



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

LABORATORIO DE MODELACIÓN II - MAT283

1^{ER} SEMESTRE 2022

Detección de floraciones de algas en tranques de relave a través de imágenes satelitales

Autores:

Pablo CALCUMIL

Ingeniería Civil Matemática

pablo.calcumil@sansano.usm.cl

Felipe PERÉZ

Ingeniería Civil Matemática

felipe.perezs@sansano.usm.cl

Expertos:

Claudia ACUÑA

Tomás RIOSECO

Profesor:

Erwin HERNÁNDEZ

Campus Santiago - San Joaquín

TABLA DE CONTENIDOS

1. Abstract	2
2. Desarrollo	3
2.1. Descripción del problema	3
2.2. Objetivos del trabajo	3
2.3. Background Matemático	4
2.4. Análisis	11
2.5. Resultados	12
2.6. Solución	16
3. Conclusión	18
Referencias	19

1. Abstract

En el presente trabajo se desarrolla un sistema de alerta de floración de algas en masas de agua mediante detección por imágenes satelitales que provienen de los satélites Landsat 8, 9 y Sentinel 2. En este se detalla un algoritmo que se entrega como solución al problema donde se realiza la correspondiente corrección radiométrica y corrección geométrica a las imágenes. Se realiza también un tratamiento a las imágenes con diferentes resoluciones, detección de masas de aguas y finalmente la detección de clorofila junto con un sistema de alerta ante una importante presencia de esta. El algoritmo es aplicado a imágenes satelitales con un enfoque a una zona de interés en particular, en donde comienza la detección, obteniendo resultados que demuestran que el algoritmo puede detectar floraciones de algas y de paso alertar si las métricas propuestas en el algoritmo sobrepasan el umbral.

2. Desarrollo

2.1. Descripción del problema

En la industria minera, específicamente en el proceso de la extracción de minerales, se forma un conjunto de desechos usualmente constituida por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (de poco valor), denominado relave. Este relave se transporta y almacena en "tranques o depósitos de relave", que es en donde se centra el problema a tratar. Los tranques de relave, como se mencionó, son depósitos que contienen agua con reactivos, esto implica que su cuidado debe de ser muy riguroso puesto que puede causar daños a bienes físicos y también al medioambiente. Por otro lado, vemos que es un sistema acuático, por lo que puede dar lugar a la floración de blooms de algas, y consigo traer avifauna del sector que se alimenta con este tipo de proliferación, exponiéndola a un contacto con material que puede resultar nocivo para las aves y el medioambiente de la zona en general.

Es por esto que se busca identificar de manera temprana la proliferación de algas, con tal de revertir la situación antes de que la avifauna encuentre esta fuente de alimento. Pero que también nos permita optimizar tiempo y recursos, de modo que se busca un método que pueda asegurar la presencia de algas, sin la necesidad de recurrir a una toma de muestras in situ.

2.2. Objetivos del trabajo

- Identificar blooms de algas presentes en tranque de relave con imágenes satelitales.
- Crear alerta de presencia de proliferación de algas en el tranque.
- Automatizar proceso de alerta.

2.3. Background Matemático

Para la realización de este trabajo, se utilizaron las imágenes satelitales publicadas en la página de la [USGS](#), que es el Servicio Geológico de Estados Unidos. Estas imágenes están dadas por los satélites Landsat 8, Landsat 9 y Sentinel 2.

Cada satélite pasa un promedio de 3 veces a la semana por una misma zona de interés y varias imágenes no son de utilidad producto de la alta nubosidad, es por esto que se trabajó con estos 3 satélites para amortiguar estas dificultades. Por otro lado, cada satélite tiene su propia forma de trabajo, tanto en formato de imagen, resolución de las imágenes, longitudes de ondas de las bandas espectrales, etc.

Landsat

Para los satélites Landsat 8 y 9, se tienen las siguientes bandas espectrales con sus respectivas longitudes de ondas y las resoluciones de cada una.

Bandas	Descripción	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1	Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2	Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3	Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4	Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda 5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6	SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7	SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8	Pancromático	0.50 - 0.68	15
Banda 9	Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Banda 11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Tabla 2.1: Información bandas espectrales Landsat 8 y 9.

Estas bandas espectrales entregadas por Landsat, tienen un tipo de dato llamado DN (*Digital Number*), que es la energía solar reflectada captada por el sensor que es reescalada. Para que estos valores numéricos obtenidos en las imágenes satelitales tengan sentido físico se tiene que convertir a radiancia en el sensor mediante la siguiente fórmula [1]:

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \cdot Q_{cal} + B_{rescale} \quad (1)$$

- L_{λ} : Radiación espectral que llega al sensor.

- $G_{rescale}$: Rescalamiento del valor de ganancia para cada banda.
- Q_{cal} : Valores en bruto obtenidos en las imágenes satelitales (DN).
- $B_{rescale}$: Rescalamiento del valor de varianza para cada banda.

Donde se tiene que,

$$G_{rescale} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \quad (2)$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) \cdot Q_{calmin} \quad (3)$$

- Q_{calmax} : Mínimo valor que se le puede dar a cada píxel.
- Q_{calmin} : Máximo valor que se le puede dar a cada píxel.
- $LMAX_{\lambda}$ Radiancia espectral escalada a Q_{calmax} .
- $LMIN_{\lambda}$: Radiancia espectral escalada a Q_{calmin} .

La radiancia que se mide corresponde a la energía captada en el sensor. Por otro lado, la reflectancia es la fracción de la radiación incidente reflejada de una superficie que nos entrega propiedades del objeto de estudio. Para los cálculos posteriores se necesitarán los valores de reflectancia espectral en el sensor. Por lo cual, es necesario pasar los valores de radiancia a reflectancia.

Hay 3 ventajas de usar la reflectancia del sensor en vez de la radiancia. Primero elimina el efecto de la diferencia en que se toma la captura de la imagen en el satélite al agregar la dependencia del ángulo en que fue tomada. Corrige la irradiación solar exo-atmosférica que afecta las bandas espectrales y corrige la diferencia entre las variaciones causadas por la distancia entre el planeta y el sol en el momento de la toma del dato. La formula para obtener la reflectancia es la siguiente [1]:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \sin(\theta)} \quad (4)$$

- ρ_{λ} : Reflectancia del sensor en la banda k.
- θ : Ángulo de elevación solar.
- d : Distancia del planeta al sol.

- $ESUN_{\lambda}$: Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.

Con esta calibración radiométrica y atmosférica implementada se logra obtener la reflectancia en el sensor para cada banda, lo que da paso para poder ejecutar los cálculos siguientes.

Sentinel

El satélite Sentinel 2 tiene las siguientes bandas espectrales con sus respectivas longitudes de ondas y las resoluciones de cada una.

Bandas	Descripción	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1	Aerosol costero	0.443	60
Banda 2	Azul	0.490	10
Banda 3	Verde	0.560	10
Banda 4	Rojo	0.665	10
Banda 5	Vegetación de Infrarrojo cercano	0.705	20
Banda 6	Vegetación de Infrarrojo cercano	0.740	20
Banda 7	Vegetación de Infrarrojo cercano	0.783	20
Banda 8	NIR	0.842	10
Banda 8A	Vegetación de Infrarrojo cercano	0.865	20
Banda 9	Vapor de agua	0.945	60
Banda 10	ISWIR - Cirrus	1.375	60
Banda 11	SWIR	1.610	20
Banda 12	SWIR	2.190	20

Tabla 2.2: Información bandas espectrales Sentinel 2.

Para este sensor no es necesario realizar el mismo procedimiento que se hizo con las imágenes Landsat, esto pues el sensor entrega las bandas espectrales con las correcciones ya realizadas.

Índices Espectrales

Un índice espectral es una técnica empírica de realce en los píxeles de una imagen, donde una condición de interés en un terreno se puede explicar mediante una fórmula matemática integrada por una o más bandas espectrales.

Para este trabajo, se necesita determinar presencia de clorofila de las algas que se encuentran exclusivamente en masas de agua, dentro de una zona de interés dada. Para ello se presenta

el índice NWDI (*Normalized Difference Water Index*) el cual entrega un realce en la imagen en zonas donde se tiene presencia de agua.

Este índice tiene algunas variaciones, por lo que se presentan las 3 que están presentes en este trabajo:

$$NDWI_{Gao} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (5)$$

$$NDWI_{McFeeters} = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (6)$$

$$NDWI_{Xu} = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (7)$$

Estos índices tienen distintos enfoques, como el realce del método Gao, donde este se enfoca en superficies de agua y vegetación con contenido de agua, esto gracias a la banda NIR, mientras que el método McFeeters, busca resaltar las masas de agua por el uso de la banda GREEN, al igual que el método Xu.

El índice NDWI tiene píxeles con valores que varían entre -1 y 1, lo que tiene el siguiente significado:

Valores	Descripción
0.2 a 1	Superficie de agua
0 a 0.2	Inundaciones
-0.3 a 0	Moderadamente seco
-1 a -0.3	Seco

Tabla 2.3: Rangos de valores del índice NDWI.

También se considera el índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), el cual es un índice de vegetación, pero también ayuda a reconocer otras zonas dado el rango de valores que se mueve entre el -1 y 1, donde los valores positivos cercanos al 0, pertenecen a zonas rocosas, mientras que los negativos pertenecen a zonas de agua.

Este índice está dado por la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (8)$$

La idea del manejo de estos 4 índices que pueden identificar las zonas de agua, es formar una mascara (matriz binaria), donde los píxeles que contengan el valor 1 sea un píxel donde los 4 índices determinen que es una zona acuosa, lo que ayuda a una mayor certeza de la zona, dado que algunos índices pueden presentar píxeles fuera de la zona por distintos motivos, como por ejemplo que la imagen se haya obtenido después de un día de lluvia, etc.

Por otro lado, para ver los niveles de floración de algas que hay en las masas de aguas se utilizaron los índices GCI (*Green Chlorophyll Index*), RCI (*Red Chlorophyll Index*), SEI (*Seaweed Enhancing Index*) y FAI (*Float Algal Index*), que están dados por las siguientes fórmulas:

$$GCI = \left(\frac{NIR}{GREEN} \right) - 1 \quad (9)$$

$$RCI = \left(\frac{NIR}{RED} \right) - 1 \quad (10)$$

$$SEI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (11)$$

$$FAI = NIR - \left[RED + (NIR - SWIR) \left(\frac{\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}}{\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED}} \right) \right] \quad (12)$$

Donde

- λ_{NIR} : Longitud de onda de la banda NIR.
- λ_{SWIR} : Longitud de onda de la banda SWIR.
- λ_{RED} : Longitud de onda de la banda RED.

Estos índices se encargan de realzar píxeles donde hay presencia de la pigmentación de la clorofila, donde el GCI es bastante utilizado dado que puede identificar una amplia gama de especies vegetales, por otro lado el RCI, también es bastante utilizada para ver estructuras celulares de especies vegetales, dado a la gran sensibilidad que le da la banda roja que utiliza, y también está el índice FAI que se utiliza tradicionalmente para la identificación visual de los bloom de algas. Además, se puede ver que la ecuación del índice $NDWI_{Gao}$ y del índice SEI , son iguales, esto se debe, como ya fue mencionado antes, a que el método Gao del índice $NDWI$, mide también la humedad de las estructuras celulares vegetales, por lo que dentro de rangos específicos se puede ver el realce de las algas. Los rangos [5] establecidos para estos índices son los siguientes:

Índice	Cota Mínima	Cota Máxima
GCI	-0.07	0.03
RCI	-0.05	0.07
FAI	0.008	0.13
SEI	0.08	0.24

Tabla 2.4: Rangos de valores de índices para detectar floraciones de algas.

Métrica y Alerta

El proceso de la formación de una alerta para la floración de algas, contará con 2 índices, donde ambos deben de cumplir ciertos criterios para lograr activar la alarma.

Para el criterio de la alerta lo que considerará el primer índice es el porcentaje de píxeles que contienen floración de algas y la dispersión que presenten estas. Esto pues el crecimiento de las algas es mayor cuando estas están aglomeradas en un solo lugar. Por lo cual al haber un alto porcentaje de píxeles con alga y baja dispersión de estas sera necesario mandar una alerta.

Para medir la dispersión consideraremos un una familia de puntos $\{x_1, \dots, x_n\}$ con distancia d^{ij} entre cada uno. Utilizaremos la siguiente formula[2]:

$$D = \frac{1}{\rho_{max}n(n-1)} \sum_{i,j=1}^n d^{i,j} \quad (13)$$

- D : Índice de Dispersión.
- d^{ij} : Distancia entre las posiciones de algas i y j .
- n : Número de píxeles con presencia de algas.
- ρ_{max} : Distancia posible máxima entre 2 posiciones de algas.

Para calcular la métrica que medirá las alertas se considerara el siguiente índice:

$$I_D = a_d(1 - D) + a_r R \quad (14)$$

- I_D : Índice que determinara la activación de la alerta.
- a_d : Peso de la Dispersión.
- D : Índice de Dispersión.
- a_r : Peso de población de algas.
- R : Porción de agua con algas.

La elección de estos pesos varían en el tiempo con respecto a las condiciones temporales, pero para efectos prácticos se consideró un $a_r = 0,7$ y $a_d = 0,3$.

Por otro lado, el criterio de la segunda métrica considerará un rango modificado de valores en los que se obtienen los píxeles que contengan presencia de algas. Consideremos inicialmente el rango inicial de un índice de bloom de algas cualquiera $[c_{mic}, c_{max}]$, luego se obtiene el siguiente valor:

$$c_{mod} = p_m c_{max} + (1 - p_m) c_{min} \quad (15)$$

- c_{mod} : Cota mínima del rango modificado.
- p_m : Peso del rango modificado.
- c_{max} : Cota máxima del rango inicial.
- c_{min} : Cota mínima del rango inicial.

Con esto se obtiene el rango modificado $[c_{mod}, c_{max}]$, y se considera el siguiente porcentaje/índice de algas para calcular la métrica:

$$I_A = \frac{A_{mod}}{A_{total}} \quad (16)$$

- I_A : Porcentaje de algas dentro del rango modificado.
- A_{mod} : Número total de píxeles de algas dentro del rango modificado.
- A_{total} : Número total de píxeles de algas.

Finalmente, la alerta estará dada por lo siguiente:

$$M(I_D, I_A) = \begin{cases} 1, & \text{si } I_D \geq 0,3 \text{ y } I_A \geq 0,5 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (17)$$

Donde 1 significa que se debe emitir alerta y 0 no se emite alerta.

Herramientas Computaciones

Finalmente, cabe mencionar que para este trabajo se utilizaron herramientas de sistemas de información geográfico, como lo son los softwares *ENVI* y *QGIS* [4], para el manejo y visualización de los datos geográficos dados por las imágenes satelitales. Además, se utilizó el lenguaje de programación *Python*, para la programación y automatización de un algoritmo que forma nuevos datos geográficos de los índices ya mencionados, también proyecta estos datos en imágenes que se visualizan en pantalla y además entrega el valor de las métricas para dar un informe sobre la posible emisión de la alerta, y así con estos datos ayudar en la toma de decisiones sobre el manejo de los factores que influyen en la floración de estas algas.

2.4. Análisis

En la tabla 2.2, se puede apreciar que el sensor Sentinel 2 tiene bandas espectrales con distintas resoluciones, lo que resulta ser una complicación para las operaciones que se deben realizar en el cálculo de los índices mencionados.

Por lo cual, se utilizó un método de interpolación que consiste en un regularizador obtenido al convolucionar con la distribución Gaussiana. Para convertir todas las bandas a una resolución de 20 metros.

Este proceso consiste en lo siguiente. Sea la matriz I correspondiente a la imagen inicial con M filas y N columnas, se considera una matriz K denominada como kernel que tiene m filas y n columnas con valores obtenidos por la distribución Gaussiana

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (18)$$

Donde σ es la desviación estándar.

La convolución se puede representar de la siguiente manera

$$O(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n I(i+k-1, j+l-1) K(k, l) \quad (19)$$

Donde O es la matriz obtenida por la interpolación que tiene $M-m$ filas y $N-n$ columnas.

2.5. Resultados

En este trabajo se realizaron pruebas de índices para ver la presencia de blooms de algas en un tranque de relave, lo cual es una zona acuosa, es por esto que dentro de esta zona se buscó dar distintos contrastes a la imagen a través de índices de clorofila para la detección de los blooms de algas.

Lo primero realizado fue una combinación de bandas con el software Quantum GIS (QGIS)[4] para identificar algas en el tranque. Esta combinación es la 542 (*NIR*, *RED*, *BLUE*)[6], donde previamente se utilizó la herramienta Semi-Automatic Classification Plugin[7], para realizar un cambio de resolución a las bandas y la corrección atmosférica, obteniendo la siguiente imagen:

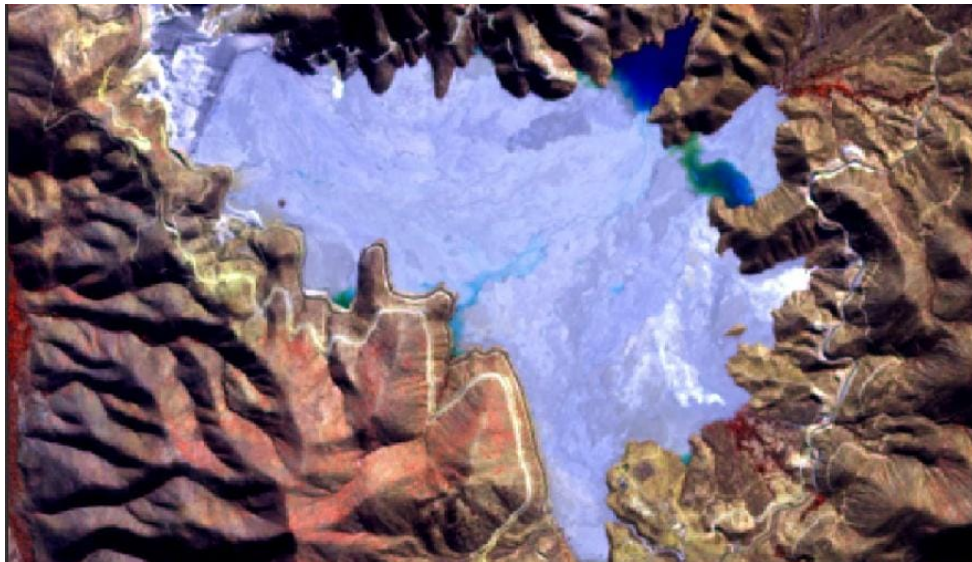


Figura 2.1: Combinación de bandas 542, Tranque del Mauro.

En la imagen de la figura 2.1, se puede apreciar el relave de un color gris/blanco, mientras que hay zonas de color verdes que posiblemente sean floraciones de algas, y que son estas las zonas donde el algoritmo realizado debe reconocer, formar un realce y emitir una alerta si es prudente.

Se muestran en las siguientes imágenes obtenidas por el script realizado para satisfacer el requerimiento de un proceso de automatización de alerta de presencia de blooms de algas:

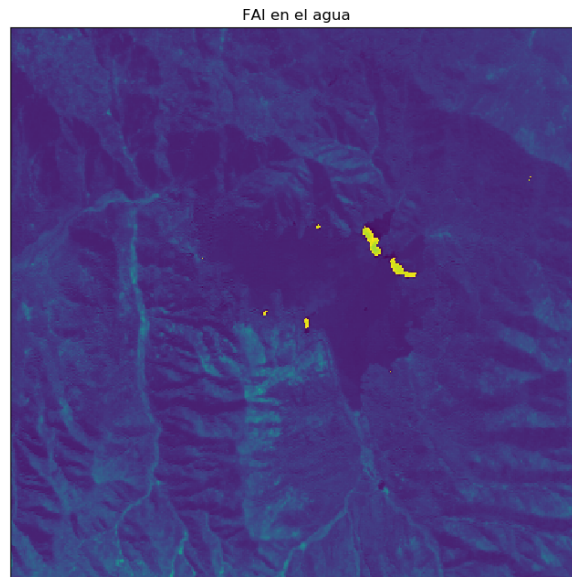


Figura 2.2: Tranque del Mauro con realce de índice FAI en zonas de agua.

En la imagen de la figura 2.2 se puede apreciar la diferencia de la imagen después de aplicar el índice FAI y el realce de algunos píxeles con un color amarillento. Esto es dado que el algoritmo producido se encarga de aumentar los valores en los píxeles donde el índice FAI está dentro del rango dado para la presencia de floraciones de algas, específicamente, el rango de la pigmentación de la clorofila de estas floraciones.

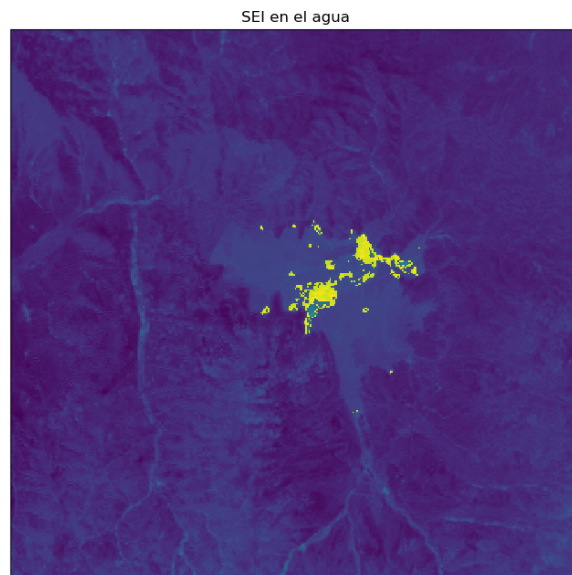


Figura 2.3: Tranque del Mauro con realce de índice SEI en zonas de agua.

De la misma manera que para el índice FAI, en la figura 2.3, se puede apreciar un realce en zonas donde el índice SEI identifica blooms de algas.

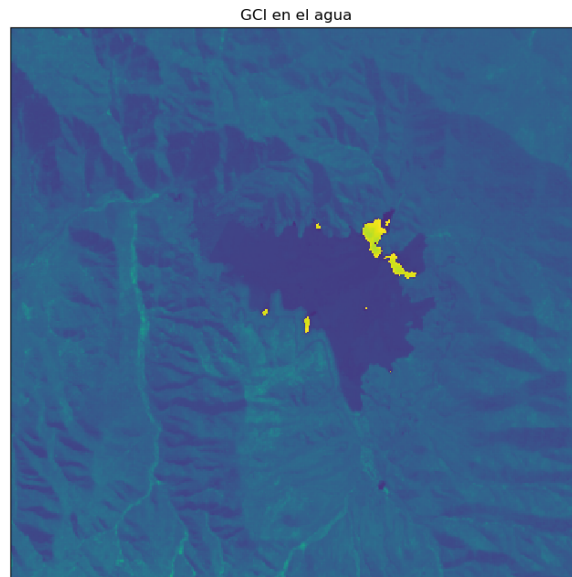


Figura 2.4: Tranque del Mauro con realce de índice de clorofila verde (GCI) en zonas de agua.

En la imagen de la figura 2.4 se puede apreciar de un color amarillo y verde los píxeles donde el GCI está en el rango dado, para la presencia de cuerpos que tengan la pigmentación de clorofila.

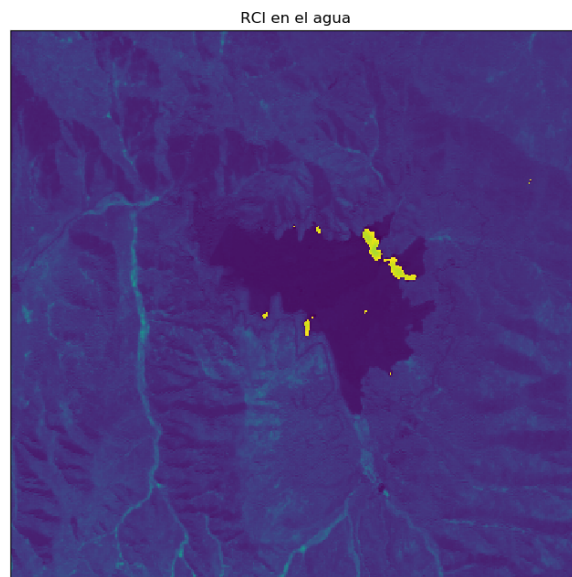


Figura 2.5: Tranque del Mauro con realce de índice de clorofila roja (RCI) en zonas de agua.

Y al igual que con los índice ya vistos, en la imagen de la figura 2.5, se puede apreciar un realce de color amarillo a los píxeles donde el RCI está en el rango dado.

Se puede notar también que los píxeles que son realzados se encuentran dentro del tranque de relave, esto es dado al algoritmo que se encarga de realzar los píxeles donde el NDWI y NDVI indican la presencia de zonas de agua, y además se utilizan estos 4 índices de clorofila para tener una mayor exactitud del área donde hayan cuerpos que tengan esta pigmentación, que por lo que se puede apreciar en la figura 2.1 esta tiene algunas áreas donde se puede apreciar algas, y que son exactamente las zonas donde cada índice tiene los píxeles realzados, lo que podría indicar que estos índices y el script que los forma obtiene buenos resultados.

Por otro lado, se obtuvieron los siguientes valores para las métricas, donde los umbrales fueron modificados para ver si este realizaba la alerta al superarlos:

Métrica	Valor Obtenido	Alerta
1	0.2665	No
2	0.2792	No

Tabla 2.5: Valores de las métricas 1 y 2, y emisión de alerta para umbral de métrica₁ = 0, 3 y de métrica₂ = 0, 5.

Métrica	Valor Obtenido	Alerta
1	0.2665	Si
2	0.2792	Si

Tabla 2.6: Valores de las métricas 1 y 2, y emisión de alerta para umbral de métrica₁ = 0, 1 y de métrica₂ = 0, 1.

Métrica	Valor Obtenido	Alerta
1	0.2665	Si
2	0.2792	No

Tabla 2.7: Valores de las métricas 1 y 2, y emisión de alerta para umbral de métrica₁ = 0, 1 y de métrica₂ = 0, 5.

Dados los valores y los umbrales establecidos para estos casos, en la tabla 2.5 y la tabla 2.7, no se emite una alerta, dado que tienen al menos una métrica que bajo el umbral, mientras que para los valores en la figura 2.6, si se emite una alerta.

2.6. Solución

La solución presentada para este problema, trata de un algoritmo dado en un script de *Python*, el cual realiza los siguientes pasos:

- **Reconoce los archivos donde se guardan las bandas espectrales.** Este algoritmo reconoce todos los datos dados en la descarga de la imagen a través de la página de la [USGS](#), desde las bandas espectrales, hasta los metadatos de estas, junto al reconocimiento de que sensor se obtuvieron las imágenes.

El archivo descargado debe ser guardado previamente en un folder específico llamado */Imagen_In*.

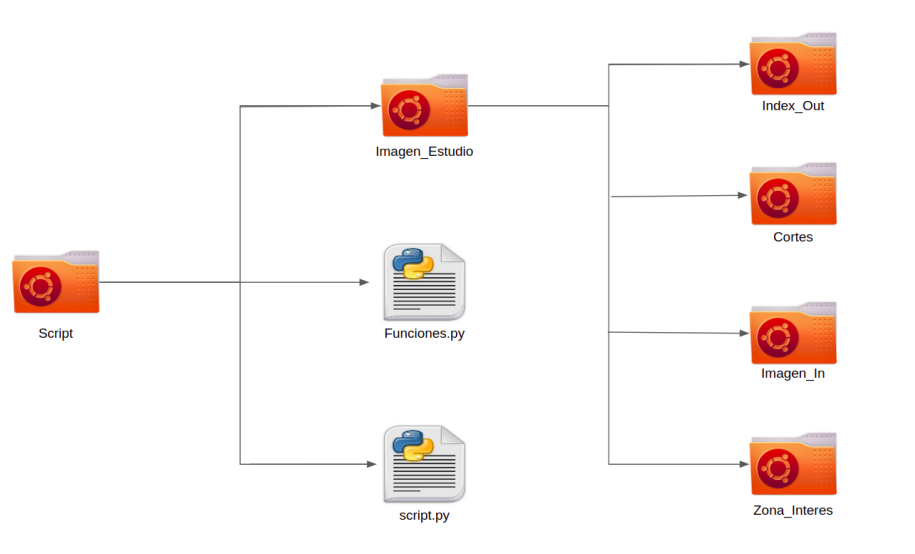
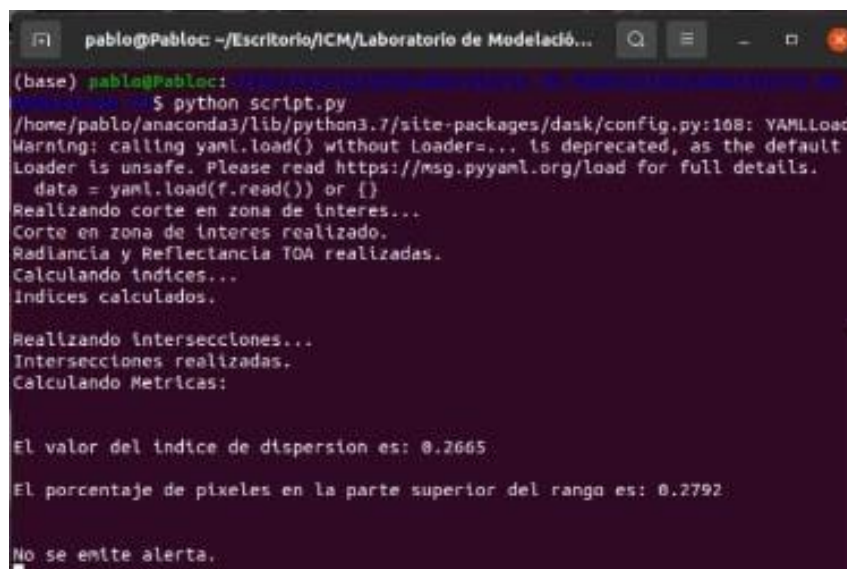


Figura 2.6: Esquema de organización de carpetas y archivos del algoritmo realizado.

- **Corta en una zona de interés.** Las imágenes dadas por el sensor son bastante grandes y abarcan mucha información, mucha más de lo que realmente se necesita. Es por esto que de ser necesario se puede enfocar estrictamente en una zona de interés más acotada. Para que esto sea posible, dentro de un folder específico, llamado */Zona_Interes*, se ingresa una zona más pequeña (dentro de lo que abarca la imagen satelital original) a través de un archivo en formato shapefile (que debe llamarse *Zona_Interes.shp*), y el algoritmo se encargará de realizar este corte o enfoque a la zona de interés, a cada una de las bandas de la imagen satelital. Estos cortes son guardados como archivos .tif en un folder específico, llamado */Cortes*.
- **Realiza la corrección radiométrica.** De ser necesario, como en el caso de las imágenes Landsat, este algoritmo realiza la corrección atmosférica, utilizando los metadatos que vienen en un archivo dentro de la imagen descargada y con ellos calcula los valores de radiancia, seguido de los valores de reflectancia TOA. Si el sensor que se usó para la obtención de la imagen fue el sensor Sentinel, este paso lo omite.

- **Cálculo de índices espectrales.** Este algoritmo, a través de las bandas espectrales, forma nuevas bandas espectrales donde cada pixel tenga el valor del índice necesario. Estas nuevas bandas creadas se guardan como archivos .tif en un folder específico, llamado */Index_Out*
- **Visualización de píxeles con presencia de algas en zonas de agua.** Este trabajo se restringe a las zonas de agua, a través de los índices de agua como el *NDWI*, para que en estas zonas se busque la presencia de los blooms de algas usando los índices de clorofila. Luego usando un realce en los píxeles que cumplan los rangos, se presenta la visualización.
- **Cálculo de métricas y alerta.** Utilizando mascarar de matrices binarias, el algoritmo es capaz de calcular la distancia euclidiana para el posterior cálculo de la dispersión. También el cálculo del porcentaje de píxeles de blooms de algas sobre los píxeles de agua, ambos procesos destinados al cálculo de la primera métrica. Por otro lado, utilizando los índices de alga, el algoritmo contabiliza los píxeles con mayor valor (dentro del rango estipulado para la presencia de alga), para calcular el porcentaje del total de píxeles de algas, esto para el cálculo de la segunda métrica. Finalmente, dado los umbrales para ambas métricas, se alertará o no, la presencia de floraciones de algas.



```
pablo@Pabloc: ~/Escritorio/ICM/Laboratorio de Modelació...
(base) pablo@Pabloc:
$ python script.py
/home/pablo/anaconda3/lib/python3.7/site-packages/dask/config.py:108: YAMLLoad
Warning: calling yaml.load() without Loader=... is deprecated, as the default
Loader is unsafe. Please read https://msg.pyyaml.org/load for full details.
  data = yaml.load(f.read()) or {}
Realizando corte en zona de interes...
Corte en zona de interes realizado.
Radiancia y Reflectancia TOA realizadas.
Calculando indices...
Indices calculados.

Realizando intersecciones...
Intersecciones realizadas.
Calculando Metrics:

El valor del indice de dispersion es: 0.2665
El porcentaje de pixeles en la parte superior del rango es: 0.2792
No se emite alerta.
```

Figura 2.7: Formato de entrega de valores y de la alerta.

Actualmente, existen servicios de detección de algas a través de imágenes satelitales, pero la gran diferencia con la solución obtenida en este trabajo, es el tipo de zona acuosa en la que se trabaja, es decir, estas soluciones ya existentes se concentran mayormente en océanos, mares, lagos o embalses, mientras que este trabajo se realiza en una zona donde los índices pueden resultar afectados por la presencia del relave presente en el tranque.

3. Conclusión

En el presente trabajo se estudió la manera de detectar blooms de algas formadas en zonas acuosas, específicamente en un tranque de relave, esto dado a la posible exposición con materiales tóxicos de la avifauna del sector, en busca de comida, lo que podría llevar consigo a un desastre ecológico. La detección de estas floraciones dentro del tranque, se realizó a través de la utilización de imágenes satelitales, y el manejo de las bandas espectrales que estas contienen.

Este trabajo detalla un algoritmo formado para la detección de los blooms de algas presentes en el tranque de relave y una posible alerta, el cual a través del manejo de índices espectrales, y cálculo de métricas emite la alerta, si se considera adecuado, para informar una basta presencia de las floraciones y consigo una probable aparición de la avifauna.

El algoritmo formado para la resolución del problema fue utilizado con imágenes satelitales provistas por los satélites Landsat y Sentinel, las cuales requieren de procesos distintos, tanto de corrección atmosférica, como de cambios de resolución, además tienen distintas sensibilidades en sus bandas espectrales, y diferentes longitudes de onda en estas.

A partir de los resultados obtenidos, se puede ver que el algoritmo puede reconocer de buena manera la presencia de algas, pero se concentra más en la presencia de algas en las orillas del tranque. Esto se puede dar debido a la presencia del material de ganga en el tranque con el que se puede ver afectada la sensibilidad de los sensores y de los rangos establecidos para los índices de clorofila, pero esto es visto solo a través de las combinaciones 542, como la presentada en la figura 2.1. Por otro lado, los resultados de la alerta fueron acertados según los criterios de testeo que se realizaron.

Como trabajos a futuro, se podría considerar la utilización del algoritmo para una eventual formación de data set, junto a valores de temperatura, velocidad del viento, además de valores in situ, como el pH del agua, etc. Esto para poder realizar un análisis estadístico de las condiciones que ayudan a estas floraciones en el tranque de relave. Para posteriormente formar un modelo de aprendizaje automático que pueda formar una alerta desde el comienzo de la floración.

Referencias

- [1] GYANESH CHANDER , BRIAN L. MARKHAM AND DENNIS L. HELDE. *Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors*
- [2] NICOLAS GAUVRIT ET JEAN-PAUL DELAHAYE. *Le diamètre d'ordre 0 : une mesure « naturelle » d'étalement*
- [3] MUHAMMAD DANISH SIDDIQUI, ARJUMAND Z. ZAIDI AND MUHAMMAD ABDULLAH. *Performance Evaluation of Newly Proposed Seaweed Enhancing Index (SEI)*
- [4] FEDERICO J. GAZABA. *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica con QGIS*
- [5] OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, UN. *Data Application of the Month: Harmful Algal Blooms*
- [6] M. FOCARETA, S. MARCUCCIO, C. VOTTO AND S.L. ULLO. *Combination of Landsat 8 and Sentinel 1 data for the characterization of a site of interest. A Case Study: the Royal Palace of Caserta*
- [7] LUCA CONGEDO. *Semi-Automatic Classification Plugin: A Python Tool fot the Download and Processing of Remote Sensing Images in QGIS*