

Algoritmos para el análisis de imágenes satelitales

Con el programa Copernicus de la Unión Europea

DOI: 10.29236/sistemas.n174a4

Manuel Dávila Sguerra

Contenido

I Introducción	32
II. Tipos de análisis	32
2.1 Cambios en las masas de agua de las lagunas o afluentes hídricos con el satélite Sentinel-2. Caso: Laguna de Suesca, Colombia	32
2.2 Calidad del agua, con el satélite Sentinel-2. Caso: Lago de Tota, Colombia	33
2.3 Calidad del aire, con el satélite Sentinel-5. Caso: Polución NO2 a nivel mundial vs Covid	34
2.4 Referenciación de cultivos y análisis de características de la tierra, con el satélite Sentinel-2. Caso: 400 cultivos de Guadua en Cundinamarca, Colombia	35
2.5 Hundimientos de la tierra debido a sismos con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Los Santos, Colombia	36
2.6 Incendios, con el satélite Sentinel-2. Caso: Zona del Catatumbo cerca de Cúcuta, Colombia	37
2.7 Deforestación, con el satélite Sentinel-2. Caso: El Caguán, Colombia	38
2.8 Erosión costera, producto de las mareas marinas en las costas con el uso de radar, con el satélite Sentine-1. Caso: Senegal en África occidental	38
2.9 Deslizamiento de tierras por derrumbes y terrenos debilitados por deforestación con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: tierra de Fagraskógarfjall en Islandia	39
2.10 Sequías por falta de lluvias, con el satélite Sentinel-2. Caso: Ciudad del Cabo Suráfrica	39
2.11 Monitoreo de volcanes, creando alertas tempranas de las erupciones y producción de lava en los territorios cercanos a sitios poblados, con el satélite Sentinel-2. Caso: Volcán Etna en Sicilia	41
2.12 Inundaciones con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Sur África Occidental	42

1. Introducción

A veces las imágenes satelitales se interpretan como unas simples fotografías, siendo en realidad sistemas de información recogidos por los sensores de los diferentes satélites para ser estructurados e interpretados bajo el estado del arte del espectro electromagnético, la teoría de la física, los análisis de la biología y las estructuras matemáticas con algoritmos que hacen posible interpretar las transformaciones de la tierra.

2. Tipos de análisis

A continuación, enumeraremos algunos posibles tipos de análisis.

2.1 Cambios en las masas de agua de las lagunas o afluentes hídricos con el satélite *Sentinel-2*. Caso: Laguna de Suesca, Colombia

El agua, requiere una vigilancia permanente en las fuentes, en cuanto a sus volúmenes. Para ello se analizan las imágenes bajo varias combinaciones de bandas con índices como el *MSI Land Water* con la combinación de las bandas B11, B8, B4 (Acolita, 2019) para observar el estado de la vegetación, el suelo y el agua, hasta llegar al índice *NDWI* ($B3 - B8$) / ($B3 + B8$) (Acolita, 2019) que nos mostrará las áreas en las que solo hay agua

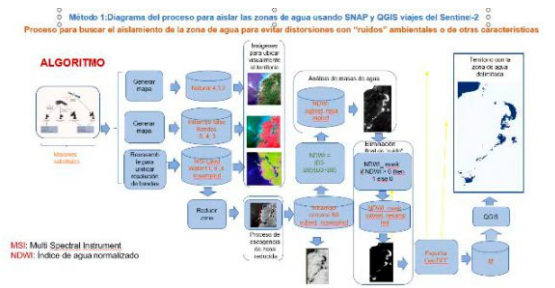


Ilustración 1. Algoritmo para determinar masas de agua

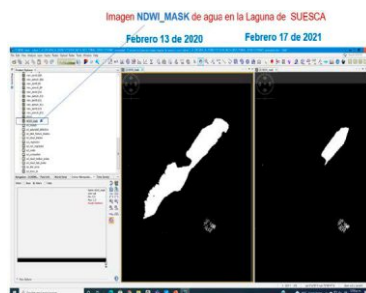


Ilustración 2. Imágenes bajo el índice NDWI que muestran verdadera presencia de las masas de agua en dos fechas diferentes



Ilustración 3. Relacionamiento regional con Open Street Map

para hacer mediciones de áreas, perímetros y otras características para conocer la evolución de las áreas acuosas.

2.2 Calidad del agua, con el satélite Sentinel-2. Caso: Lago de Tota, Colombia

En el caso del agua, no solo son importantes sus caudales sino también su calidad. Valga decir que las tecnologías satelitales permiten hacer análisis del líquido, equivalentes, aunque no exactamente idénticas, a los análisis químicos que se hacen en tierra, permitiendo revisar la existencia de residuos sólidos o métricas de clorofila, lo que también ofrece la posibilidad de

crear alertas tempranas orientadoras para los cultivadores. La red neuronal llamada C2RCC (Brockman-cónsul, 2014) mostrará las propiedades ópticas inherentes, dando como resultados aspectos como: la absorción de pigmentación que es el parámetro determinante del color. El desgaste de disgregación en partículas de una materia sólida. Absorción de material de espacio de aire que aumenta la cantidad de materia orgánica, el agua se vuelve verde, amarillo verdosa y luego marrón. Coeficiente de absorción y residuos. Esparcidor de sedimentos. Material suspendido. Concentración de clorofila entre otros.



Ilustración 4- Algoritmo para analizar calidad del agua

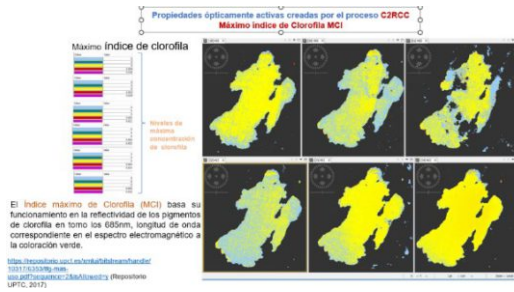


Ilustración 5. Ejemplo de mediciones de uno de los componentes activos: Clorofila en este caso

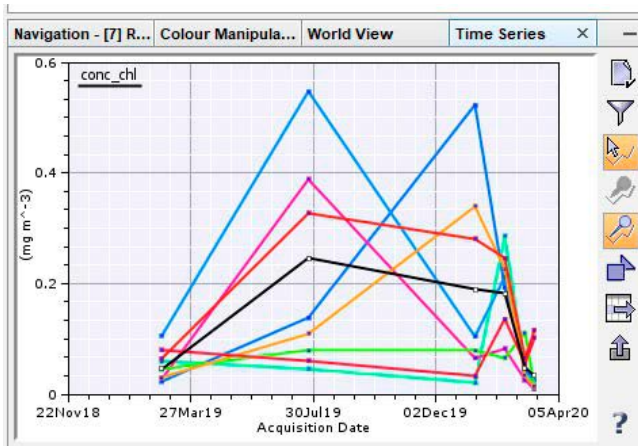


Ilustración 6. Medidas de clorofila en gramos / metro cúbico en distintos puntos seleccionados de la laguna

2.3 Calidad del aire, con el satélite Sentinel-5. Caso: Polución NO₂ a nivel mundial vs Covid

La polución del aire obedece, en general, a la presencia de elementos químicos producto de los motores industriales, vehículos de transporte, quemas y otros (Rus, 2019) más como ozono (O₃), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) (Saludgeoambiental, 2022), formaldehído (HCHO), penacho volcánico, dióxido de azufre (SO₂), aerosoles,

entre otros, cuya contaminación es riesgosa para la salud humana. Una vigilancia constante de estos fenómenos sería de gran ayuda para proteger a los pobladores. En este sentido es posible analizar el estado de la calidad del aire en el caso del NO₂, por ejemplo, siguiendo las recomendaciones de los científicos que piensan que este tipo de contaminación puede estar relacionada con el Coronavirus, es posible hacer este tipo de análisis a nivel mundial como se logró hacer aplicando el algoritmo adecuado.

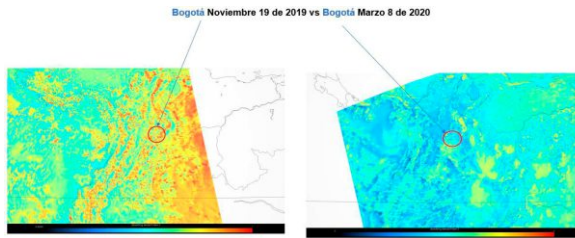


Ilustración 7. Comparación de aerosoles de la zona de Bogotá antes de la pandemia y durante el encierro

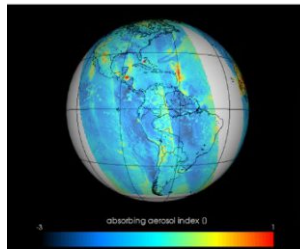


Ilustración 8. Mapamundi con concentraciones de aerosoles

2.4 Referenciación de cultivos y análisis de características de la tierra, con el satélite Sentinel-2.

Caso: 400 cultivos de Guadua en Cundinamarca, Colombia

Los diferentes cultivos, al ser geo referenciados, permite visualizar su ubicación en los territorios anexando en las imágenes datos sobre sus propietarios y las variables que se consignan en las bases de datos que los identifiquen. Este algoritmo

permite visualizar los territorio con diversas combinaciones de bandas como vigorosidad agrícola, geo referenciar los cultivos, aplicar el índice $NDVI$ $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ (Acolita, 2019) asociado con el contenido de vegetación y analizar su estrés, aplicar el índice $LSWI$ $(B8 - B11)/(B8 + B11)$ (Acolita, 2019) para observar la acuosidad de la superficie de la tierra, generar el mapa con los índices de contenidos



Ilustración 9. Algoritmo para georeferenciación de cultivos

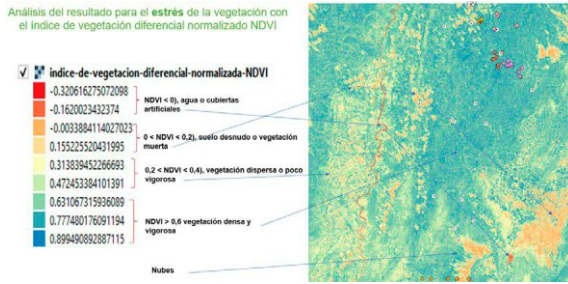


Ilustración 10. Índice NDVI para estrés de vegetación con cultivos georeferenciados

de Clorofila y analizar la densidad de biomasa con el índice $EVI\ 2.5 * ((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))$ (Acolita, 2019), entre otros resultados.

2.5 Hundimientos de la tierra debido a sismos con el uso de radar, con el satélite *Sentinel-1*. Caso: Los Santos, Colombia

Uno de los cambios que generan los sismos es el corrimiento del terreno tanto verticalmente como horizontalmente, cambios que en grandes proporciones pueden generar problemas como deforestación o debilidad del suelo. En este

caso se trabaja con el *Sentinel-1* (Sentinel Online, 2024) que usa radar, pero requiere hacer una “limpieza” de los datos filtrando “ruidos” del espectro electromagnético. En las siguientes etapas se hacen correcciones del efecto *Doppler* (Efecto Doppler, 2024) ya que por estar el satélite en movimiento genera imágenes que deben ser bien interpretadas. Estos resultados intermedios permitirán generar los mapas de coherencia e interferogramas (Cdn, 2024). que permiten llegar a un mapa final que mide por pixel los desplazamientos del terreno.

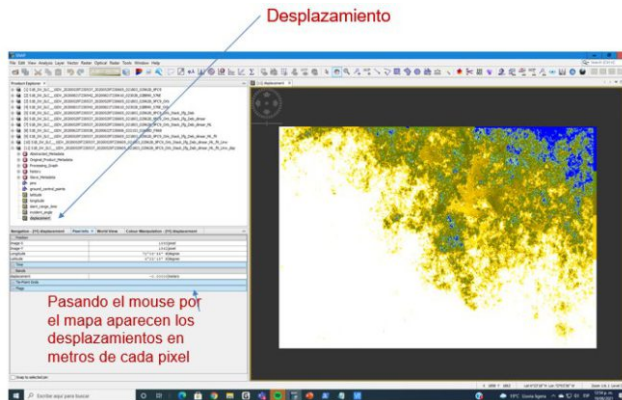


Ilustración 11. Imagen final que muestra desplazamientos del terreno por pixel

2.6 Incendios, con el satélite Sentinel-2. Caso: Zona del Catatumbo cerca de Cúcuta, Colombia

Los incendios producen polución del aire, aun en las poblaciones cercanas habitadas, ya que el humo viaja con el viento. Se busca calcular el índice de quemado normalizado (*NBR*) ($B8-B12/(B8 + B12)$) diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio. La fórmula es similar al

NDVI (Acolita, 2019), excepto que combina el uso de longitudes de onda de infrarrojo cercano (*NIR*) (Acolita, 2019) e infrarrojo de onda corta (*SWIR*) (Acolita, 2019). Con los dos mapas trabajados se busca calcular la diferencia de *NBR* (Acolita, 2019) entre pre-fuego y post-fuego que es la relación de quema normalizada delta (*dNBR*), dato que analizado según su valor numérico permite identificar las zonas más quemadas.

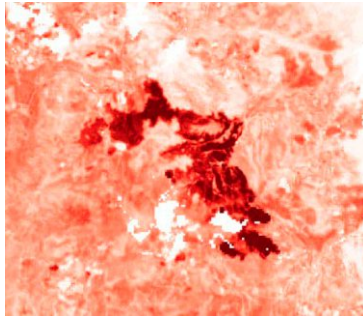


Ilustración 12. Ubicación real del incendio

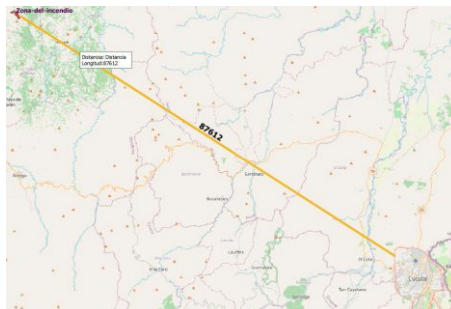


Ilustración 13. Ubicación de la zona y distancia al sitio detectado con humo

2.7 Deforestación, con el satélite Sentinel-2. Caso: El Caguán, Colombia

La pérdida de los árboles afecta muchos aspectos del equilibrio natural por el cual debemos propender. Este caso puede ser estudiado, para detectar los cambios de clorofila en la copa de los árboles, humedad de las hojas, índices de áreas de las hojas, fotosíntesis, cobertura de vegetación, contenido de agua y otras características más que permiten una vigilancia y planeación del cuidado de nuestros bosques. Requiere un flujo de trabajo para crear unas variables biofísicas que contienen los índices normalizados de reflectancia de las

copas de los árboles que son las que nos van a dar la posibilidad de analizar las transformaciones de la vegetación. Es posible ver el contenido de clorofila de tal manera que el sistema va a mostrar un eje cartesiano con el índice correspondiente durante las fechas de los vuelos en estudio.

2.8 Erosión costera, producto de las mareas marinas en las costas con el uso de radar, con el satélite Sentine-1. Caso: Senegal en África occidental

Este algoritmo utiliza radar para analizar la costa en la cual quisiéramos determinar el nivel de erosión. Requiere flujos de trabajo pa-

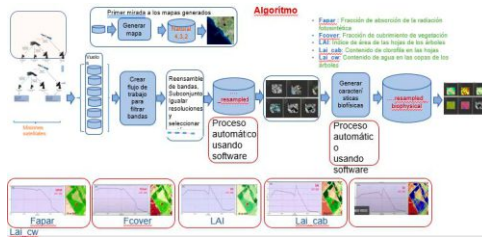


Ilustración 14. Algoritmo para el análisis de las variables bio físicas

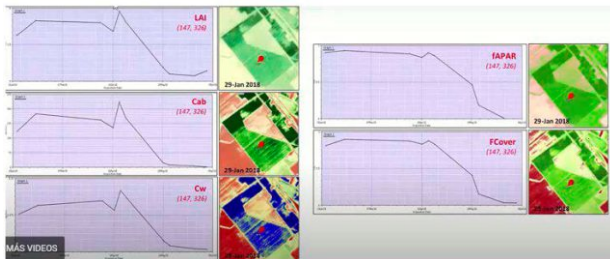


Ilustración 15. Análisis cartesiano de la presencia de las variables bio físicas

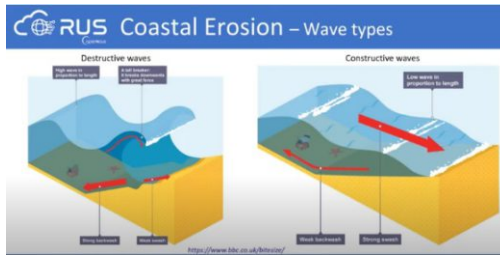


Ilustración 16. Ondas destructivas

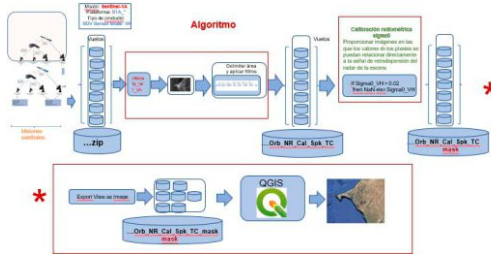


Ilustración 17. Algoritmo para erosiones



Ilustración 18. Líneas de desplazamiento sobre el territorio con Google Earth



Ilustración 19. Líneas de desplazamientos por fechas

ra purificar las imágenes con los “ruidos” naturales que generan la atmósfera y el mismo sensor y la toma de un subconjunto del terreno para facilitar esfuerzos de procesamiento. Un objetivo es detectar el $SIGMA_0$ (Terrascope, 2019) o “La intensidad de la señal de radar re-

flejada desde un objeto geométrico (natural o fabricado). Especifica la fuerza de reflexión (Sentinel Online, 2021d)”. Las diversas imágenes se podrán comparar superponiéndolas para calcular ópticamente los desplazamientos de la costa.

2.9 Deslizamiento de tierras por derrumbes y terrenos debilitados por deforestación con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: tierra de Fagraskógarfjall en Islandia

Las laderas tienen inestabilidades que pueden hacer que la tierra bloquee los ríos y la tierra debido a fenómenos naturales o daños en presas de agua dejando escombros y creando desastres. Los sensores de radar muestran de manera precisa la zona deslizada para mediciones de lo sucedido y mostrando los cambios que se sucedieron con la comparación de las imágenes anteriores. Los interferogramas (Cdn, 2024) permiten encontrar las deformaciones del terreno, limpieza de las franjas y eliminación de ruidos generando imágenes de los

que se llaman fase y coherencia para comparar los cambios del terreno visualmente.

2.10 Sequías por falta de lluvias, con el satélite Sentinel-2. Caso: Ciudad del Cabo Suráfrica

Se debe analizar la cubierta de nubes y las bandas de máscara de agua que son el resultado de la atmósfera y aplicar una corrección atmosférica para determinar la superficie real, valores de reflectancia de la parte superior de la atmósfera eliminando los efectos atmosféricos. Se usa el procesador Sen2Cor que es un procesador para la generación Sentinel-2 Nivel 2A (Sentinel2 online, 2024) y formateo de productos; realiza la corrección atmosférica, del terreno y de cirros

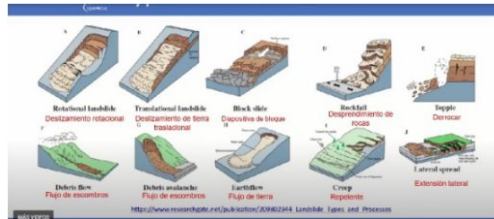


Ilustración 20. Tipos de deslizamientos

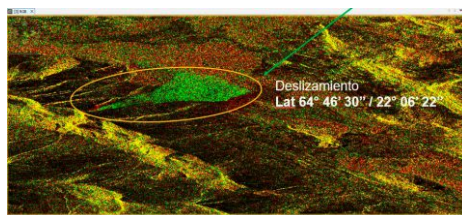


Ilustración 21. Coherencia para determinar zonas afectadas

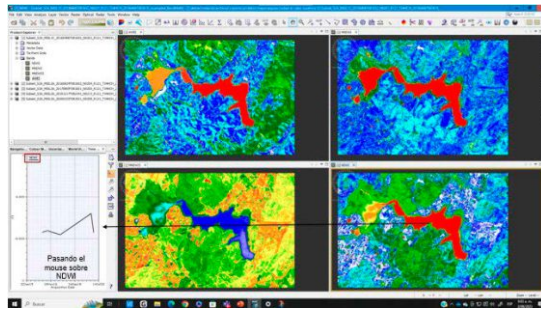


Ilustración 22. Cálculos del NDWI

(nubes) y opcionalmente el terreno e imágenes de reflectancia con corrección de cirro, espesor óptico del aerosol, vapor de agua, escena (nubes y agua), mapas de clasificación e indicadores de calidad de probabilidades de nubosidad y nieve. Se aplican índices radiométricos como: índice de diferencia de agua normalizada ($MNDWI (B8 - B4) / (B8 + B4)$ y $MNDW + 5$), índice de extracción del agua automatizado ($AWEI B2 + 2.5 * B3 - 1.5 * (B8 + B11) - 0.25 * B12$) y el cálculo del $NDWI NDWI (B3 - B8) / (B3 + B8)$ (eos, 2021) para detectar transformaciones del agua de los terrenos.

2.11 Monitoreo de volcanes, creando alertas tempranas de

las erupciones y producción de lava en los territorios cercanos a sitios poblados, con el satélite Sentinel-2. Caso: Volcán Etna en Sicilia

El monitoreo de volcanes es una responsabilidad para determinar alertas tempranas debido a las erupciones y la presencia de lava en las laderas que pueden amenazar a las poblaciones cercanas. Una vez captadas las imágenes y asegurando la no presencia de nubes, es indispensables captar las imágenes de las diferentes erupciones y movimiento de la lava e inclusive la posible medición de sus características geométricas buscando que el color, no solo como datos sino como imagen, muestre lo que está sucediendo en busca de

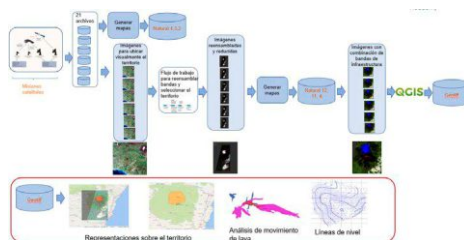


Ilustración 23. Algoritmo para el monitoreo de volcanes

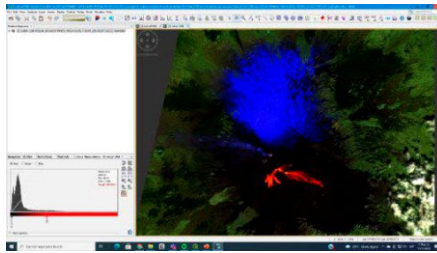


Ilustración 24. Bandas 12,11,4 para mejor visualización

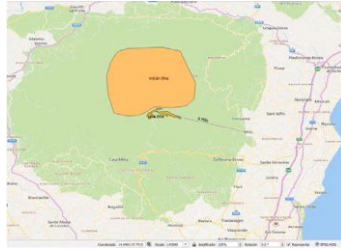


Ilustración 25. Alertas tempranas sobre el territorio

la protección de los pobladores. Este algoritmo llega inclusive a dibujar las curvas de nivel de la montaña.

2.12 Inundaciones con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Sur África Occidental

Producto de grandes inviernos o cambios en los suelos, basado en unas enormes inundaciones en Sur África Occidental permitió explicar cómo el uso de radar requiere efectuar procesos previos hasta lograr las imágenes claras y precisas de

las zonas inundadas, también utilizando series de tiempo. Se habló de estos procesos como, por ejemplo, aplicación de datos de órbita, limpieza del “ruido” térmico generado por el receptor, limpieza de moteados, corrección de ángulos de la transmisión debido al movimiento del satélite, cálculo del Sigma0 (Terrascope, 2019). medida convencional de la intensidad de una señal de radar reflejada desde un objeto geométrico.

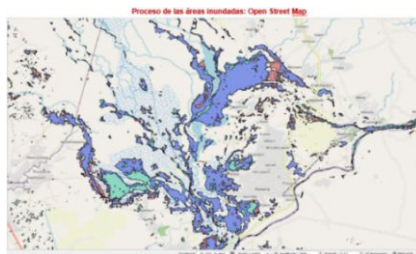


Ilustración 26. Áreas inundadas

Bibliografía

- Acolita. (2019). Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat, recuperado el 12 de noviembre de 2021 de: <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat>
- Brockman-cónsul. (2014). Evolution of the c2rcc neural network for sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters, recuperado el 13 de noviembre de 2021 de: https://www.brockmann-consult.de/wp-content/uploads/2017/11/sco1_12brockmann.pdf
- Cdn. (2024). What is an Interferogram, recuperado el 22 de abril de 2024 de: https://cdn.diffractionlimited.com/help/quickfringe/QUICK_FRINGEWhat_is_an_interferogram.htm
- Efecto Doppler. (2024). Efecto Doppler, recuperado el 24 de abril de: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler
- Rus. (2019). AIR QUALITY MONITORING WITH SENTINEL-5p, recuperado el 19 de abril de 2024 de: https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2022/01/ATMO01_AirQuality_Monitoring.pdf
- Saludgeoambiental. (2022), Dióxido de nitrógeno NO₂, recuperado el 19 de abril de 2024 de: <https://www.saludgeoambiental.org/di-oxido-nitrogeno-no2>
- Sentinelonline. (2024). Sentinel Online, recuperado el 24 de abril de 2024 de: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview> 🌐