

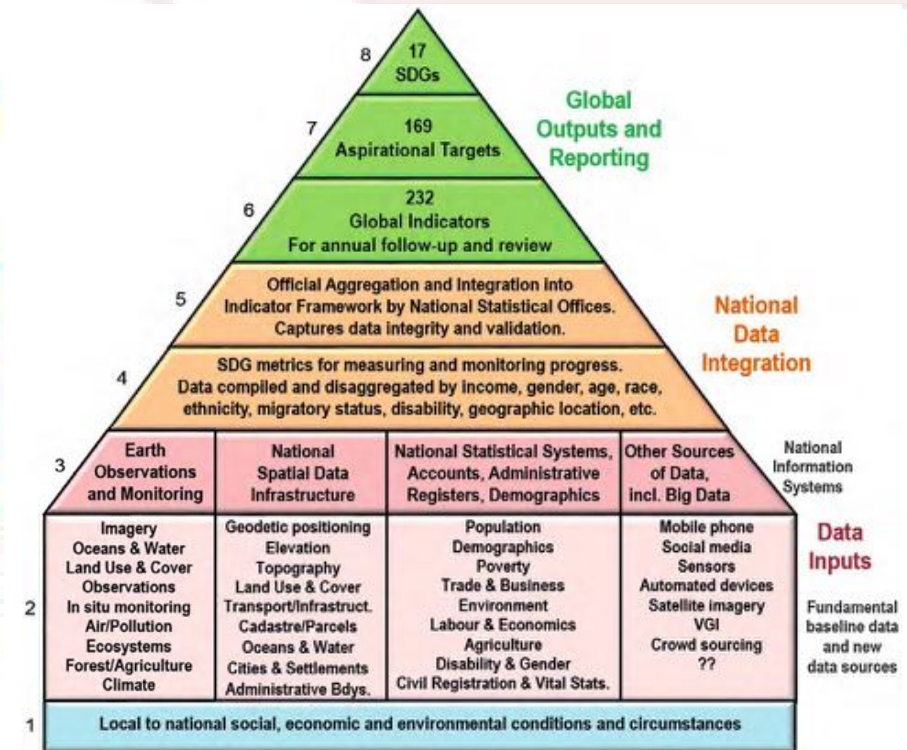
# Extracción de la extensión del agua a partir de datos EO



UNIVERSITÀ DI PAVIA



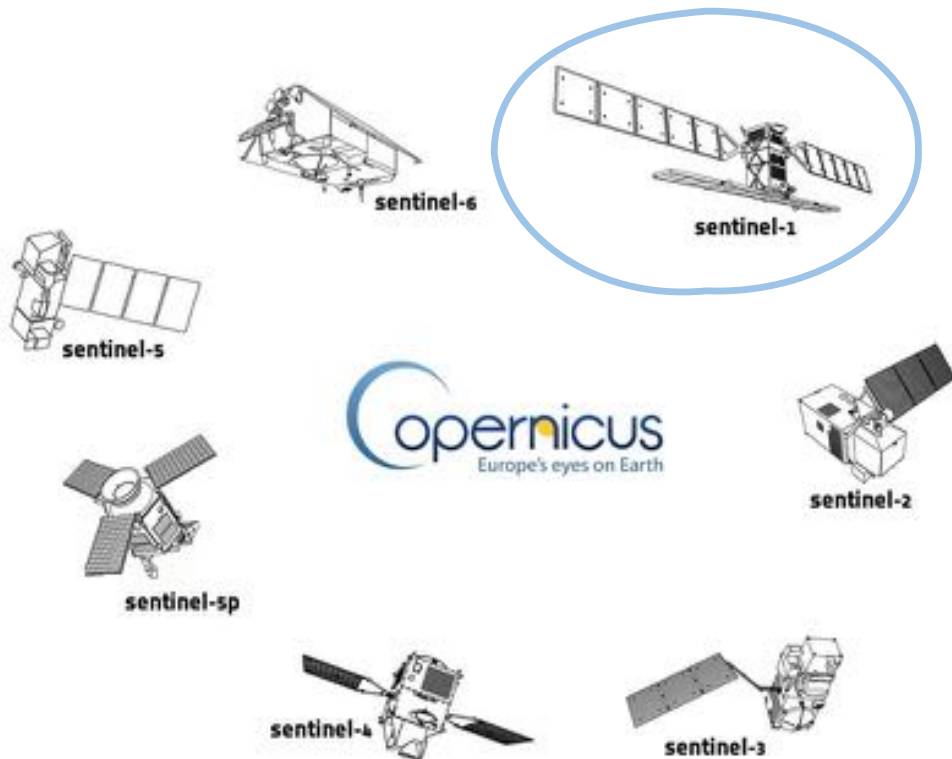
# ONU-OSD y Observación de la Tierra



Un 20% de los indicadores de estado (distancia o cercanía) de los ecosistemas respecto a los **objetivos globales de desarrollo sostenible 2030** establecidos por las Naciones Unidas (ONU-ODS) se pueden obtener utilizando datos e imágenes de teledetección

# La contribución de la teledetección por radar

Los mapas de alta resolución pueden convertirse en una herramienta poderosa para comprender **el cambio climático**.



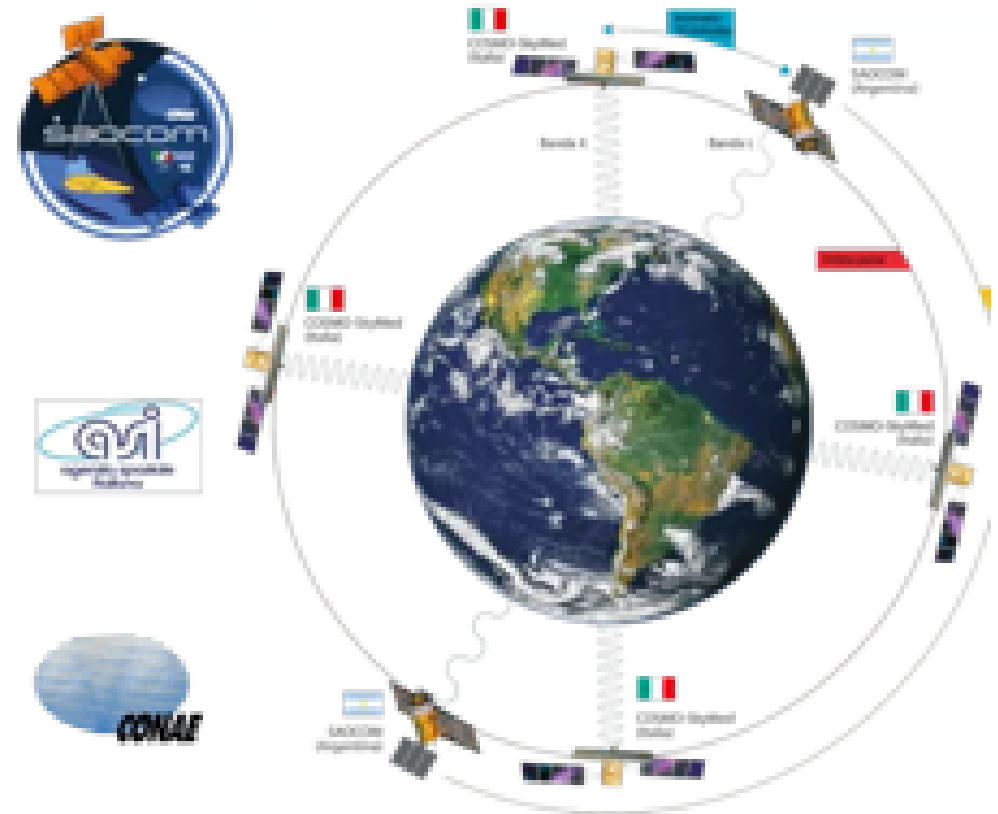
- El SAR funciona en todas las condiciones climáticas
- Se garantiza la adquisición periódica de datos
- Cobertura global
- Alta resolución temporal (normalmente pocos días)
- Alta resolución espacial ( $\leq 20$  m)



**Generación de  
mapas de cobertura terrestre  
de alta resolución espacial.**

# El Proyecto ITAREO

- El proyecto ITAREO se propone dar un paso más en la colaboración plurianual entre Italia y Argentina, desarrollando un sistema de análisis conjunto de datos satelitales gestionados por los dos países, proporcionando nuevos instrumentos para el monitoreo de los objetivos ONU de manera integrada y eficiente.



## ITAREO y los objetivos ONU de desarrollo sostenible

- Para alcanzar estos objetivos se ha establecido un grupo bilateral de investigación, coordinado en Italia por la Universidad de Pavía y en Argentina por el Instituto Gulich (perteneciente a la CONAE y la Universidad Nacional de Córdoba -UNC).
- En particular el grupo he empezado, a través de metodologías de aprendizaje automático y fusión de datos, a extraer información geoespacial útil para medir y monitorear algunos indicadores ONU-ODS como:
  - n. 2 (Hambre Cero), 6 (Agua y Saneamiento), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades) y 15 (Vida en la Tierra).



UNIVERSITÀ DI PAVIA



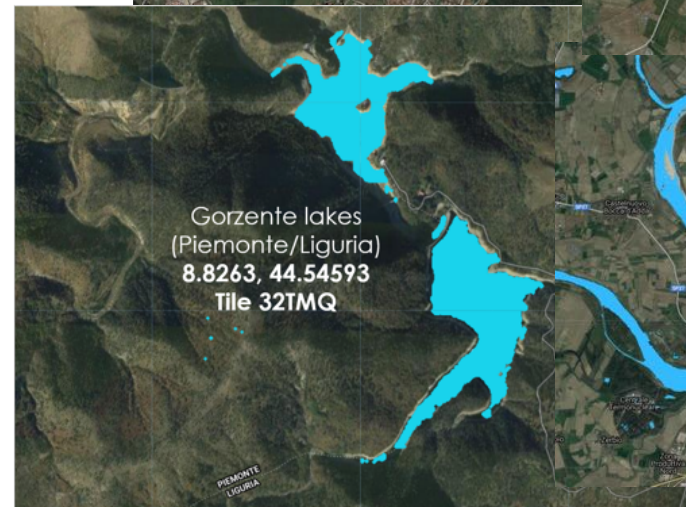
# Contribuciones de ITAREO a los ODS

- ONU-ODS n. 2 (**Hambre Cero**), indicador 2.4.1 (**Proporción de superficie agrícola dedicada a agricultura productiva y sostenible**).
- ONU-ODS n. 6 (**Agua limpia y saneamiento**), indicador 6.3.2 (**Proporción de masas de agua de buena calidad**).
- ONU-ODS n. 9 (**Industria, innovación e infraestructura**), indicador 9.1.1 (**Proporción de la población rural que vive a menos de 2 km de una carretera transitable todo el año**)
- ONU-ODS n. 11 (**Ciudades y comunidades sostenibles**), indicador 11.3.1 (**Relación entre la tasa de consumo de tierras y la tasa de crecimiento de la población**)
- ONU-ODS n. 10 (Reducción de la desigualdades dentro y entre países) indicador 10.2.1 (Proporción de personas que viven por debajo del 50% de la renta media, por sexo, edad y personas con discapacidad)
- ONU-ODS n. 15 (Vida de ecosistemas terrestres), indicador 15.1.1 (Superficie forestal como proporción de la superficie terrestre total)



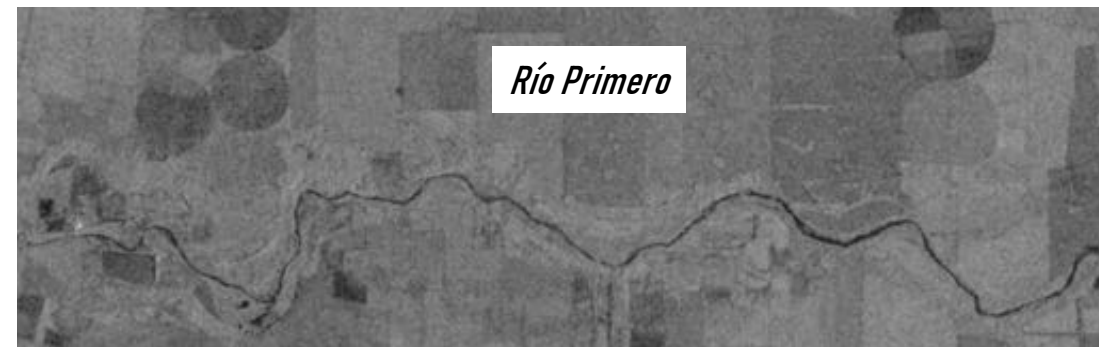
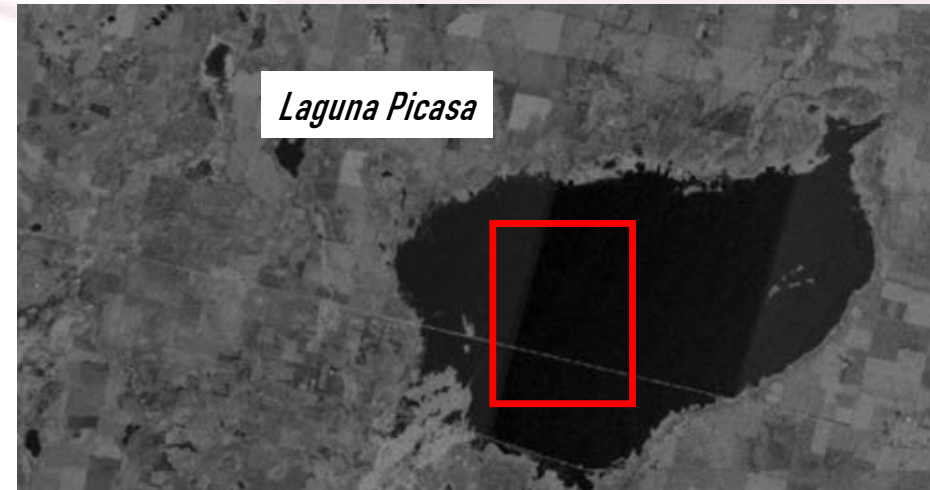
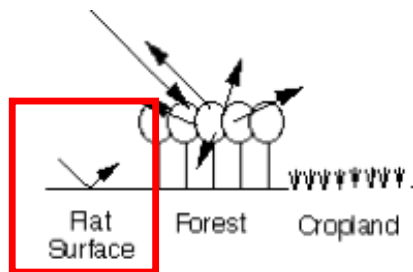
# ONU-ODS n. 6

- ONU-ODS n. 6 (Agua y Saneamiento), indicador 6.3.2 (Proporción de masas de agua con buena calidad ambiental del agua): mapa de aguas continentales y su calidad utilizando secuencias de datos SAR multitemporales y multisensoriales, algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de extracción de características.



# SAR & extensiones de agua

- SAR
  - independiente de la cobertura de nubes
- SAR y extensiones de agua :
  - bajos valores de retrodispersión
  - regiones oscuras en imágenes SAR





# Cuenca Picasa in Argentina

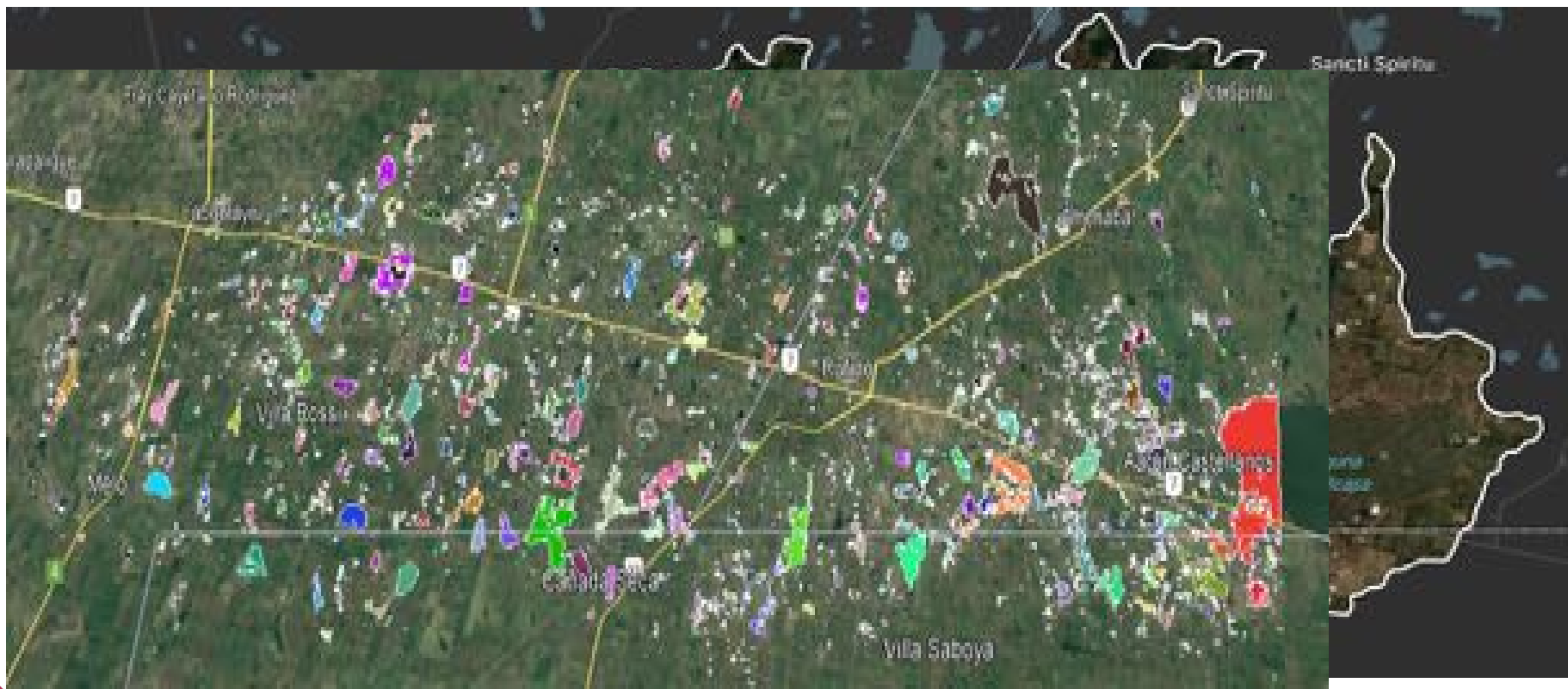


## Feb. 6, 2022: VHR (Planet) mosaic



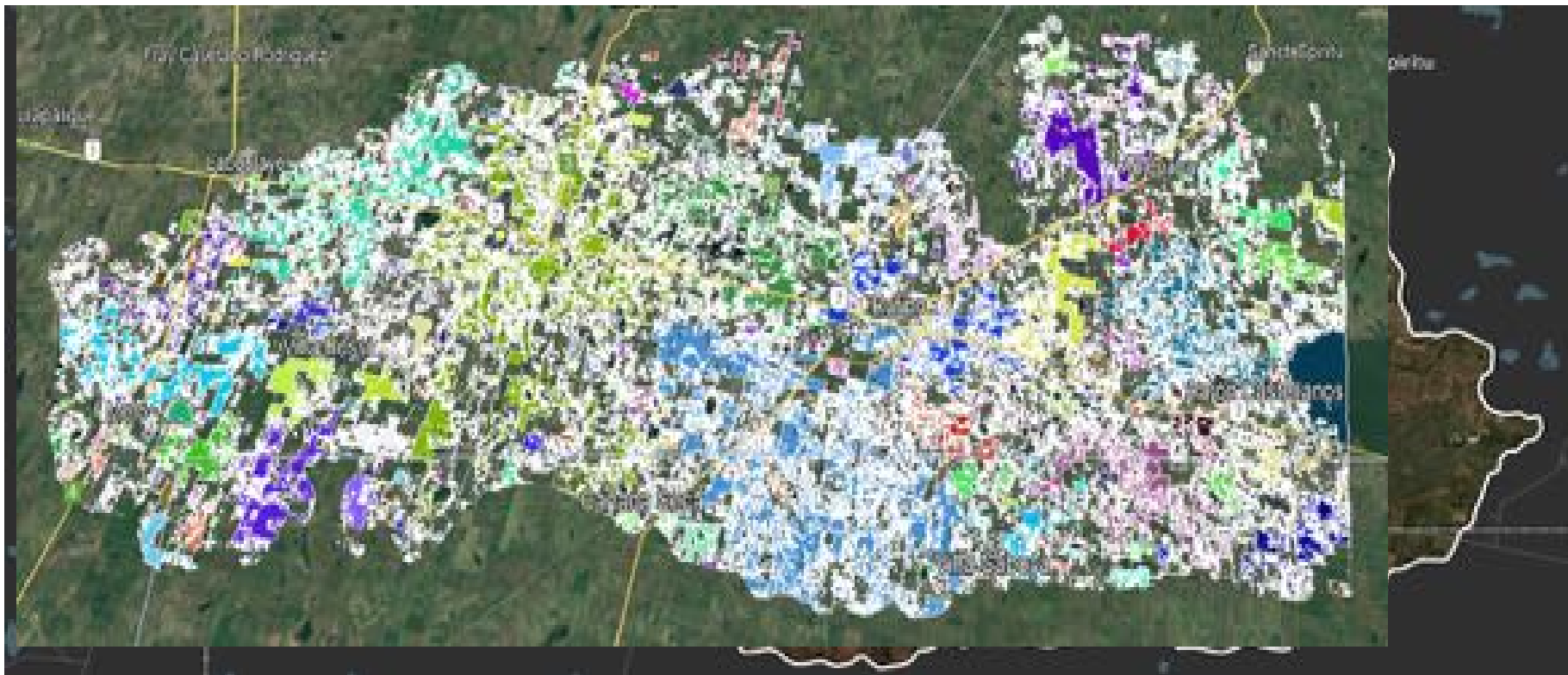
# Extracción de la extensión del agua a partir de una única imagen SAR

- Feb. 4, 2022: datos oficiales de la Provincia de Córdoba

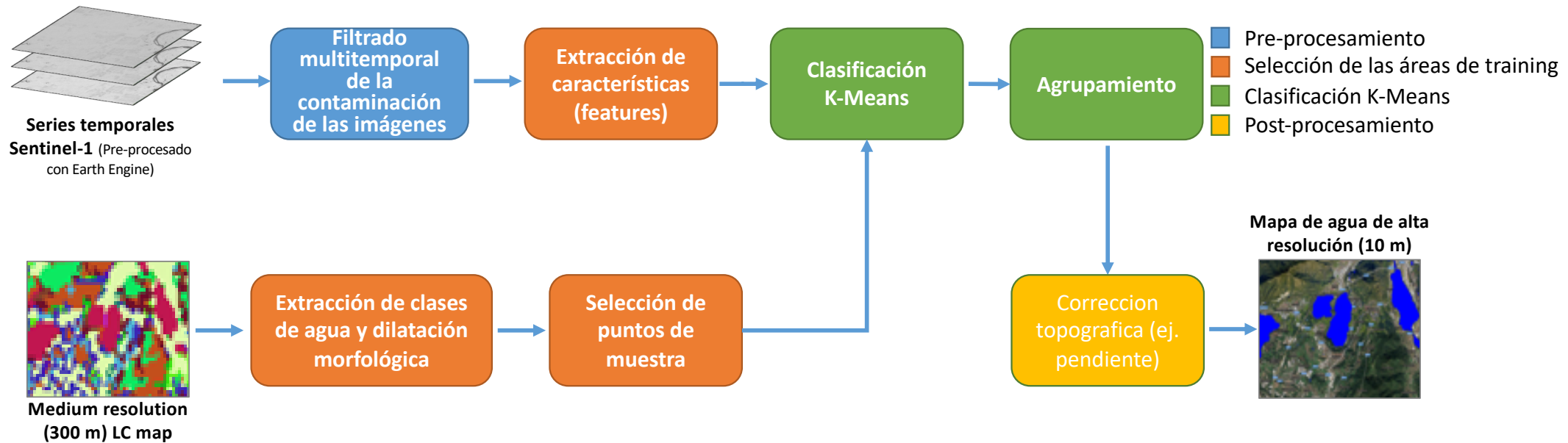


# Usando una sola imagen SAR

- Jan. 11, 2022: No siempre es TAN bueno ...

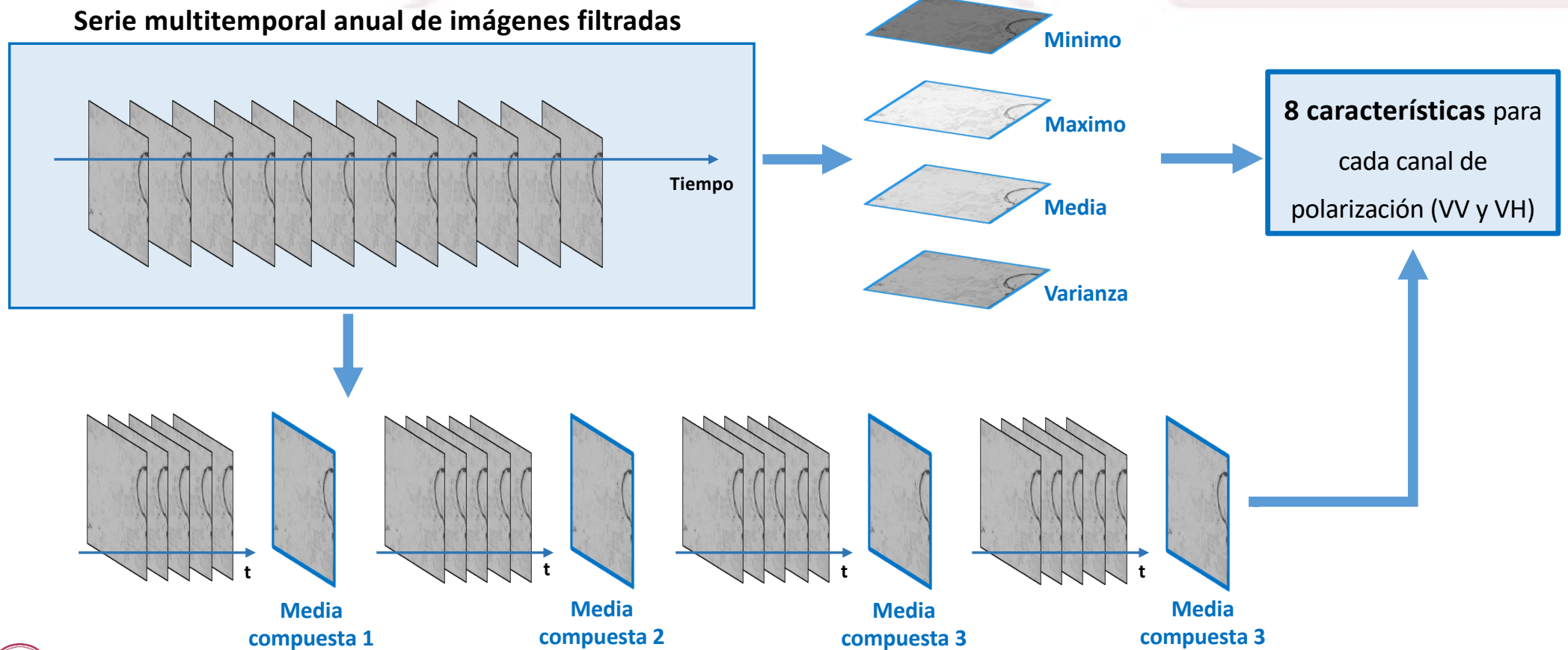


# Esquema de la metodología de mapeo del agua

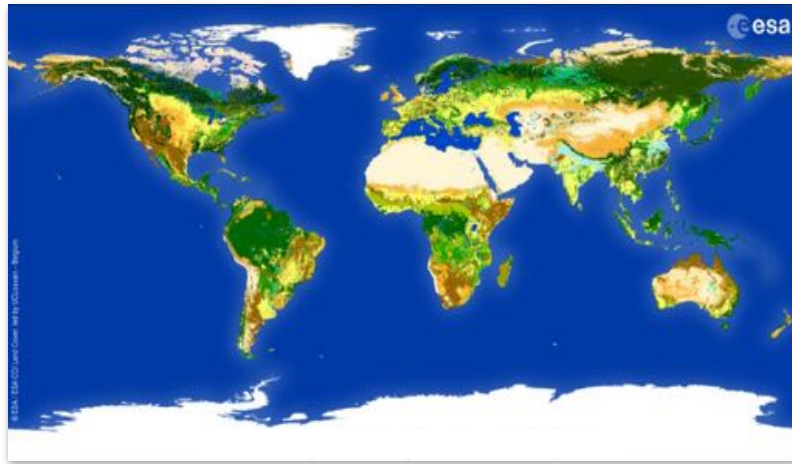


Una vez seleccionada la ficha de interés de la cual extraer las masas de agua, el sistema **genera automáticamente** el mapa de salida.

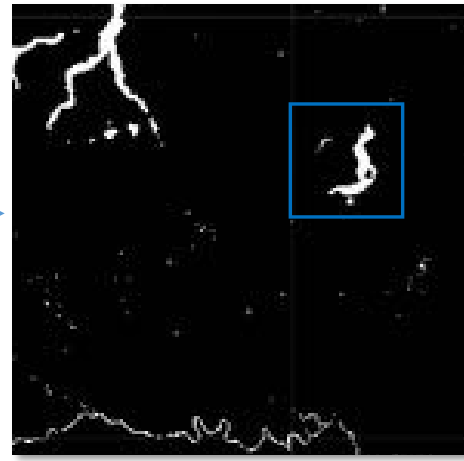
# Extracción de características



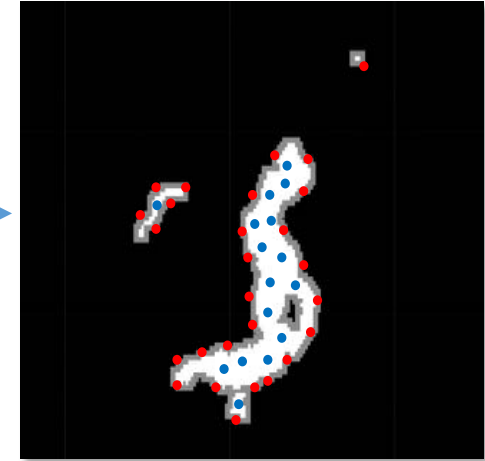
# Procedimiento de muestras



Climate Change Initiative (CCI) | Land Cover  
2018 | 300 m



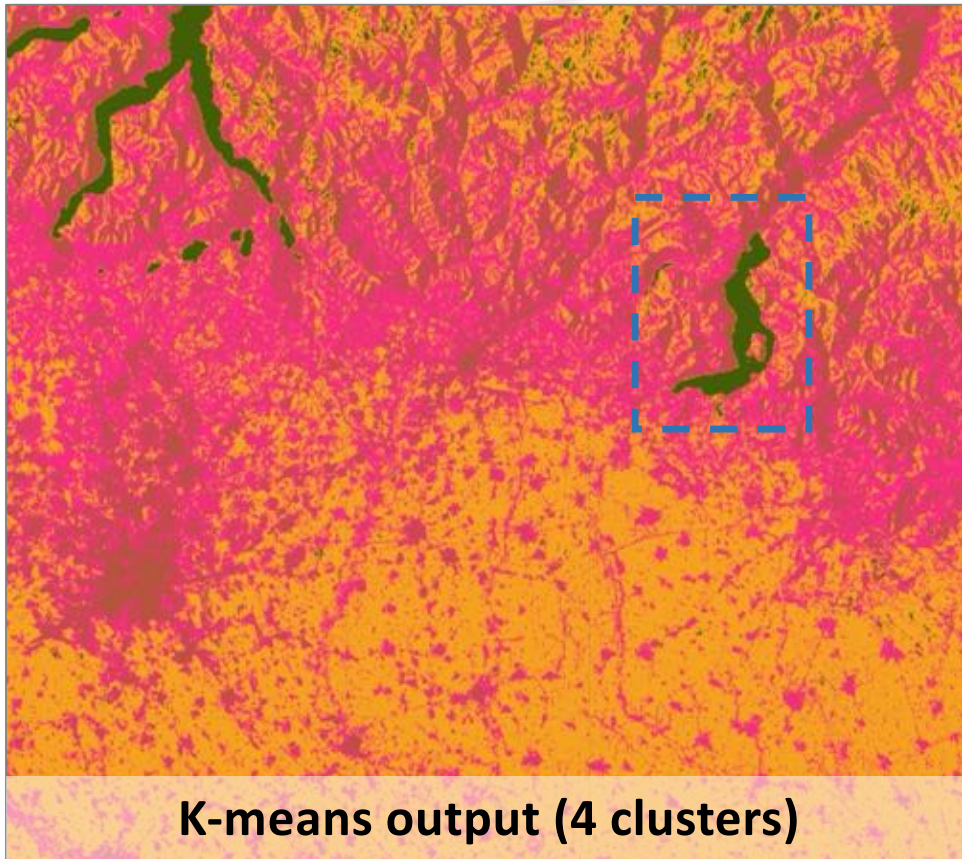
Extracción con mascarilla  
de agua y dilatación  
morfológica



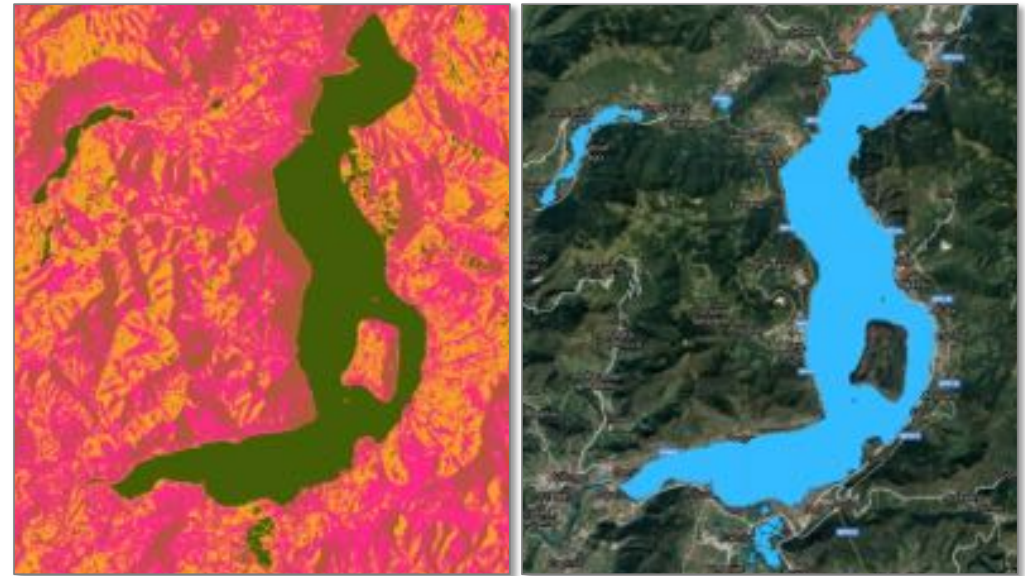
Selección balanceada de  
muestras

Se recogen muestras de agua y de elementos no acuosos dentro de la máscara de agua dilatada para generar un conjunto de puntos de entrenamiento equilibrado, que se utiliza como semilla inicial para el algoritmo de agrupamiento k-Means.

# Agrupamiento y extracción automática de agua

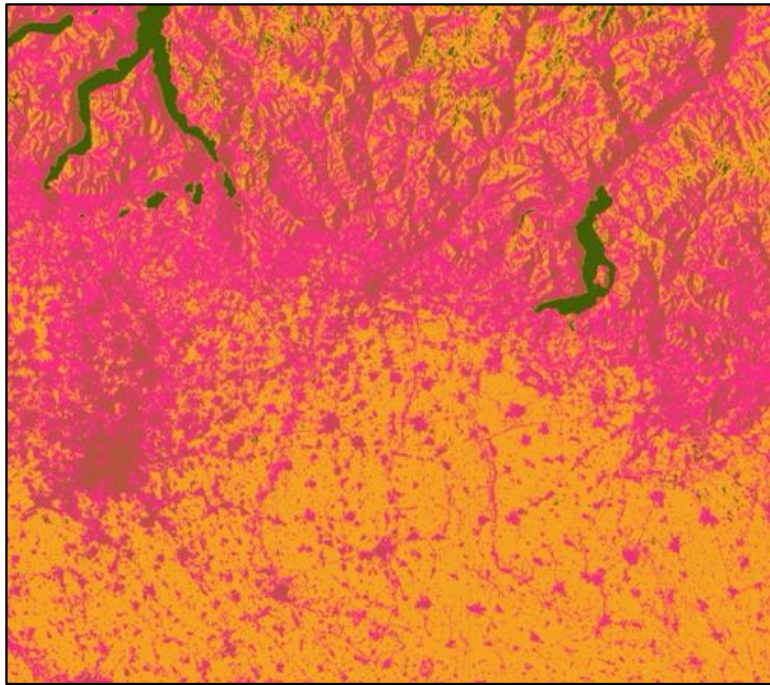


¿Cómo extraer automáticamente el cluster de agua?





# Agrupamiento y extracción automática de agua (II)



K-means output (4 clusters)

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_1$								
$\vec{f}_2$								
$\vec{f}_3$								
...								
$\vec{f}_N$								

Cluster 1

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C1}$								

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_1$								
$\vec{f}_2$								
$\vec{f}_3$								
...								
$\vec{f}_N$								

Cluster 2

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C2}$								

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_1$								
$\vec{f}_2$								
$\vec{f}_3$								
...								
$\vec{f}_N$								

Cluster 3

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C3}$								

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_1$								
$\vec{f}_2$								
$\vec{f}_3$								
...								
$\vec{f}_N$								

Cluster 4

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C4}$								

# Agrupación y extracción automática de agua (III)

Grupo 1

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C1}$								

Grupo 2

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C2}$								

Grupo 3

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C3}$								

Grupo 4

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C4}$								

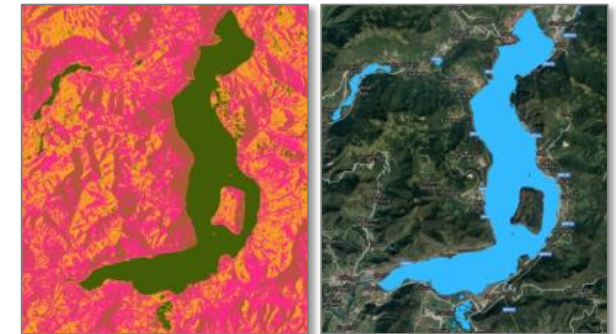
Distancia euclídea  
entre cada grupo y el vector  
de agua de referencia

$$d = \sqrt{\sum_{n=1}^N \left( \vec{f}^{C_i}(n) - \vec{f}^W(n) \right)^2}$$

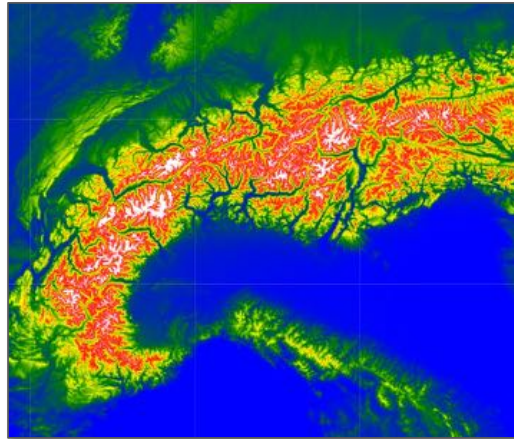
Grupo 3 - Agua

	Min	Max	Mean	Var.	Seas. 1	Seas. 2	Seas. 3	Seas. 4
$\vec{f}_{C3}$								

El grupo con la **distancia más baja** está asociado a la clase **agua**.



# Posprocesamiento: eliminación de pendientes pronunciadas

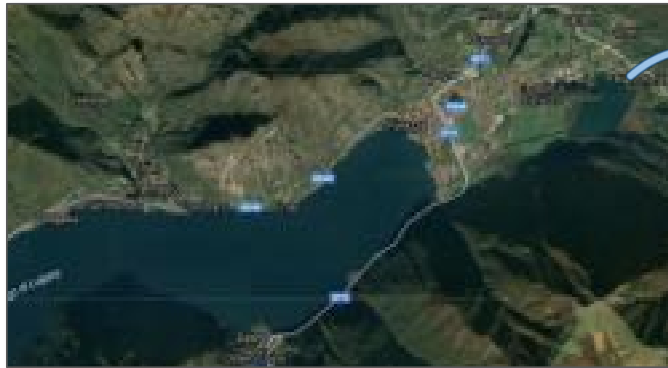


DSM visualization over the North of Italy

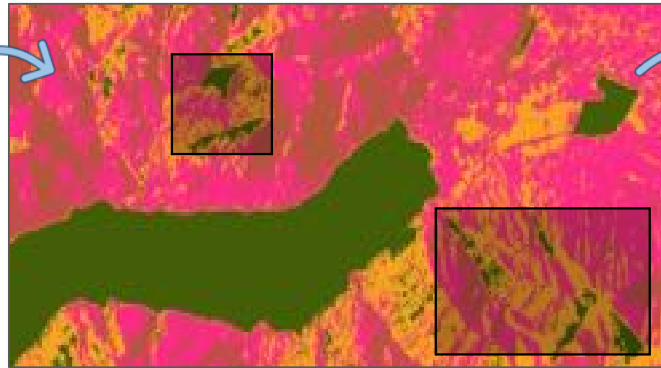
**ALOS DSM** | Version 3.2 | 30 m

El modelo de elevación ayuda a eliminar los falsos positivos, causados principalmente por:

- Sombras SAR
- Efectos de superposición
- Efectos de escorzo



Lugano Lake (Google Maps view)



Clustering output (4 clusters)



Extracción de clase de agua y  
posprocesamiento

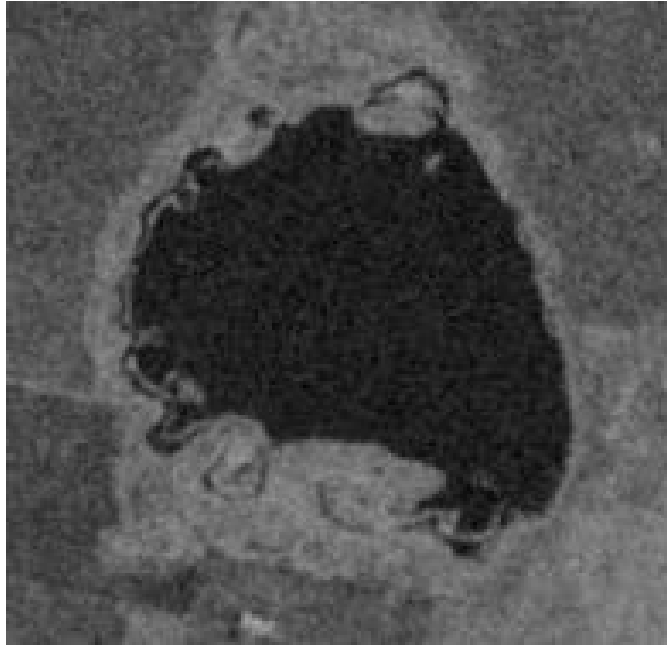


# Extracción final

Google Maps



SAR VH



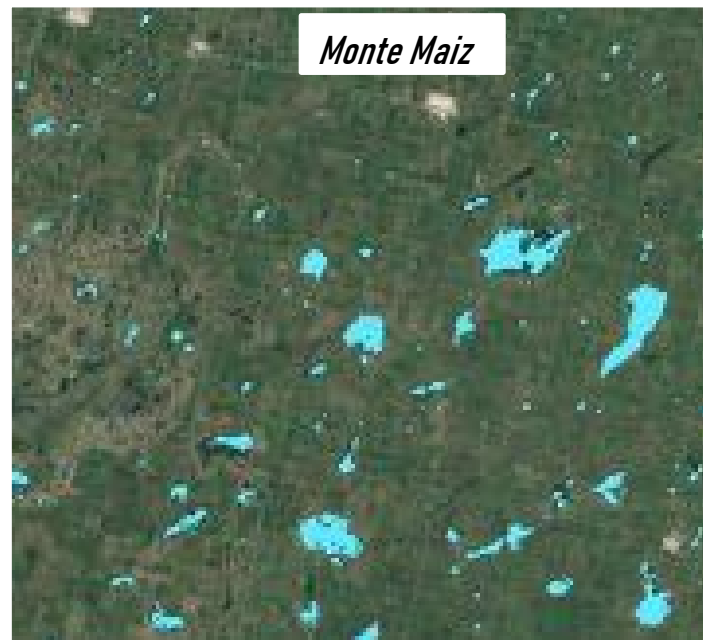
Mapa de agua



# ITAREO y ONU-ODS n. 6: Agua limpia y saneamiento



*L S Roque*

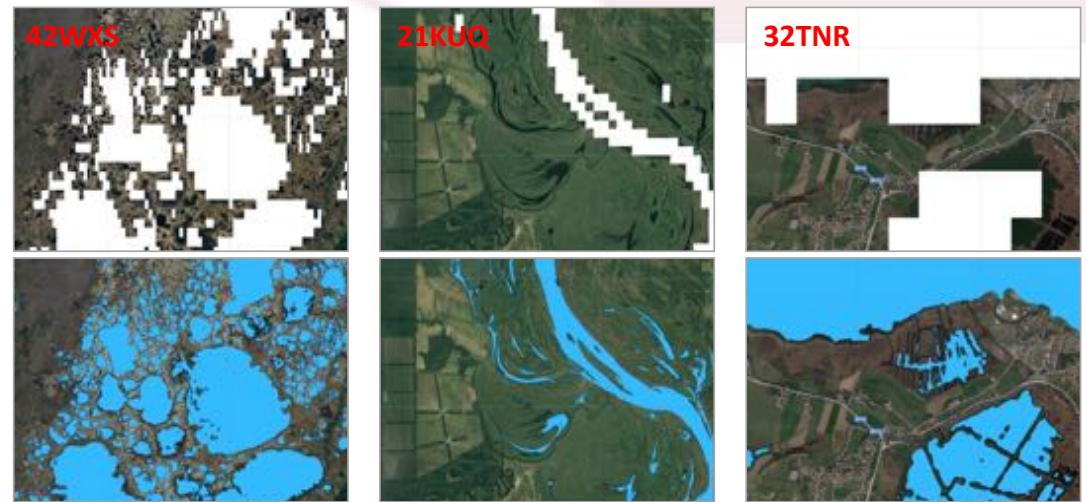


*Monte Maiz*



*Villa Carlos Paz*

# Algunos resultados cuantitativos



	Siberia	Amazonia	Italy
O.A.	94.2%	99.6%	98.4%
P.A. (water)	95.7%	100%	100%
P.A. (non-water)	92.7%	99.6%	96.7%

Nota: los valores se calculan en función de puntos de prueba aleatorios de puntos con agua y sin agua sobre el producto de resolución media.

# El Round Robin de la ESA sobre el agua en el mundo

## OBJETIVO:

Permitir una mejor comprensión de los pros y contras de los enfoques de Observación de la Tierra (EO) para mapear y monitorear la extensión de las aguas abiertas interiores, comparando la solidez de diferentes algoritmos e identificando deficiencias y áreas de investigación adicional.

## CÓMO:

Intercomparación de algoritmos EO para la detección de aguas superficiales, utilizando la última generación de datos satelitales Sentinel gratuitos y abiertos.

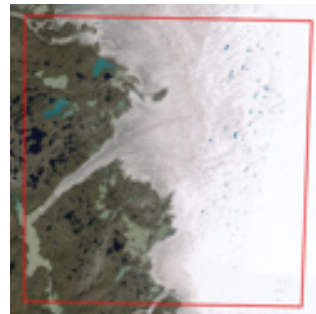
TEST SITES



Colombia



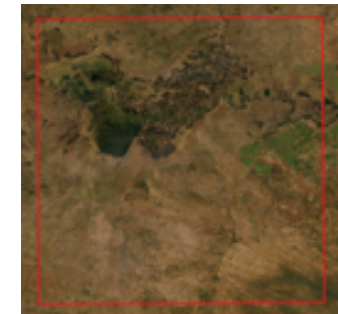
Gabon



Greenland



Mexico



Zambia



UNIVERSITÀ DI PAVIA

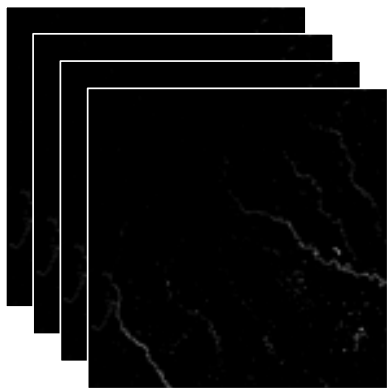
# El concurso

## COSA:

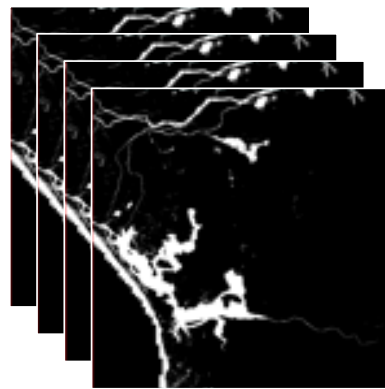
Elaborar mapas mensuales de aguas superficiales, desde julio de 2018 hasta junio de 2020, para cada sitio de prueba. Se generaron un total de 120 imágenes.

## VALIDACIÓN:

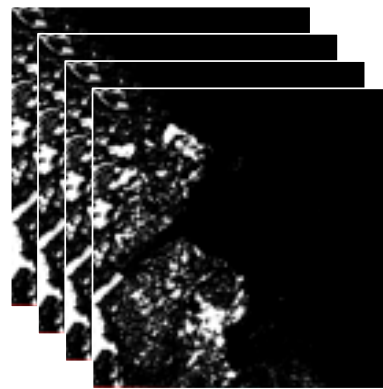
Los resultados fueron validados de forma independiente por los organizadores de RR utilizando datos de muy alta resolución derivados de Planet.



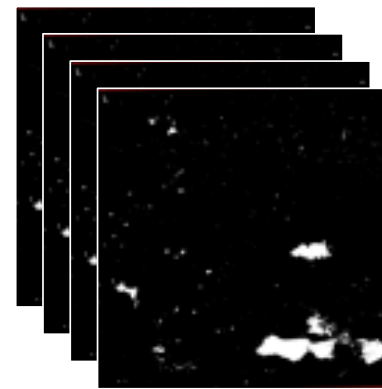
Colombia



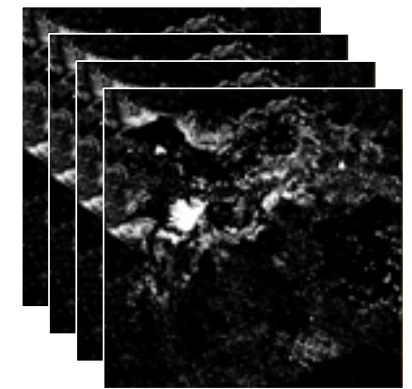
Gabon



Greenland



Mexico

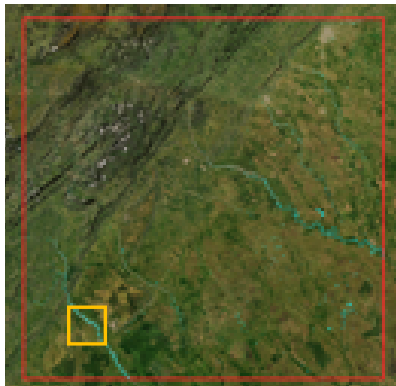


Zambia

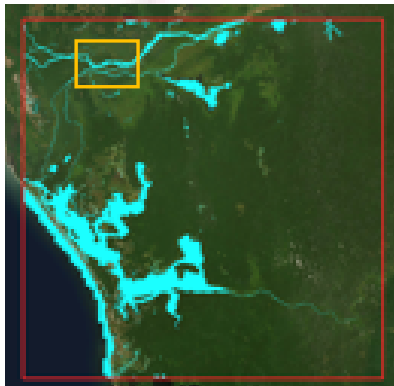


# Nuestros resultados

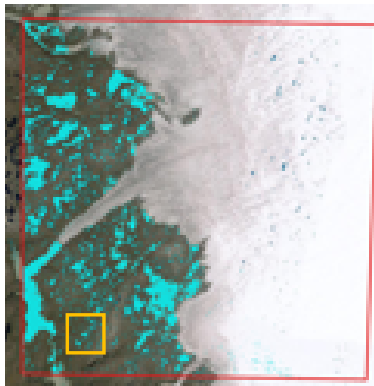
Colombia



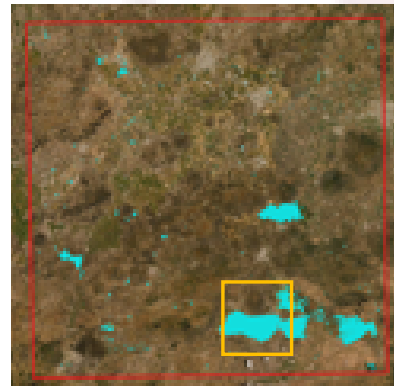
Gabon



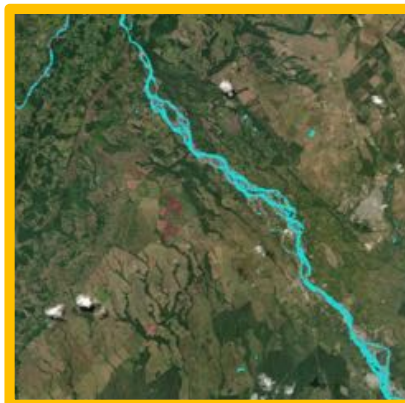
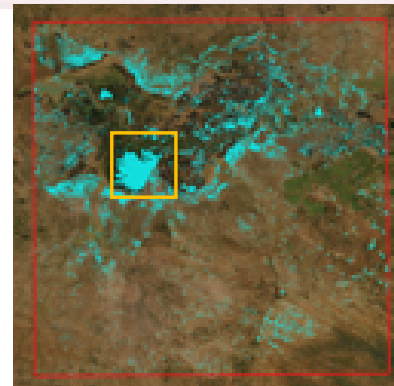
Greenland



Mexico



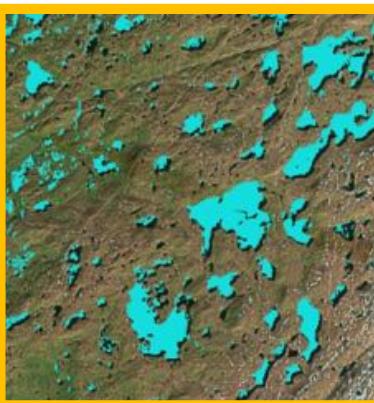
Zambia



OA 94%



OA 98%



OA 87%

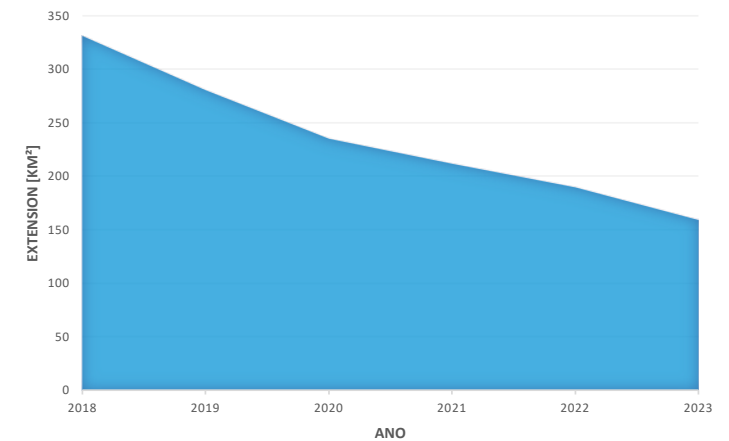
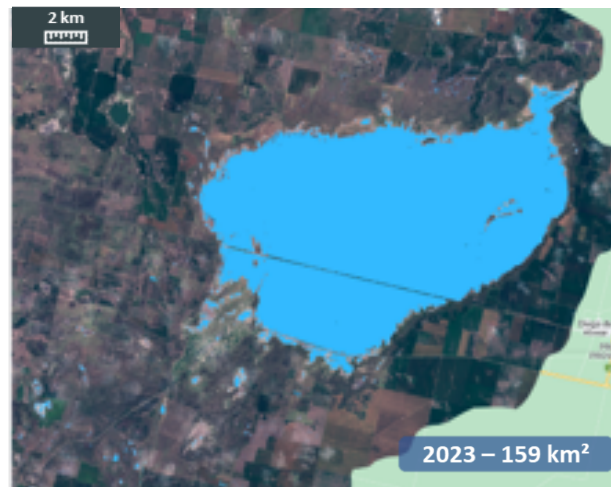
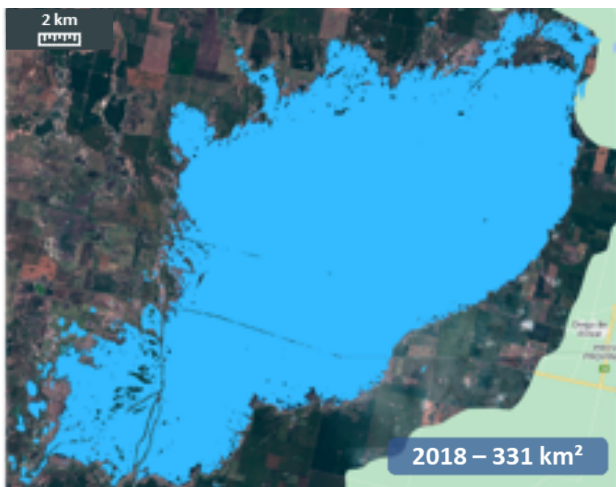


OA 93%



OA 88%

# Tendencia temporal (Laguna Picasa)

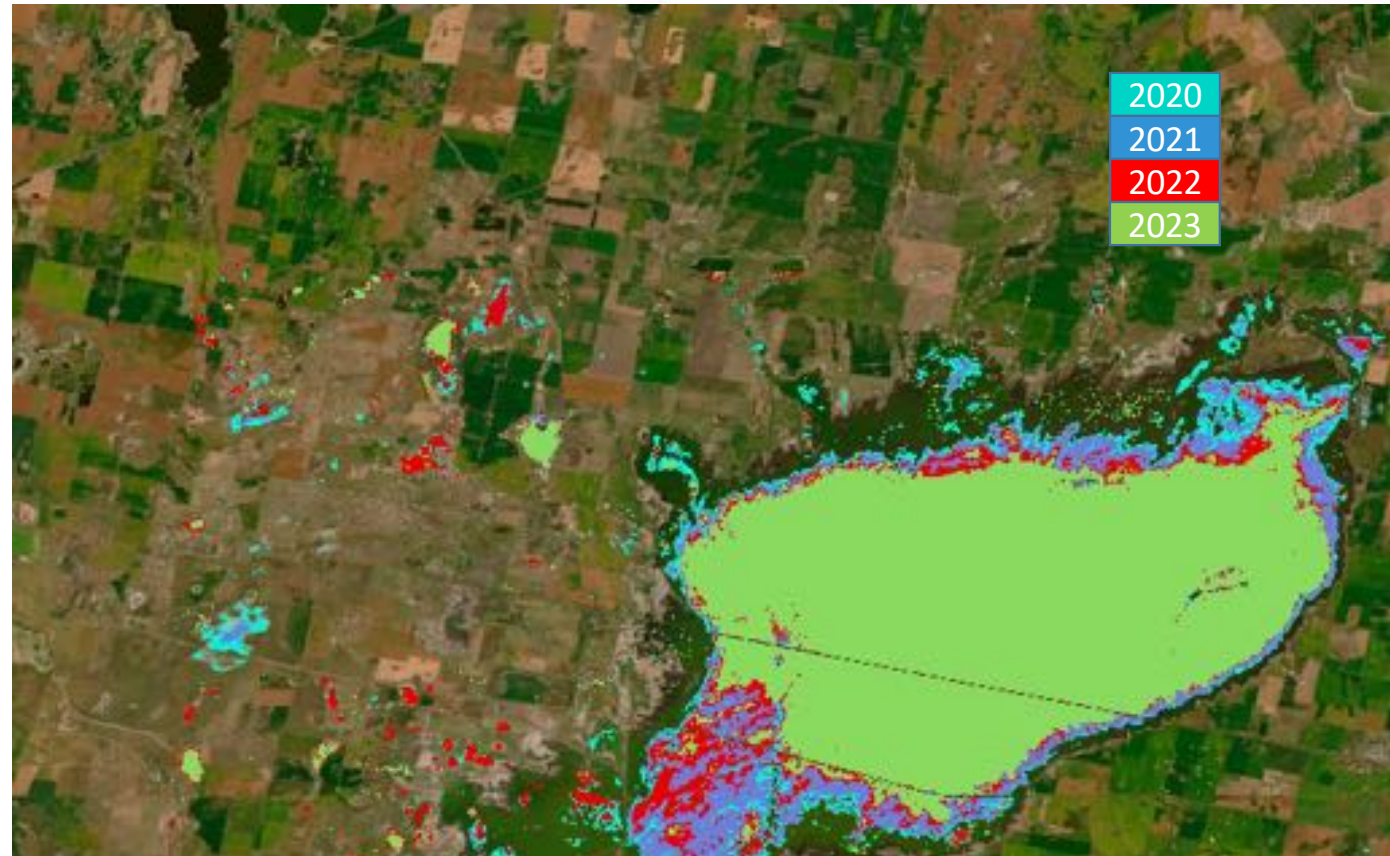


*Comparación visual con reducción dramática de la Laguna La Picasa. A la derecha, gráfico que muestra la tendencia de la superficie en los últimos seis años. Datos obtenidos con la serie temporal Sentinel-1.*

# Tendencia temporal (Laguna Picasa)

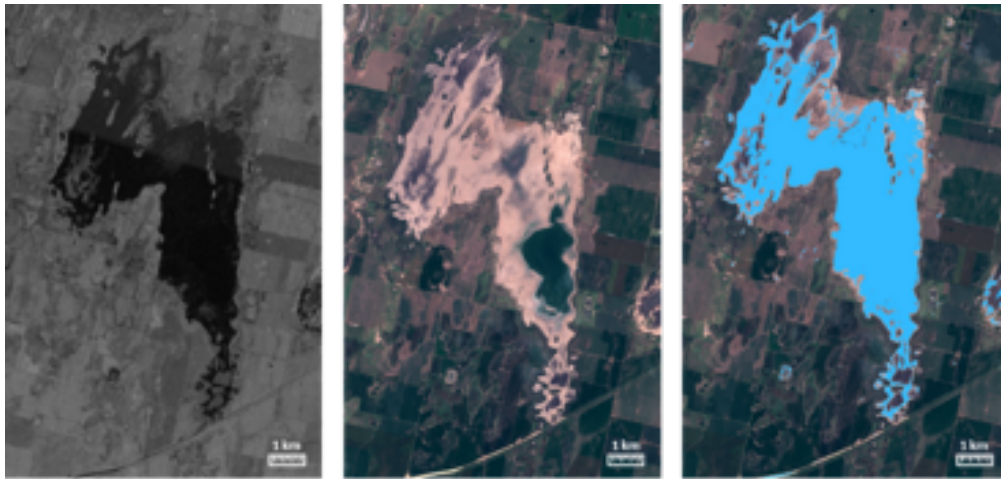
Extension de los cuerpos hidricos en el tiempo

La extension de los cuerpos hidricos y la calidad de las aguas en las llanuras están disminuyendo, muy probablemente como consecuencia del cambio del clima (precipitaciones concentradas en eventos extremos y aumento de las temperaturas – mayor evaporacion).



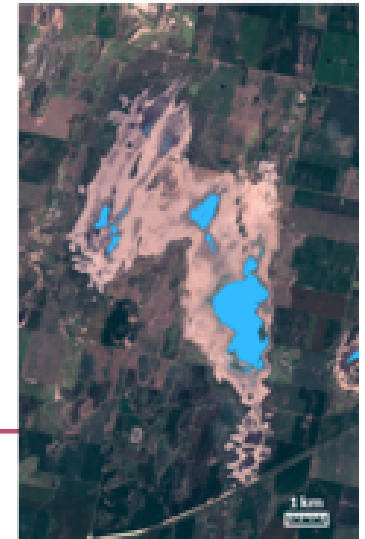
# Mejoramiento por medio de fusión de datos

- Se aplica clustering a la información extraída de los datos SAR combinados con los valores medios en el tiempo de los índices NDVI y NDWI extraídos de los datos Sentinel- 2 y el valor máximo, mínimo y la varianza de las bandas RGB en el periodo de tiempo de interés.



*A la izquierda la imagen del SAR Sentinel-1, al centro la imagen óptica captada por los sensores Sentinel-2 y a finalmente la elaboración del modelo de extracción, con clasificación incorrecta de los cuerpos de agua al interior de la laguna.*

*A la derecha, los resultados mejorados obtenidos usando SAR y datos multiespectrales juntos.*

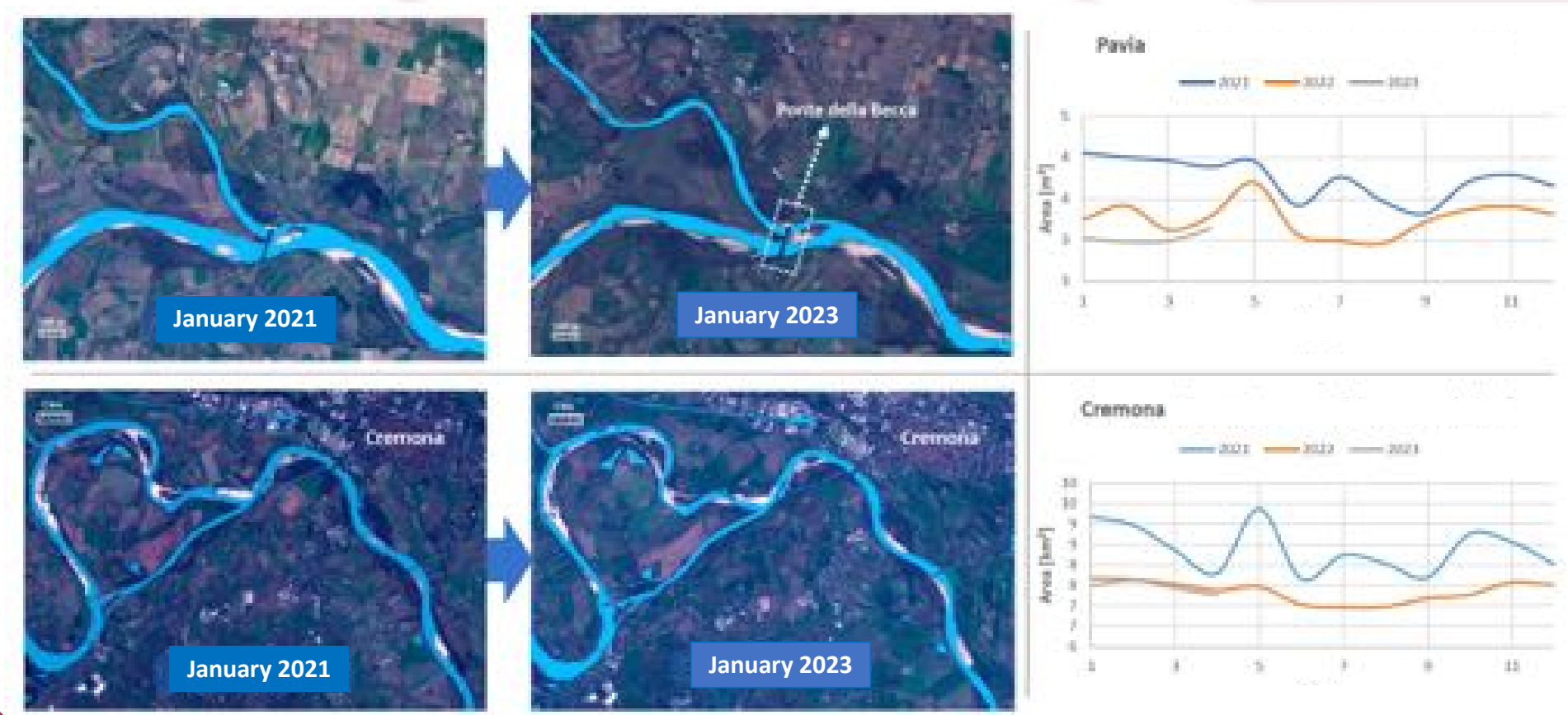


# Río Primero

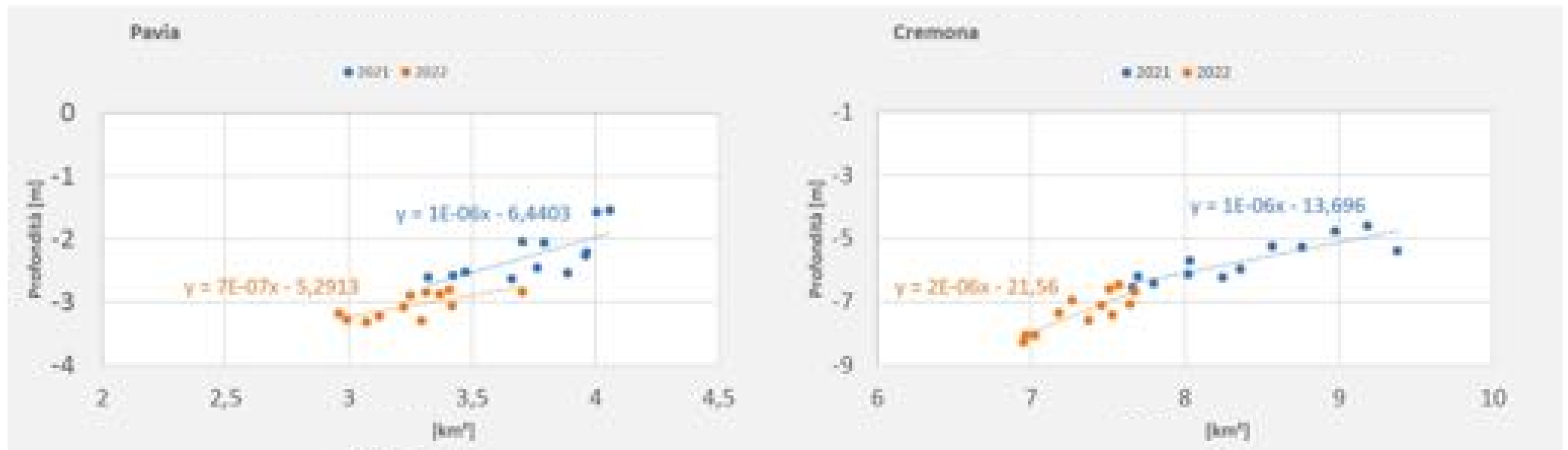


*Monitoreo del río Primero en un contexto rural. Extracción en secuencias de Sentinel-1, enero-abril de 2021*

# Monitoraggio de río Po en el norte de Italia



# Correlación entre la superficie del agua y las medidas de las boyas en el río Po



# Una solución diferente

- Los algoritmos de procesamiento y clasificación de imágenes pueden clasificarse según el espacio en el que operan
- Un espacio espectral multidimensional está definido implícitamente por los vectores multispectrales (una banda, una dimensión) que componen los datos
  - Cada dimensión tiene un significado físico
  - Cada dimensión está asociada a una banda
- Las transformaciones espectrales pueden alterar el espacio espectral y convertirlo en un espacio de características





# Algunas relevantes transformaciones no lineales

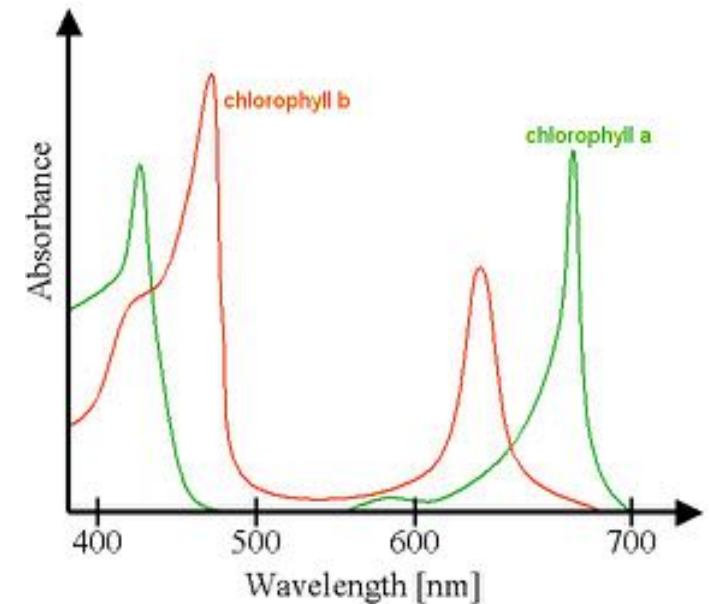
- Las transformaciones no lineales se definen por una relación no lineal entre el espacio de origen (espectral) y el espacio de destino (transformación)
- A continuación veremos algunas de las más relevantes para la observación de la Tierra desde el espacio:
  - Índices de vegetación
  - Índices de edificado
  - Índice de agua

# Índices de vegetación

- La idea básica:
  - La vegetación verde presenta una alta absorción en las bandas azul y roja
  - La vegetación verde presenta una alta reflectancia en la banda del infrarrojo cercano
  - La banda azul puede estar sesgada por la dispersión atmosférica → utilice la banda roja

- Ratio vegetation index (RVI):  $RVI = \frac{NIR}{R}$

- Valores bajos de R pueden ser críticos (/ por cero!)



# Normalized Differential Vegetation Index

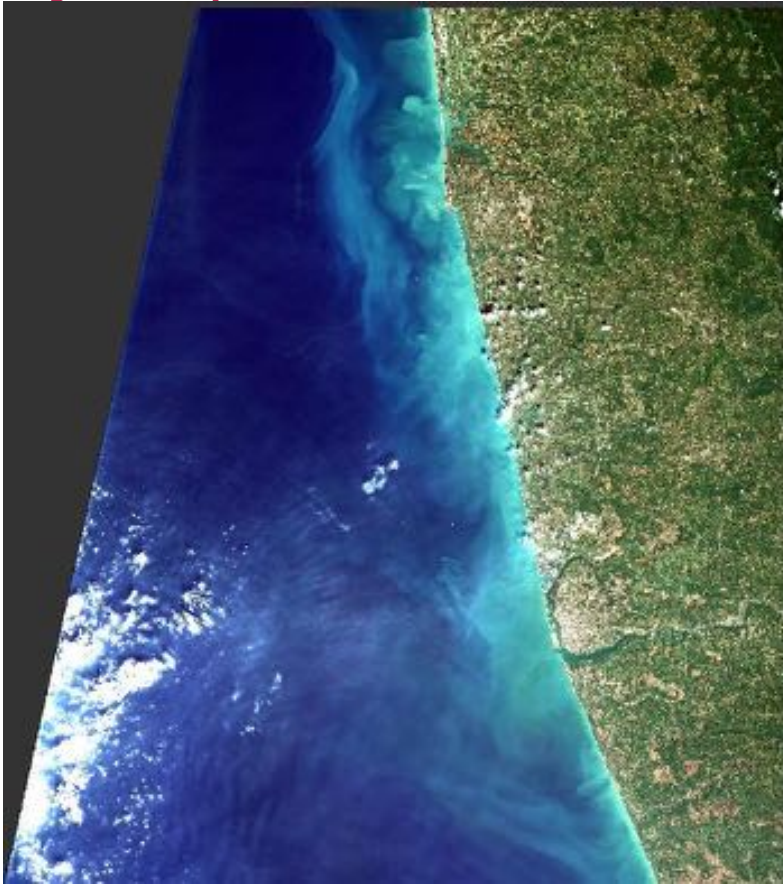
- Propuesto por Rouse en 1974 para Landsat MSS:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

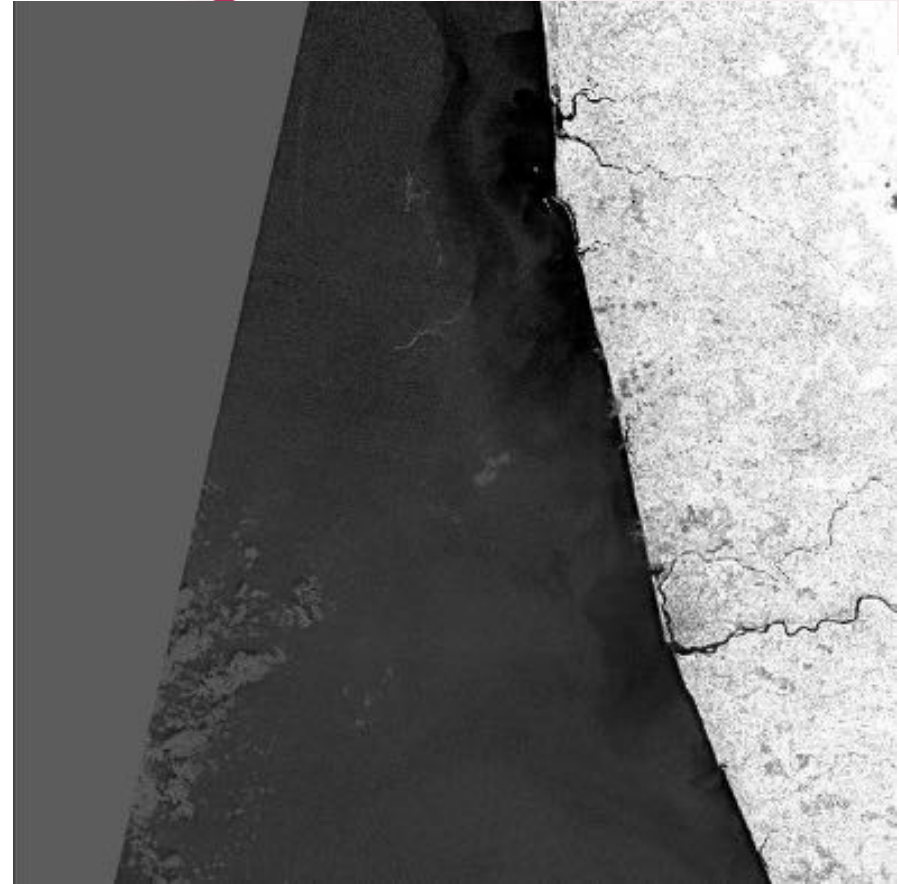
- El NDVI produce una escala lineal, teóricamente entre -1 y +1.
- Se supone que hay vegetación para valores  $> 0$ ; cuanto más altos, más vegetación, pero es poco probable que supere 0,7-0,8.
- Este es el índice de vegetación más utilizado

Rouse, J.W., R.H.Haas, J.A.Schell, and D.W.Deering. 1973: Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium. NASA SP-351 I: 309-317.

# Ejemplo: S-2 data sobre Mangalore, India



True colour image



NDVI map



# Normalized Difference Built-up Index

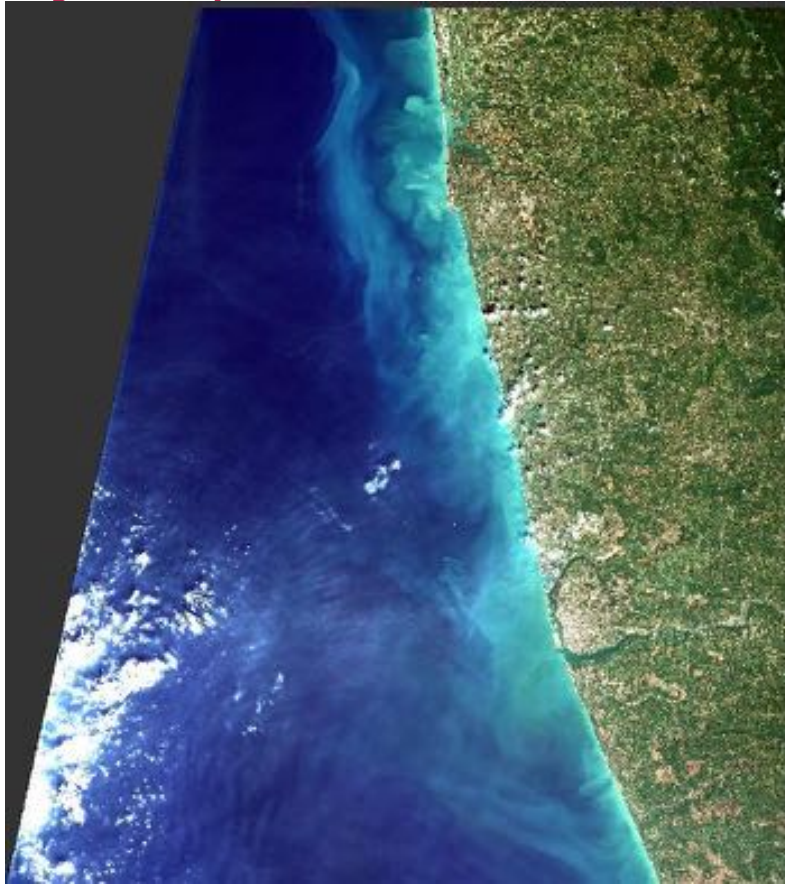
- Similar al NDVI, pero adaptado a la respuesta espectral de áreas urbanas con baja resolución espacial :

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

- $NDBI < 0$  representa cuerpos de agua,  $NDBI \gg 0$  representa áreas edificadas; la vegetación presenta valores bajos de NDBI
- Otras opciones son: Índice de edificación (BU), Índice urbano (UI), Índice de edificación basado en índice (IBI), Índice de edificación y desnudez mejorado (EBBI), ...



# Ejemplo: S-2 data sobre Mangalore, India



True colour image



NDBI map



# Modified Normalized Difference Water Index

- Similar al NDVI, pero para el agua en lugar de la vegetación. :

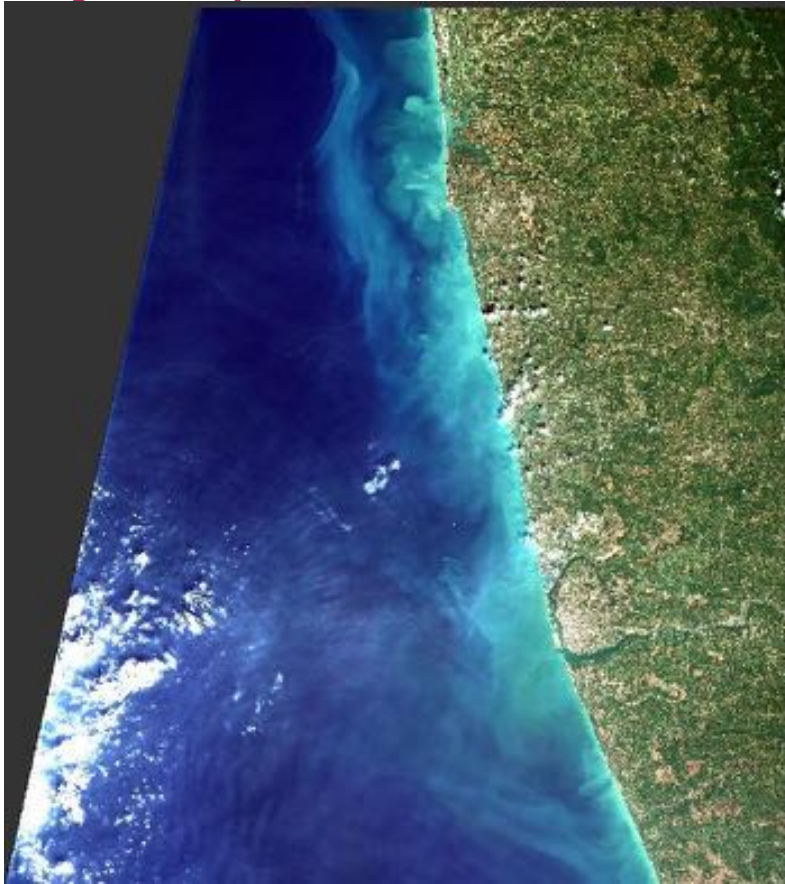
$$MNDWI = \frac{G - SWIR}{G + SWIR}$$

- Diseñado para identificar y mapear masas de agua, incluidos lagos, ríos y mares.
- Para Sentinel-2, la banda SWIR utilizada es la banda 11 (1610 nm)

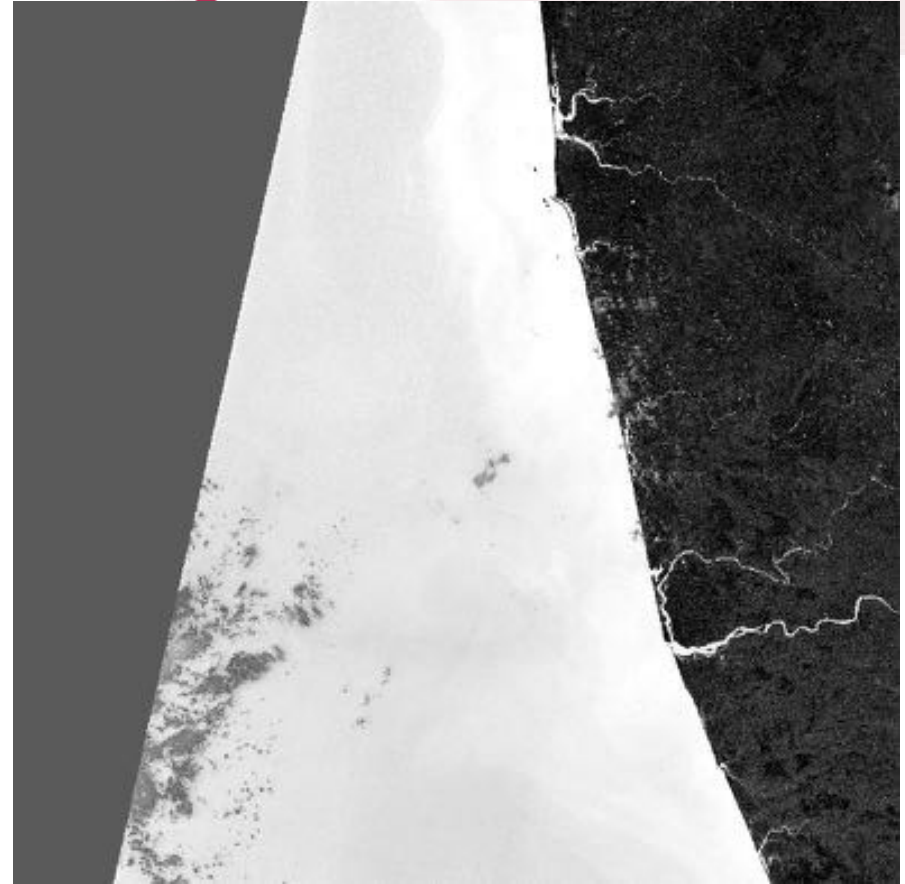
Xu, H. "Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery." International Journal of Remote Sensing 27, No. 14 (2006): 3025-3033."



# Ejemplo: S-2 data sobre Mangalore, India



True colour image



MNDWI map





## S1A Water Index (SWI)

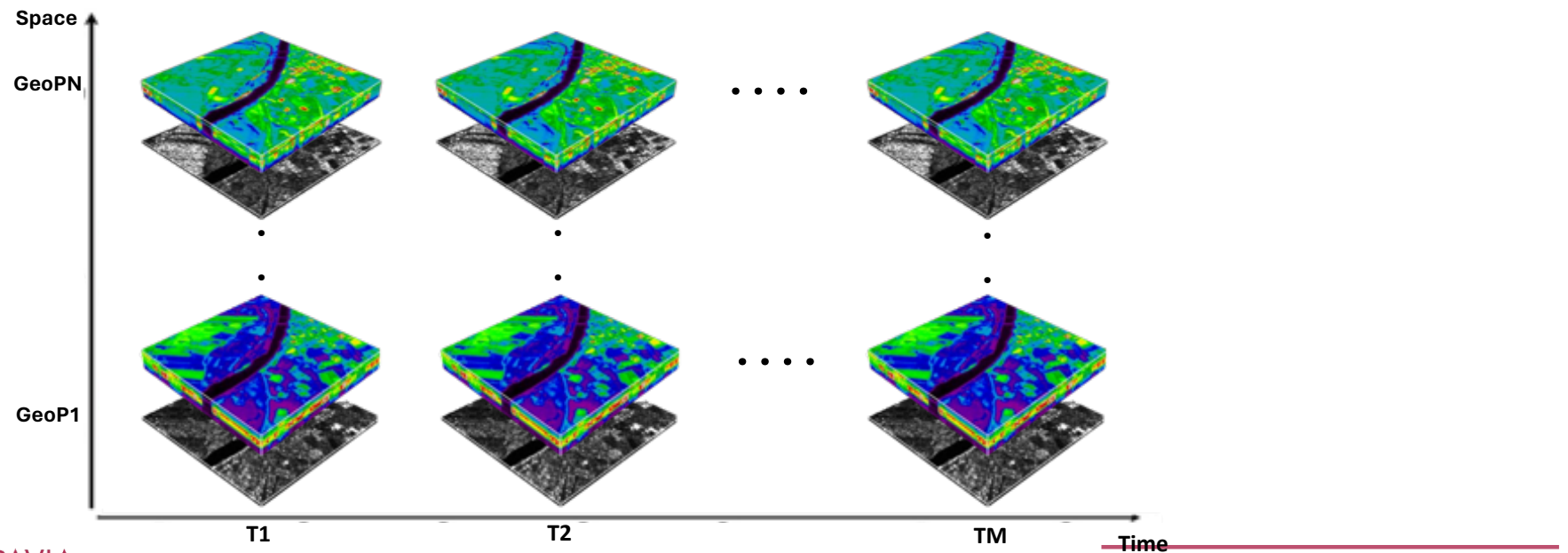
- Se ha diseñado una idea similar, pero para datos SAR. El índice de agua S1A (SWI) se construyó con base en la ecuación de regresión lineal entre S1A (incluida la polarización VH y VV) y MNDWI.

$$\begin{aligned} SWI &= 0.1747 \times \beta_{vv} + 0.0082 \times \beta_{vh} \times \beta_{vv} + 0.0023 \times \beta_{vv}^2 \\ &\quad - 0.0015 \times \beta_{vh}^2 + 0.1904 \end{aligned}$$

- donde  $\beta_{vh}$  y  $\beta_{vv}$  representan el coeficiente de retrodispersión en polarización VH y polarización VV, respectivamente.

# Conjunto de datos – SEN(1+2)DWATER

- A lo largo de 6 años (julio de 2016 - diciembre de 2022).
- 39 imágenes para un total de 329 extensiones geográficas diferentes (3 km x 3 km).



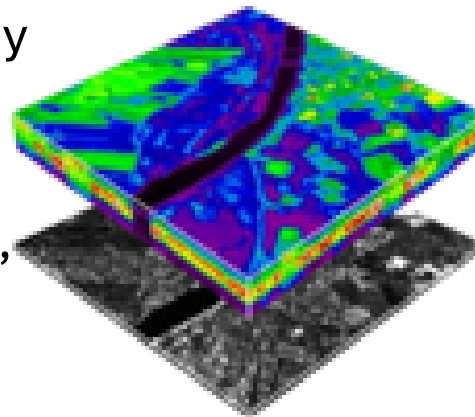
# SEN(1+2)DWATER (continuación)

- ❖ Nuevo conjunto de datos multisensoriales y multitemporales (Tabla 1).
- ❖ Producto compuesto de 13 bandas ópticas de S2 más las 2 bandas de polarización (VV y VH) de S1.
- ❖ Adherente a las propiedades de DiRS (diversidad, riqueza y escalabilidad).

Tabla 1: Comparación con otros conjuntos de datos de última

Paper/Dataset	Satellite	Multisensor	Multitemporal	Resolution	Nº Samples
Water Body Segmentation	Sentinel-2	No	No	10m	10
Satellite Images of Water Bodies	Sentinel-2	No	No	10m	2841
Water Body Image Segmentation	Sentinel-2	No	No	10m	2494
Sui et al.[3]	Sentinel-2	No	No	10m	-
Feng et al. [3]	Landsat7 ETM+	No	No	30m	8756
Pekel et al. [5]	Landsat	No	Yes	30m	3000000
<b>OUR DATASET</b>	<b>Sentinel-1 &amp; Sentinel-2</b>	<b>Yes</b>	<b>Yes</b>	<b>10m</b>	<b>12,831 (S-1) &amp; 12,831 (S-2)</b>

S1 & S2 datacube



**Dominio del conjunto de datos:**

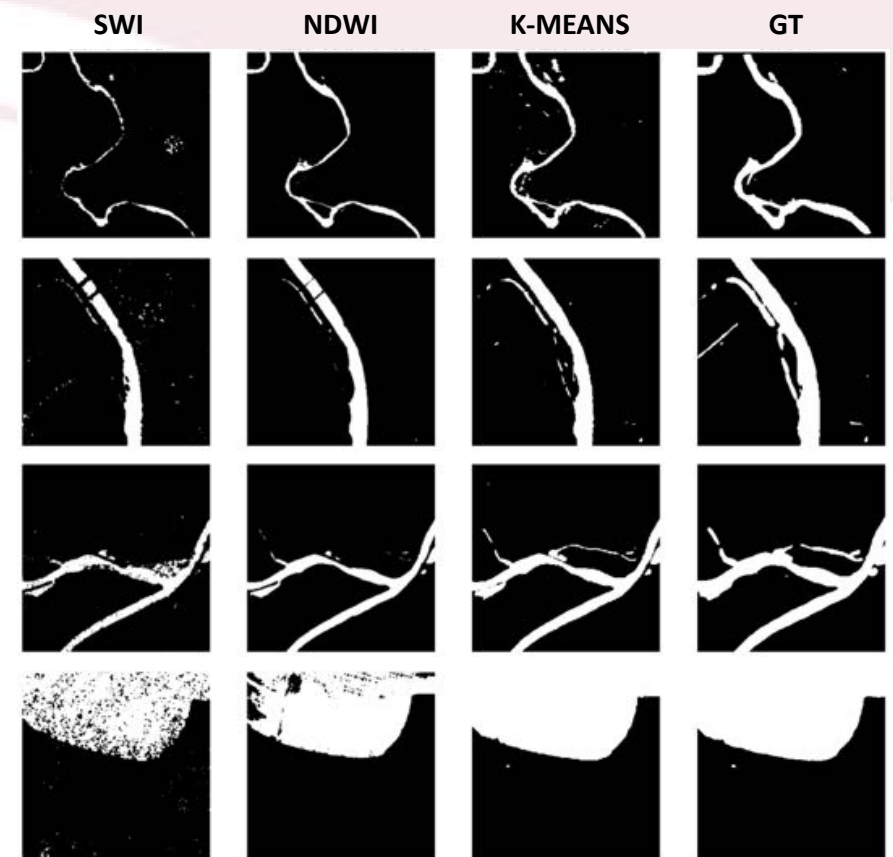
$$X_{lat,lon} \in \mathbb{R}^{T \cdot W \cdot H \cdot B}$$

- donde:
- **lat y lon** son las coordenadas centrales
- **T** es la longitud de la secuencia temporal (39)
- **H** es la altura de la imagen (300 px)
- **W** es el ancho de la imagen (300 px)
- **B** es el número de bandas de la imagen (13+2)



# Resultados

- ❖ Cada fila de la cuadrícula muestra los resultados cualitativos de los métodos propuestos en comparación con GT.
- ❖ No se observaron diferencias significativas entre los resultados de los tres enfoques.
- ❖ El informe de clasificación se presenta en la siguiente tabla.
- ❖ Las métricas se calculan utilizando un promedio ponderado, donde el soporte actúa como ponderador, abordando eficazmente el desequilibrio del conjunto de datos.



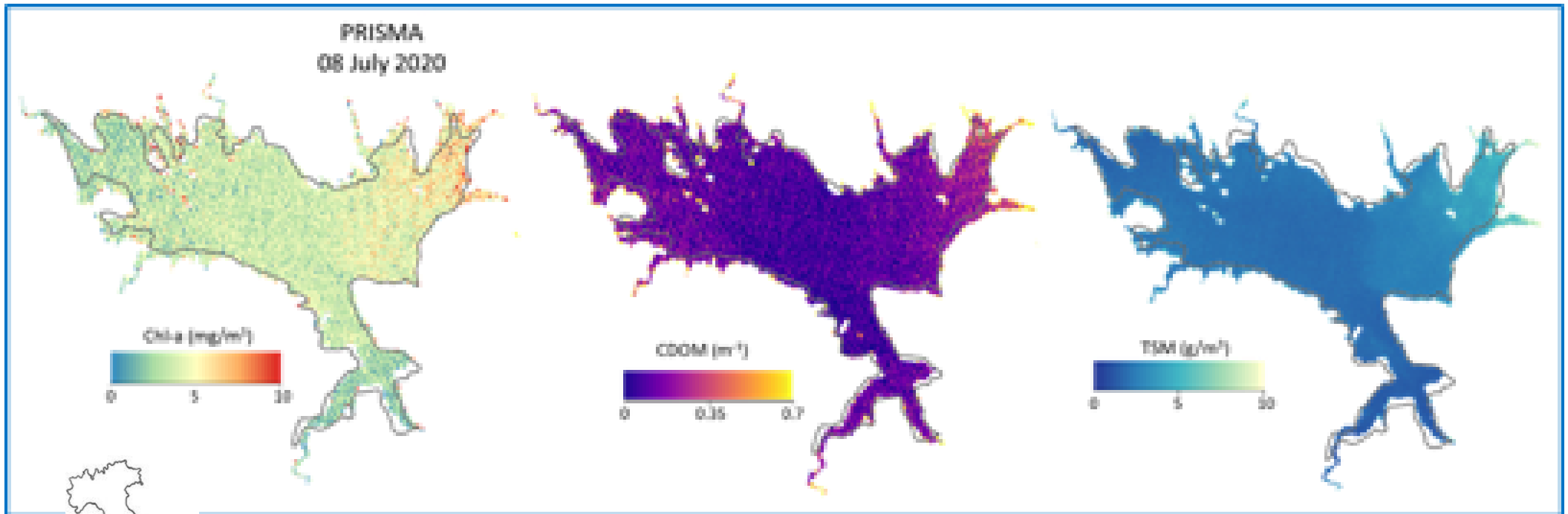
	SWI	NDWI	K-MEANS (S-1)	K-MEANS (S-2)	K-MEANS (S-1 & S-2)
<b>Precision</b>	91%	93%	91%	93%	92%
<b>Recall</b>	91%	94%	90%	90%	90%
<b>F1-Score</b>	91%	93%	90%	91%	91%
<b>OA</b>	91%	94%	90%	90%	90%

# Conclusiones

- Las dos constelaciones (CSK/CSG y SAOCOM) ofrecen informaciones validas y confiables para el **análisi de los cuerpos hidricos**, permitiendo el **mapeo de las localizaciones y extensiones en el tiempo** e posible medir el aumento o la disminucion de la disponibilidad de agua y correlacionarlo con procesos a escala local (microclima, produccion agricola) y regional.
- Los resultados sobre la **disponibilidad hídrica** pueden contribuir a una mejor planificación y la gestión de los embalses y un **mayor ahorro de agua**, así como comprender dónde y cómo construir nuevas cuencas (**identificar áreas de acción prioritarias**).



# Sensores hiperespectrales y calidad de l'agua



Lago Mulargia: recuperación simultánea del modelo bioóptico BOMBER de clorofila-a (Chl-a), sustancias amarillas (CDOM) y materia suspendida total (TSM)



# Referencias

- F. Mauro, B. Rich, V. Muriga, W., A. Sebastianelli, and S. L. Ullo, “Sen2dwater: A novel multispectral and multitemporal dataset and deep learning benchmark for water resources analysis,” IGARSS 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2023.
- W.V. Muriga, B. Rich, F. Mauro, A. Sebastianelli, and S. L. Ullo, “A machine learning approach to long-term drought prediction using normalized difference indices computed on a spatiotemporal dataset,” IGARSS 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2023.
- D. Marzi and P. Gamba, “Inland water body mapping using multitemporal sentinel-1 sar data,” IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 14, pp. 11789–11799, 2021.
- ...

