Uso de Información satelital

Para monitoreo de depósitos de relave

20 años CMM Centro de Modelamiento Matemático

Jaime H. Ortega
jortega@dim.uchile.cl

Datos Copernicus para Chile y América Latina

Antofagasta, 6 de Septiembre de 2022

CAPTA Centro Avanzado para Tecnologías del Agua

amtc ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

Copernicus Europe's eyes on Earth

PROGRAMA COPERNICUS

SENTINEL-1

- Características
  - Sensor Radar (SAR), sin restricciones climáticas, diurno y nocturno
  - Resolución 9-40m, revisita cada 6 días en el ecuador
  - 2 satélites que orbitan distanciados en 180°
- SAR Sensors
  - Para crear una imagen SAR, se transmiten pulsos de ondas de radio sucesivos para "iluminar" una escena objetivo, se recibe el eco de cada pulso y se registra, formando una imagen, tal como lo hacen los murciélagos .

SENTINEL-2

- Características:
  - Sensor Óptico Multispectral
  - Resolución 10-60m, revisita cada 5 días en el ecuador
  - 2 satélites que orbitan distanciados en 180°
  - Primer satélite lanzado el 22/6/2015
  - Segundo satélite lanzado el 7/03/2017
- Instrumento Óptico Multiespectral (MSI)
  - 13 bandas espectrales (443nm–2190nm) con una proyección en el suelo de 290km
  - Resolución espacial de 10m en bandas visibles e infrarojo cercano
  - 6 bandas desde el límite del rojo a los infarrojos de onda corta con resolución de 20m

Sentinel Launches

esa

S-1

Synthetic Aperture Radar

- A — 3 Apr 2014
- B — 25 Apr 2016
- C — 2022
- D — > 2024

S-2

High Resolution Optical

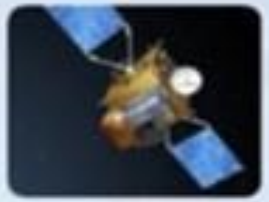
- A — 23 Jun 2015
- B — 6 Mar 2017
- C — 2022
- D — > 2025

S-3

Medium Resolution Optical & Altimetry

- A — 16 Feb 2016
- B — 25 Apr 2018
- C — 2023
- D — > 2025

S-4



Atmospheric Chemistry (GEO)

- A — 2023
- B — 2032

S-5P

Atmospheric Chemistry (LEO)

- A — 13 Oct 2017

S-5

Atmospheric Chemistry (LEO)

- A — 2023
- B — 2030
- C — 2037

S-6

Altimetry

- A — 2020
- B — 2025

FIRMAS ESPECTRALES & INTERFEROMETRÍA SATELITAL

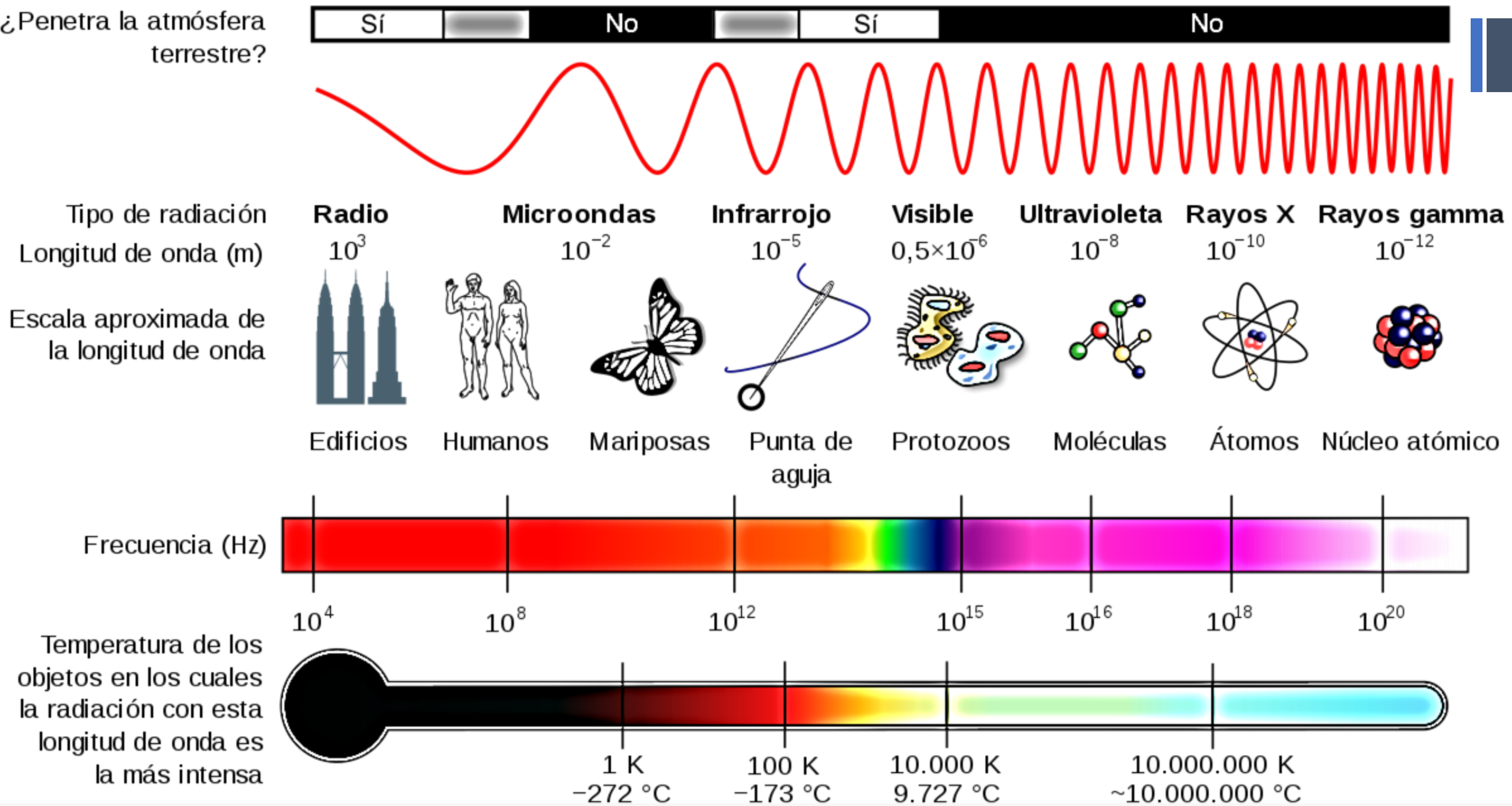
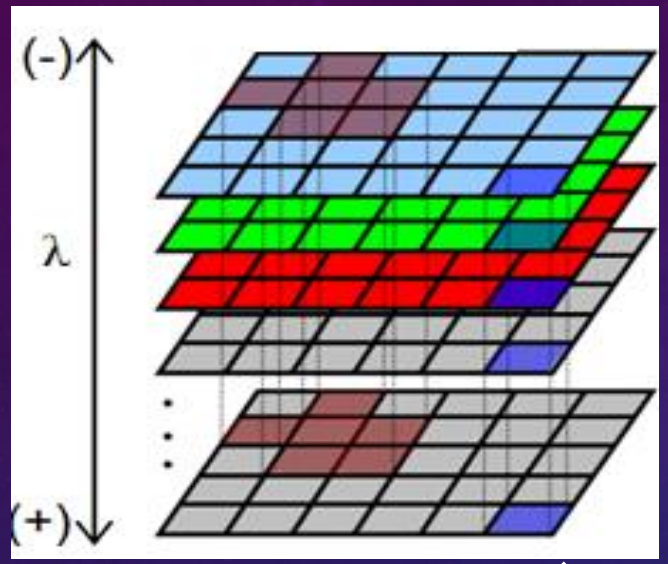
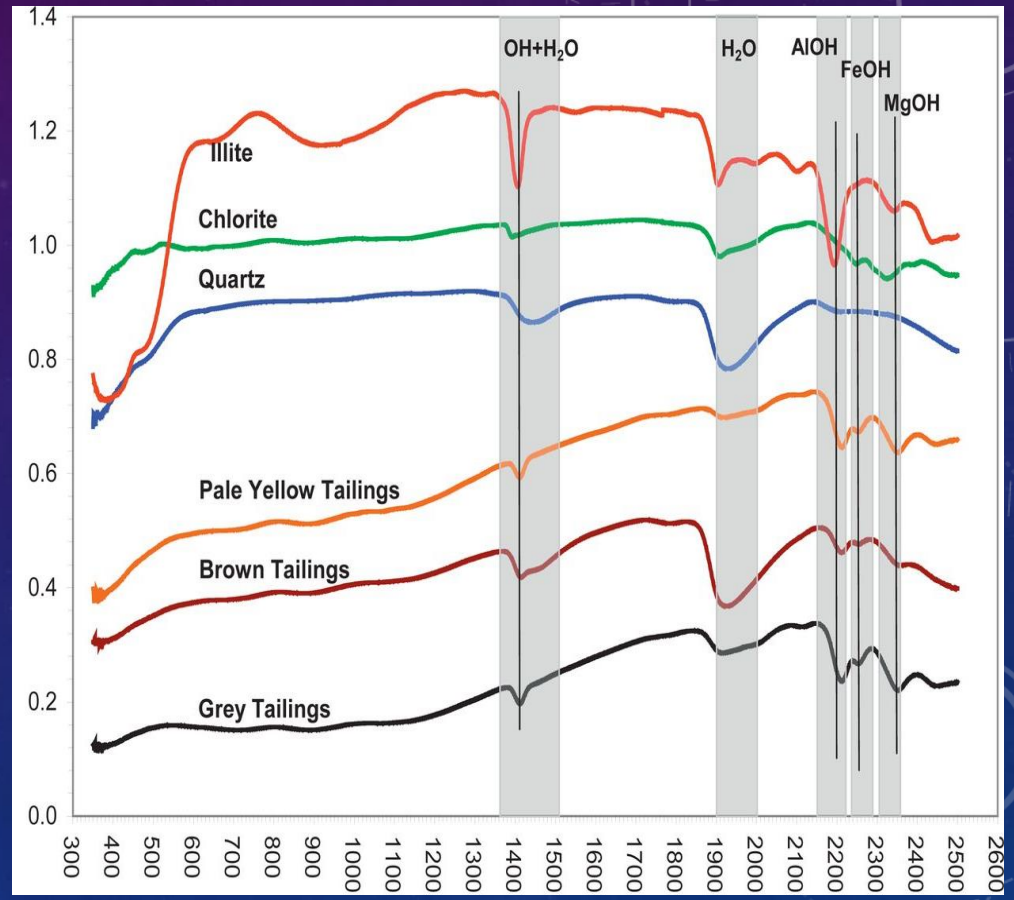

¿Penetra la atmósfera terrestre?
Sí
No
Sí
No
Tipo de radiación
Radio
Microondas
Infrarrojo
Visible
Ultravioleta
Rayos X
Rayos gamma
Longitud de onda (m)
10^{3}
10^{-2}
10^{-5}
$0{,}5\times10^{-6}$
10^{-8}
10^{-10}
10^{-12}
Escala aproximada de la longitud de onda
Edificios
Humanos
Mariposas
Punta de aguja
Protozoos
Moléculas
Átomos
Núcleo atómico
Frecuencia (Hz)
10^{4}
10^{8}
10^{12}
10^{15}
10^{16}
10^{18}
10^{20}
Temperatura de los objetos en los cuales la radiación con esta longitud de onda es la más intensa
1 K
−272 °C
100 K
−173 °C
10.000 K
9.727 °C
10.000.000 K
~10.000.000 °C

Imagen Multiespectral (Sentinel-2)

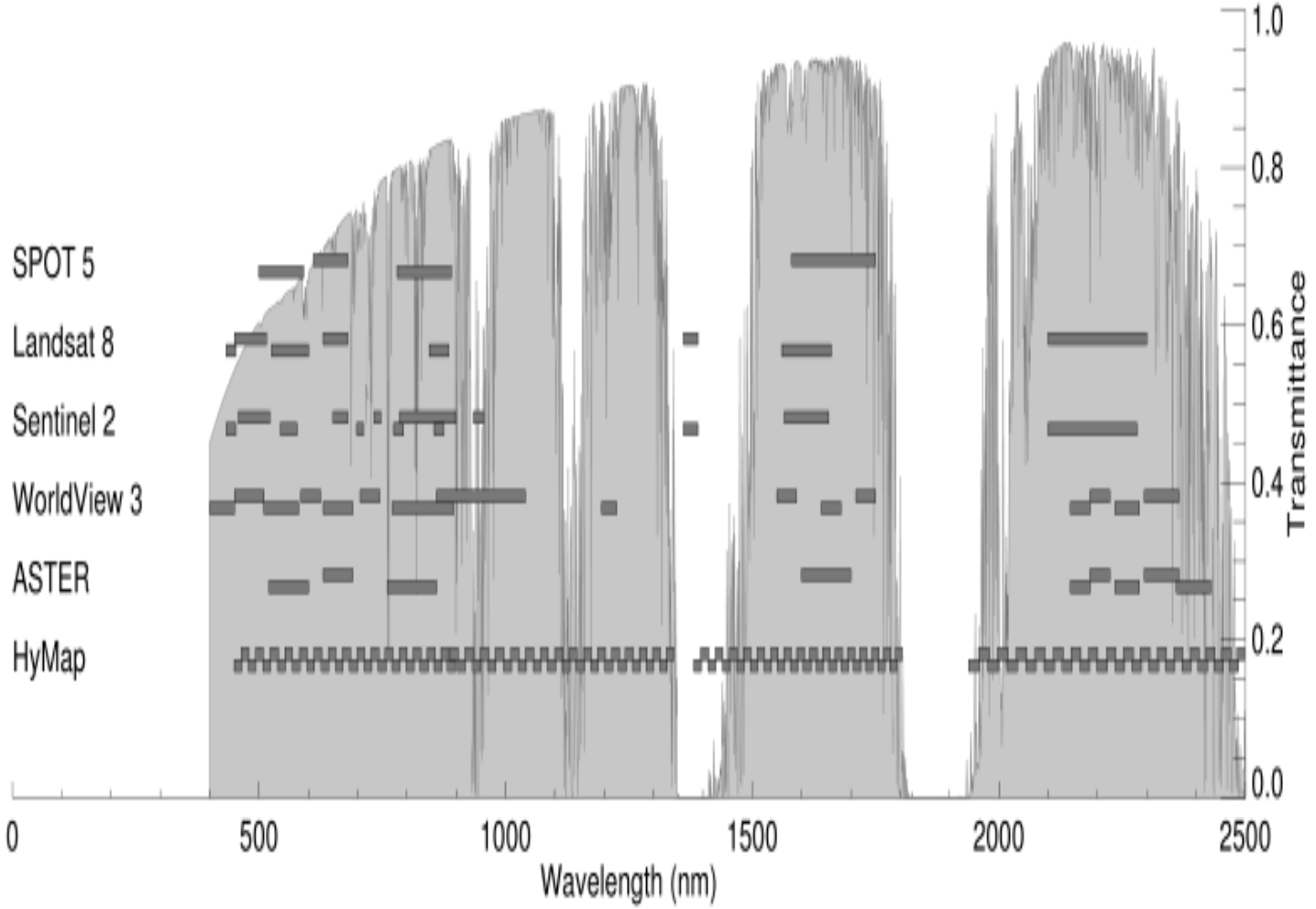


Reflectancia



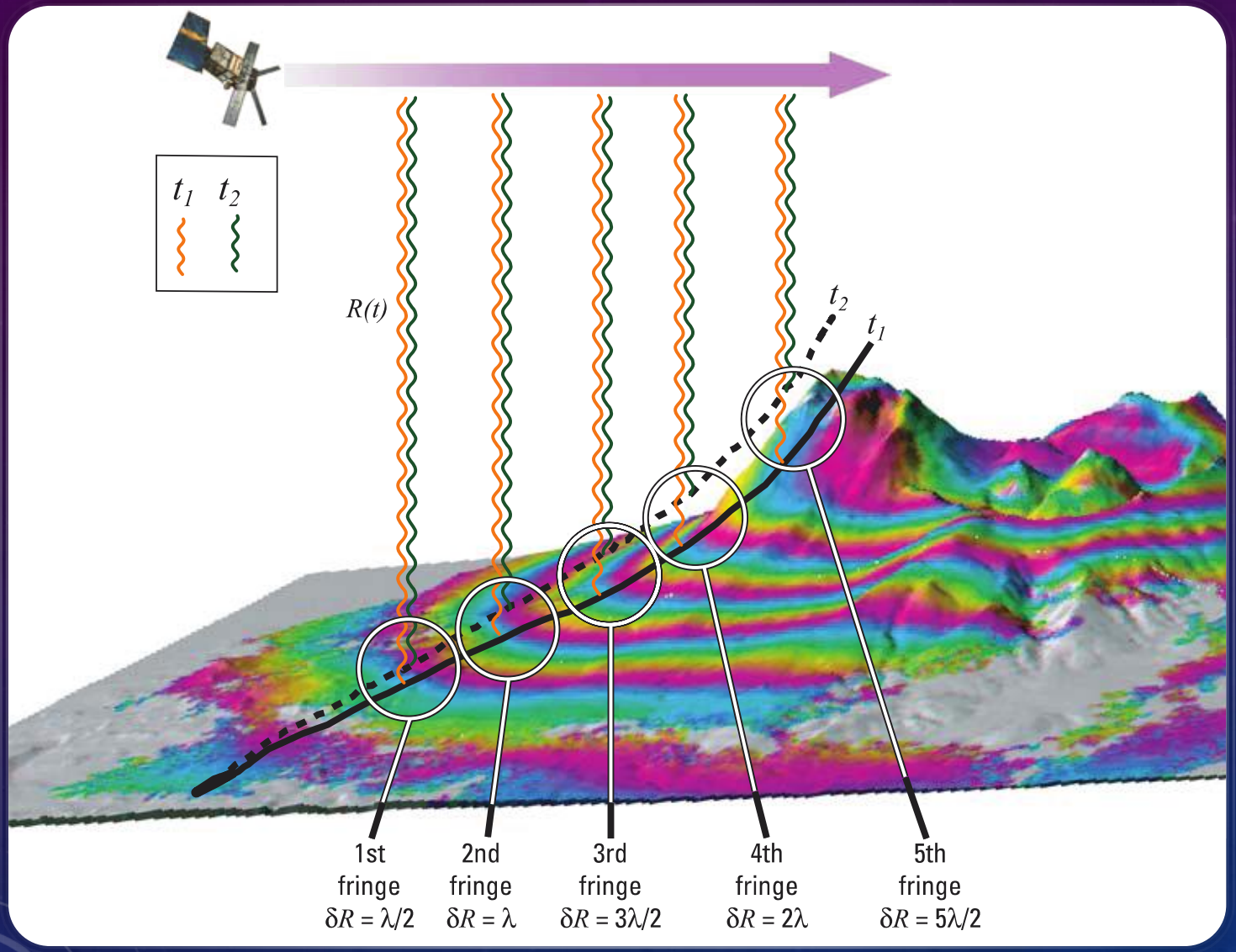
Longitud de onda λ (nm)

SENTINEL 2 VS OTROS SENSORES



Feature	ASTER	Sentinel-2
Iron		
Ferric iron, Fe3 +	2/1	4/3
Ferrous iron, Fe2 +	5/3 + 1/2	12/8 + 3/4
Laterite	4/5	11/12[a]
Gossan	4/2	11/4
Ferrous silicates (Biotite, chloride, amphibole)	5/4	12/11[a]
Ferric oxides	4/3	11/8
Carbonates/Mafic minerals		
Carbonate/Chlorite/Epidote	(7 + 9)/8	–
Epidote/Chlorite/Amphibole	(6 + 9)/(7 + 8)	–
Amphibole/MgOH	(6 + 9)/8	–
Amphibole	6/8	–
Dolomite	(6 + 8)/7	–
Silicates		
Sericite/Muscovite/Illite/Smectite	(5 + 7)/6	–
Alunite, Kaolinite, Pyrophyllite	(4 + 6)/5	–
Phengitic	5/6	–
Muscovite	7/6	–
Kaolinite	7/5	–
Clay	$(5 \times 7)/6^2$	–
Alteration	4/5	11/12[a]
Host rock	5/6	–
Other		
Vegetation	3/2	8/4
NDVI	(3 − 2)/(3 + 2)	(8 − 4)/(8 + 4)

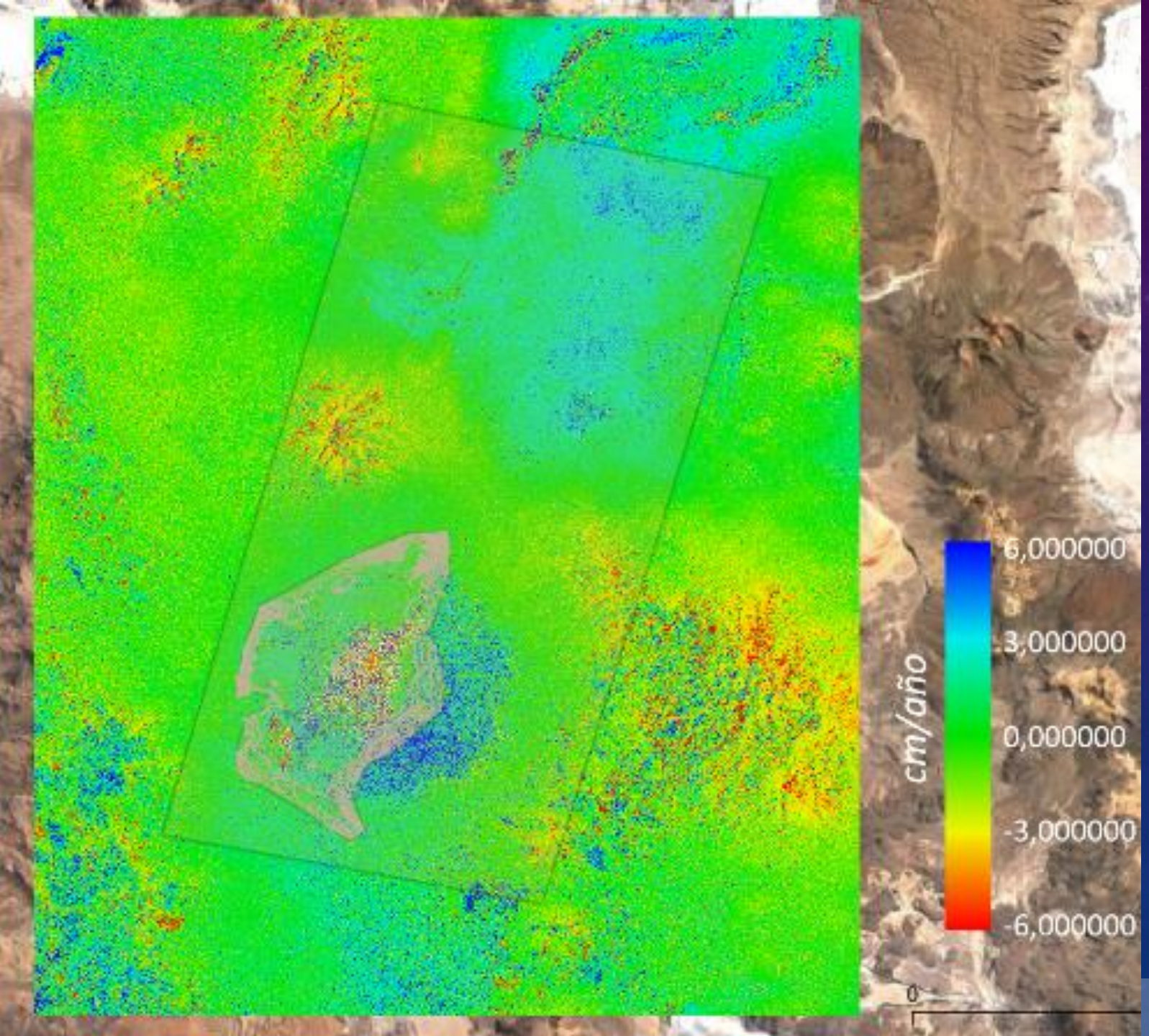
[a] ASTER bands 5–7 fall within band 12 of Sentinel-2



QUÉ ES LA INTERFEROMETRÍA DE RADAR?

- Interferometría de radar: uso de la fase de una señal de radar para medir la distancia relativa entre un sensor y un punto

- Si las dos observaciones son hechas desde el mismo punto en el espacio, pero a tiempos distintos, la fase interferométrica es proporcional a cualquier cambio en la distancia entre la superficie y el satélite

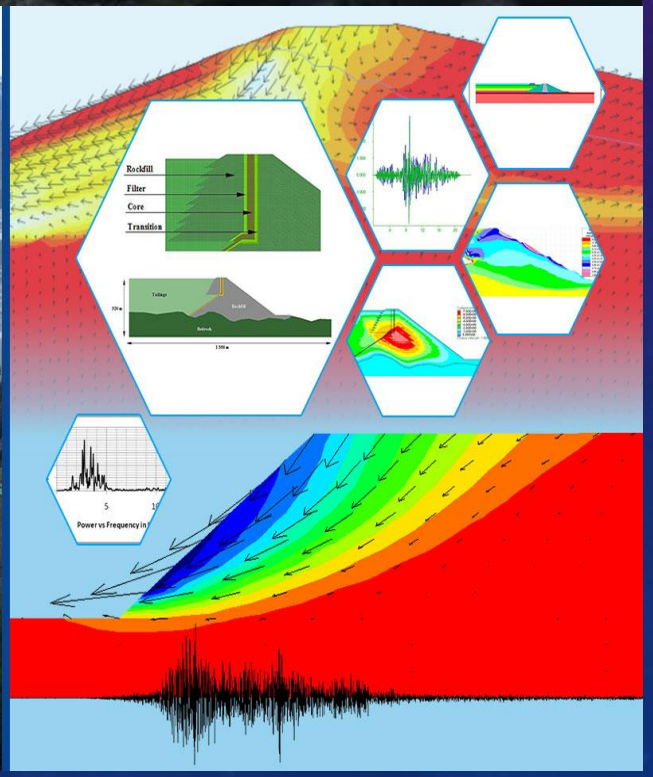


Deformación acumulada en el sector en cms/año

DESARROLLO GEOESPACIAL EN MINERIA

MINERIA 4.0

- Se necesita una minería con mayor nivel tecnológico
- Que pueda tener una mayor productividad
- Amigable con el medio ambiente y con sus comunidades
- Se busca una transformación hacia las operaciones y seguimiento remoto



MONITOREO DE DEPÓSITOS DE RELAVES (IDEA I+D)

- Desarrollo de sistemas computacionales para el monitoreo de la estabilidad física de depósitos
- Sistemas basados en imágenes satelitales de Radar de Apertura Sintética (INSAR)
- Uso de imágenes satelitales multiespectrales para variables críticas del depósito

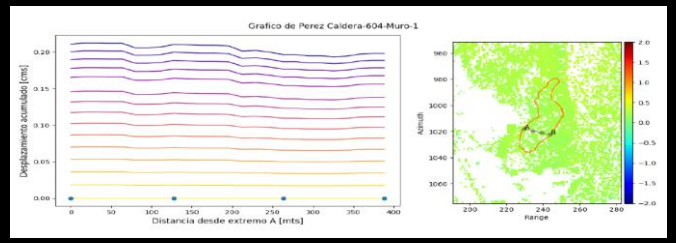
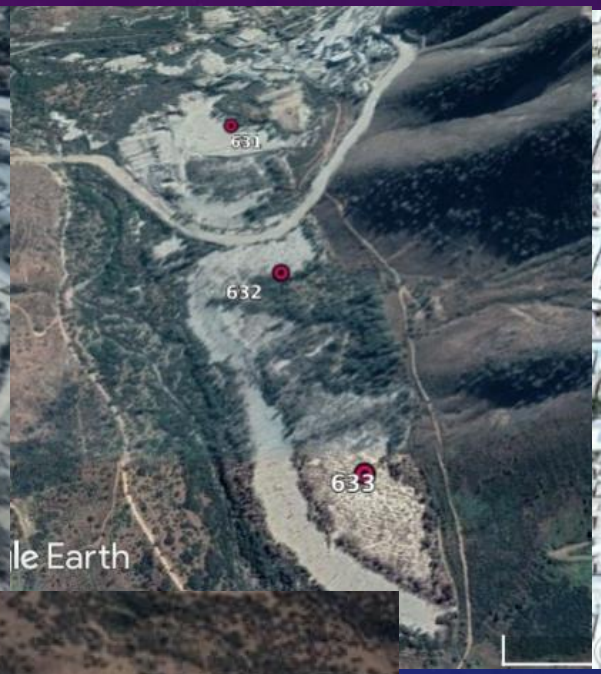


Grafico de Perez Caldera-604-Muro-1
Desplazamiento acumulado [cms]
Distancia desde extremo A [mts]
Azimuth
Range

A03

El caso de Samarco

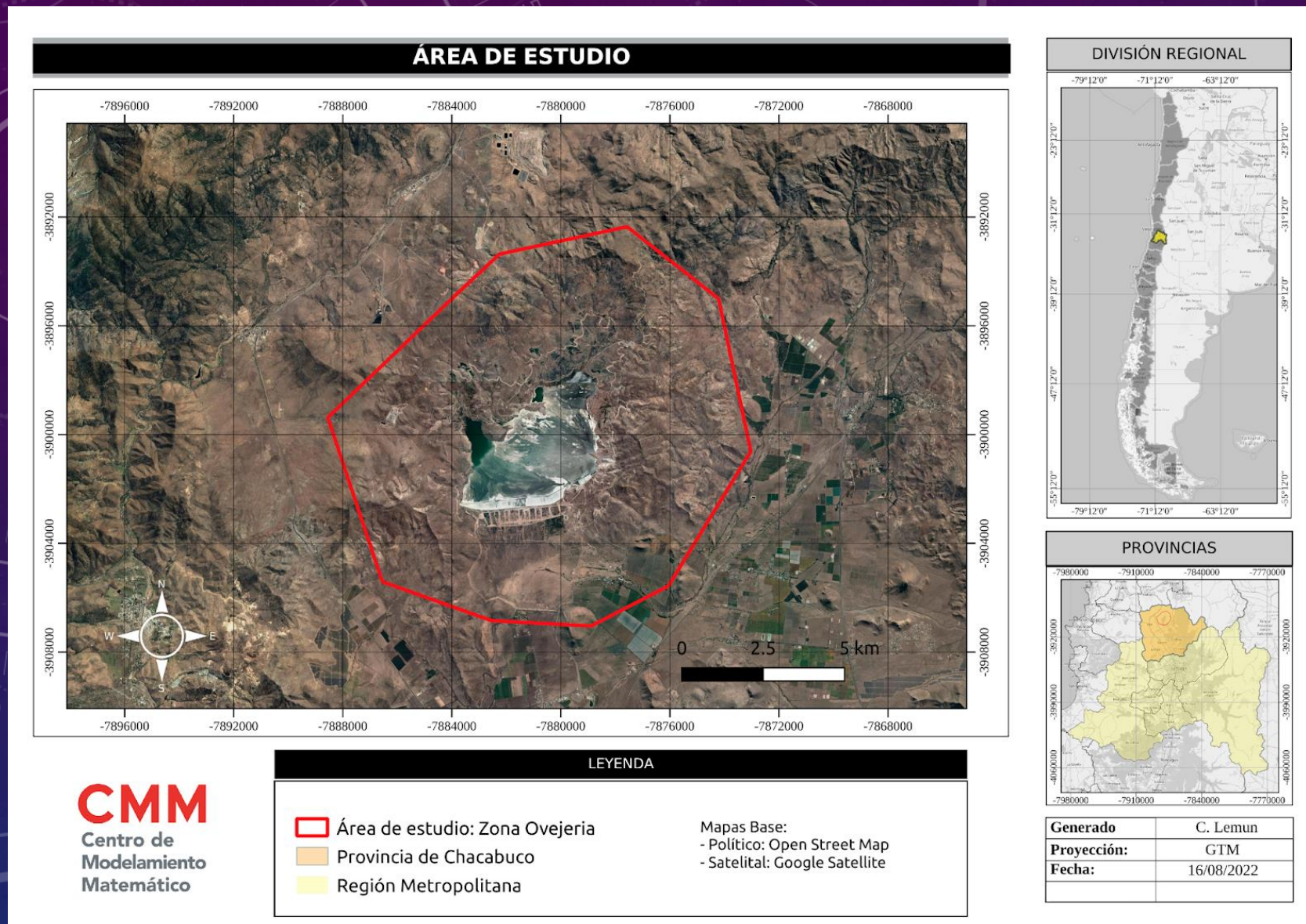
Desastre de Brumadinho



CLASIFICACIÓN

75% mayor a 1 Ha.

61% mayor a 2 Ha.



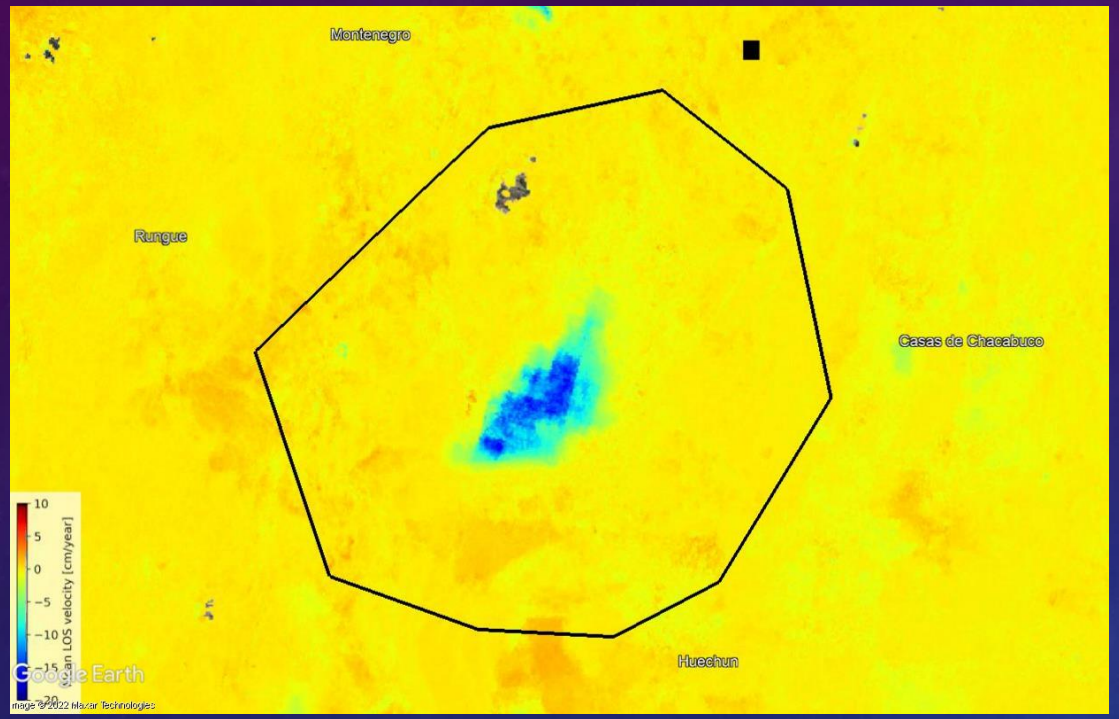
DATOS DE PROCESAMIENTO

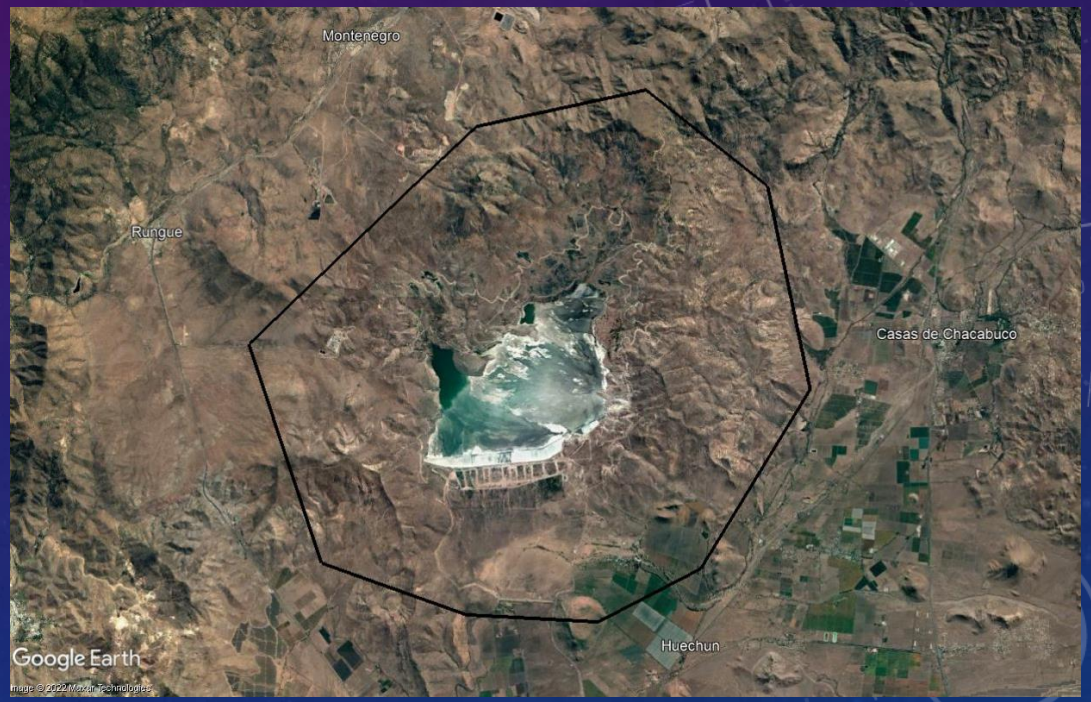
Cantidad de imágenes: 199

Fecha: 2014-2022

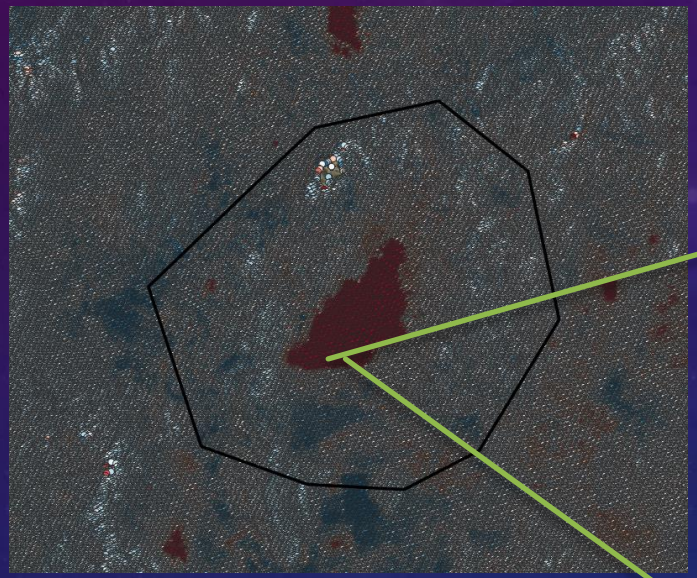
Orbita: Descendente

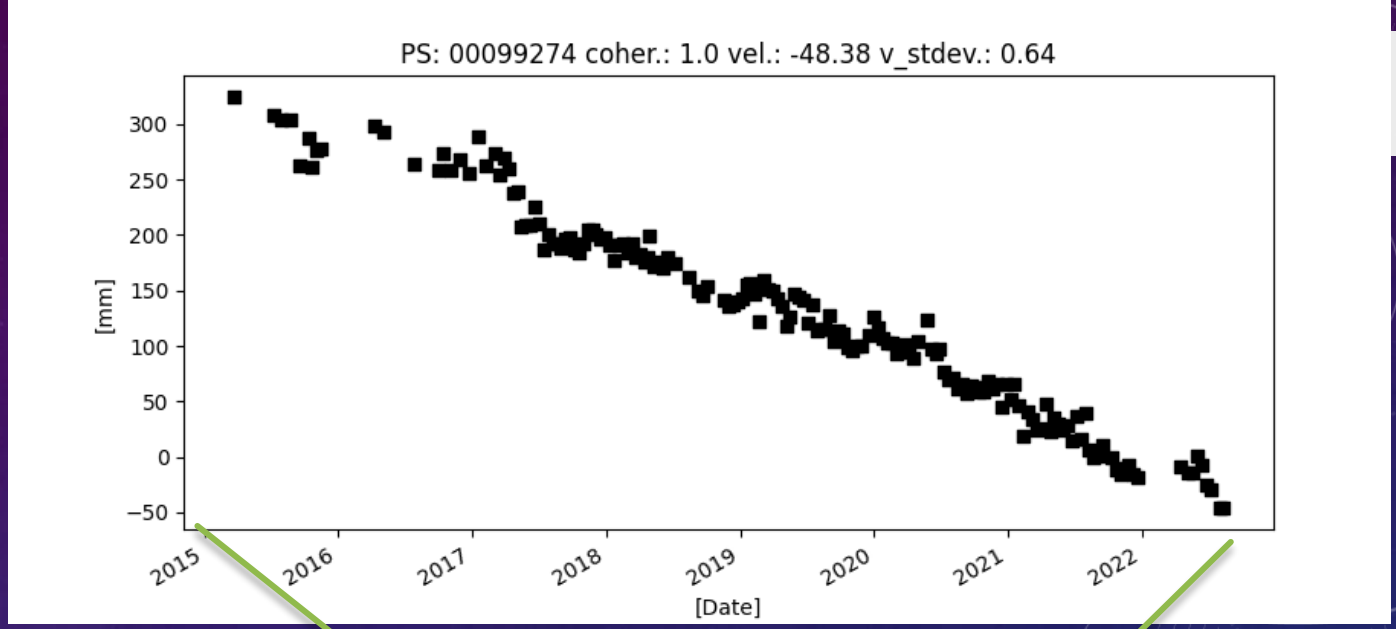
VELOCIDAD PROMEDIO

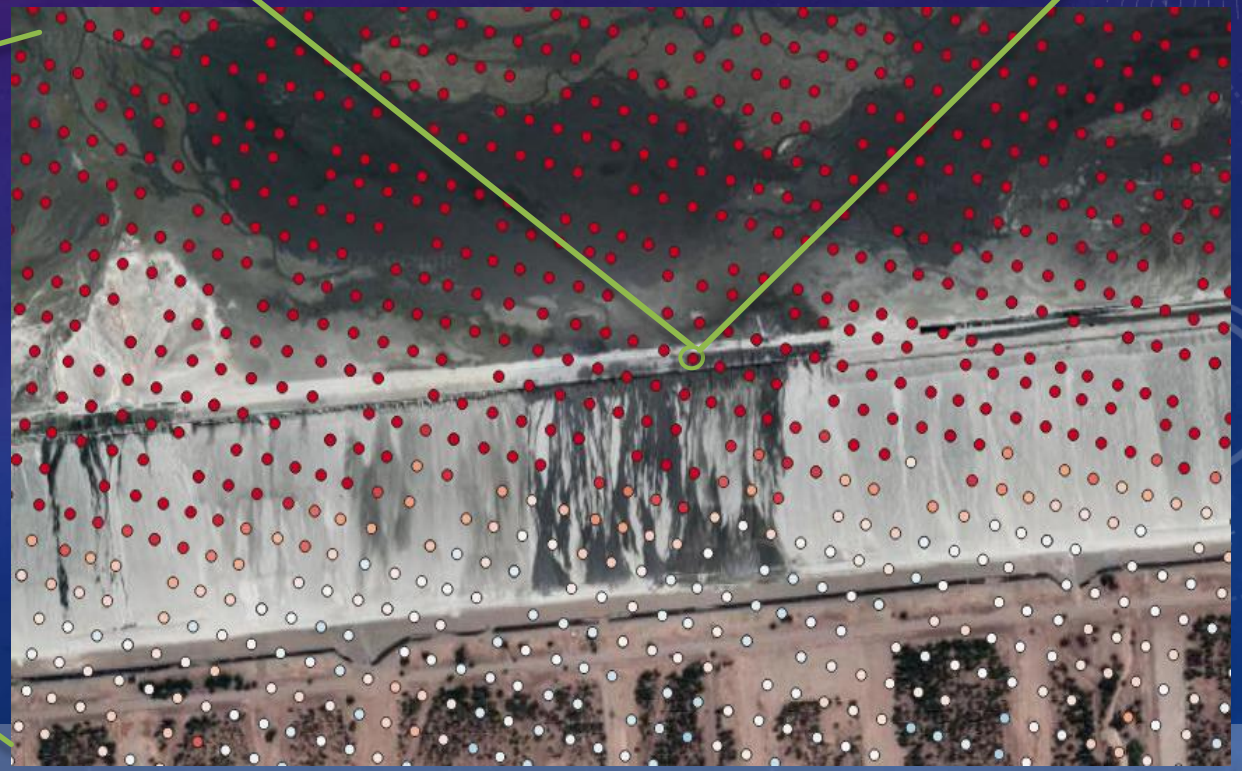


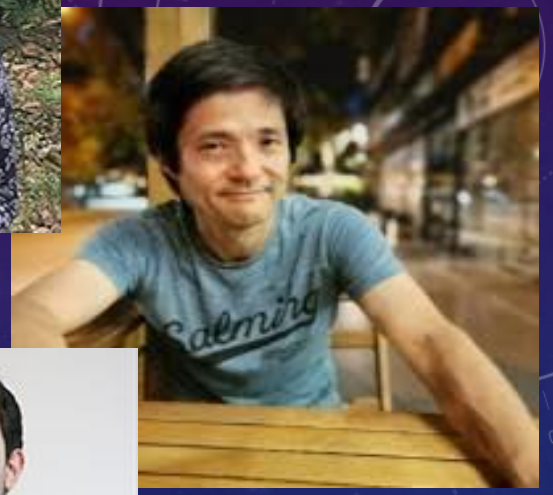


SERIE DE TIEMPO

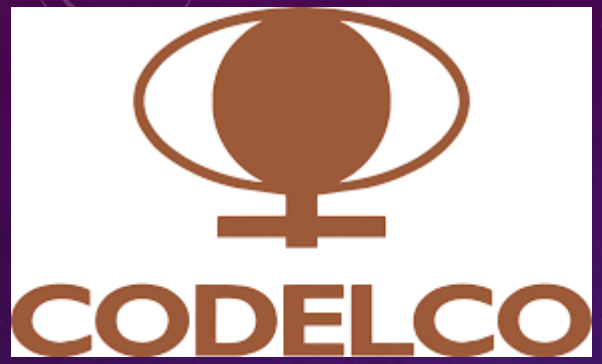








Ministerio de
Minería


CODELCO

CASERONES
OPERACIÓN DE SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE

Ministerio de
Vivienda y
Urbanismo

SERNAGEOMIN
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

NACIONES UNIDAS

CEPAL

Dirección
General de
Aguas
Ministerio de Obras
Públicas
Gobierno de Chile

ciren
Centro de Información de Recursos Naturales

Agencia
Nacional de
Investigación y
Desarrollo

EUMETSAT

Linkapsis

PSINet®

esa
European Space Agency

Gracias
Thank You
Dank Je
Obrigado
Multumesc
Arigato
Spasibo
Matondo
Mochchakkeram
Vinaka
Grazie
Mamana
Terma Kasih
Merci
Welalin
Danke
Kiitos
Chokrane
Matur Nuwun
Raibh Maith Agat
Ua Tsaug Rau Koj
Nirringrazzjak
Mochchakkeram
Dankon
Salamat
Maake