acuosas en color azul frente al verde de todas las demás coberturas terrestres.

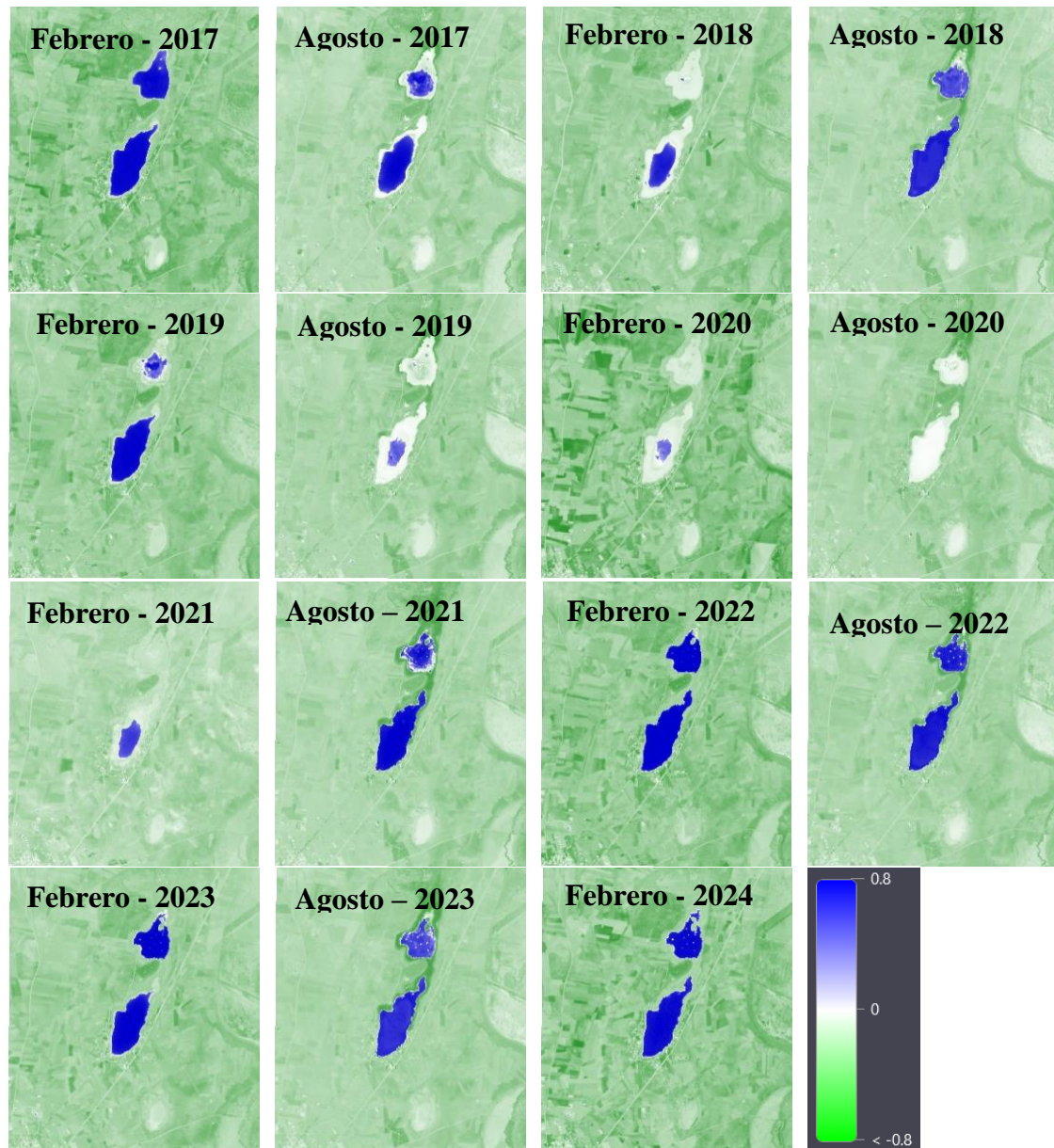


Figura 27: Supervisión temporal con las imágenes NDWI en los meses de Febrero y Agosto durante los años 2017-2024.

El índice normalizado de agua (NDWI) resulta adecuado para cartografiar masas de agua, que presentan valores de este índice superiores a +0.5. La vegetación ostenta valores menores. Las edificaciones tienen valores positivos entre cero y +0.2. Estas imágenes se han utilizado junto con las composiciones color para supervisar los resultados de clasificación.

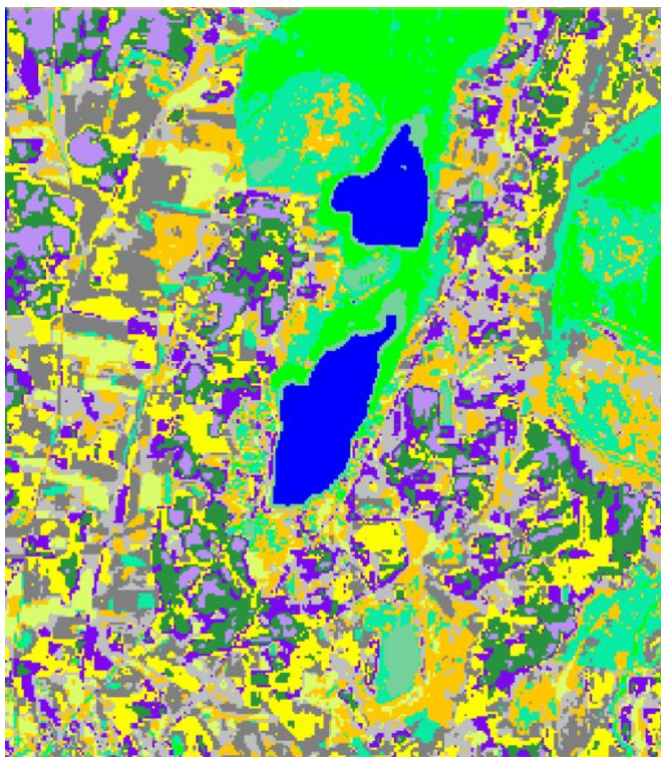
4.3 Algoritmo K-MEANS

En este apartado se muestran los resultados de la aplicación del proceso de clasificación no supervisada (CNS) a las imágenes OIF, basado en el Algoritmo K-MEANS en SNAP, ya comentado anteriormente. La aplicación de este algoritmo da como resultado la asignación de cada punto de datos a un grupo o cluster específico. Tras realizar diferentes pruebas, modificando el número de clusters y evaluando los resultados,

en este caso de estudio, se seleccionará como número de cluster en la mayoría de los casos: 6 clases, que son las que se han considerado más adecuadas para poder cuantificar después correctamente las coberturas acuosas. Sin embargo, en algunos casos se han asignado 10 y 12 clases ya que el algoritmo K-MEANS no diferenciaba bien las coberturas acuosas.

En las Figuras 28-32 se representan los resultados o mapas de la clasificación no supervisada, obtenidos en el software SNAP, junto con la leyenda de cada una de las clases espectrales. Tras una supervisión realizada con las composiciones color obtenidas al inicio de esta investigación, la clase agua se ha codificado en azul oscuro, apareciendo las zonas húmedas como azul claro o verde claro en algunos casos. El color verde corresponde a zonas relacionadas con vegetación y las demás clases representadas por colores amarillos y marrones corresponde a coberturas relacionadas con suelos. Además, se muestra para cada cluster, su centroide y su porcentaje de población sobre el total de píxeles de la imagen.

Como se puede comprobar en los resultados mostrados en las siguientes imágenes, parece claro que el índice NDWI (Figura 27) nos da zonas de agua en zonas aparentemente secas, por lo que podría estar realizando una sobreestimación de zonas húmedas sobre todo en el período de tiempo comprendido entre finales de 2019 hasta principios de 2021.



Febrero - 2017

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_1	0	13.062%	Cluster 0, Center(B1=15.865, B4=74.59, B5=81.251)	
class_2	1	12.923%	Cluster 1, Center(B1=15.667, B4=60.459, B5=83.645)	
class_3	2	12.102%	Cluster 2, Center(B1=19.802, B4=73.199, B5=94.884)	
class_4	3	11.594%	Cluster 3, Center(B1=13.163, B4=66.042, B5=70.458)	
class_5	4	10.768%	Cluster 4, Center(B1=11.888, B4=50.551, B5=64.974)	
class_6	5	9.365%	Cluster 5, Center(B1=24.936, B4=89.61, B5=105.953)	
class_7	6	8.465%	Cluster 6, Center(B1=20.244, B4=86.564, B5=91.26)	
class_8	7	7.805%	Cluster 7, Center(B1=8.881, B4=28.428, B5=56.57)	
class_9	8	4.565%	Cluster 8, Center(B1=10.677, B4=86.837, B5=67.017)	
class_10	9	4.062%	Cluster 9, Center(B1=14.773, B4=4.642, B5=2.926)	
class_11	10	3.577%	Cluster 10, Center(B1=33.424, B4=104.345, B5=119.775)	
class_12	11	1.712%	Cluster 11, Center(B1=17.613, B4=47.866, B5=27.827)	

Figura 28: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero 2017.

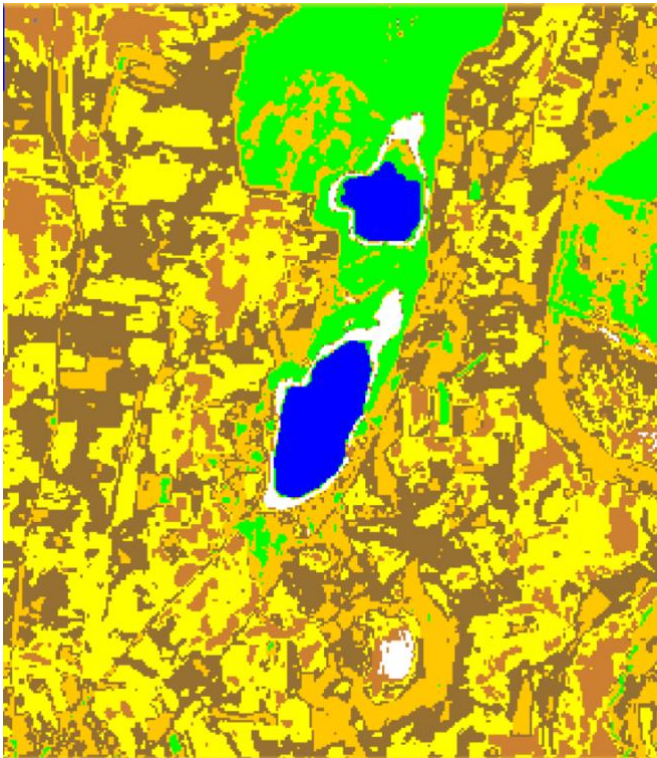


Figura 29: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto 2017

Agosto - 2017

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_1		0	26.973%	Cluster 0, Center(Layer_1=31.687, Layer_2=44.943, Layer_3=47.483, Layer_4=87.153, Layer_5=119.796, Layer_6=103.217)
class_2		1	29.595%	Cluster 1, Center(Layer_1=38.855, Layer_2=55.323, Layer_3=82.326, Layer_4=102.748, Layer_5=134.434, Layer_6=118.477)
class_3		2	16.787%	Cluster 2, Center(Layer_1=34.823, Layer_2=39.226, Layer_3=47.046, Layer_4=68.561, Layer_5=107.238, Layer_6=82.530)
class_4		3	10.820%	Cluster 3, Center(Layer_1=16.204, Layer_2=22.128, Layer_3=26.156, Layer_4=51.522, Layer_5=72.781, Layer_6=52.544)
class_5		4	8.613%	Cluster 4, Center(Layer_1=34.942, Layer_2=73.863, Layer_3=103.001, Layer_4=124.424, Layer_5=151.431, Layer_6=131.903)
class_6		5	3.360%	Cluster 5, Center(Layer_1=12.804, Layer_2=17.283, Layer_3=19.271, Layer_4=13.823, Layer_5=5.515, Layer_6=4.596)
class_7		6	1.242%	Cluster 6, Center(Layer_1=13.981, Layer_2=14.603, Layer_3=158.976, Layer_4=161.895, Layer_5=101.664, Layer_6=72.527)

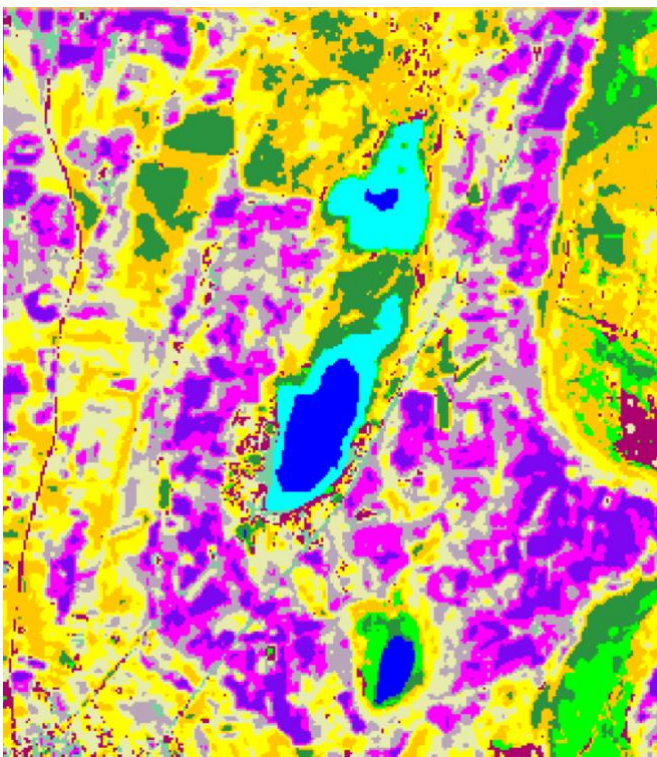
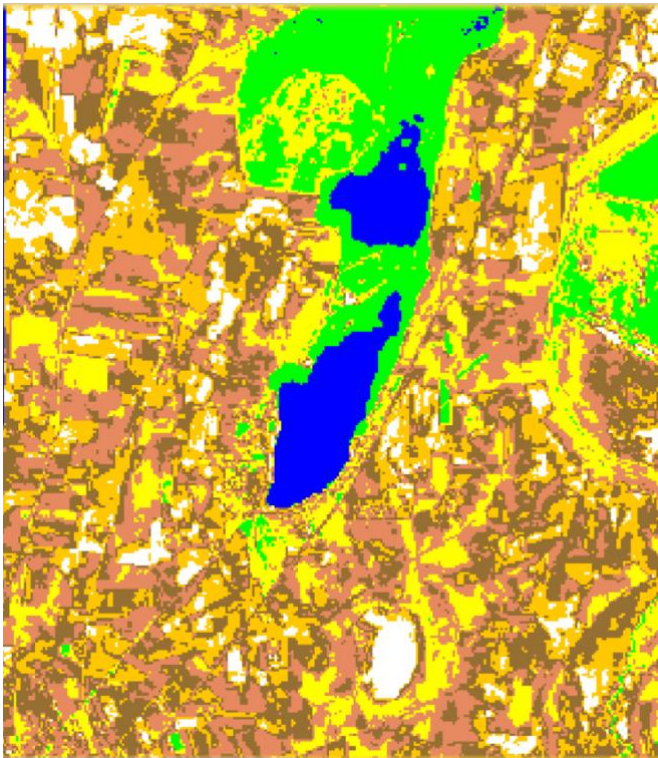


Figura 30: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2018

Febrero - 2018

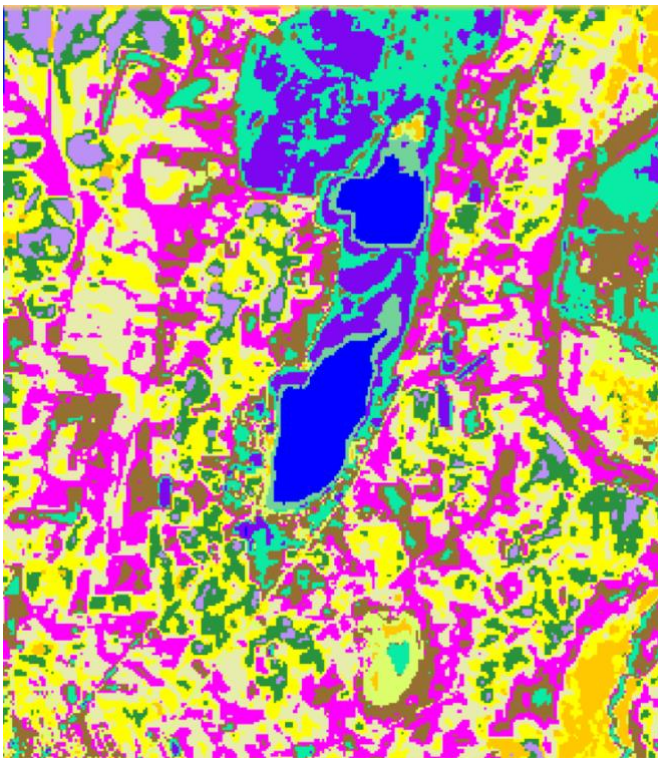
Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_11		10	2.197%	Cluster 10, Center(B1=18.279, B5=2.899, B6=1.828)
class_8		7	3.231%	Cluster 7, Center(B1=18.792, B5=55.608, B6=33.646)
class_9		8	2.677%	Cluster 8, Center(B1=61.794, B5=45.486, B6=22.553)
class_12		11	1.279%	Cluster 11, Center(B1=34.886, B5=79.221, B6=63.945)
class_7		6	7.057%	Cluster 6, Center(B1=26.658, B5=103.023, B6=90.004)
class_10		9	2.626%	Cluster 9, Center(B1=23.163, B5=65.761, B6=49.755)
class_3		2	14.539%	Cluster 2, Center(B1=18.601, B5=80.521, B6=68.707)
class_1		0	16.334%	Cluster 0, Center(B1=15.496, B5=71.776, B6=59.671)
class_5		4	12.448%	Cluster 4, Center(B1=22.137, B5=90.559, B6=78.431)
class_4		3	14.659%	Cluster 3, Center(B1=10.895, B5=55.964, B6=41.331)
class_2		1	15.660%	Cluster 1, Center(B1=12.562, B5=63.604, B6=50.245)
class_6		5	7.293%	Cluster 5, Center(B1=8.746, B5=46.002, B6=31.094)



Agosto - 2018

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_7		6	4.389%	Cluster 6, Center(Layer_2=20.742, Layer_3=11.989, Layer_4=10.06)
class_5		4	9.942%	Cluster 4, Center(Layer_2=23.231, Layer_3=26.246, Layer_4=58.074)
class_2		1	22.584%	Cluster 1, Center(Layer_2=49.085, Layer_3=72.008, Layer_4=92.908)
class_1		0	23.830%	Cluster 0, Center(Layer_2=41.196, Layer_3=61.71, Layer_4=80.955)
class_4		3	16.491%	Cluster 3, Center(Layer_2=57.294, Layer_3=83.135, Layer_4=105.166)
class_3		2	16.611%	Cluster 2, Center(Layer_2=34.008, Layer_3=48.999, Layer_4=70.809)
class_6		5	6.152%	Cluster 5, Center(Layer_2=70.571, Layer_3=96.784, Layer_4=118.242)

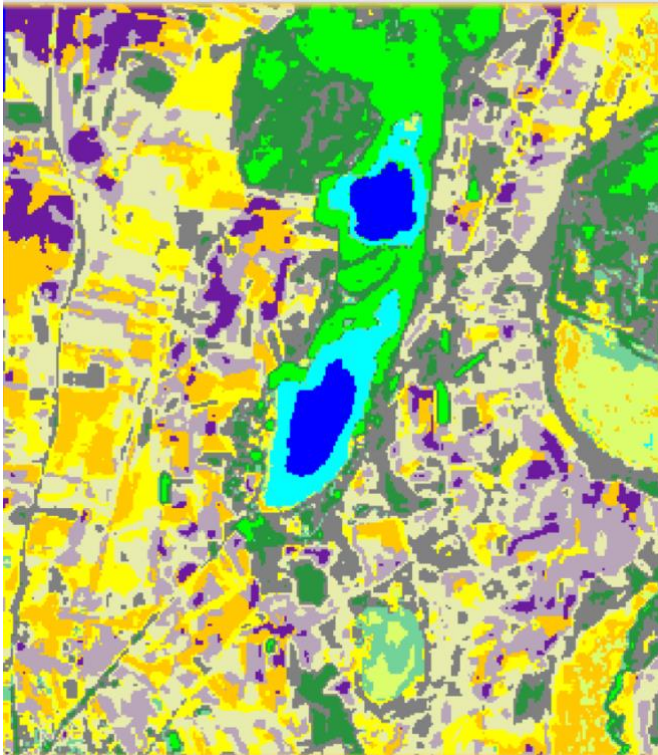
Figura 31: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2018



Febrero - 2019

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_8		7	3.480%	Cluster 7, Center(B2=22.132, B5=2.394, B6=2.019)
class_5		4	8.594%	Cluster 4, Center(B2=16.948, B5=63.666, B6=49.268)
class_12		11	0.983%	Cluster 11, Center(B2=54.542, B5=32.599, B6=19.051)
class_7		6	5.100%	Cluster 6, Center(B2=13.21, B5=49.328, B6=35.956)
class_4		3	13.431%	Cluster 3, Center(B2=22.389, B5=73.945, B6=61.917)
class_11		10	2.395%	Cluster 10, Center(B2=54.513, B5=123.178, B6=109.094)
class_9		8	3.295%	Cluster 8, Center(B2=40.862, B5=85.007, B6=67.297)
class_1		0	19.399%	Cluster 0, Center(B2=29.987, B5=89.612, B6=79.987)
class_2		1	18.642%	Cluster 1, Center(B2=25.567, B5=81.449, B6=72.449)
class_10		9	2.539%	Cluster 9, Center(B2=49.327, B5=108.142, B6=82.314)
class_3		2	14.853%	Cluster 2, Center(B2=35.625, B5=97.77, B6=87.406)
class_6		5	7.288%	Cluster 5, Center(B2=42.158, B5=107.821, B6=97.417)

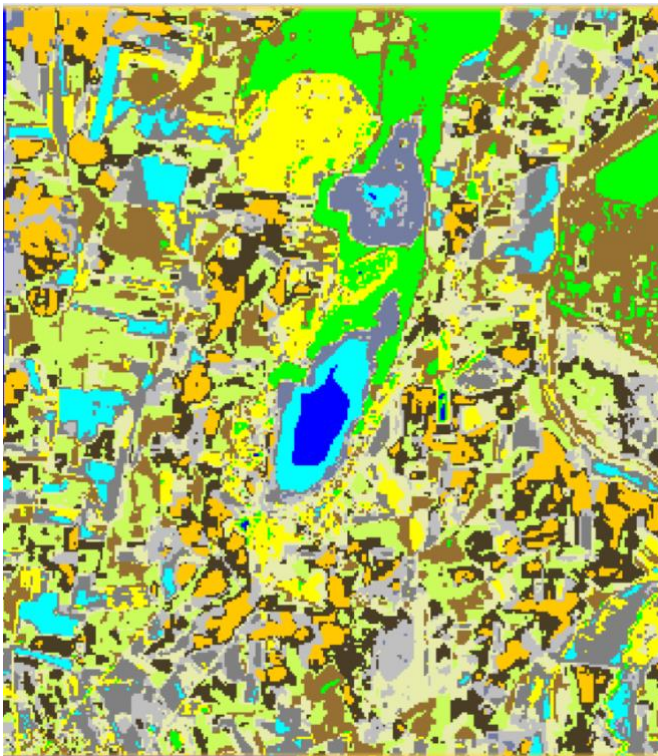
Figura 32: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2019



Agosto - 2019

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_11	Blue	10	2.165%	Cluster 10, Center(Layer_1=31.819, Layer_5=15.448, Layer_6=9.268)
class_7	Green	6	5.451%	Cluster 6, Center(Layer_1=14.573, Layer_5=69.813, Layer_6=45.586)
class_10	Cyan	9	2.179%	Cluster 9, Center(Layer_1=154.452, Layer_5=111.121, Layer_6=77.727)
class_8	Purple	7	4.269%	Cluster 7, Center(Layer_1=47.392, Layer_5=146.876, Layer_6=129.681)
class_12	Light Green	11	1.966%	Cluster 11, Center(Layer_1=52.868, Layer_5=112.558, Layer_6=86.396)
class_2	Grey	1	15.790%	Cluster 1, Center(Layer_1=24.656, Layer_5=104.231, Layer_6=89.163)
class_3	Light Blue	2	13.893%	Cluster 2, Center(Layer_1=33.75, Layer_5=127.419, Layer_6=114.168)
class_9	Light Yellow	8	2.668%	Cluster 8, Center(Layer_1=64.737, Layer_5=132.885, Layer_6=105.209)
class_1	Light Green	0	19.754%	Cluster 0, Center(Layer_1=26.922, Layer_5=114.503, Layer_6=103.068)
class_5	Yellow	4	9.517%	Cluster 4, Center(Layer_1=43.53, Layer_5=136.215, Layer_6=106.356)
class_4	Orange	3	13.177%	Cluster 3, Center(Layer_1=35.86, Layer_5=123.713, Layer_6=99.116)
class_6	Dark Green	5	9.171%	Cluster 5, Center(Layer_1=20.104, Layer_5=91.349, Layer_6=71.236)

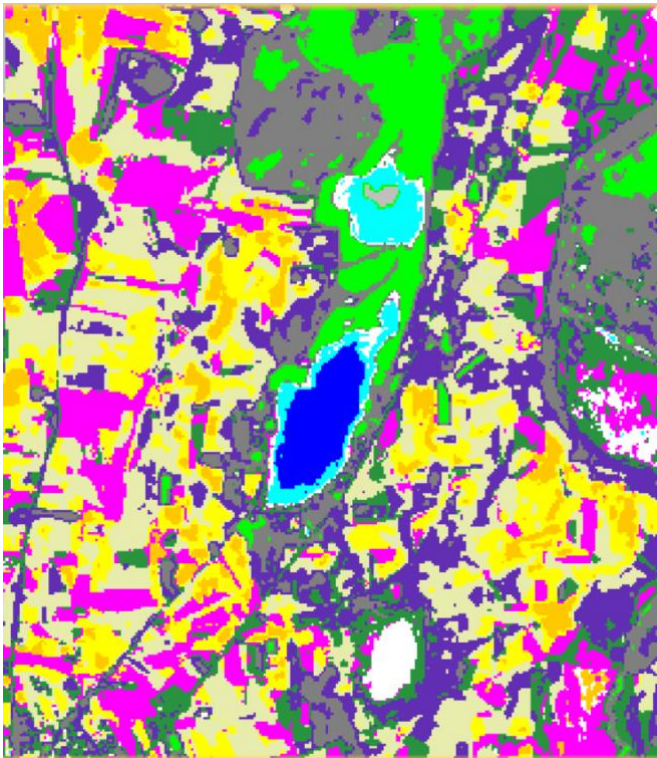
Figura 33: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2019



Febrero - 2020

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_12	Blue	11	1.112%	Cluster 11, Center(B4=31.519, B5=4.222, B6=2.625)
class_8	Green	7	6.859%	Cluster 7, Center(B4=35.067, B5=65.829, B6=47.637)
class_10	Cyan	9	4.159%	Cluster 9, Center(B4=113.45, B5=52.808, B6=28.651)
class_11	Light Blue	10	2.026%	Cluster 10, Center(B4=131.901, B5=115.221, B6=70.777)
class_5	Light Green	4	9.937%	Cluster 4, Center(B4=95.404, B5=69.584, B6=46.771)
class_4	Yellow	3	12.120%	Cluster 3, Center(B4=53.446, B5=77.836, B6=65.203)
class_6	Orange	5	8.529%	Cluster 5, Center(B4=99.501, B5=91.086, B6=67.824)
class_2	Grey	1	13.939%	Cluster 1, Center(B4=64.196, B5=89.427, B6=77.024)
class_1	Light Green	0	14.271%	Cluster 0, Center(B4=79.886, B5=83.062, B6=64.404)
class_9	Light Yellow	8	6.748%	Cluster 8, Center(B4=99.462, B5=113.626, B6=96.187)
class_7	Yellow	6	7.916%	Cluster 6, Center(B4=67.864, B5=66.471, B6=48.358)
class_3	Dark Green	2	12.383%	Cluster 2, Center(B4=81.125, B5=99.319, B6=83.945)

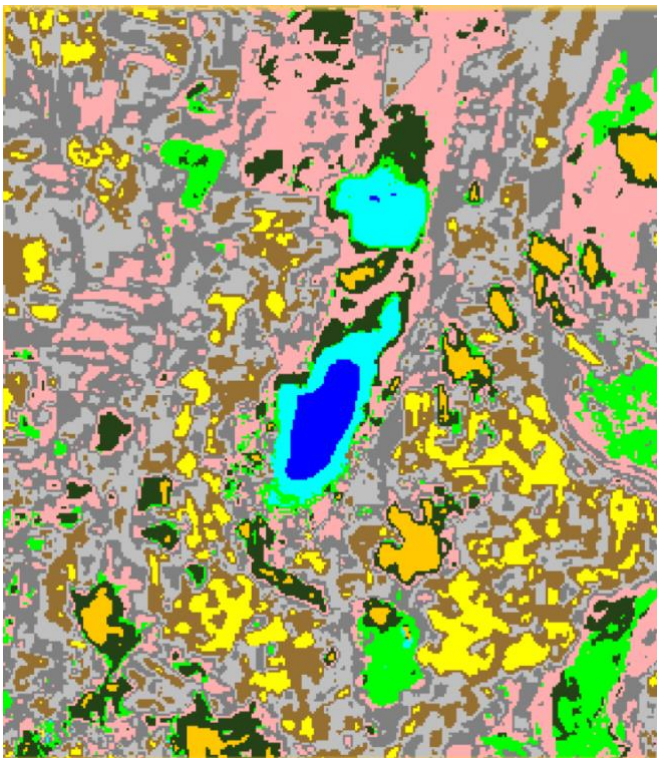
Figura 34: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2020



Agosto - 2020

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_11	Blue	10	1.509%	Cluster 10, Center(Layer_1=204.247, Layer_5=158.623, Layer_6=115.396)
class_7	Green	6	6.000%	Cluster 6, Center(Layer_1=13.941, Layer_5=73.07, Layer_6=47.67)
class_10	Cyan	9	1.500%	Cluster 9, Center(Layer_1=133.991, Layer_5=130.968, Layer_6=83.692)
class_4	Grey	3	11.816%	Cluster 3, Center(Layer_1=20.329, Layer_5=95.896, Layer_6=70.608)
class_12	Light Blue	11	0.498%	Cluster 11, Center(Layer_1=3.651, Layer_5=3.661, Layer_6=2.317)
class_1	Yellow	0	19.865%	Cluster 0, Center(Layer_1=26.781, Layer_5=118.961, Layer_6=102.236)
class_3	Pink	2	13.565%	Cluster 2, Center(Layer_1=39.119, Layer_5=131.461, Layer_6=97.879)
class_8	Orange	7	4.449%	Cluster 7, Center(Layer_1=46.47, Layer_5=146.131, Layer_6=123.739)
class_5	Light Green	4	11.834%	Cluster 4, Center(Layer_1=33.707, Layer_5=131.374, Layer_6=112.842)
class_9	White	8	1.883%	Cluster 8, Center(Layer_1=77.186, Layer_5=127.606, Layer_6=88.486)
class_6	Dark Green	5	11.239%	Cluster 5, Center(Layer_1=34.285, Layer_5=118.075, Layer_6=88.85)
class_2	Purple	1	15.840%	Cluster 1, Center(Layer_1=22.684, Layer_5=107.456, Layer_6=88.39)

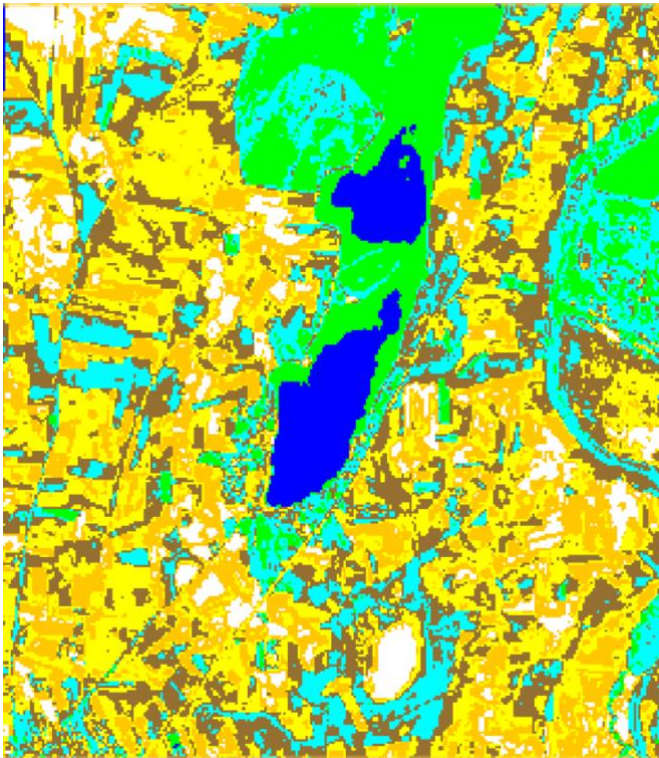
Figura 35: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2020



Febrero - 2021

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_10	Blue	9	1.089%	Cluster 9, Center(B2=69.791, B5=15.547, B6=11.315)
class_6	Green	5	6.037%	Cluster 5, Center(B2=35.846, B5=68.141, B6=47.365)
class_9	Cyan	8	2.285%	Cluster 8, Center(B2=69.229, B5=60.459, B6=33.205)
class_1	Grey	0	22.593%	Cluster 0, Center(B2=32.144, B5=77.851, B6=63.928)
class_4	Brown	3	14.557%	Cluster 3, Center(B2=43.532, B5=96.848, B6=82.107)
class_2	Light Blue	1	19.514%	Cluster 1, Center(B2=37.358, B5=86.601, B6=73.012)
class_3	Pink	2	18.194%	Cluster 2, Center(B2=25.713, B5=69.746, B6=54.959)
class_8	Orange	7	2.659%	Cluster 7, Center(B2=14.481, B5=30.573, B6=24.868)
class_7	Yellow	6	5.783%	Cluster 6, Center(B2=53.228, B5=109.736, B6=92.974)
class_5	Dark Green	4	7.788%	Cluster 4, Center(B2=22.707, B5=66.645, B6=47.011)

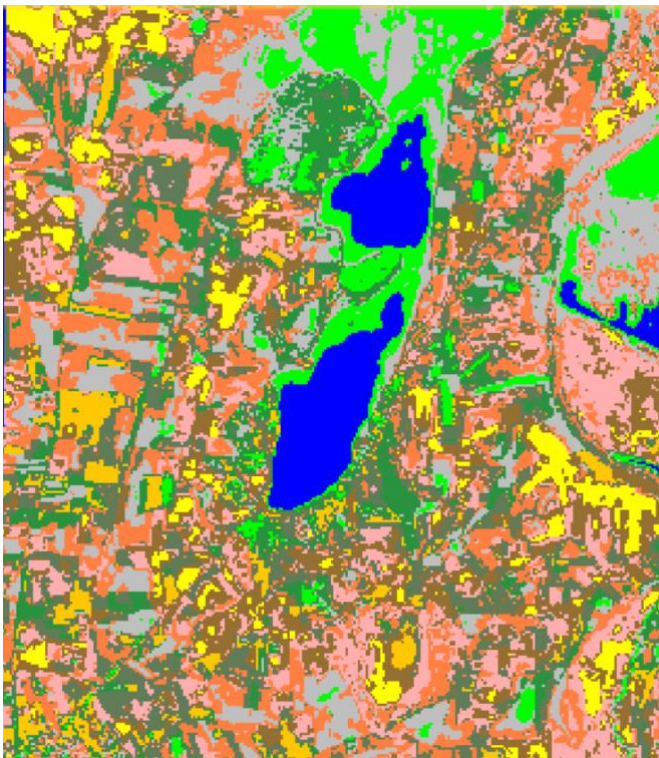
Figura 36: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2021



Agosto - 2021

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_7	Blue	6	4.209%	Cluster 6, Center(Layer_2=12.595, Layer_3=4.539, Layer_4=4.923)
class_5	Green	4	10.948%	Cluster 4, Center(Layer_2=22.676, Layer_3=26.046, Layer_4=61.54)
class_4	Cyan	3	15.347%	Cluster 3, Center(Layer_2=34.025, Layer_3=48.459, Layer_4=70.462)
class_2	Brown	1	21.425%	Cluster 1, Center(Layer_2=42.374, Layer_3=63.328, Layer_4=83.356)
class_3	Yellow	2	17.876%	Cluster 2, Center(Layer_2=57.11, Layer_3=85.2, Layer_4=108.077)
class_1	Orange	0	24.102%	Cluster 0, Center(Layer_2=49.885, Layer_3=74.414, Layer_4=95.138)
class_6	Grey	5	6.092%	Cluster 5, Center(Layer_2=70.874, Layer_3=100.124, Layer_4=123.158)

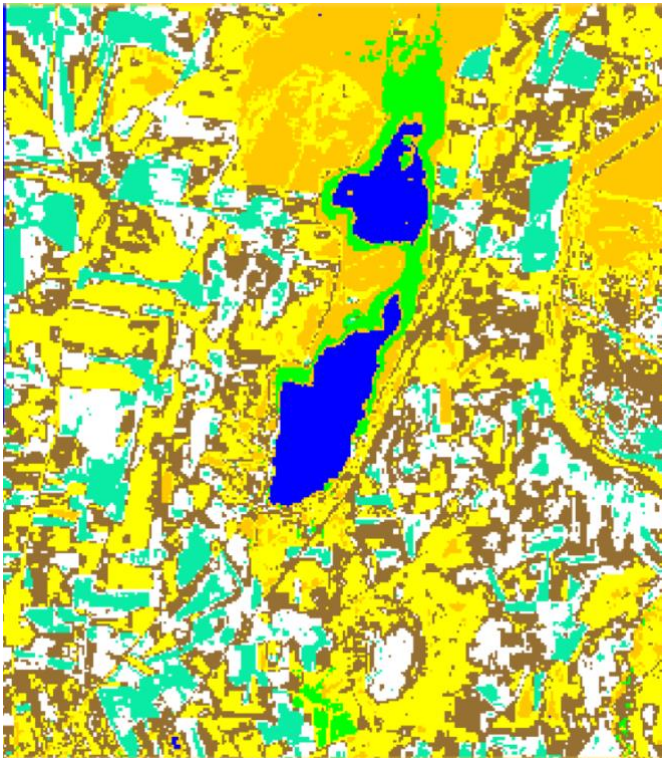
Figura 37: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2021



Febrero - 2022

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_8	Dark Blue	7	4.999%	Cluster 7, Center(B1=4.675, B4=3.512, B5=5.877)
class_7	Light Blue	6	7.117%	Cluster 6, Center(B1=10.25, B4=37.456, B5=60.645)
class_5	Green	4	12.642%	Cluster 4, Center(B1=26.424, B4=89.844, B5=102.858)
class_3	Cyan	2	13.223%	Cluster 2, Center(B1=13.571, B4=49.879, B5=77.84)
class_1	Orange	0	15.928%	Cluster 0, Center(B1=17.249, B4=63.803, B5=87.945)
class_4	Yellow	3	12.831%	Cluster 3, Center(B1=24.325, B4=75.487, B5=98.737)
class_10	Light Green	9	3.725%	Cluster 9, Center(B1=16.05, B4=93.231, B5=77.816)
class_9	Dark Green	8	4.643%	Cluster 8, Center(B1=35.323, B4=102.624, B5=117.813)
class_6	Light Blue	5	9.803%	Cluster 5, Center(B1=14.359, B4=66.551, B5=73.611)
class_2	Dark Green	1	15.088%	Cluster 1, Center(B1=18.408, B4=78.584, B5=87.547)

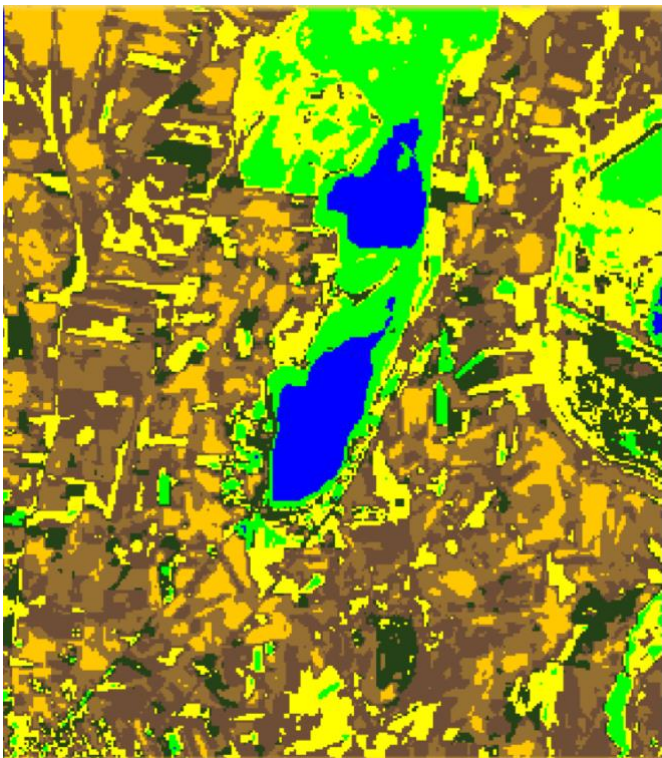
Figura 38: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2022



Agosto - 2022

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_6	Blue	5	4.020%	Cluster 5, Center(Layer_2=17.709, Layer_3=11.286, Layer_4=9.436)
class_7	Green	6	2.654%	Cluster 6, Center(Layer_2=23.438, Layer_3=20.347, Layer_4=99.059)
class_5	Cyan	4	10.366%	Cluster 4, Center(Layer_2=66.896, Layer_3=99.155, Layer_4=125.951)
class_2	Brown	1	25.565%	Cluster 1, Center(Layer_2=46.261, Layer_3=69.775, Layer_4=90.804)
class_4	Yellow	3	10.343%	Cluster 3, Center(Layer_2=27.381, Layer_3=35.898, Layer_4=63.146)
class_1	Light Yellow	0	28.441%	Cluster 0, Center(Layer_2=37.65, Layer_3=56.998, Layer_4=77.856)
class_3	White	2	18.610%	Cluster 2, Center(Layer_2=55.828, Layer_3=83.665, Layer_4=106.694)

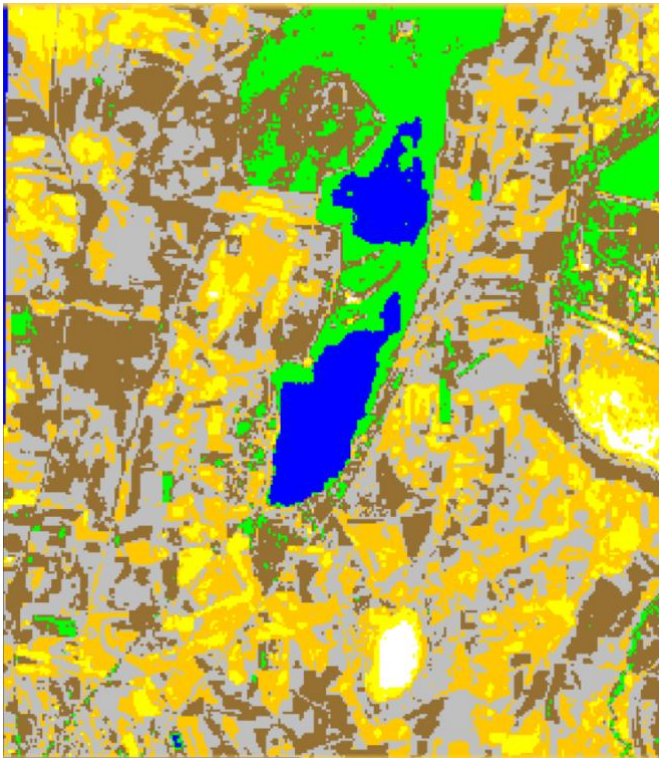
Figura 39: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2022



Febrero - 2023

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_7	Blue	6	4.149%	Cluster 6, Center(B4=5.101, B5=4.642, B6=3.727)
class_4	Green	3	9.633%	Cluster 3, Center(B4=38.474, B5=59.666, B6=46.35)
class_1	Brown	0	26.235%	Cluster 0, Center(B4=65.517, B5=93.078, B6=83.427)
class_2	Light Brown	1	22.191%	Cluster 1, Center(B4=83.933, B5=103.495, B6=92.489)
class_5	Yellow	4	9.337%	Cluster 4, Center(B4=101.831, B5=119.456, B6=107.019)
class_3	Light Yellow	2	19.556%	Cluster 2, Center(B4=51.852, B5=79.186, B6=68.678)
class_6	Dark Green	5	8.899%	Cluster 5, Center(B4=75.859, B5=83.884, B6=68.333)

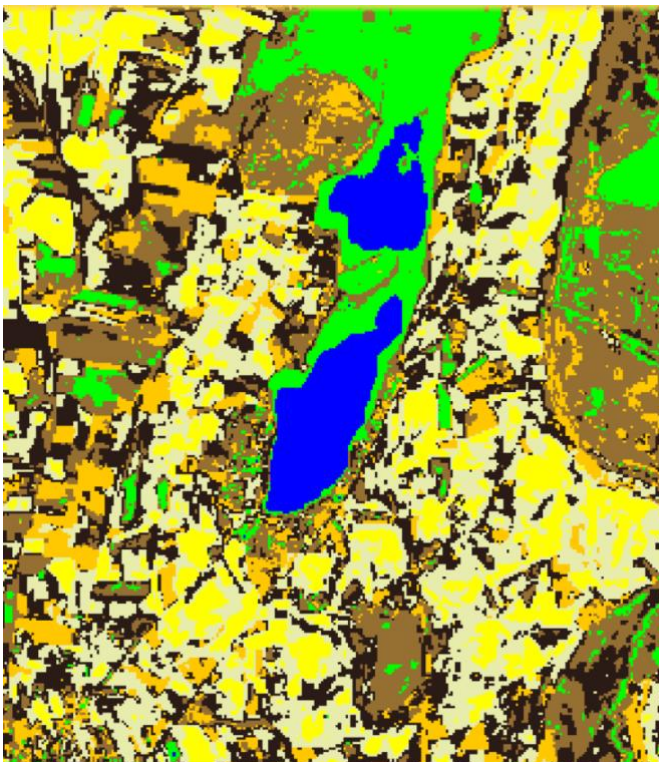
Figura 40: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2023



Agosto - 2023

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_6		5	4.177%	Cluster 5, Center(Layer_2=17.145, Layer_3=9.623, Layer_4=6.355)
class_4		3	9.180%	Cluster 3, Center(Layer_2=23.604, Layer_3=26.102, Layer_4=63.962)
class_2		1	25.330%	Cluster 1, Center(Layer_2=36.391, Layer_3=52.373, Layer_4=76.607)
class_1		0	30.246%	Cluster 0, Center(Layer_2=44.058, Layer_3=64.788, Layer_4=89.362)
class_3		2	23.119%	Cluster 2, Center(Layer_2=52.808, Layer_3=78.225, Layer_4=103.421)
class_5		4	7.168%	Cluster 4, Center(Layer_2=69.59, Layer_3=96.127, Layer_4=120.786)
class_7		6	0.780%	Cluster 6, Center(Layer_2=137.161, Layer_3=159.199, Layer_4=174.755)

Figura 41: Resultado de clasificación de la imagen de Agosto de 2023



Febrero - 2024

Label	Colour	Value	Frequency	Description
class_1		0	23.271%	Cluster 0, Center(B3=53.264, B4=83.898, B5=96.443)
class_2		1	21.324%	Cluster 1, Center(B3=41.59, B4=70.674, B5=85.2)
class_3		2	19.358%	Cluster 2, Center(B3=28.531, B4=59.111, B5=70.073)
class_4		3	12.402%	Cluster 3, Center(B3=67.444, B4=96.358, B5=111.244)
class_5		4	9.905%	Cluster 4, Center(B3=26.103, B4=85.453, B5=70.318)
class_6		5	9.250%	Cluster 5, Center(B3=21.18, B4=37.941, B5=62.372)
class_7		6	4.491%	Cluster 6, Center(B3=6.782, B4=3.236, B5=6.216)

Figura 42: Resultado de clasificación de la imagen de Febrero de 2024.

De los resultados de las clasificaciones obtenidas se derivan los porcentajes de asignación a píxeles de cobertura acuosa para el estudio multitemporal.

Tabla 2: Resultados de clasificaciones obtenidas

Fechas	Cantidad agua en pixeles OIF con K-MEANS	Cantidad de agua en pixeles en clasificación multiespectral
Febrero 2017	4,062	4,731
Agosto 2017	3,166	3,166
Febrero 2018	2,197	2,072
Agosto 2018	4,389	4,509
Febrero 2019	3,48	3,499
Agosto 2019	2,165	1,202
Febrero 2020	1,112	0,918
Agosto 2020	1,509	0 (error)
Febrero 2021	1,089	1,103
Agosto 2021	4,209	4,297
Febrero 2022	4,999	4,835
Agosto 2022	4,02	5,119
Febrero 2023	4,149	4,191
Agosto 2023	4,177	4,191
Febrero 2024	4,491	4,79

Los resultados obtenidos mediante la clasificación K-MEANS de la imagen multiespectral resultan ser similares a los obtenidos de la clasificación de la imagen MOIF. Por esto cabe indicar que la reducción del espacio de características obtenido con las 3 bandas indicadas por el cálculo del OIF y/o MOIF resulta ser eficaz. Por lo tanto, es posible realizar el estudio en un espacio de características más reducido que el espacio original, como el que resulta del cálculo de los dos factores: OIF y MOIF.

4.4 Cambio Climático.

En las siguientes tablas (Tabla 3 y 4) se puede apreciar el cambio climático referido a temperaturas máximas y precipitaciones, que ha sufrido la zona, información recogida por la estación meteorológica de Madrideojos situada a 20 km de las Lagunas de Villafranca de los Caballeros.

Tabla 3: Temperaturas máxima más alta registrada.

Fechas	Temperatura máxima más alta registrada
Enero 2017	16,4
Febrero 2017	18,3
Julio 2017	42,5
Agosto 2017	40,4
Enero 2018	17,2
Febrero 2018	17,4
Julio 2018	35,8
Agosto 2018	39,5
Enero 2019	17,4
Febrero 2019	21,3
Julio 2019	38,2
Agosto 2019	37,9
Enero 2020	15,4
Febrero 2020	21,5
Julio 2020	40,6
Agosto 2020	39,4
Enero 2021	17,8
Febrero 2021	20,1
Julio 2021	41,6
Agosto 2021	43
Enero 2022	18,2
Febrero 2022	21,1
Julio 2022	40,2
Agosto 2022	38,2
Enero 2023	18,9
Febrero 2023	19,6
Julio 2023	41,3
Agosto 2023	40,8
Enero 2024	20,6
Febrero 2024	20,7

Tabla 4: Lluvias registradas.

Fechas	Máxima precipitación diaria registrada	Precipitación total mes
Enero 2017	2,6	8,4
Febrero 2017	7,4	27,2
Julio 2017	5,8	10
Agosto 2017	7,4	7,4
Enero 2018	8,8	34,8
Febrero 2018	14	38,8
Julio 2018	0	0
Agosto 2018	0	0
Enero 2019	0	0
Febrero 2019	0	0
Julio 2019	0	0
Agosto 2019	3	3
Enero 2020	3,4	12,2
Febrero 2020	0,2	1,6
Julio 2020	0	0
Agosto 2020	15,2	16,2
Enero 2021	5	12,6
Febrero 2021	7,8	17,6
Julio 2021	0	0
Agosto 2021	12,4	25,2
Enero 2022	1,8	2,4
Febrero 2022	2	5
Julio 2022	0	0
Agosto 2022	0,8	1,4
Enero 2023	1	3,6
Febrero 2023	0,4	0,8
Julio 2023	0	0
Agosto 2023	0	0
Enero 2024	19,6	56,6
Febrero 2024	4,8	13,2

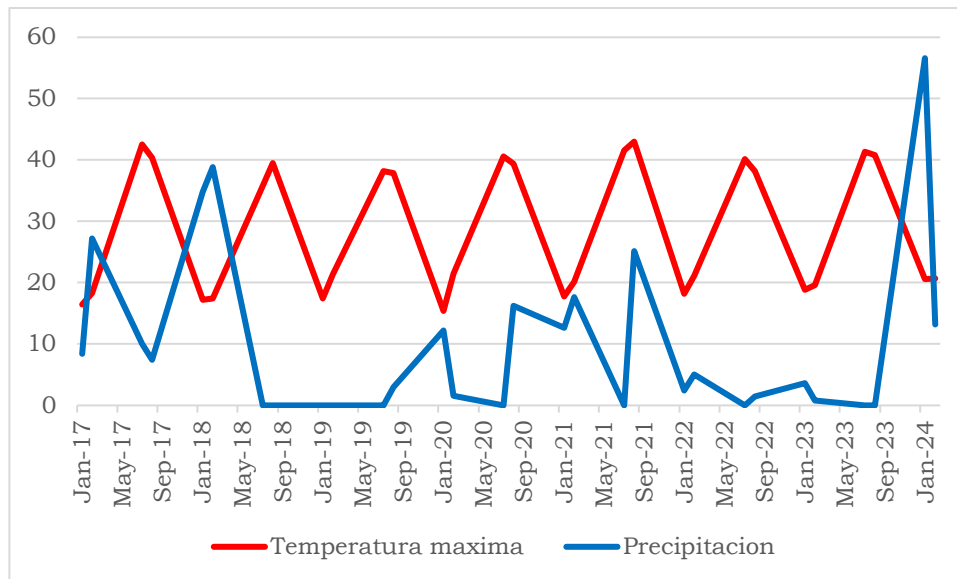


Diagrama 3: Registro temperaturas máximas en comparación con las precipitaciones

Como se puede observar a través del Diagrama 3 en la mayoría de los meses las temperaturas han estado muy por encima de los 30-40 grados, y en cambio la precipitación de los meses ha sido muy baja exceptuando en el mes de enero 2018 y 2024. De ahí por ejemplo la razón de que las lagunas a partir de Febrero 2019 empezaran a secarse y obtener casi las lagunas secas. A partir de mayo 2021 hubo unas grandes precipitaciones que hicieron que se volvieran a llenar.

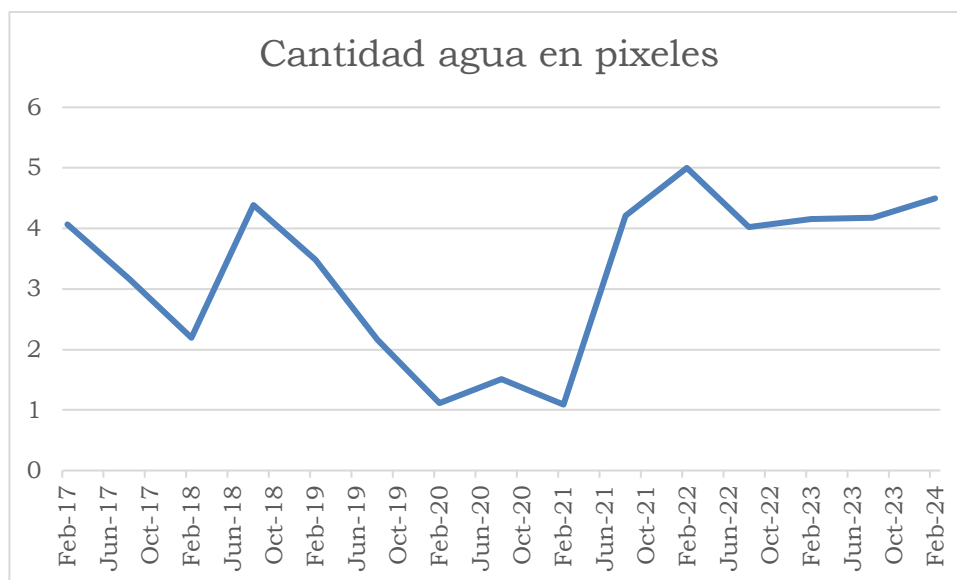


Diagrama 4: Registro de cantidad de agua en pixeles de las imágenes obtenidas K-MEANS

En el Diagrama 4 donde se representa la cantidad de pixeles de agua obtenidos mediante la clasificación realizada en las imágenes MOIF, se muestra la sequía que hubo desde finales de 2019 hasta principios de 2021. Esto puede justificar los cambios detectados en la superficie de las lagunas, registrados en las imágenes obtenidas por teledetección y que

visualmente se muestran tanto de las composiciones color, como en las imágenes NDWI obtenidas desde EO Browser Hub.

A continuación, se muestra un resumen de las conclusiones derivadas de este trabajo:

- 1.- Las imágenes multitemporales obtenidas mediante teledetección, concretamente las imágenes SENTINEL-2 resultan ser útiles para realizar un estudio de seguimiento de coberturas terrestres como es el caso que se presenta en este trabajo.
- 2.- La reducción del espacio inicial de características generado por las bandas de las imágenes multibanda, resulta ser eficaz para el objetivo propuesto y puede resultar más económica en términos de costes de procesado de las imágenes.
- 3.- Los factores de reducción OIF y MOIF, han dado buenos resultados en la tarea de reducción del espacio de trabajo.
- 4.- Las herramientas utilizadas, disponibles libremente, son buenas alternativas para realizar las tareas propuestas, como es el caso de la clasificación y detección de la zona geográfica de los cuerpos de agua y su evolución en el período de tiempo estudiado.
- 5.- El calentamiento global tiene efectos en las lagunas estudiadas. Además de producir un aumento significativo en la temperatura del agua, puede provocar una proliferación de las algas y bacterias que amenaza la biodiversidad y la calidad del agua potable. Períodos más intensos de calor, conllevan a una reducción de la cantidad de agua (desertificación), además de a un aumento significativo de su temperatura.

Las posibles líneas futuras en el ámbito de esta investigación se resumen a continuación:

- 1) Aplicar al *Dataset* seleccionado desde la aplicación del MOIF a otro tipo de imágenes procedentes de diferentes sensores de satélites.
- 2) Comprobar la viabilidad de aplicar otros algoritmos de clasificación como por ejemplo algoritmos supervisados basados en máquinas de soporte vectorial (SVM), algoritmos paramétricos como el clasificador de máxima verosimilitud (MLC) y a otros basados en redes neuronales y lógica difusa.

5 Análisis de Impacto

El impacto educativo de este documento me ha permitido experimentar de primera mano lo que significa trabajar en un proyecto de investigación, gestionando todos los aspectos de un trabajo profesional a gran escala con la ayuda de mi tutora. Esta experiencia me ha brindado una mejor comprensión de cómo sería la vida como investigadora, buscando soluciones y respuestas alternativas a problemas existentes. Como estudiante, no soy nueva en la investigación y estudio de un tema para desarrollar un trabajo, sin embargo, el planteamiento de objetivos, desarrollo de una metodología de trabajo y contraste de resultados para proporcionar unos resultados y una aplicación real fuera de lo académico, es una experiencia que no había vivido anteriormente como estudiante y me resulta más similar a la de un trabajo profesional.

Este TFG se centra en el uso de teledetección y procesamiento de imágenes digitales multibanda para el seguimiento de los recursos hídricos superficiales. Este enfoque contribuye al campo del monitoreo y conservación de recursos hídricos, así como al estudio del cambio climático y sus efectos en las masas de agua. Además, este proyecto puede ayudar a futuras investigaciones en áreas similares o en la mejora de técnicas y algoritmos empleados.

El presente análisis de impacto de las conclusiones obtenidas en este trabajo de fin de grado (TFG) destaca el cambio climático que es un desafío global que afecta a todos los países y continentes, alterando los sistemas meteorológicos, elevando los niveles del mar y generando fenómenos climáticos más extremos.

El estudio realizado en este TFG muestra que la detección y seguimiento de coberturas acuáticas utilizando composiciones a color, índices espectrales y clasificación no supervisada con el algoritmo K-MEANS ha experimentado una mejora significativa. Estos avances tienen un impacto directo en la gestión de los recursos hídricos y en la adopción de medidas para abordar los efectos del cambio climático.

En primer lugar, la capacidad mejorada de identificar y delimitar las coberturas acuáticas proporciona información fundamental para la planificación y gestión de los recursos hídricos en un contexto de cambio climático. Esta información permite tomar decisiones informadas en la protección y conservación de los ecosistemas acuáticos, así como en la prevención y mitigación de los riesgos asociados a eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías.

Además, el estudio resalta la importancia de seleccionar adecuadamente los índices espectrales utilizados en la detección de coberturas acuáticas. Esta selección precisa de índices permite mejorar la precisión de los resultados y proporciona una base sólida para tomar medidas efectivas en la gestión de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático. Asimismo, la consideración de la variabilidad temporal en el análisis y seguimiento de las coberturas acuáticas es fundamental para comprender los efectos del cambio climático en los recursos hídricos. La evaluación de los índices espectrales en diferentes años y meses revela la influencia de los cambios estacionales y los posibles efectos del cambio climático en las coberturas acuáticas.

En conclusión, este TFG proporciona resultados que tienen un impacto significativo en la mejora de la detección y seguimiento de coberturas acuosas. Estos avances tienen implicaciones directas en la gestión de los recursos hídricos, la planificación del territorio y la toma de decisiones relacionadas con la conservación del agua en un contexto de cambio climático. Al proporcionar herramientas y conocimientos para una gestión sostenible y adaptativa de los recursos hídricos, este estudio contribuye a la respuesta global frente al cambio climático y a la promoción de un desarrollo sostenible.

6 Bibliografía

Web

- [1] Copernicus, https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/2_Fundamentos_teledeccion_aplicada.pdf, 16 Marzo 2024
- [2] Teledetección, <https://revolucioncomunicacion.weebly.com/teledeteccionacuten.html> , 16 Marzo 2024
- [3] Imágenes de la NASA Multibanda, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EO1Tenth/page3.php> , 16 de Marzo 2024
- [4] True color y Falso color, https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/#Falso_color_para_deteccion_de_zonas_urbanas , 16 de Marzo 2024
- [5] RNIRB, <https://eos.com/es/make-an-analysis/false-color/> , 16 de Marzo 2024
- [6] MNDWI, <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1647> , 16 de Marzo 2024
- [7] AWEIsh, <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/6/5067> , 16 de Marzo 2024
- [8] OIF, <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2580> , 16 de Marzo 2024
- [9] MOIF, <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/12/3181> , 16 de Marzo 2024
- [10] K-MEANS, <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/8/1295> , 20 de Marzo 2024
- [11] K-MEANS, https://rpubs.com/NataliaMZ/no_supervisada/ , 20 de Marzo 2024
- [12] Sentinel 2, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2/ , 20 de Marzo 2024
- [13] Sentinel 2, <https://spaceflight101.com/copernicus/sentinel-2/> , 20 de Marzo 2024
- [14] Sentinel 2A, <https://www.defensa.com/aeronautica-y-espacio/sentinel-2a-nuevos-ojos-copernicus-listo-para-ir-espacio> , 20 de Marzo 2024

- [15] Información Sentinel 2, <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1647> , 20 de Marzo 2024
- [16] Image J, <https://es.wikipedia.org/wiki/ImageJ>, 20 Febrero 2024
- [17] Image J, <https://imagej.net/ij/>, 20 Febrero 2024
- [18] Image J, <https://oa.upm.es/33069/>, 20 Febrero 2024
- [19] Primeros pasos Image J, <https://www.ibv.csic.es/smicroscopia/Documentos/Primeros%20pasos%20en%20ImageJ.pdf>, 20 Febrero 2024
- [20] Sentinel EO Browser, <https://www.unigis.es/visualizar-y-descargar-imagenes-de-satelite-a-traves-de-eo-browser/>, 20 Febrero 2024
- [21] Sentinel EO Browser, <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>, 20 Febrero 2024
- [22] SNAP, <https://www.gisandbeers.com/snap-analisis-imagenes-satelite-sentinel/>, 20 Febrero 2024
- [23] SNAP, https://www.inta.es/INTA/en/blogs/copernicus/BlogEntry_1522932160499, 20 Febrero 2024
- [24] Mancha Húmeda, <https://www.castillalamancha.es/gobierno/desarrollosostenible/estructura/dgapfyen/actuaciones/reserva-de-la-biosfera-de-la-mancha-h%C3%Bameda>, 20 Febrero 2024
- [25] Meteoblue, https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodellid/villafranca-de-los-caballeros_esp%C3%B1a_2509597, 20 Febrero 2024
- [26] Rutas Complejo Lagunar, <https://dutasconsendas.blogspot.com/2014/11/por-tierras-manchegas-las-lagunas-de.html>, 20 Febrero 2024
- [27] Complejo Lagunar, <https://turismo.villafrancadeloscaballeros.es/visitar/complejo-lagunar>, 20 Febrero 2024
- [28] Complejo Lagunar, <https://www.turismocastillalamancha.es/naturaleza/complejo-lagunar-de-villafranca-de-los-caballeros-57573/>, 20 Febrero 2024
- [29] Script NDWI, <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndwi/> , 29 Abril 2024

Publicaciones

[Ahmed 2020] Ahmed, M., Seraj R., and Islam S. M. S. 2020. "The k-means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation" Electronics 9, no. 8: 1295. <https://doi.org/10.3390/electronics9081295>

[Chavez 1982] Chavez, 2.P.S., G.L. Berlin and L.B. Sowers, 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8: 23-30.

[Chen 2004] Chen, D., Stow, D. A., & Gong, P. 2004. Examining the effect of spatial resolution and texture window size on classification accuracy: an urban environment case. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), 2177-2192. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618464>

[Duda 2002] Duda, T Canty, M. 2002. Unsupervised classification of satellite imagery: Choosing a good algorithm, *International Journal of Remote Sensing*, 23:11, 2193-2212. DOI: 10.1080/01431160110078467

[Figliomeni 2023] Figliomeni, F.G.; Guastaferrero, F.; Parente, C.; Vallario, A. 2023. A Proposal for Automatic Coastline Extraction from Landsat 8 OLI Images Combining Modified Optimum Index Factor (MOIF) and K-Means. *Remote Sens.* 15, 3181. <https://doi.org/10.3390/rs15123181>

[McFeeters 1996] McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

7 Anexo

Se han hecho los cálculos del OIF utilizando las ecuaciones 2 y 3 mencionadas en el apartado 2.5.1

1. Para **Febrero 2017**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,95828	0,849814	0,535106	0,552352	0,572578
Band 2	0,95828	1	0,891399	0,595929	0,55377	0,597734
Band 3	0,849814	0,891399	1	0,699162	0,780886	0,841518
Band 4	0,535106	0,595929	0,699162	1	0,818387	0,767128
Band 5	0,552352	0,55377	0,780886	0,818387	1	0,97151
Band 6	0,572578	0,597734	0,841518	0,767128	0,97151	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas utilizadas	OIF
123	36,5274769
134	55,0491098
145	100,599738
156	97,3170824
234	56,2091418
245	95,8729398
256	102,907578
345	91,0033854
356	81,6074282
456	85,4591199
124	42,3928844
125	43,5784766
126	42,2259294
135	56,5130879
136	54,9963834
146	98,0315801
235	57,5500354
236	56,1315974
246	93,5874691
346	89,0709609

Ranking	Bandas	OIF
1	256	102,907578
2	145	100,599738
3	146	98,0315801
4	156	97,3170824
5	245	95,8729398
6	246	93,5874691
7	345	91,0033854
8	346	89,0709609
9	456	85,4591199
10	356	81,6074282
11	235	57,5500354
12	135	56,5130879
13	234	56,2091418
14	236	56,1315974
15	134	55,0491098
16	136	54,9963834
17	125	43,5784766
18	124	42,3928844
19	126	42,2259294
20	123	36,5274769

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	122,00
134	127,33
145	135,00
156	131,00
234	127,00
245	134,67
256	130,67
345	134,33
356	130,33
456	136,00
124	127,67
125	129,67
126	123,67
135	129,33
136	123,33
146	129,00
235	129,00
236	123,00
246	128,67
346	128,33

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	4456,35219
134	7009,58665
145	13580,9647
156	12748,5378
234	7138,56101
245	12910,8892
256	13446,5901
345	12224,7881
356	10636,1681
456	11622,4403
124	5412,15824
125	5650,6758
126	5221,93993
135	7309,02604
136	6782,88729
146	12646,0738
235	7423,95457
236	6904,18648
246	12041,5877
346	11430,7733

Ranking	Bandas	MOIF
1	145	13580,9647
2	256	13446,5901
3	245	12910,8892
4	156	12748,5378
5	146	12646,0738
6	345	12224,7881
7	246	12041,5877
8	456	11622,4403
9	346	11430,7733
10	356	10636,1681
11	235	7423,95457
12	135	7309,02604
13	234	7138,56101
14	134	7009,58665
15	236	6904,18648
16	136	6782,88729
17	125	5650,6758
18	124	5412,15824
19	126	5221,93993
20	123	4456,35219

2. Para **Agosto 2017**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,971446	0,837985	0,775221	0,472183	0,399501
Band 2	0,971446	1	0,918267	0,850874	0,561891	0,512529
Band 3	0,837985	0,918267	1	0,946346	0,774761	0,763163
Band 4	0,775221	0,850874	0,946346	1	0,81314	0,773881
Band 5	0,472183	0,561891	0,774761	0,81314	1	0,970846
Band 6	0,399501	0,512529	0,763163	0,773881	0,970846	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	66,2554872
134	84,8697821
145	97,0190196
156	165,144676
234	79,7403008
245	90,8246722
256	142,484131
345	88,5034826
356	111,921402
456	107,810705
124	67,0287195
125	70,2045055
126	69,5229461
135	88,7630427
136	88,0301366
146	96,2059379
235	83,2657423
236	82,6128641
246	90,0972504
346	87,8782701

Ranking	Bandas	OIF
1	156	165,144676
2	256	142,484131
3	356	111,921402
4	456	107,810705
5	145	97,0190196
6	146	96,2059379
7	245	90,8246722
8	246	90,0972504
9	135	88,7630427
10	345	88,5034826
11	136	88,0301366
12	346	87,8782701
13	134	84,8697821
14	235	83,2657423
15	236	82,6128641
16	234	79,7403008
17	125	70,2045055
18	126	69,5229461
19	124	67,0287195
20	123	66,2554872

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.

Bandas	Factor Correctivo
123	209,67
134	213,00
145	203,67
156	186,67
234	214,00
245	204,67
256	187,67
345	206,33
356	189,33
456	191,00
124	211,33
125	200,33
126	194,33
135	202,00
136	196,00
146	197,67
235	203,00
236	197,00
246	198,67
346	200,33

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	13891,5671
134	18077,2636
145	19759,5403
156	30827,0062
234	17064,4244
245	18588,7829
256	26739,522
345	18261,2186
356	21190,4522
456	20591,8446
124	14165,4027
125	14064,3026
126	13510,6259
135	17930,1346
136	17253,9068
146	19016,7071
235	16902,9457
236	16274,7342
246	17899,3204
346	17604,9468

Ranking	Bandas	MOIF
1	156	30827,0062
2	256	26739,522
3	356	21190,4522
4	456	20591,8446
5	145	19759,5403
6	146	19016,7071
7	245	18588,7829
8	345	18261,2186
9	134	18077,2636
10	135	17930,1346
11	246	17899,3204
12	346	17604,9468
13	136	17253,9068
14	234	17064,4244
15	235	16902,9457
16	236	16274,7342
17	124	14165,4027
18	125	14064,3026
19	123	13891,5671
20	126	13510,6259

3. Para **Febrero 2018**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,954546	0,815251	0,742979	0,222479	0,152774
Band 2	0,954546	1	0,89732	0,821779	0,285557	0,239715
Band 3	0,815251	0,89732	1	0,945905	0,596584	0,565213
Band 4	0,742979	0,821779	0,945905	1	0,656322	0,594621
Band 5	0,222479	0,285557	0,596584	0,656322	1	0,968213
Band 6	0,152774	0,239715	0,565213	0,594621	0,968213	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	43,1348042
134	57,1786191
145	65,002324
156	218,823238
234	55,5760411
245	62,6223113
256	181,485183
345	58,7109879
356	93,9623798
456	88,6817589
124	45,1203949
125	44,4491305
126	44,7775757
135	56,7601155
136	57,1788929
146	65,4413392
235	55,100538
236	55,4956325
246	63,0304921
346	59,0659641

Ranking	Bandas	OIF
1	156	218,823238
2	256	181,485183
3	356	93,9623798
4	456	88,6817589
5	146	65,4413392
6	145	65,002324
7	246	63,0304921
8	245	62,6223113
9	346	59,0659641
10	345	58,7109879
11	136	57,1788929
12	134	57,1786191
13	135	56,7601155
14	234	55,5760411
15	236	55,4956325
16	235	55,100538
17	124	45,1203949
18	126	44,7775757
19	125	44,4491305
20	123	43,1348042

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
---------------	--------------------------

123	115,33
134	116,00
145	121,00
156	117,33
234	117,00
245	122,00
256	118,33
345	118,33
356	114,67
456	119,00
124	119,67
125	120,33
126	116,00
135	116,67
136	112,33
146	116,67
235	117,67
236	113,33
246	117,67
346	114,00

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	4974,88075
134	6632,71981
145	7865,2812
156	25675,2599
234	6502,39681
245	7639,92198
256	21475,7466
345	6947,46691
356	10774,3529
456	10553,1293
124	5399,40726
125	5348,71204
126	5194,19878
135	6622,01348
136	6423,09564
146	7634,82291
235	6483,49664
236	6289,50502
246	7416,58791
346	6733,51991

Ranking	Bandas	MOIF
1	156	25675,2599
2	256	21475,7466
3	356	10774,3529
4	456	10553,1293
5	145	7865,2812
6	245	7639,92198
7	146	7634,82291
8	246	7416,58791
9	345	6947,46691
10	346	6733,51991
11	134	6632,71981
12	135	6622,01348
13	234	6502,39681
14	235	6483,49664
15	136	6423,09564
16	236	6289,50502
17	124	5399,40726
18	125	5348,71204
19	126	5194,19878
20	123	4974,88075

4. Para **Agosto 2018**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,974159	0,877312	0,798197	0,787865	0,702663
Band 2	0,974159	1	0,928524	0,835351	0,807232	0,744006
Band 3	0,877312	0,928524	1	0,903982	0,913076	0,895375
Band 4	0,798197	0,835351	0,903982	1	0,902294	0,831941
Band 5	0,787865	0,807232	0,913076	0,902294	1	0,9591
Band 6	0,702663	0,744006	0,895375	0,831941	0,9591	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	49,4951845
134	65,5861439
145	80,8536725
156	84,6113902
234	64,9434462
245	80,5128626
256	85,9335069
345	83,2444947
356	84,8437245
456	87,7748068
124	51,1779776
125	56,6158051
126	53,2135582
135	71,6657141
136	67,9498011
146	76,7269964
235	70,6698473
236	67,175183
246	76,5847864
346	79,6500246

Ranking	Bandas	OIF
1	456	87,7748068
2	256	85,9335069
3	356	84,8437245
4	156	84,6113902
5	345	83,2444947
6	145	80,8536725
7	245	80,5128626
8	346	79,6500246
9	146	76,7269964
10	246	76,5847864
11	135	71,6657141
12	235	70,6698473
13	136	67,9498011
14	236	67,175183
15	134	65,5861439
16	234	64,9434462
17	125	56,6158051
18	126	53,2135582
19	124	51,1779776
20	123	49,4951845

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	144,00
134	153,67
145	158,33
156	152,67
234	156,33
245	161,00
256	155,33
345	167,67
356	162,00
456	165,00
124	147,00
125	148,67
126	141,33
135	155,33
136	148,00
146	151,00
235	158,00
236	150,67
246	153,67
346	160,33

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	7127,30656
134	10078,4041
145	12801,8315
156	12917,3389
234	10152,8254
245	12962,5709
256	13348,3381
345	13957,3269
356	13744,6834
456	14482,8431
124	7523,16271
125	8416,88303
126	7520,84956
135	11132,0743
136	10056,5706
146	11585,7764
235	11165,8359
236	10121,0609
246	11768,5288
346	12770,554

Ranking	Bandas	MOIF
1	456	14482,8431
2	345	13957,3269
3	356	13744,6834
4	256	13348,3381
5	245	12962,5709
6	156	12917,3389
7	145	12801,8315
8	346	12770,554
9	246	11768,5288
10	146	11585,7764
11	235	11165,8359
12	135	11132,0743
13	234	10152,8254
14	236	10121,0609
15	134	10078,4041
16	136	10056,5706
17	125	8416,88303
18	124	7523,16271
19	126	7520,84956
20	123	7127,30656

5. Para **Febrero 2019**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,954052	0,820657	0,690964	0,591989	0,524138
Band 2	0,954052	1	0,894919	0,766177	0,60157	0,569953
Band 3	0,820657	0,894919	1	0,860616	0,798682	0,814251
Band 4	0,690964	0,766177	0,860616	1	0,817759	0,778302
Band 5	0,591989	0,60157	0,798682	0,817759	1	0,965654
Band 6	0,524138	0,569953	0,814251	0,778302	0,965654	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	37,8708443
134	55,4370011
145	75,088575
156	89,5477677
234	54,182479
245	71,5350477
256	92,8649402
345	70,0456998
356	77,0429646
456	80,8240138
124	42,389065
125	44,3588949
126	43,3047043
135	57,8725374
136	56,7103459
146	73,663029
235	56,3369256
236	55,3030704
246	70,2751427
346	68,9634362

Ranking	Bandas	OIF
1	256	92,8649402
2	156	89,5477677
3	456	80,8240138
4	356	77,0429646
5	145	75,088575
6	146	73,663029
7	245	71,5350477
8	246	70,2751427
9	345	70,0456998
10	346	68,9634362
11	135	57,8725374
12	136	56,7103459
13	235	56,3369256
14	134	55,4370011
15	236	55,3030704
16	234	54,182479
17	125	44,3588949
18	126	43,3047043
19	124	42,389065
20	123	37,8708443

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	116,00
134	122,00
145	134,00
156	135,33
234	123,33
245	135,33
256	136,67
345	135,67
356	137,00
456	142,67
124	121,67
125	128,00
126	123,00
135	128,33
136	123,33
146	129,00
235	129,67
236	124,67
246	130,33
346	130,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	4393,01793
134	6763,31413
145	10061,869
156	12118,7979
234	6682,50575
245	9681,07645
256	12691,5418
345	9502,86661
356	10554,8862
456	11530,8926
124	5157,33625
125	5677,93854
126	5326,47862
135	7426,97563
136	6994,27599
146	9502,53074
235	7305,02135
236	6894,44944
246	9159,19359
346	9011,22233

Ranking	Bandas	MOIF
1	256	12691,5418
2	156	12118,7979
3	456	11530,8926
4	356	10554,8862
5	145	10061,869
6	245	9681,07645
7	345	9502,86661
8	146	9502,53074
9	246	9159,19359
10	346	9011,22233
11	135	7426,97563
12	235	7305,02135
13	136	6994,27599
14	236	6894,44944
15	134	6763,31413
16	234	6682,50575
17	125	5677,93854
18	126	5326,47862
19	124	5157,33625
20	123	4393,01793

6. Para **Agosto 2019**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,980476	0,857908	0,796273	0,310175	0,161271
Band 2	0,980476	1	0,929777	0,878426	0,41358	0,267608
Band 3	0,857908	0,929777	1	0,943492	0,619509	0,515212
Band 4	0,796273	0,878426	0,943492	1	0,639172	0,483137
Band 5	0,310175	0,41358	0,619509	0,639172	1	0,920345
Band 6	0,161271	0,267608	0,515212	0,483137	0,920345	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	75,2447905
134	89,1489989
145	91,4935021
156	223,065609
234	83,8674859
245	84,6031786
256	170,801779
345	82,6015138
356	120,081664
456	115,793721
124	74,7367994
125	71,2320734
126	70,1824018
135	85,4202809
136	84,3044478
146	90,2591595
235	80,3856219
236	79,3393997
246	83,4586885
346	81,5567989

Ranking	Bandas	OIF
1	156	223,065609
2	256	170,801779
3	356	120,081664
4	456	115,793721
5	145	91,4935021
6	146	90,2591595
7	134	89,1489989
8	135	85,4202809
9	245	84,6031786
10	136	84,3044478
11	234	83,8674859
12	246	83,4586885
13	345	82,6015138
14	346	81,5567989
15	235	80,3856219
16	236	79,3393997
17	123	75,2447905
18	124	74,7367994
19	125	71,2320734
20	126	70,1824018

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	203,67
134	210,00
145	199,33
156	180,00
234	212,00
245	201,33
256	182,00
345	205,00
356	185,67
456	188,33
124	206,33
125	193,00
126	187,00
135	196,67
136	190,67
146	193,33
235	198,67
236	192,67
246	195,33
346	199,00

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	15324,8557
134	18721,2898
145	18237,7047
156	40151,8096
234	17779,907
245	17033,4399
256	31085,9237
345	16933,3103
356	22295,1623
456	21807,8175
124	15420,693
125	13747,7902
126	13124,1091
135	16799,3219
136	16074,048
146	17450,1042
235	15969,9436
236	15286,0577
246	16302,2638
346	16229,803

Ranking	Bandas	MOIF
1	156	40151,8096
2	256	31085,9237
3	356	22295,1623
4	456	21807,8175
5	134	18721,2898
6	145	18237,7047
7	234	17779,907
8	146	17450,1042
9	245	17033,4399
10	345	16933,3103
11	135	16799,3219
12	246	16302,2638
13	346	16229,803
14	136	16074,048
15	235	15969,9436
16	124	15420,693
17	123	15324,8557
18	236	15286,0577
19	125	13747,7902
20	126	13124,1091

7. Para **Febrero 2020**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,978654	0,863737	0,459195	0,447514	0,246082
Band 2	0,978654	1	0,910869	0,557804	0,500707	0,316209
Band 3	0,863737	0,910869	1	0,425406	0,683152	0,612551
Band 4	0,459195	0,557804	0,425406	1	0,34802	0,116156
Band 5	0,447514	0,500707	0,683152	0,34802	1	0,910778
Band 6	0,246082	0,316209	0,612551	0,116156	0,910778	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	50,051895
134	64,6751009
145	120,159621
156	113,371937
234	64,0132813
245	103,259816
256	106,142119
345	143,226811
356	83,3459746
456	174,531888
124	53,8780224
125	48,9324309
126	48,7295473
135	59,3955105
136	59,3308774
146	120,11644
235	58,9741944
236	58,9157636
246	103,164604
346	143,345447

Ranking	Bandas	OIF
1	456	174,531888
2	346	143,345447
3	345	143,226811
4	145	120,159621
5	146	120,11644
6	156	113,371937
7	256	106,142119
8	245	103,259816
9	246	103,164604
10	356	83,3459746
11	134	64,6751009
12	234	64,0132813
13	135	59,3955105
14	136	59,3308774
15	235	58,9741944
16	236	58,9157636
17	124	53,8780224
18	123	50,051895
19	125	48,9324309
20	126	48,7295473

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	125,00
134	136,00
145	142,00
156	132,00
234	138,67
245	144,67
256	134,67
345	147,33
356	137,33
456	145,67
124	133,33
125	131,00
126	123,33
135	133,67
136	126,00
146	134,33
235	136,33
236	128,67
246	137,00
346	139,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	6256,48688
134	8795,81372
145	17062,6662
156	14965,0957
234	8876,50834
245	14938,2534
256	14293,8054
345	21102,0835
356	11446,1805
456	25423,4783
124	7183,73632
125	6410,14845
126	6009,97749
135	7939,1999
136	7475,69056
146	16135,6418
235	8040,1485
236	7580,49492
246	14133,5508
346	20020,5808

Ranking	Bandas	MOIF
1	456	25423,4783
2	345	21102,0835
3	346	20020,5808
4	145	17062,6662
5	146	16135,6418
6	156	14965,0957
7	245	14938,2534
8	256	14293,8054
9	246	14133,5508
10	356	11446,1805
11	234	8876,50834
12	134	8795,81372
13	235	8040,1485
14	135	7939,1999
15	236	7580,49492
16	136	7475,69056
17	124	7183,73632
18	125	6410,14845
19	123	6256,48688
20	126	6009,97749

8. Para **Agosto 2020**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,988726	0,90412	0,869456	0,516039	0,293516
Band 2	0,988726	1	0,951221	0,921203	0,607571	0,393346
Band 3	0,90412	0,951221	1	0,951794	0,760868	0,603824
Band 4	0,869456	0,921203	0,951794	1	0,722747	0,524072
Band 5	0,516039	0,607571	0,760868	0,722747	1	0,883522
Band 6	0,293516	0,393346	0,603824	0,524072	0,883522	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	87,8106016
134	95,5743679
145	87,9213519
156	131,121492
234	91,5576518
245	83,7361884
256	112,543311
345	82,7702768
356	92,2493257
456	94,6354206
124	86,0490349
125	77,5743244
126	76,5402086
135	86,4917358
136	85,4589004
146	86,8208406
235	82,9375896
236	81,9453997
246	82,6821344
346	81,7940107

Ranking	Bandas	OIF
1	156	131,121492
2	256	112,543311
3	134	95,5743679
4	456	94,6354206
5	356	92,2493257
6	234	91,5576518
7	145	87,9213519
8	123	87,8106016
9	146	86,8208406
10	135	86,4917358
11	124	86,0490349
12	136	85,4589004
13	245	83,7361884
14	235	82,9375896
15	345	82,7702768
16	246	82,6821344
17	236	81,9453997
18	346	81,7940107
19	125	77,5743244
20	126	76,5402086

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	240,67
134	243,33
145	220,00
156	187,67
234	245,67
245	222,33
256	190,00
345	224,33
356	192,00
456	192,67
124	241,33
125	217,33
126	209,00
135	219,33
136	211,00
146	211,67
235	221,67
236	213,33
246	214,00
346	216,00

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	21133,0848
134	23256,4295
145	19342,6974
156	24607,1333
234	22492,6631
245	18617,3459
256	21383,2291
345	18568,1321
356	17711,8705
456	18233,091
124	20766,5004
125	16859,4865
126	15996,9036
135	18970,5207
136	18031,828
146	18377,0779
235	18384,499
236	17481,6853
246	17693,9768
346	17667,5063

Ranking	Bandas	MOIF
1	156	24607,1333
2	134	23256,4295
3	234	22492,6631
4	256	21383,2291
5	123	21133,0848
6	124	20766,5004
7	145	19342,6974
8	135	18970,5207
9	245	18617,3459
10	345	18568,1321
11	235	18384,499
12	146	18377,0779
13	456	18233,091
14	136	18031,828
15	356	17711,8705
16	246	17693,9768
17	346	17667,5063
18	236	17481,6853
19	125	16859,4865
20	126	15996,9036

9. Para **Febrero 2021**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,936727	0,792851	0,749921	0,448936	0,355074
Band 2	0,936727	1	0,854375	0,827741	0,422607	0,339079
Band 3	0,792851	0,854375	1	0,896409	0,726776	0,693911
Band 4	0,749921	0,827741	0,896409	1	0,685574	0,585123
Band 5	0,448936	0,422607	0,726776	0,685574	1	0,958563
Band 6	0,355074	0,339079	0,693911	0,585123	0,958563	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	38,781391
134	53,9715248
145	60,2407839
156	96,747093
234	54,3370799
245	58,8437831
256	110,876052
345	58,0839954
356	69,5130679
456	78,8659167
124	42,6517796
125	41,0364235
126	40,1866764
135	52,4266734
136	51,505579
146	59,2066291
235	52,7654357
236	51,9118781
246	57,8989199
346	57,2480816

Ranking	Bandas	OIF
1	256	110,876052
2	156	96,747093
3	456	78,8659167
4	356	69,5130679
5	145	60,2407839
6	146	59,2066291
7	245	58,8437831
8	345	58,0839954
9	246	57,8989199
10	346	57,2480816
11	234	54,3370799
12	134	53,9715248
13	235	52,7654357
14	135	52,4266734
15	236	51,9118781
16	136	51,505579
17	124	42,6517796
18	125	41,0364235
19	126	40,1866764
20	123	38,781391

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	129,33
134	131,33
145	139,33
156	139,33
234	130,67
245	138,67
256	138,67
345	137,33
356	137,33
456	140,67
124	132,67
125	137,33
126	132,67
135	136,00
136	131,33
146	134,67
235	135,33
236	130,67
246	134,00
346	132,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	5015,72657
134	7088,26025
145	8393,54922
156	13480,095
234	7100,04511
245	8159,67125
256	15374,8125
345	7976,8687
356	9546,46133
456	11093,8056
124	5658,46943
125	5635,66882
126	5331,43241
135	7130,02758
136	6764,39937
146	7973,15938
235	7140,92229
236	6783,15207
246	7758,45527
346	7594,91216

Ranking	Bandas	MOIF
1	256	15374,8125
2	156	13480,095
3	456	11093,8056
4	356	9546,46133
5	145	8393,54922
6	245	8159,67125
7	345	7976,8687
8	146	7973,15938
9	246	7758,45527
10	346	7594,91216
11	235	7140,92229
12	135	7130,02758
13	234	7100,04511
14	134	7088,26025
15	236	6783,15207
16	136	6764,39937
17	124	5658,46943
18	125	5635,66882
19	126	5331,43241
20	123	5015,72657

10. Para **Agosto 2021**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,972675	0,870045	0,79128	0,806597	0,732962
Band 2	0,972675	1	0,939307	0,860858	0,846694	0,793571
Band 3	0,870045	0,939307	1	0,906087	0,914167	0,901862
Band 4	0,79128	0,860858	0,906087	1	0,881572	0,819986
Band 5	0,806597	0,846694	0,914167	0,881572	1	0,960367
Band 6	0,732962	0,793571	0,901862	0,819986	0,960367	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	53,2
134	70,8
145	86,8
156	90,8
234	69,2
245	83,7
256	90,4
345	89,5
356	93,8
456	98,5
124	54,3
125	60,5
126	58,8
135	77,8
136	75,9
146	84,8
235	75,6
236	73,9
246	81,8
346	87,8

Ranking	Bandas	OIF
1	456	98,5
2	356	93,8
3	156	90,8
4	256	90,4
5	345	89,5
6	346	87,8
7	145	86,8
8	146	84,8
9	245	83,7
10	246	81,8
11	135	77,8
12	136	75,9
13	235	75,6
14	236	73,9
15	134	70,8
16	234	69,2
17	125	60,5
18	126	58,8
19	124	54,3
20	123	53,2

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	136,67
134	145,00
145	159,67
156	160,67
234	144,67
245	159,33
256	160,33
345	159,67
356	160,67
456	168,67
124	144,67
125	151,33
126	145,67
135	151,67
136	146,00
146	154,00
235	151,33
236	145,67
246	153,67
346	154,00

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	7264,47435
134	10266,0521
145	13866,457
156	14596,3393
234	10004,2509
245	13334,7436
256	14499,9112
345	14297,5664
356	15069,0665
456	16613,9832
124	7849,73705
125	9150,19107
126	8563,87635
135	11793,1644
136	11087,6282
146	13060,8134
235	11436,2368
236	10765,2542
246	12574,4165
346	13523,1529

Ranking	Bandas	MOIF
1	456	16613,9832
2	356	15069,0665
3	156	14596,3393
4	256	14499,9112
5	345	14297,5664
6	145	13866,457
7	346	13523,1529
8	245	13334,7436
9	146	13060,8134
10	246	12574,4165
11	135	11793,1644
12	235	11436,2368
13	136	11087,6282
14	236	10765,2542
15	134	10266,0521
16	234	10004,2509
17	125	9150,19107
18	126	8563,87635
19	124	7849,73705
20	123	7264,47435

11. Para **Febrero 2022**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,953898	0,837489	0,689725	0,71803	0,660867
Band 2	0,953898	1	0,90632	0,750526	0,723982	0,700646
Band 3	0,837489	0,90632	1	0,79717	0,83986	0,872937
Band 4	0,689725	0,750526	0,79717	1	0,840921	0,785135
Band 5	0,71803	0,723982	0,83986	0,840921	1	0,962366
Band 6	0,660867	0,700646	0,872937	0,785135	0,962366	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	38,64221
134	57,92508
145	79,65911
156	73,52935
234	56,34709
245	76,53507
256	76,29218
345	79,39500
356	72,93591
456	80,35088
124	45,03189
125	45,26072
126	42,60816
135	58,25471
136	55,30105
146	75,98897
235	56,60222
236	53,90488
246	73,18693
346	76,29455

Ranking	Bandas	OIF
1	456	80,3508775
2	145	79,6591098
3	345	79,394995
4	245	76,5350693
5	346	76,294546
6	256	76,2921837
7	146	75,988972
8	156	73,5293511
9	246	73,1869306
10	356	72,9359126
11	135	58,2547063
12	134	57,9250811
13	235	56,6022247
14	234	56,3470903
15	136	55,3010511
16	236	53,9048843
17	125	45,2607211
18	124	45,0318918
19	126	42,6081631
20	123	38,6422059

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	132,67
134	136,67
145	142,00
156	136,33
234	133,67
245	139,00
256	133,33
345	138,67
356	133,00
456	137,33
124	137,00
125	138,00
126	131,33
135	137,67
136	131,00
146	135,33
235	134,67
236	128,00
246	132,33
346	132,00

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	5126,53265
134	7916,42774
145	11311,5936
156	10024,5015
234	7531,72773
245	10638,3746
256	10172,2912
345	11009,4393
356	9700,47638
456	11034,8538
124	6169,36918
125	6245,97952
126	5595,87208
135	8019,73124
136	7244,43769
146	10283,8409
235	7622,43292
236	6899,82519
246	9685,07048
346	10070,8801

Ranking	Bandas	MOIF
1	145	11311,5936
2	456	11034,8538
3	345	11009,4393
4	245	10638,3746
5	146	10283,8409
6	256	10172,2912
7	346	10070,8801
8	156	10024,5015
9	356	9700,47638
10	246	9685,07048
11	135	8019,73124
12	134	7916,42774
13	235	7622,43292
14	234	7531,72773
15	136	7244,43769
16	236	6899,82519
17	125	6245,97952
18	124	6169,36918
19	126	5595,87208
20	123	5126,53265

12. Para **Agosto 2022**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,975	0,881726	0,772417	0,778094	0,684871
Band 2	0,975	1	0,940292	0,831505	0,805315	0,719544
Band 3	0,881726	0,940292	1	0,859198	0,890978	0,844444
Band 4	0,772417	0,831505	0,859198	1	0,833613	0,698759
Band 5	0,778094	0,805315	0,890978	0,833613	1	0,935542
Band 6	0,684871	0,719544	0,844444	0,698759	0,935542	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	49,6185431
134	66,8390785
145	84,0728556
156	85,4697127
234	66,222273
245	82,0687462
256	86,6231296
345	89,6735166
356	88,3295769
456	96,7858209
124	51,6627641
125	55,7381669
126	53,0511996
135	71,4057408
136	68,4926987
146	80,6790352
235	70,4749671
236	67,7421106
246	78,9073403
346	86,6461287

Ranking	Bandas	OIF
1	456	96,7858209
2	345	89,6735166
3	356	88,3295769
4	346	86,6461287
5	256	86,6231296
6	156	85,4697127
7	145	84,0728556
8	245	82,0687462
9	146	80,6790352
10	246	78,9073403
11	135	71,4057408
12	235	70,4749671
13	136	68,4926987
14	236	67,7421106
15	134	66,8390785
16	234	66,222273
17	125	55,7381669
18	126	53,0511996
19	124	51,6627641
20	123	49,6185431

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
---------------	--------------------------

123	142,00
134	150,33
145	155,33
156	151,67
234	153,00
245	158,00
256	154,33
345	162,67
356	159,00
456	162,67
124	145,67
125	147,00
126	142,00
135	151,67
136	146,67
146	150,33
235	154,33
236	149,33
246	153,00
346	157,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	7045,83312
134	10048,1415
145	13059,3169
156	12962,9064
234	10132,0078
245	12966,8619
256	13368,8363
345	14586,892
356	14044,4027
456	15743,8269
124	7525,54263
125	8193,51054
126	7533,27035
135	10829,8707
136	10045,5958
146	12128,7483
235	10876,6366
236	10116,1552
246	12072,8231
346	13661,2063

Ranking	Bandas	MOIF
1	456	15743,8269
2	345	14586,892
3	356	14044,4027
4	346	13661,2063
5	256	13368,8363
6	145	13059,3169
7	245	12966,8619
8	156	12962,9064
9	146	12128,7483
10	246	12072,8231
11	235	10876,6366
12	135	10829,8707
13	234	10132,0078
14	236	10116,1552
15	134	10048,1415
16	136	10045,5958
17	125	8193,51054
18	126	7533,27035
19	124	7525,54263
20	123	7045,83312

13. Para **Febrero 2023**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,958389	0,865926	0,797434	0,710354	0,656041
Band 2	0,958389	1	0,932469	0,858395	0,719598	0,695044
Band 3	0,865926	0,932469	1	0,909921	0,825863	0,842709
Band 4	0,797434	0,858395	0,909921	1	0,868894	0,832318
Band 5	0,710354	0,719598	0,825863	0,868894	1	0,967894
Band 6	0,656041	0,695044	0,842709	0,832318	0,967894	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	40,7318834
134	58,0562462
145	71,0111032
156	79,5719877
234	57,3949545
245	69,6730778
256	82,884477
345	72,3515107
356	79,663047
456	82,2788435
124	46,4657903
125	47,2221919
126	46,1645824
135	58,9722739
136	57,851555
146	69,7439212
235	58,1816827
236	57,168026
246	68,5191921
346	71,3009044

Ranking	Bandas	OIF
1	256	82,884477
2	456	82,2788435
3	356	79,663047
4	156	79,5719877
5	345	72,3515107
6	346	71,3009044
7	145	71,0111032
8	146	69,7439212
9	245	69,6730778
10	246	68,5191921
11	135	58,9722739
12	235	58,1816827
13	134	58,0562462
14	136	57,851555
15	234	57,3949545
16	236	57,168026
17	125	47,2221919
18	124	46,4657903
19	126	46,1645824
20	123	40,7318834

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	134,67
134	139,00
145	145,00
156	142,67
234	135,67
245	141,67
256	139,33
345	143,00
356	140,67
456	143,67
124	137,67
125	140,67
126	135,33
135	142,00
136	136,67
146	139,67
235	138,67
236	133,33
246	136,33
346	137,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	5485,22696
134	8069,81823
145	10296,61
156	11352,2702
234	7786,58216
245	9870,35268
256	11548,5705
345	10346,266
356	11205,9353
456	11820,7272
124	6396,79046
125	6642,58833
126	6247,60682
135	8374,06289
136	7906,37918
146	9740,901
235	8067,86
236	7622,40346
246	9341,44986
346	9815,75784

Ranking	Bandas	MOIF
1	456	11820,7272
2	256	11548,5705
3	156	11352,2702
4	356	11205,9353
5	345	10346,266
6	145	10296,61
7	245	9870,35268
8	346	9815,75784
9	146	9740,901
10	246	9341,44986
11	135	8374,06289
12	134	8069,81823
13	235	8067,86
14	136	7906,37918
15	234	7786,58216
16	236	7622,40346
17	125	6642,58833
18	124	6396,79046
19	126	6247,60682
20	123	5485,22696

14. Para **Agosto 2023**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,711124	0,886547	0,816876	0,966724	1.000.000
Band 2	0,711124	1	0,922501	0,828854	0,769781	0,711124
Band 3	0,886547	0,922501	1	0,896144	0,894821	0,886547
Band 4	0,816876	0,828854	0,896144	1	0,886168	0,816876
Band 5	0,966724	0,769781	0,894821	0,886168	1	0,966724
Band 6	1	0,711124	0,886547	0,816876	0,966724	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	96,8
134	87,7
145	103,5
156	92,2
234	70,4
245	86,3
256	98,3
345	87,8
356	92,7
456	95,5
124	99,1
125	106,3
126	105,0
135	93,6
136	92,6
146	102,4
235	75,8
236	74,8
246	85,1
346	86,8

Ranking	Bandas	OIF
1	125	106,277623
2	126	105,040557
3	145	103,480638
4	146	102,389801
5	124	99,0803687
6	256	98,2529752
7	123	96,8217996
8	456	95,4647835
9	135	93,5600167
10	356	92,7038489
11	136	92,6130928
12	156	92,1777842
13	345	87,8197004
14	134	87,711187
15	346	86,7806171
16	245	86,2905988
17	246	85,1230722
18	235	75,8406799
19	236	74,8397033
20	234	70,4229376

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.

Bandas	Factor Correctivo
123	179,00
134	189,67
145	186,67
156	171,67
234	194,00
245	191,00
256	176,00
345	198,33
356	183,33
456	186,67
124	182,33
125	176,00
126	167,33
135	183,33
136	174,67
146	178,00
235	187,67
236	179,00
246	182,33
346	189,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	17331,1021
134	16635,8885
145	19316,3858
156	15823,853
234	13662,0499
245	16481,5044
256	17292,5236
345	17417,5739
356	16995,7056
456	17820,0929
124	18065,6539
125	18704,8616
126	17576,7866
135	17152,6697
136	16176,4202
146	18225,3846
235	14232,7676
236	13396,3069
246	15520,7735
346	16459,3904

Ranking	Bandas	MOIF
1	145	19316,3858
2	125	18704,8616
3	146	18225,3846
4	124	18065,6539
5	456	17820,0929
6	126	17576,7866
7	345	17417,5739
8	123	17331,1021
9	256	17292,5236
10	135	17152,6697
11	356	16995,7056
12	134	16635,8885
13	245	16481,5044
14	346	16459,3904
15	136	16176,4202
16	156	15823,853
17	246	15520,7735
18	235	14232,7676
19	234	13662,0499
20	236	13396,3069

15. Para **Febrero 2024**:

- Se tienen los datos de las siguientes bandas:

Correlación	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1	0,961407	0,905109	0,657435	0,805953	0,79783
Band 2	0,961407	1	0,949509	0,748327	0,831008	0,836751
Band 3	0,905109	0,949509	1	0,721459	0,879535	0,915284
Band 4	0,657435	0,748327	0,721459	1	0,802712	0,735899
Band 5	0,805953	0,831008	0,879535	0,802712	1	0,968835
Band 6	0,79783	0,836751	0,915284	0,735899	0,968835	1

- Se obtiene el OIF aplicando las diferentes combinaciones de bandas:

Bandas	OIF
123	38,3632153
134	54,0751648
145	83,397619
156	67,2958447
234	55,0088446
245	77,684524
256	69,1375347
345	90,0168939
356	73,2540406
456	87,1022813
124	43,9235646
125	44,4644763
126	43,1564661
135	54,7107358
136	53,3515211
146	81,413381
235	55,5631953
236	54,2826966
246	75,9460563
346	88,2459639

Ranking	Bandas	OIF
1	345	90,0168939
2	346	88,2459639
3	456	87,1022813
4	145	83,397619
5	146	81,413381
6	245	77,684524
7	246	75,9460563
8	356	73,2540406
9	256	69,1375347
10	156	67,2958447
11	235	55,5631953
12	234	55,0088446
13	135	54,7107358
14	236	54,2826966
15	134	54,0751648
16	136	53,3515211
17	125	44,4644763
18	124	43,9235646
19	126	43,1564661
20	123	38,3632153

- Se calcula el factor correctivo para la obtención del MOIF con la ecuación 4 del apartado 2.5.2.


Bandas	Factor Correctivo
123	130,00
134	133,67
145	136,33
156	127,00
234	135,33
245	138,00
256	128,67
345	136,67
356	127,33
456	132,33
124	135,00
125	132,67
126	125,67
135	131,33
136	124,33
146	129,33
235	133,00
236	126,00
246	131,00
346	129,67

- Se calcula el MOIF con la ecuación 5 del apartado 2.5.2.

Bandas	MOIF
123	4987,21799
134	7228,04703
145	11369,8754
156	8546,57228
234	7444,5303
245	10720,4643
256	8895,69613
345	12302,3088
356	9327,68117
456	11526,5352
124	5929,68121
125	5898,95386
126	5423,32924
135	7185,3433
136	6633,37246
146	10529,4639
235	7389,90497
236	6839,61978
246	9948,93337
346	11442,56

Ranking	Bandas	MOIF
1	345	12302,3088
2	456	11526,5352
3	346	11442,56
4	145	11369,8754
5	245	10720,4643
6	146	10529,4639
7	246	9948,93337
8	356	9327,68117
9	256	8895,69613
10	156	8546,57228
11	234	7444,5303
12	235	7389,90497
13	134	7228,04703
14	135	7185,3433
15	236	6839,61978
16	136	6633,37246
17	124	5929,68121
18	125	5898,95386
19	126	5423,32924
20	123	4987,21799

Este documento esta firmado por



Firmante	CN=tfgm.fi.upm.es, OU=CCFI, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Fecha/Hora	Wed May 29 10:29:49 CEST 2024
Emisor del Certificado	EMAILADDRESS=camanager@etsiinf.upm.es, CN=CA ETS Ingenieros Informaticos, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Numero de Serie	561
Metodo	urn:adobe.com:Adobe.PPKLite:adbe.pkcs7.sha1 (Adobe Signature)