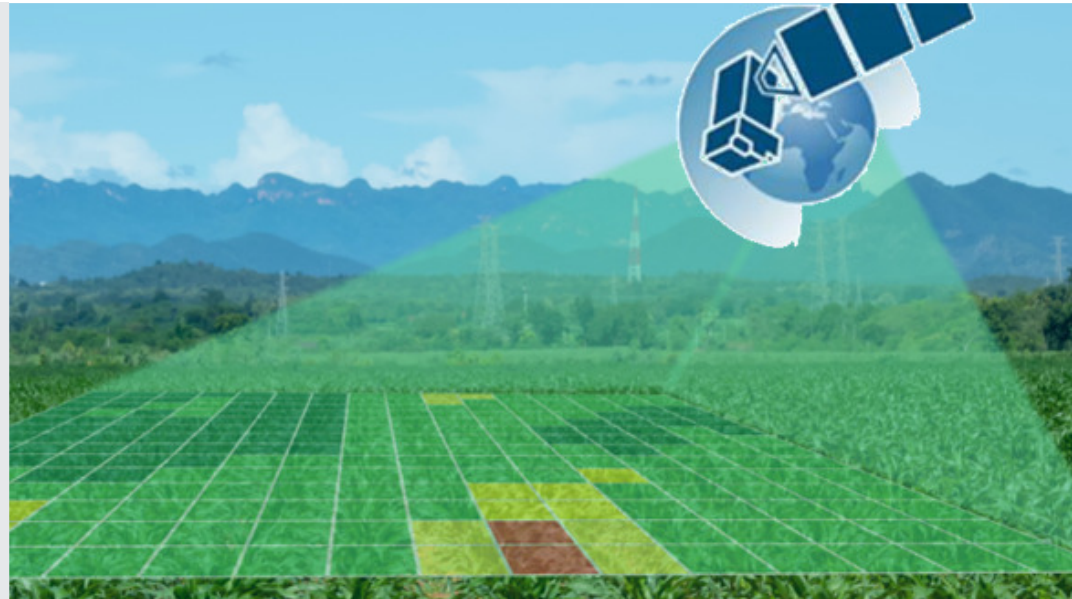


# Teledetección y Big Data: Optimización del riego con imágenes Satelitales

23/04/2024

María José Checa Alonso  
Departamento de Teledetección  
Tragsatec (Grupo Tragsa)



1. Introducción a la teledetección
2. Datos de observación remota
3. Acceso a los datos y herramientas de procesado
4. Aplicaciones de las imágenes de satélite en agricultura
5. Otras fuentes de imágenes: drones
6. Teledetección aplicada a la gestión del regadío
7. Proyecto espacio SiAR

1

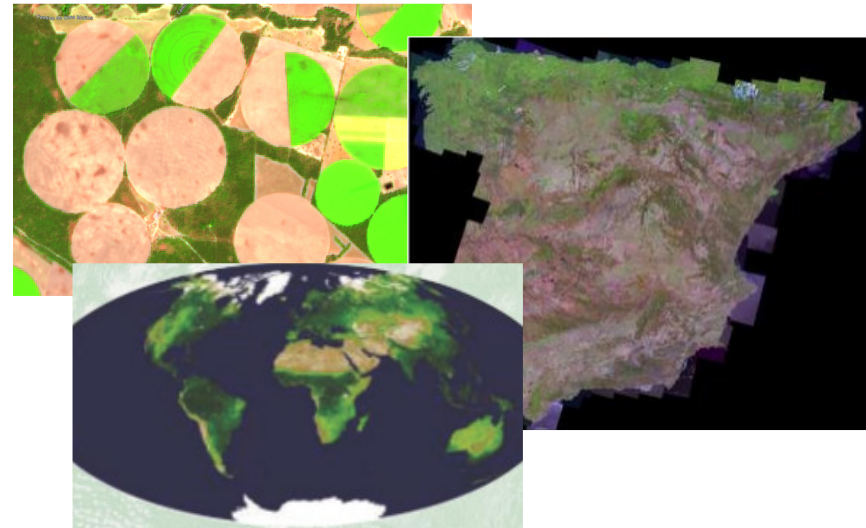
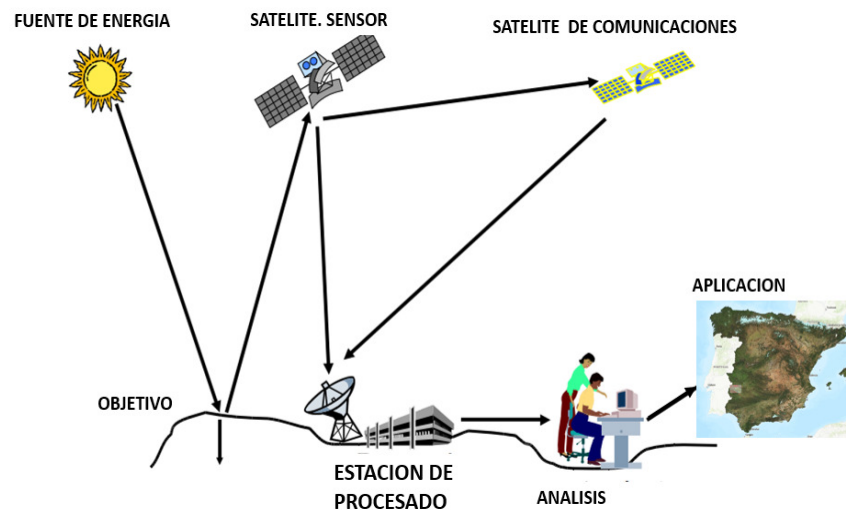
# INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN



## ¿Qué es la teledetección?

Recoger información de un objeto usando instrumentos o sensores que no están en contacto directo con él.

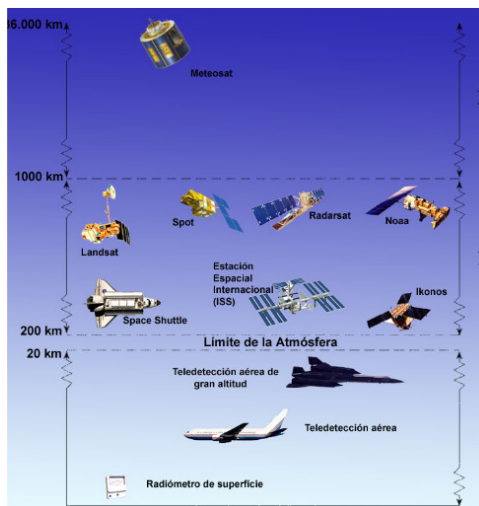
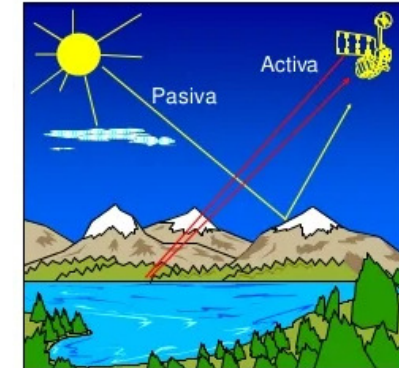
La teledetección permite obtener información, **homogénea, periódica, global y de bajo coste** de la superficie terrestre. Desde nivel de parcela a nivel nacional o global.





### Tipo de sensores:

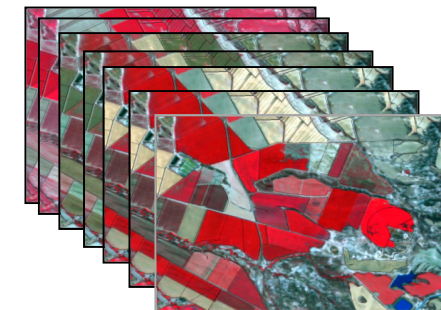
- En los **pasivos** las ondas electromagnéticas proceden de una fuente de energía natural como el sol. Según la información espectral registrada se clasifican en: sensores pancromáticos, **multiespectrales** e hiperespectrales.
- En los **activos** las ondas proceden de una fuente de energía artificial. Los sensores actúan como emisor y receptor de las ondas. Sensores Radar (microondas) y LIDAR (laser entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano).



En función de la plataforma en la que se instalan los sensores, se clasifican en satelitales y aerotransportados.

### Principales características:

- Resolución temporal o frecuencia de revisita.
- Resolución espacial (tamaño de pixel).
- Resolución espectral (bandas espectrales).
- Resolución radiométrica (profundidad del dato).



# 1

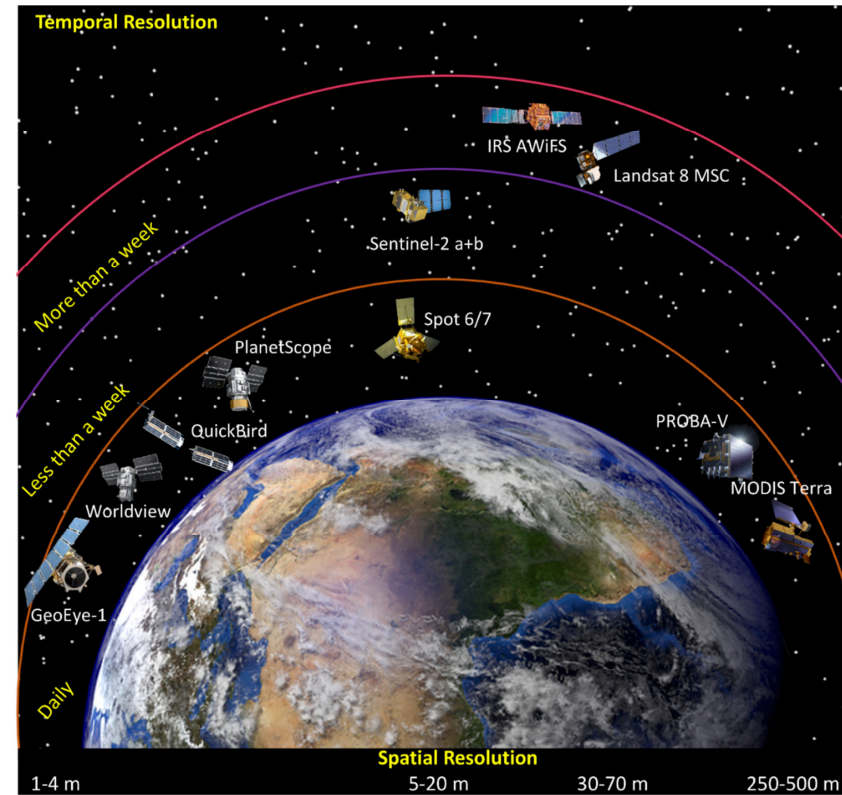
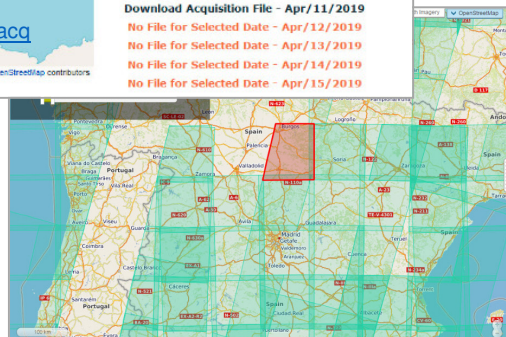
## INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

**Resolución temporal:**  
Capacidad de revisita

The screenshot shows the 'Acquisition Calendar' interface for Landsat. It includes a map of the world with satellite orbits, a 'Select Satellite' dropdown (Landsat 8 OLI/TIRS selected), a 'Select Date' calendar (April 2019), and a list of ground stations (ASA, GLC, SGS, PBB, ULK, etc.). A URL [https://landsat.usgs.gov/landsat\\_acq](https://landsat.usgs.gov/landsat_acq) is visible at the bottom.

Landsat:  
16 días / 8 días

Sentinel:  
10 días / 5 días



<https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>

# 1

## INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

### Resolución espacial:



GSD 20m (SP4)

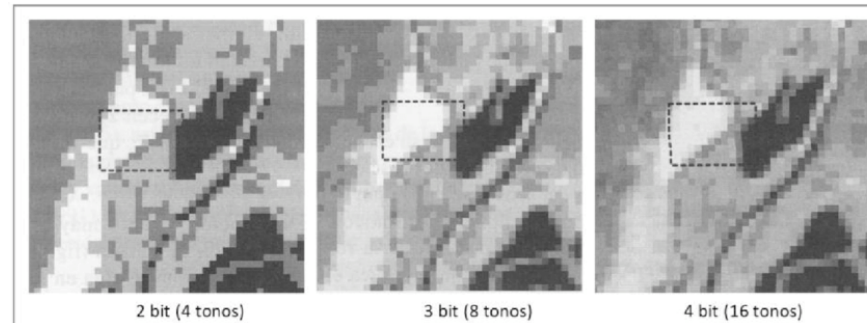
GSD 10m (SP5)

GSD 1,5m (SP6)

GSD 50 cm (PL)

GSD 30 cm (PLN)

### Resolución radiométrica:



2 bit (4 tonos)

3 bit (8 tonos)

4 bit (16 tonos)

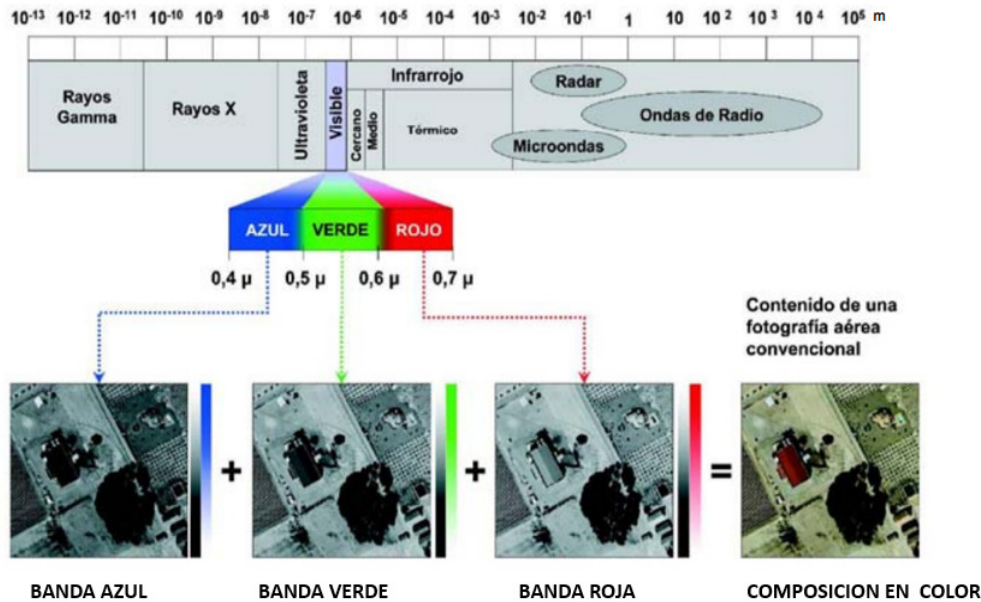
Fuente: Adaptado de Chuvieco, 2002

# 1

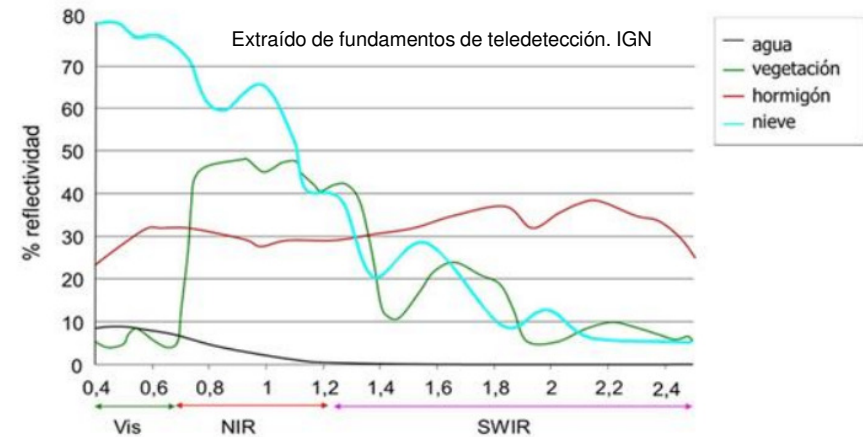
## INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

### Resolución espectral:

Los sensores pasivos recogen la energía reflejada o emitida (T) por la superficie terrestre en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético.



Cada cubierta tiene una respuesta espectral característica:

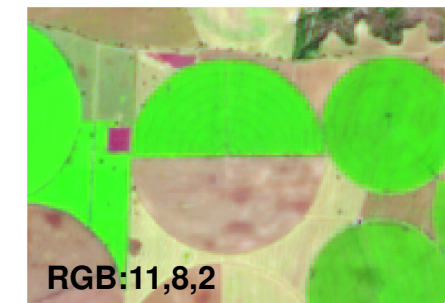
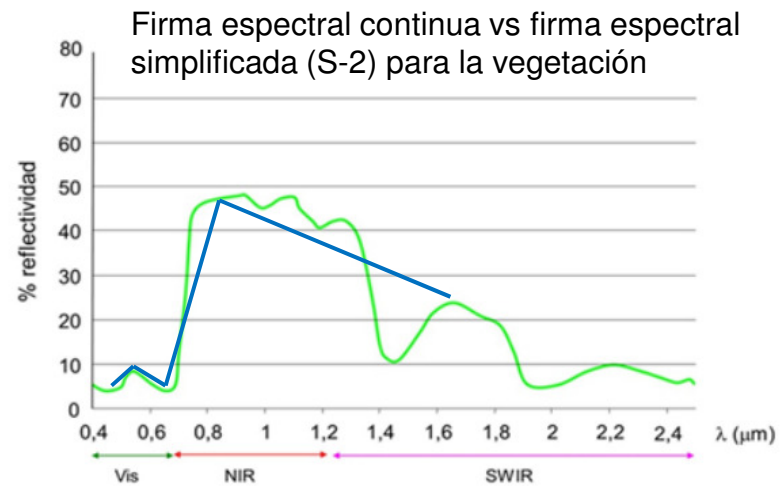
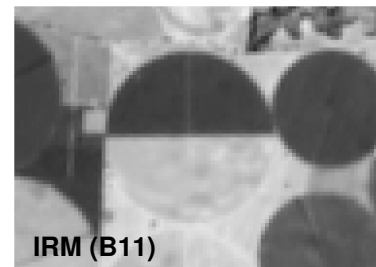
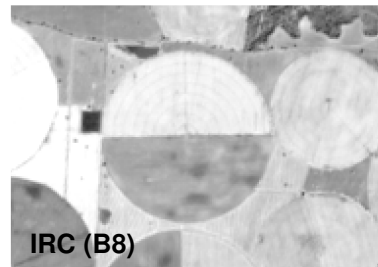
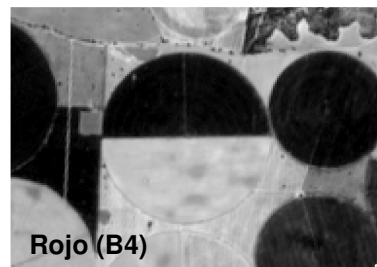
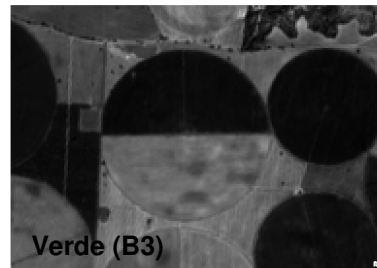
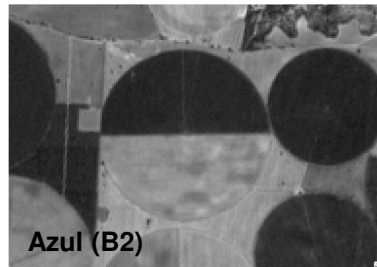


**Reflectividad:** relación entre la luz incidente y la luz reflejada. Es una propiedad intrínseca de la materia.





## Visualización de la información espectral (bandas espectrales)

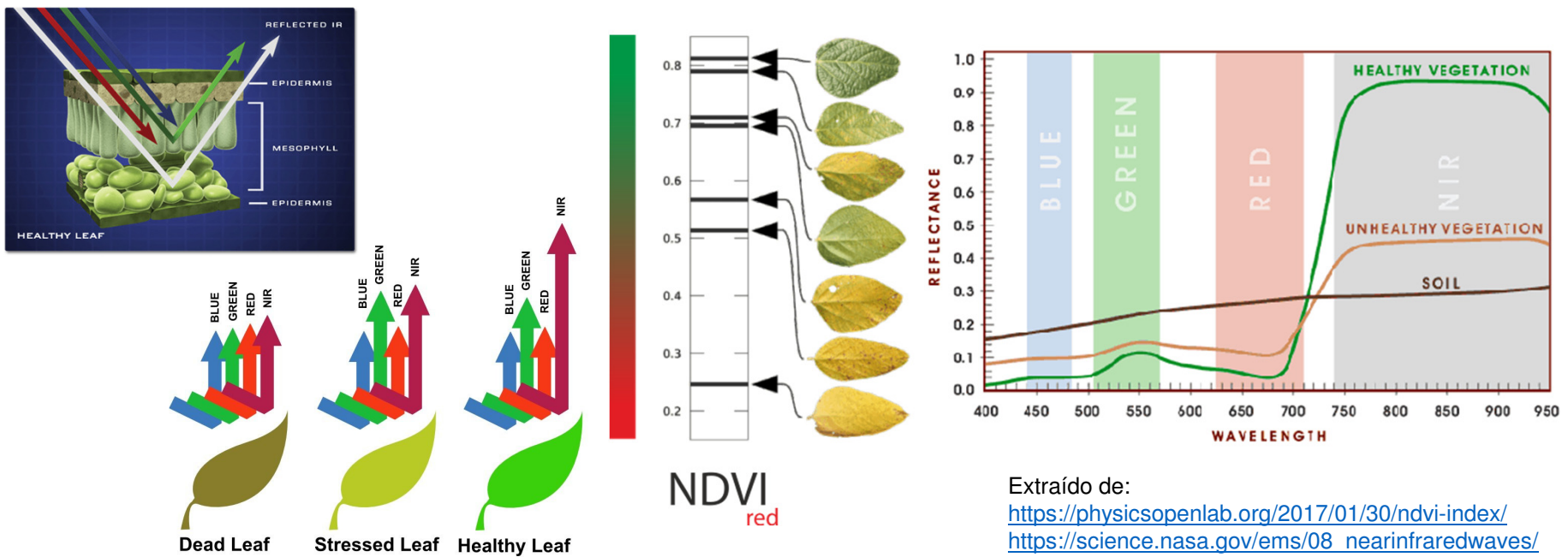


# 1

## INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

### Comportamiento de la vegetación:

Las plantas sanas reflejan gran parte de la luz en las longitudes de onda del verde y especialmente del infrarrojo cercano. Cuando la planta está enferma o deshidratada, pérdida de clorofila o de humedad, la planta empieza a reflejar por igual en estas longitudes de onda (visible e infrarrojo cercano).



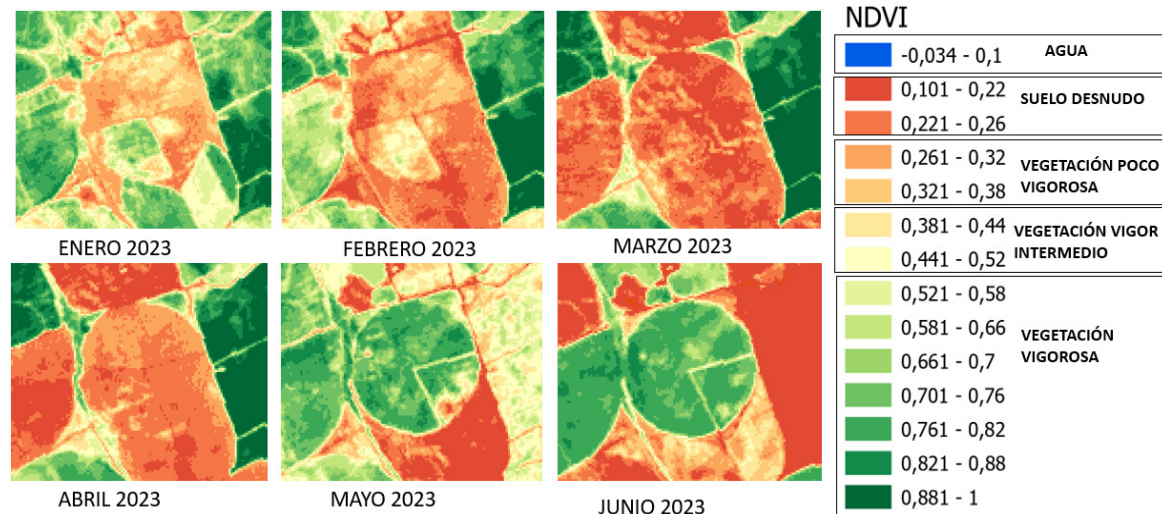
Extraído de:

<https://physicsopenlab.org/2017/01/30/ndvi-index/>  
[https://science.nasa.gov/ems/08\\_nearinfraredwaves/](https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves/)

**Índices:** Son el resultado de operaciones matemáticas realizadas entre las bandas espectrales, para obtener imágenes sintéticas que resalten la información de interés de las coberturas del suelo.

El **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*, [Rouse et al., 1973]). Correlacionado con la actividad vegetativa.

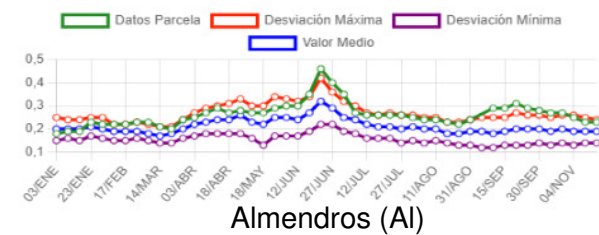
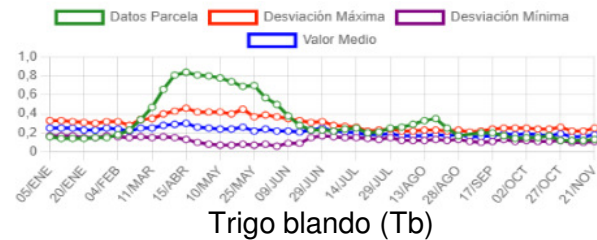
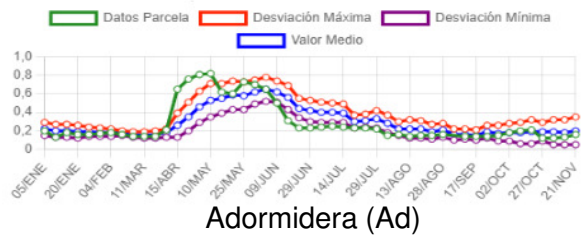
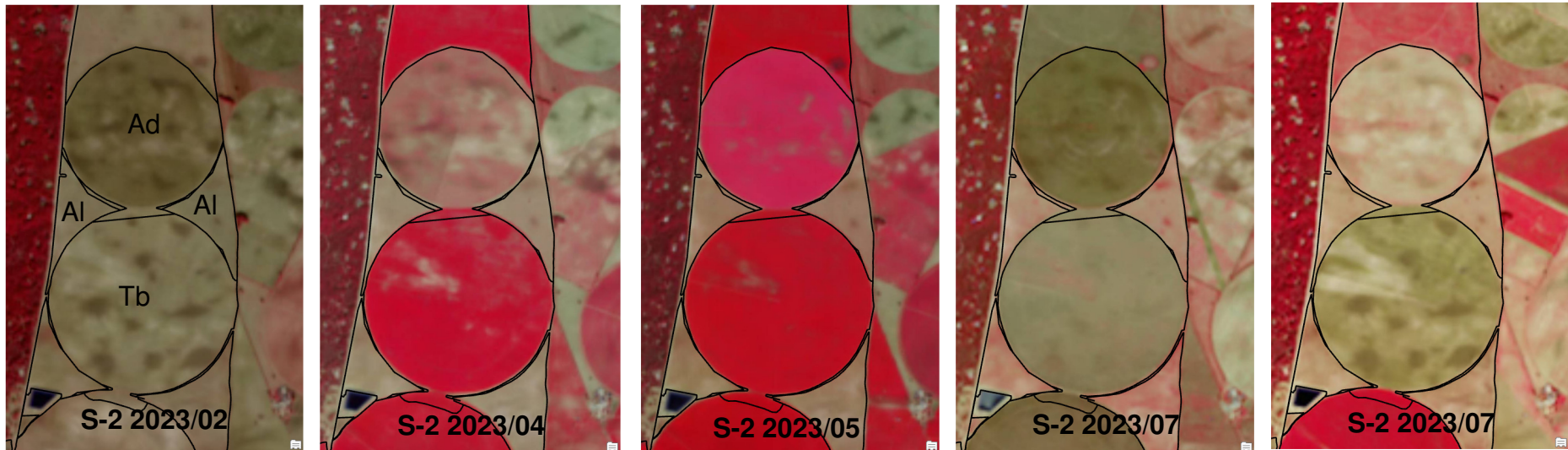
Sus valores varían entre -1 y 1. Los valores altos corresponden a vegetación vigorosa.



Su principal limitación es que tiende a saturarse cuando la cubierta vegetal es muy densa.

Se calcula con la siguiente relación de bandas: **NDVI = (NIR – RED) / (NIR + RED)**

## Evolución temporal de cultivos



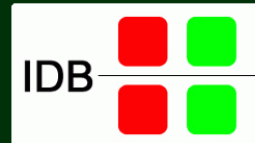


Índices espectrales: <https://www.indexdatabase.de/>

# Index DataBase

A database for remote sensing indices

Start | What is IDB? | How to use? | Credits | Contact | Feedback |  »



## Index Database

Today many different vegetation indices exist. But they haven't been arranged all together in one document and could not be selected by specific queries. An **Index-Data-Base** (IDB) could be a useful tool to find indices for a required application, adapted to a selected sensor.

On this site you find a database of **remote sensing indices** and **satellite sensors**. Available bands of sensors are linked with required wavelengths of indices, so that one can get all sensors usable for calculating an index and vice versa one can find all indices that can be calculated by data from a specific sensor. In the index formula *wavelengths* are substituted by corresponding *sensor bands*. Furthermore index and sensor data is enriched by *applications* and *bibliografic references*.

### Query the Database

- Show Indices for selected Sensor
- Show Indices for selected Application
- Show Indices for selected Sensor and Application

### Otros índices de vegetación:

**NDRE** (*Normalized Diference Red Edge Index*)

**SAVI** (*Soil Adjusted Vegetation Index*)

**MSAVI** (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*)

**GNDVI** (*Green Normalized Difference Vegetation Index*)

**RECI** (*Red Edge Chlorophyll Index*)

...

### Show Indices for selected Application

#### Agriculture

Select other Application.

| Nr. | Name                                         | Formula                                                                                                                                               |
|-----|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Atmospherically Resistant Vegetation Index   | $\frac{NIR - RED1 - \rho(RED1 - RED2)}{NIR + RED1 - \rho(RED1 - RED2)}$                                                                               |
| 2   | Atmospherically Resistant Vegetation Index 2 | $-0.18 + 1.17 \left( \frac{NIR - RED1}{NIR + RED1} \right)$                                                                                           |
| 3   | Canopy Chlorophyll Content Index             | $\frac{NIR - rededge}{NIR - Red}$                                                                                                                     |
| 4   | CASI NDVI                                    | $\frac{(770 \cdot 780 + 784 \cdot 790) - ((655 \cdot 665) + (676 \cdot 686))}{(770 \cdot 780 + 784 \cdot 790) + ((655 \cdot 665) + (676 \cdot 686))}$ |
| 5   | CASI TM4/3                                   | $\frac{770 \cdot 780 + 784 \cdot 790}{655 \cdot 665 + 676 \cdot 686}$                                                                                 |
| 6   | Cellulose Absorption Index                   | $100 \left( 0.5 \left( \frac{2030nm + 2210nm}{2100nm} \right) - 2100nm \right)$                                                                       |
| 7   | Cellulose absorption index 2                 | $0.5 \left( \frac{2030nm + 2220nm}{2100nm} \right) - 2100nm$                                                                                          |
| 8   | Chlorophyll Absorption Ratio Index           | $\left( \frac{700nm}{670nm} \right)^{\sqrt{(0.470 + 0.700nm + 0.5)}} / (a^2 + 1)^{0.5}$                                                               |
| 9   | Chlorophyll Absorption Ratio Index 2         | $\left( \frac{(0.470 + 0.700 + 0.1)}{(a^2 + 1)^{0.5}} \right) \left( \frac{7000}{16700} \right)$                                                      |
| 10  | Chlorophyll Green                            | $\left( \frac{760 \cdot 800}{540 \cdot 560} \right)^{(-1)}$                                                                                           |
| 11  | Chlorophyll Index RedEdge 710                | $\frac{2100nm}{710nm} - 1$                                                                                                                            |
| 12  | Chlorophyll Red-Edge                         | $\left( \frac{760 \cdot 800}{600 \cdot 730} \right)^{(-1)}$                                                                                           |
| 13  | Chlorophyll vegetation index                 | $\frac{NIR - RED1}{\rho}$                                                                                                                             |

# 2

## DATOS DE OBSERVACIÓN REMOTA



## 2

## DATOS DE OBSERVACIÓN REMOTA: PRINCIPALES PROGRAMAS CON DATOS ABIERTOS

GRATIS



| Proveedor | Sensor       | Cobertura       | Resolución espectral                                       | Resolución espacial  | Resolución temporal                |
|-----------|--------------|-----------------|------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| NASA      | MODIS        | 2330 Km         | Ms: 36 bandas (visible e infrarrojo cercano a térmico)     | 250, 500 y 1000 m    | 2 diarias (4 combinada TERRA/AQUA) |
| NASA      | LANDSAT 8, 9 | 185 Km          | Pan y Ms 10 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico) | 15 (Pan), 30 y 100 m | 16 / 8 días                        |
| NASA      | ASTER        | 60 Km           | Ms 14 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)       | 15, 30, 90 m         | 16 días                            |
| ESA       | SENTINEL1    | 80, 250, 400 Km | Banda C-SAR (polarizaciones VV, HH, VV+VH, HH+HV)          | 5*5, 5*20, 20*40 m.  | 6 días                             |
| ESA       | SENTINEL2    | 290 Km          | Ms 13 bandas (visible e infrarrojo cercano y medio)        | 10, 20, 60 m         | 10 / 5 días                        |
| ESA       | SENTINEL3    | 1270 Km         | Ms 21 bandas (OLCI), SLSTR y SRAL                          | 300 m                | 1 día                              |

## 2

## DATOS DE OBSERVACIÓN REMOTA: PRINCIPALES PROGRAMAS COMERCIALES



| Proveedor                     | Sensor                                    | Cobertura | Resolución espectral                      | Resoluc. espacial  | Resoluc. temporal      |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Airbus                        | Spot6- Spot7                              | 60 Km     | Pan y Ms: 4 bandas<br>(visible, nir)      | Pan 1,5 m y 6 m    | 4 días                 |
| Airbus                        | Pléiades 1A-1B                            | 20 Km     | Pan y Ms: 4 bandas<br>(visible, nir)      | Pan 50 cm Ms 2 m   | 4 días (2 días const.) |
| Airbus                        | Pléiades NEO                              | 14 Km     | Pan y Ms: 6 bandas<br>(visible, nir)      | Pan 30 cm Ms 1,2 m | 2 veces al día         |
| European Space Imaging (EUSI) | Maxar Worldview Constellation (4 activos) | 16 Km     | Pan y Ms: hasta 16 bandas (visible a irc) | Pan 30 cm          | 3 días                 |
|                               |                                           |           |                                           | Ms 1,2 m           |                        |
| European Space Imaging (EUSI) | GeoEye                                    | 15 Km     | Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)         | Pan 50 cm          | 3 días                 |
|                               |                                           |           |                                           | Ms 2 m             |                        |
| Planet                        | SkySat                                    | 8-5,5 Km  | Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)         | Pan 57 cm          | <1 día                 |
|                               |                                           |           |                                           | Ms 75 cm           |                        |



## CONSTELACIÓN SENTINELS

*Constelación Sentinel. Estado*

| Constelación Sentinel. Estado                                                                                                                                | Características                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>SENTINEL-1:</b><br/>9-40m resolución, 6 días revisita en ecuador</p> | <p><i>S1-A y -B en órbita</i></p> <p>Órbita polar. Imagen radar también con nubes, de día y de noche</p>          |
|  <p><b>SENTINEL-2:</b><br/>10-60m resolución, 5 días revisita</p>           | <p><i>S2-A y -B en órbita</i></p> <p>Órbita polar. Imagen multispectral óptica en alta resolución</p>             |
|  <p><b>SENTINEL-3:</b><br/>300-1200m resolución, &lt;2 días revisita</p>    | <p><i>S3-A y -B en órbita</i></p> <p>Misión óptica y altímetro de vigilancia oceánica y parámetros terrestres</p> |
|  <p><b>SENTINEL-4:</b><br/>8km resolución, 60 min revisita</p>              | <p><i>Primer lanzamiento en 2020</i></p> <p>Vigilancia de los componentes atmosféricos en MTG-S</p>               |
|  <p><b>SENTINEL-5p:</b><br/>7-68km resolución, 1 día revisita</p>          | <p><i>S-5p lanzado 13/10/2017</i></p> <p>Misión para reducir falta de datos entre Envisat, y Sentinel 5</p>       |
|  <p><b>SENTINEL-5:</b><br/>7.5-50km resolución, 1 día revisita</p>        | <p><i>Primer lanzamiento en 2021</i></p> <p>Vigilancia de componentes atmosféricos en MetOp 2ª Generación</p>     |
|  <p><b>SENTINEL-6:</b><br/>10 días revisita</p>                           | <p><i>Primer lanzamiento en 2020</i></p> <p>Altímetro radar para medir la superficie marina de manera global.</p> |

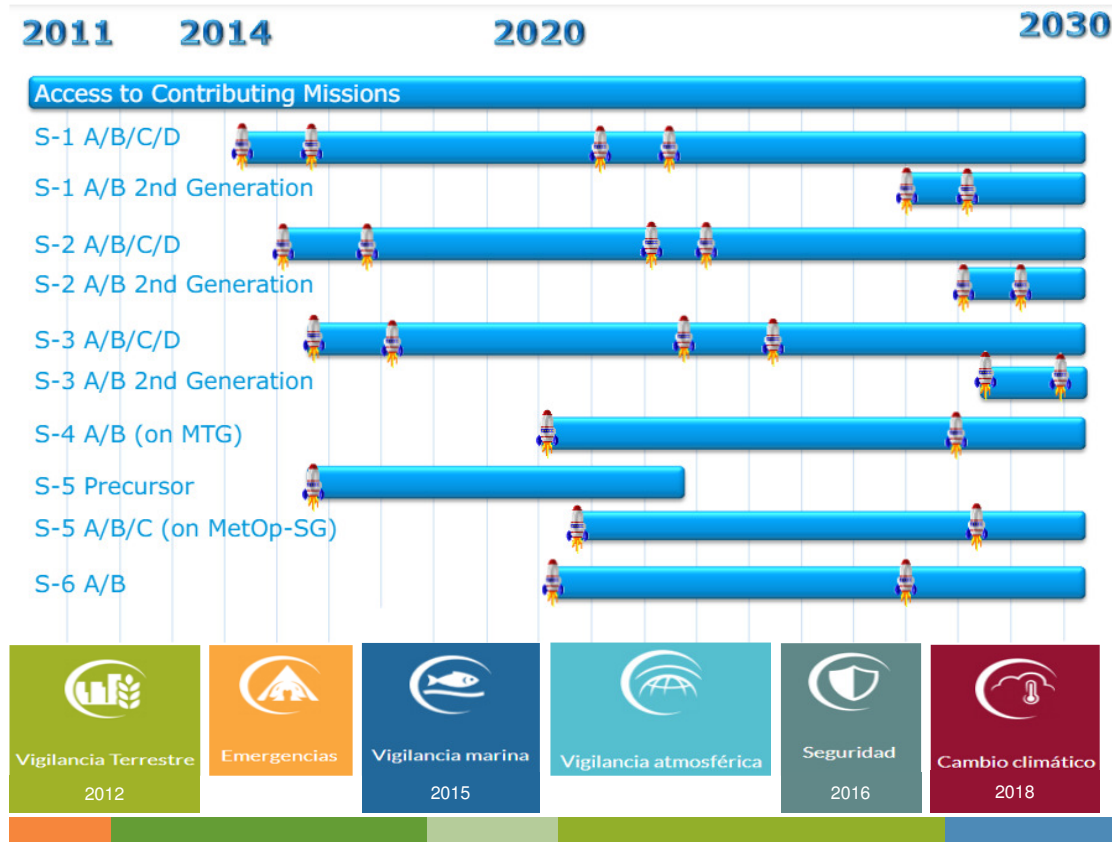
**LIBRE Y ABIERTO**



## 2

## DATOS DE OBSERVACIÓN REMOTA: PROGRAMA COPERNICUS

### Satélite Sentinel del programa Copernicus



Copernicus ofrece servicios de información basados en datos de observación de la Tierra por satélite y en datos in situ (no espaciales).

**Los servicios y los datos de Copernicus se proporcionan a los usuarios de forma gratuita.**

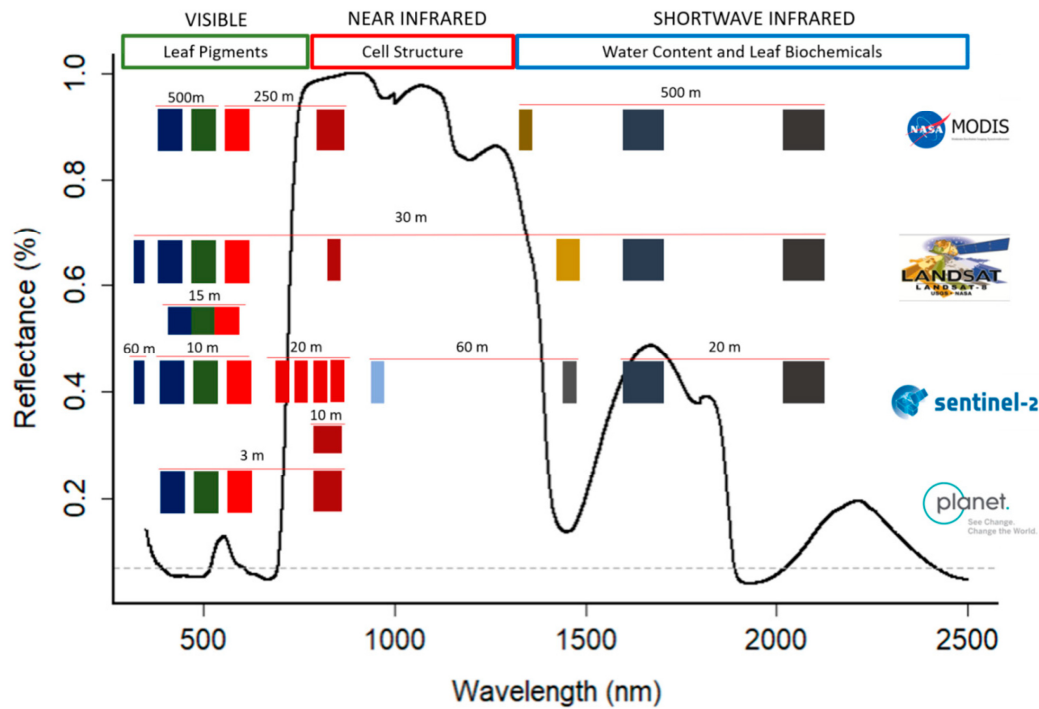
<https://www.copernicus.eu/es>



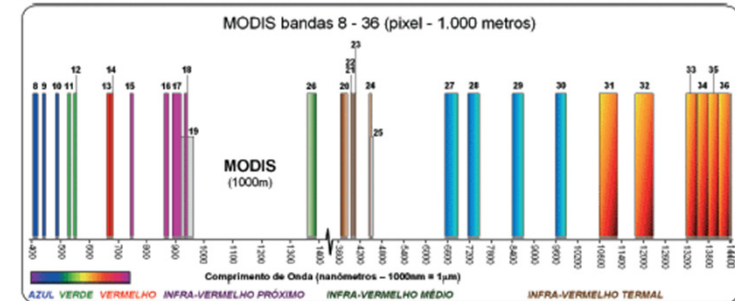
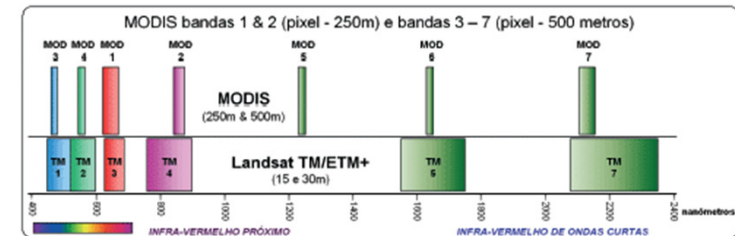
## 2

# DATOS DE OBSERVACIÓN REMOTA: PROGRAMA COPERNICUS

## Resolución espectral y espacial



| Proveedor | Sensor               | Cobertura | Resolución espectral                             | Resol. Temp. |
|-----------|----------------------|-----------|--------------------------------------------------|--------------|
| NASA      | Terra / Aqua (MODIS) | 2,330 km  | Ms: 36 bandas (visible, irc, irm, térmico)       | 2 diarias    |
|           | Landsat              | 185 km    | Pan y Ms: 10 bandas (visible, irc, irm, térmico) | 16 días      |
| ESA       | Sentinel 2           | 290 km    | Ms: 12 bandas (visible, irc, irm)                | 2-3 días     |



# 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO





### ¿Qué ha facilitado el uso de las imágenes de satélite?

- Apertura de los archivos de imágenes (acceso a la serie Landsat y Sentinel). Alta disponibilidad de imágenes de media resolución espacial (10-20-30 metros de tamaño de pixel).
- A nivel nacional, antes se trabajaba con cientos de imágenes (4 o 5 fechas distribuidas a lo largo del año), actualmente se trabaja con series temporales y miles de imágenes (75.000 imágenes/año en el caso de Sentinel-2)
- Distribución de las imágenes con niveles de procesado más alto (incluyen correcciones geométricas y radiométricas).
- Disponibilidad de visores y herramientas para la búsqueda, el filtrado, la selección de imágenes, la visualización y el cálculo de índices.
- Existencia de programas de descarga, procesado y análisis de imágenes de acceso libre, que facilitan y agilizan el flujo de procesos.
- Incremento del poder de computación (accesibilidad al procesado en la nube, paralelización de procesos, procesado distribuido, etc).

**Plataformas de acceso abierto a datos y productos derivados del programa Copernicus:**

- Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>
- Sentinel Data Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>
- Copernicus Climate Data Store (CDS): <https://cds.climate.copernicus.eu/>
- Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS): <https://marine.copernicus.eu/>

**Soluciones comerciales** que ofrecen acceso a datos de Copernicus y otros servicios adicionales como herramientas de análisis avanzado, almacenamiento en la nube, soporte técnico....

Suelen estar disponibles tanto para usuarios comerciales como para usuarios públicos, y pueden requerir algún tipo de suscripción o pago por el acceso a ciertos servicios o funcionalidades.

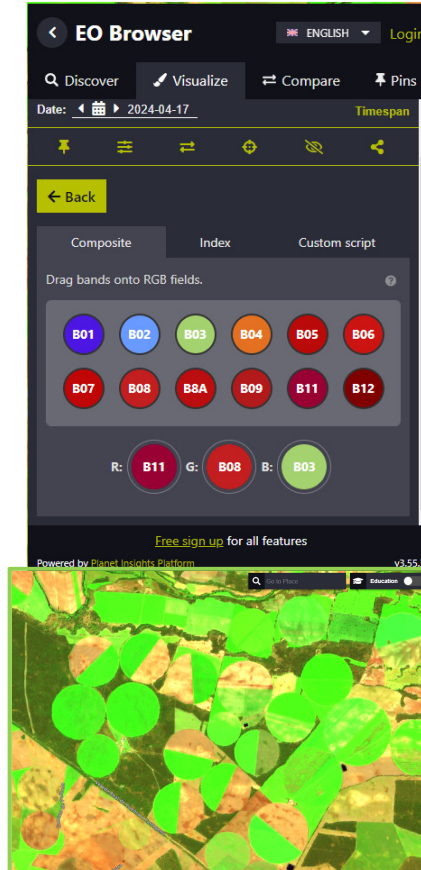
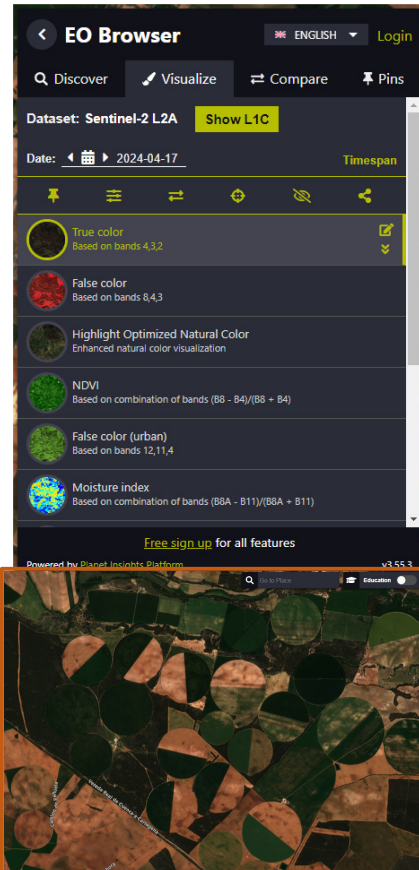
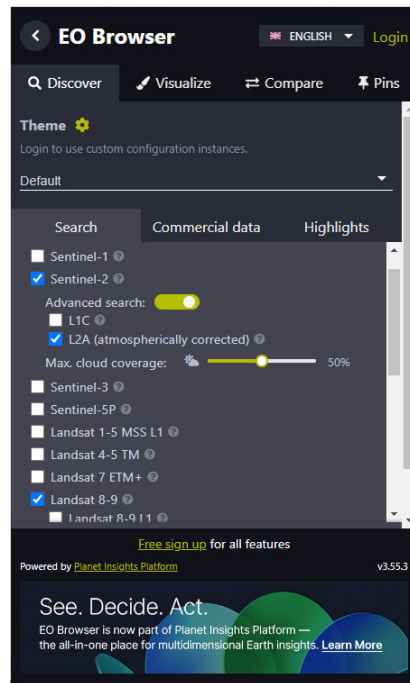
- Wekeo: <https://www.wekeo.eu/>
- CreoDIAS: <https://creodias.eu/>
- Mundi DIAS: <https://mundiwebservices.com/>
- ONDA DIAS: <https://www.onda-dias.eu/>
- ESA Earth Observation Data Portal: <https://earth.esa.int/web/guest/home>

# 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

### EO Browser (Visor)

<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

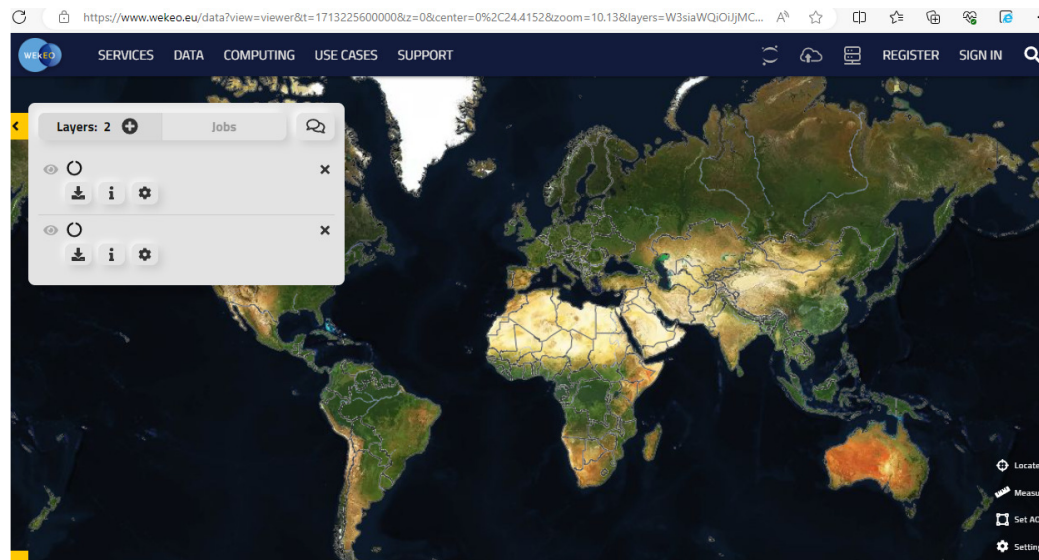


### 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

**WekEO** (relacionado con DIAS):

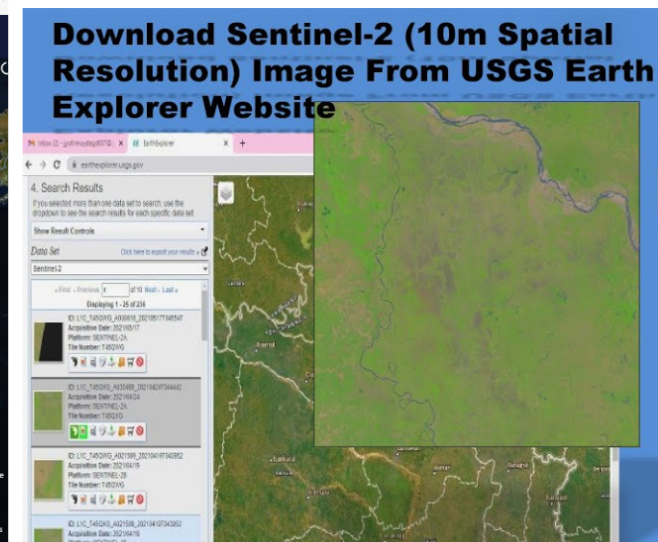
<https://www.wekeo.eu/>



**Wekeo** es una plataforma de acceso a datos geoespaciales y servicios relacionados. Ofrece servicios de procesamiento y análisis de datos en la nube, incluidos servicios gratuitos y otros avanzados de pago.

**USGS Earth Explorer**

([EarthExplorer \(usgs.gov\)](https://earthexplorer.usgs.gov/))



**USGS** permite descargar imágenes y otros productos (por ej. MDT). Ofrece herramientas de procesamiento básico.

### 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

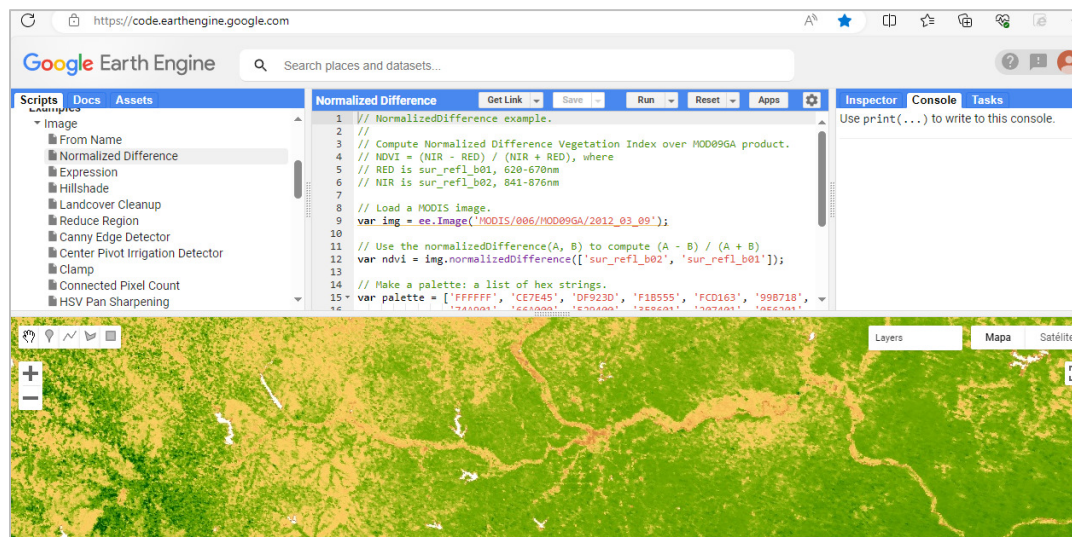
**Google Earth Engine** : <https://earthengine.google.com/platform/>

Permite realizar un flujo completo de procesos: acceso al catálogo de imágenes, procesado en la nube y descarga de las imágenes o sus productos derivados.

Requiere de conocimientos básicos de programación en lenguajes JavaScript y Python.

**Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine. Fundamentals and Applications (2024)**

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-26588-4>





## 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

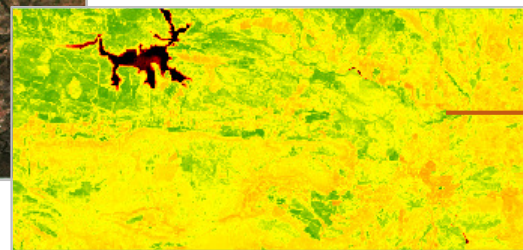
**Google Earth Engine:** Ejemplo de flujo de procesos.

- Seleccionamos la colección de imágenes (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>)
- Filtrado por fecha, cobertura nubosa y zona
- Aplicamos una máscara de nubes
- Calculamos índices espectrales
- Extraemos estadísticas para la parcela de interés
- Descargamos los productos

```
//Cargar y filtrar imágenes de Sentinel-2
var dataset = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
  .filter(ee.Filter.bounds(geometry))
  .filterDate('2023-01-01','2023-12-31')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',20))
  .map(maskS2clouds)
  .select('B.*');
print('Imágenes', dataset);
```

```
//Máscara de nubes
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000);
}
```

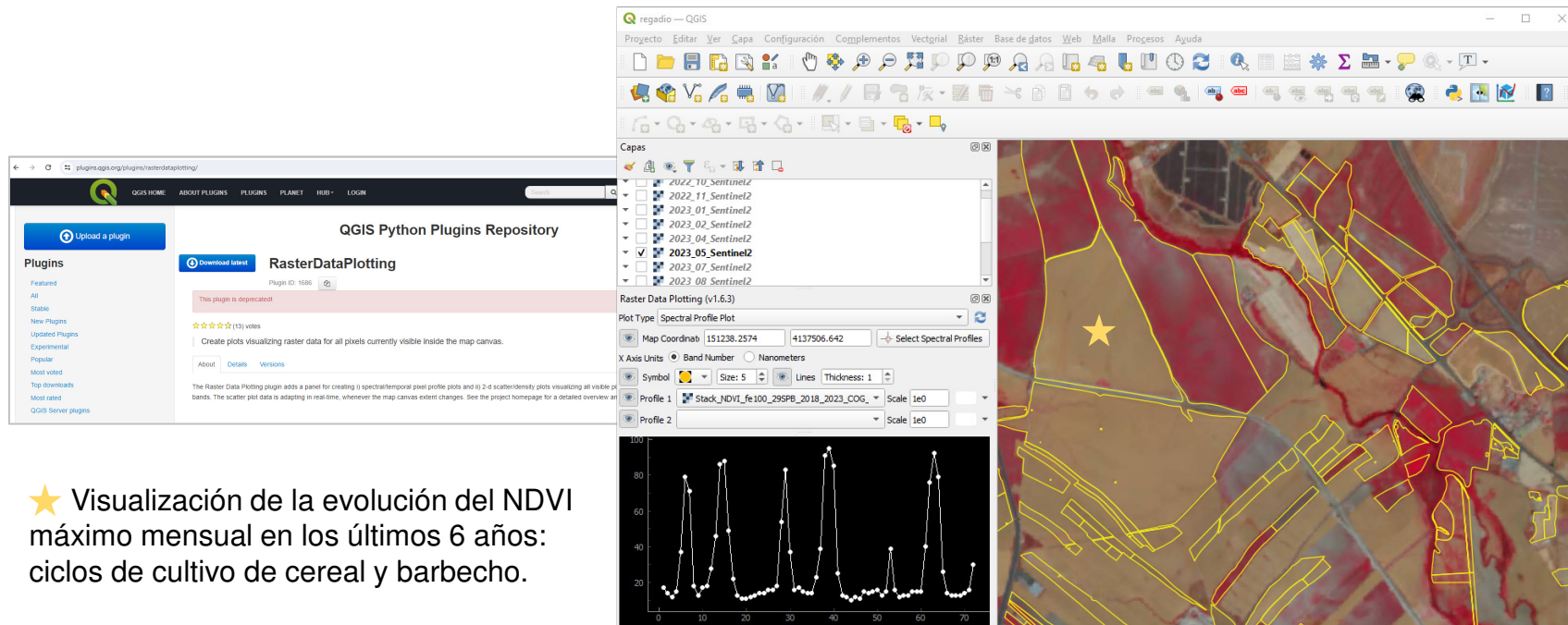
```
// Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
// 'NIR' (B8) y 'RED' (B4)
var ndvi= image2023_clip.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('ndvi');
print('NDVI',ndvi);
```



### 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

**QGIS:** Sistema de información geográfica de código abierto (<https://www.qgis.org/es/site/>). Permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas. Ofrece unas funciones básicas que se pueden complementar con multitud de *plugins* (<https://plugins.qgis.org/>), para descargar, analizar y procesar imágenes, crear de mapas online, etc.



Observación del Territorio

<https://www.ign.es/web/ign/portal/obs-area-observacion-territorio>

Máxima actualidad (WMS):

<https://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma?request=GetCapabilities&service=WMS>

PNOA anual (WMS):

<https://www.ign.es/wms/pnoa-historico?request=GetCapabilities&service=WMS>

Sentinel-2

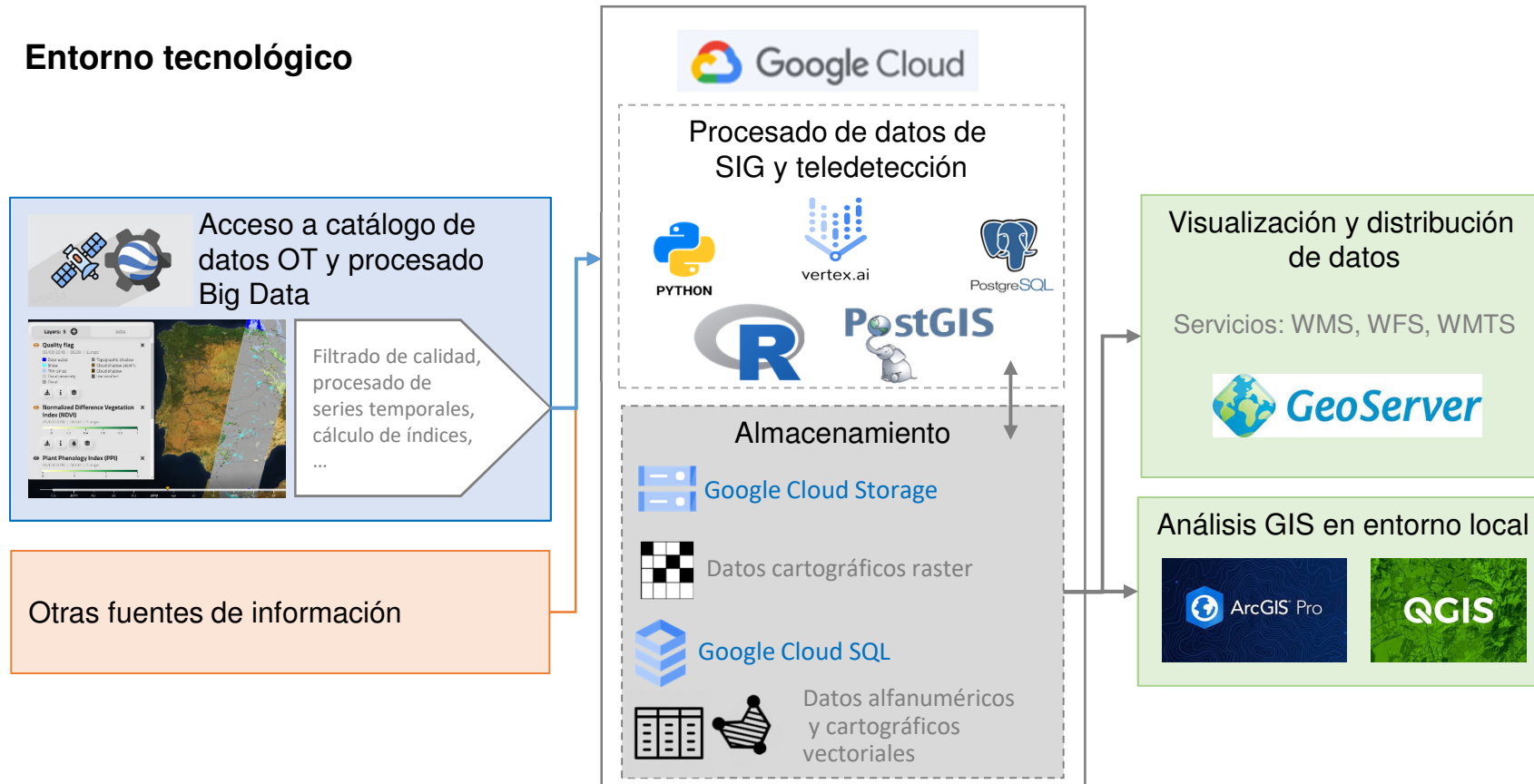
<https://sigpac.mapa.es/sentinel/wmts/1.0.0/WMTSCapabilities.xml>



### 3

## ACCESO A LOS DATOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESADO

### Entorno tecnológico



# 4

## APLICACIONES DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE EN AGRICULTURA

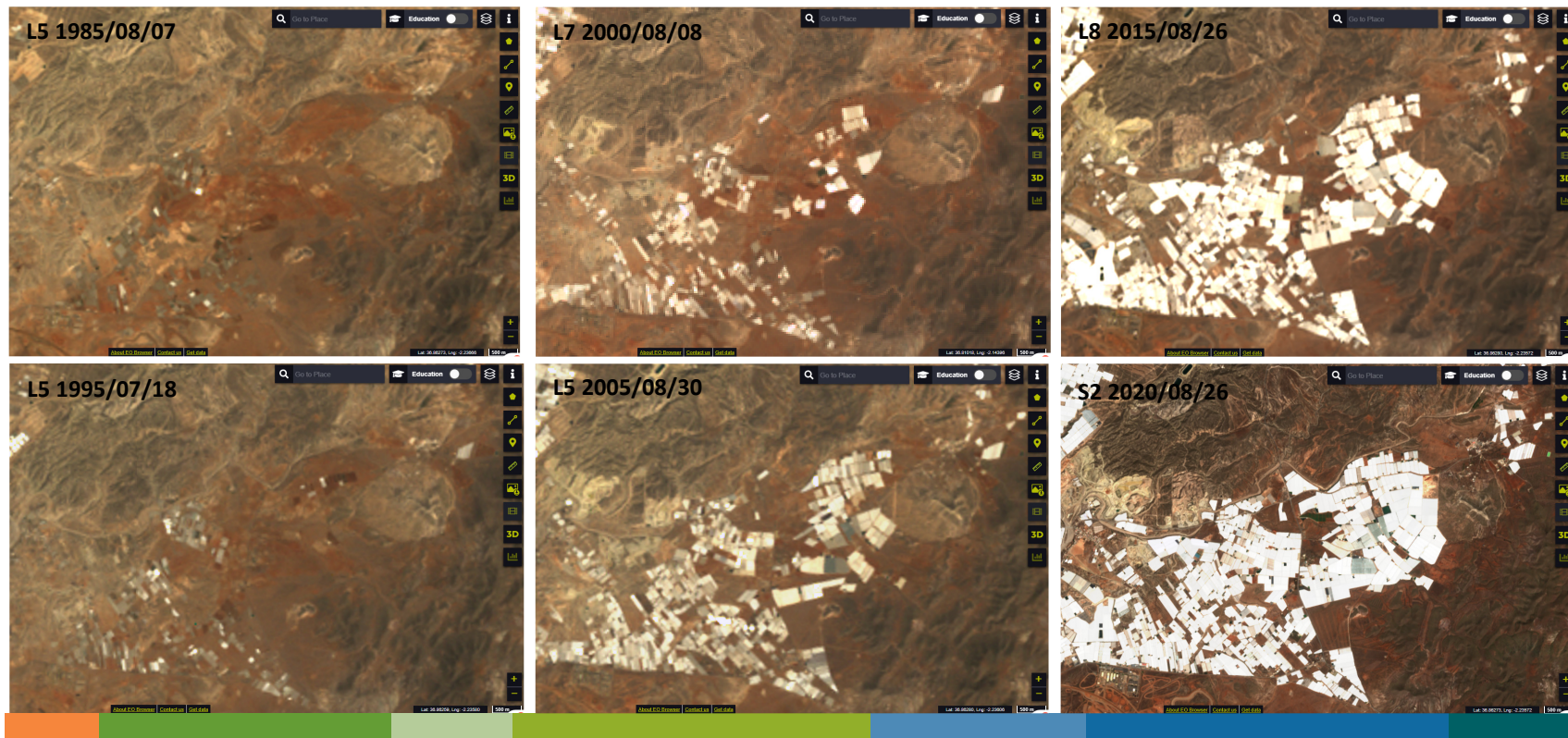


# 4

## APLICACIONES DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE EN AGRICULTURA

### Evolución histórica de los invernaderos en Almería

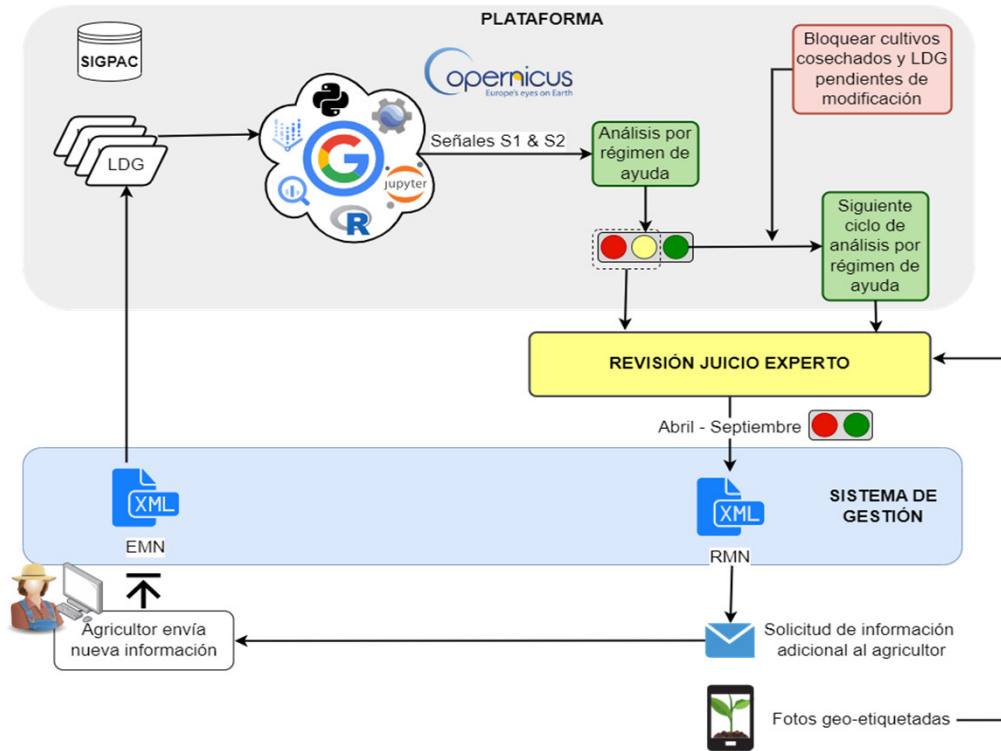
Disponibilidad de serie de datos amplia en el tiempo (más de 40 años)



# 4

## APLICACIONES DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE EN AGRICULTURA

### Sistema de Monitorización de las ayudas de la PAC



- Datos de entrada: SIGPAC, LDGs, señales Sentinel 1 y 2 (índices y bandas espectrales).
- Uso de marcadores (evolución temporal de señales) para identificar la actividad agraria, cultivos y manejo.
- Clasificación de cultivos a partir de algoritmos Random Forest, utilizando las LDGs para entrenar los modelos.



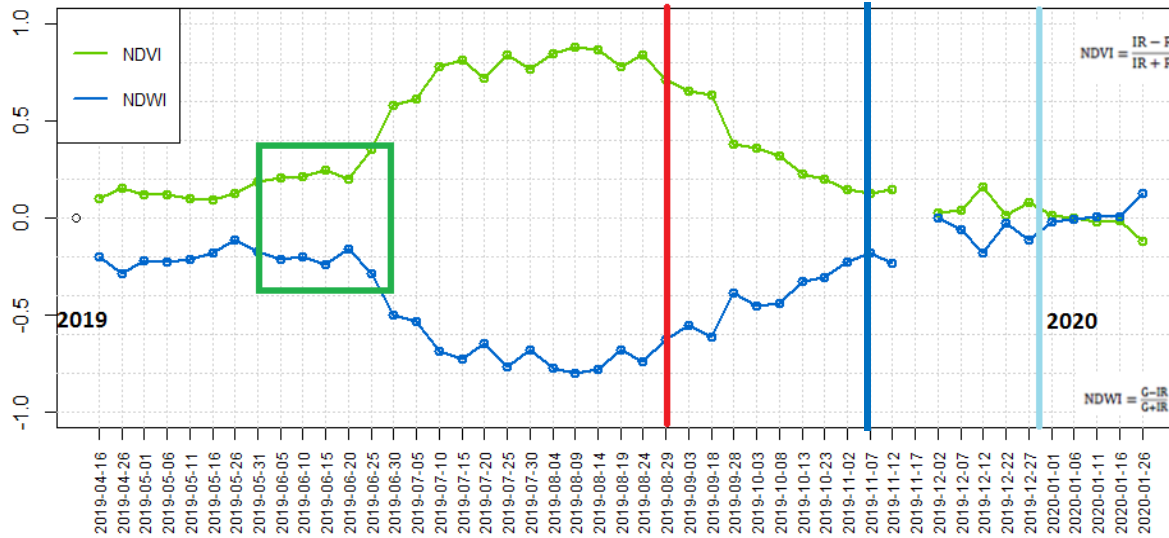
- Trigo
- Cebada
- Avena
- Triticale
- Quinoa
- Maíz
- Barbecho SD
- Barbecho CC
- Girasol
- Colza
- Guisantes
- Garbanzos
- Leguminosas VV
- Algodón
- Adormidera
- Alfalfa
- Pastos > 5
- Herbaceas forrajeras
- Patata
- Tomate
- Cebolla, ajo, puerro
- Alcachofa
- Guindilla, Pimiento
- Espárragos
- Anís
- Cilantro
- Eneldo
- Mezcla veza-avena
- Almendros
- Pistacho
- Olivar
- Cítrico
- Otros



# 4

## APLICACIONES DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE EN AGRICULTURA

### Monitorización de la lámina de agua y el cultivo en el caso del arroz



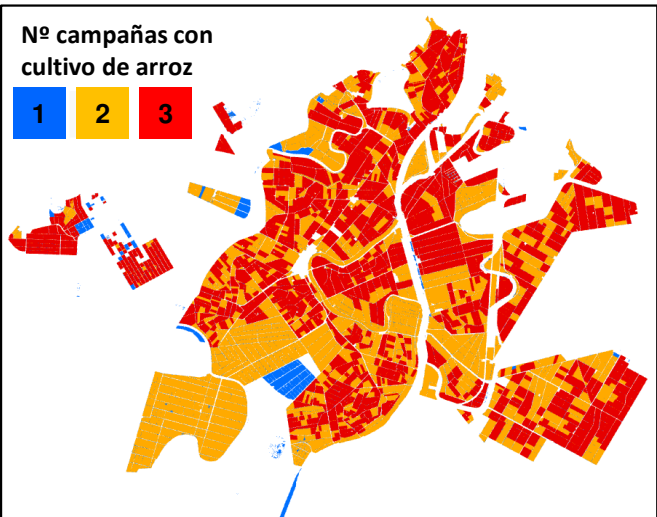
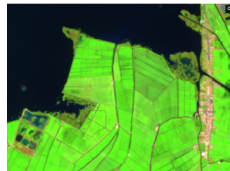
Serie temporal de los índices de vegetación y agua utilizados en la monitorización del cultivo. Análisis de frecuencia del cultivo.

Preparación terreno (abril – mayo)

Inundación / nascencia (may - jun)

Máximo desarrollo (julio - agosto)

Recolección (sept - oct)



# 5

## OTRAS FUENTES DE IMÁGENES: DRONES



## Diversidad de plataformas y sensores:

**DJI Matrice 210 RTK**

- Ala rotatoria
- MTOW 12 Kg
- Autonomía 30 min
- Multisensor simultáneo

**eBee Plus**

- Ala fija
- MTOW 1.4 Kg
- Autonomía 50 min
- Actuaciones alto rendimiento
- BVLOS

**AibotX6**

- Ala rotatoria
- MTOW 6.6 Kg
- Autonomía 10-12 min
- Compatibilidad con distinta: cargas de pago

**Phantom 4Pro**

- Ala rotatoria
- MTOW 1.4 Kg
- Autonomía 25 min
- Fácilmente portable

**Zenmuse X5-S**

- Objetivos intercambiables
- 5280 x 3956
- Sensor CMOS 4/3"

**Parrot Sequoia (MS)**

- 16 MP – RGB / 1,2 MP - MS
- 1280 x 960
- Verde, Rojo, Borde Rojo, IRC + RGB

**S.O.D.A. (RGB)**

- Objetivo 10 mm
- 5472 x 3648
- 13,1 x 8,8 mm

**Sony Alpha 6000**

- Objetivos 20 mm y 50 mm
- 6000 x 4000
- Sensor CMOS 23.5 x 15.6 mm

**Tetracam µMCA 6 Snap (MS)**

- Espectro visible: Azul (490 nm), Verde (550 nm), Rojo (680 nm)
- Infrarrojo: Borde rojo (720 nm), IRC1 (800 nm), IRC2 (900 nm)

**FLIR A-65 (Termográfica)**

- Objetivo 13 mm
- 640 x 512
- Rango espectral 7,5 – 13 µm

**Go-Pro5 S**

- Vídeo 4K
- Resolución video/foto 3840 x 2160

**FCE 6310**

- Sensor CMOS 23,5 x 15,6 mm
- 5472 x 3648 20Mpx
- Video 4K

- I+D+i GT-RPAS: Habilitación en AESA en diciembre de 2015 como empresa operadora de RPAS para trabajos técnicos y científicos en el territorio español.
- Actualmente tecnología implantada y plenamente operativa en distintas áreas temáticas: seguimiento de obras, monitorización de la vegetación (especies invasoras, especies protegidas, etc), infraestructuras, emergencias, etc.

## 5

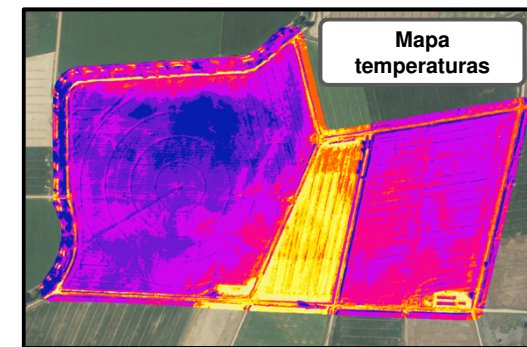
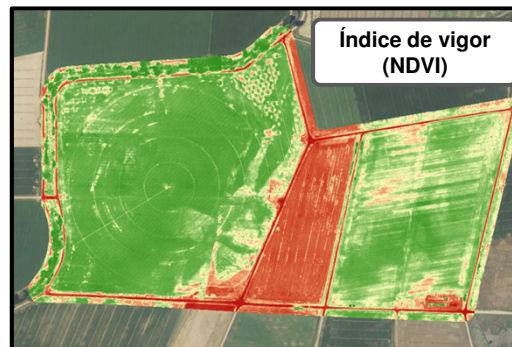
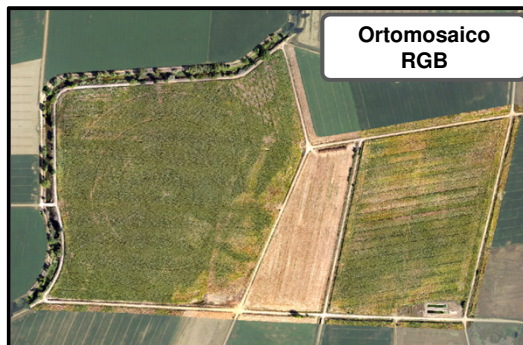
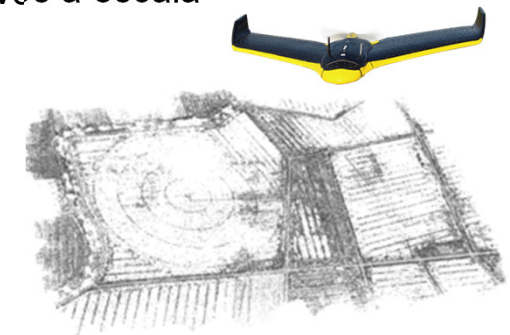
## OTRAS FUENTES DE IMÁGENES: DRONES

**Ensayo RPAS: Apoyo a la gestión del regadío en el Porma (León) 2018.**

Los RPAS proporcionan información sobre el estado de desarrollo de los cultivos a escala de parcela, infraestructuras, hidrantes, etc.

Productos de Teledetección RPAS:

- Mosaicos de imágenes (ortorrectificados)
- Mapas de reflectividad (visible e IRC) e índices de vegetación
- Mapas de temperatura
- Modelos digitales de superficie





# 6

## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO



# 6

## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

### Aportación de los datos de teledetección

- Los datos de teledetección posibilitan el seguimiento de los cultivos a lo largo de todo su ciclo de desarrollo
- Permiten trabajar a nivel de parcela o de grandes superficies (regional, nacional, global).
- La integración de estos datos en diferentes modelos proporciona resultados valiosos para:
  - **la gestión del cultivo**
    - Agua/riego
    - Fertilizantes
    - Fitosanitarios
  - los estudios del territorio

| 6-Abril  | 13-Junio              | 25-Junio   | 27-Agos.     | 8-October          |
|----------|-----------------------|------------|--------------|--------------------|
|          |                       |            |              |                    |
| Siembra  | Desarrollo vegetativo | Floración  | Maduración   | Cosecha            |
|          |                       |            |              |                    |
| 0-7 días | 7-50 días<br>2 meses  | 50-53 días | 53-110 días  | 110-120 días       |
| Abril    | Abril-Junio           |            | Junio-Agosto | Septiembre-October |

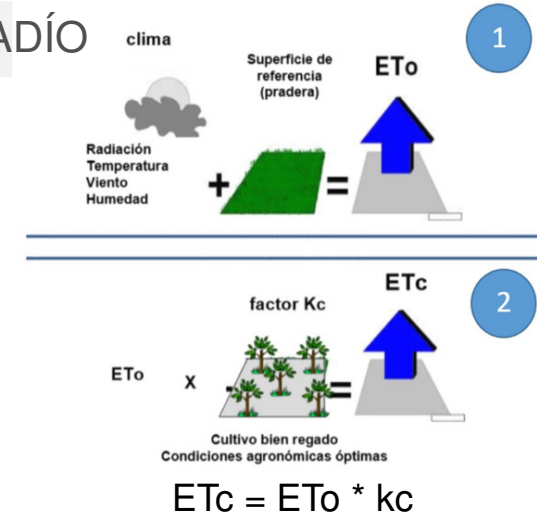
Punto que veremos con mayor detalle

# 6

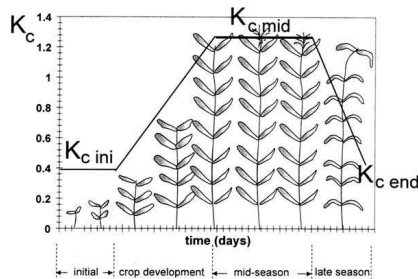
## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

### Modelo FAO: Evapotranspiración

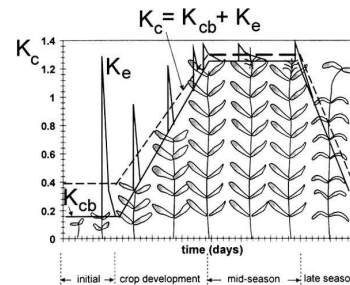
- Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo (ETc)
- Modelos de cálculo generales  
(FAO 56. Crop evapotranspiration. Allen et al;1998)



### Coefficiente único



### Coefficiente dual



Incorpora el efecto de la variación de la humedad de la superficie del suelo en el kc

### Fases de cultivo (duración en días)

|               | Fase inicial | Fase desarrollo | Fase media | Fase tardía | Total | Fecha plantación | Zona                      |
|---------------|--------------|-----------------|------------|-------------|-------|------------------|---------------------------|
| Maize (grain) | 30           | 50              | 60         | 40          | 180   | April            | East Africa (alt.)        |
|               | 25           | 40              | 45         | 30          | 140   | Dec/Jan          | Arid Climate              |
|               | 20           | 35              | 40         | 30          | 125   | June             | Nigeria (humid)           |
|               | 20           | 35              | 40         | 30          | 125   | October          | India (dry, cool)         |
|               | 30           | 40              | 50         | 30          | 150   | April            | Spain (spr, sum.); Calif. |

### Tablas Kc FAO

| Cultivo                           | Kc ini | Kc mid | Kc end    | Altura cultivo (m) |
|-----------------------------------|--------|--------|-----------|--------------------|
| Maize, Field (grain) (field corn) |        | 1.20   | 0.60-0.35 | 2                  |
| Maize, Sweet (sweet corn)         |        | 1.15   | 1.05      | 1.5                |

Tablas FAO de coeficientes Kc variables con la fenología del cultivo. Ej: Maíz

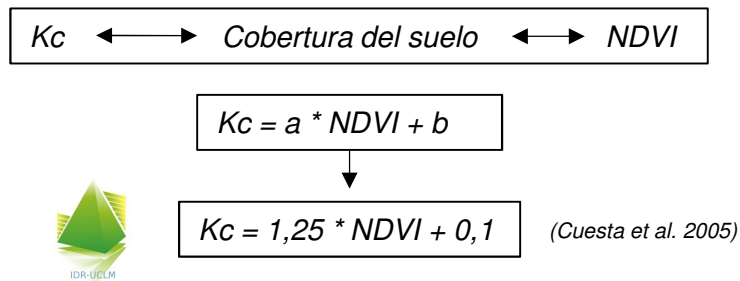
Uso de datos de OR: Calculo del kc en función de índices espectrales → kc = f (NDVI)

# 6

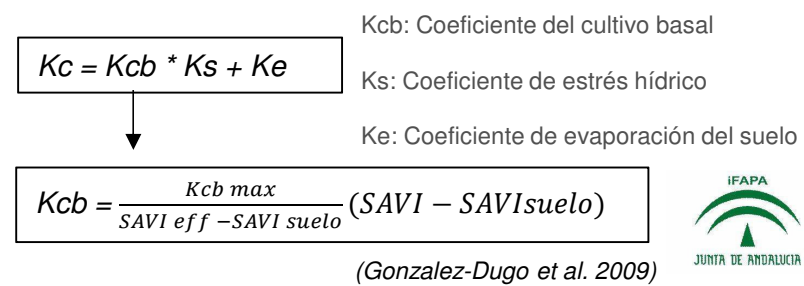
## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

Los datos de teledetección permiten **ajustar la kc en función al estado real de los cultivos:**

❖ Modelo Coef. único en función del NDVI

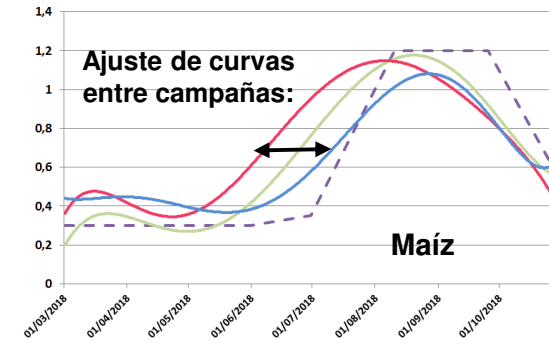
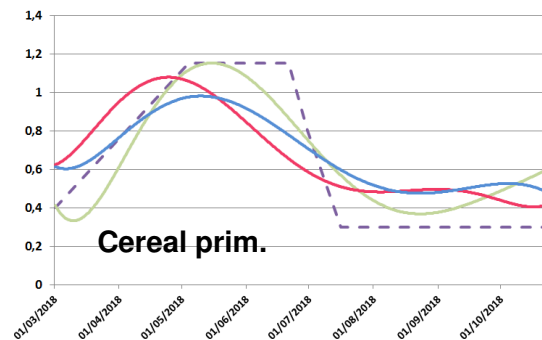
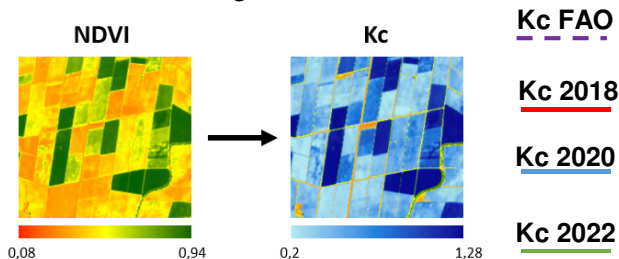


❖ Modelo Dual en función del SAVI



### Aplicación en Tragsatec del modelo de coeficiente único en campañas 2018-22. CCRR Porma León

Unidades de riego analizadas (14.000 ha)  
Cultivos: cereal, girasol, maíz, remolacha



## 6

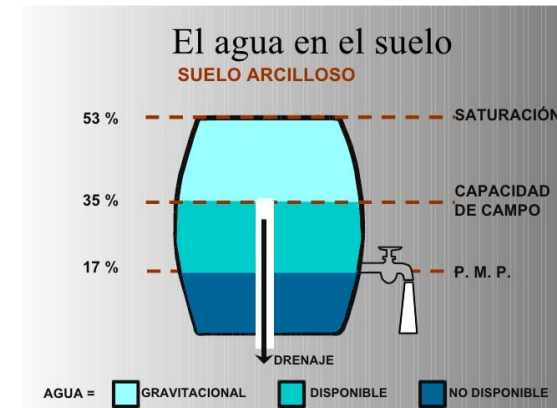
## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

**Balance de agua en el suelo para cálculo de Necesidades Hídricas (NH) y Riego**

La ET calculada a partir de datos de teledetección se introduce en los modelos de **balance de agua** en el suelo para calcular las NH/riego.

Los modelos tienen en cuenta:

- Características de distintos cultivos
  - Herbáceos
  - Leñosos
- Características de la zona
  - Suelos
  - Meteorología



Parámetros extraídos a partir de suelo-cultivos

- Profundidad de raíces
- Capacidad de campo y punto de marchitez
- Textura - peso específico del suelo



Determinan el agua retenida en el suelo aprovechable por las plantas

Parámetros que definen el Régimen hídrico

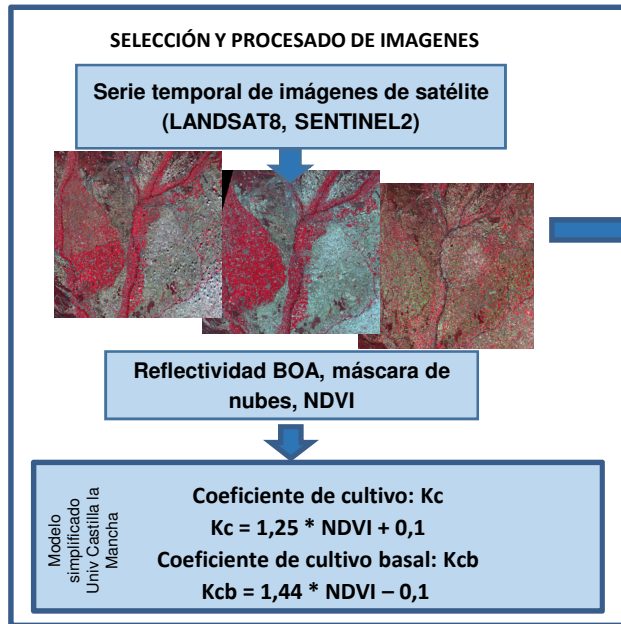
- Precipitación
- ET



Determina las condiciones de aridez y exceso de humedad mensual

# 6

## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO



### Aportación de la teledetección al cálculo de NH-Riego Ej. Balance de humedad mensual/diario

| (mm)          | E   | F   | M   | A   | My  | J   | JI  | A   | S   | O  | N  | D   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| P             | 53  | 63  | 64  | 54  | 37  | 18  | 1   | 2   | 6   | 68 | 85 | 75  |
| ET            | 18  | 22  | 40  | 59  | 95  | 140 | 183 | 175 | 120 | 69 | 33 | 19  |
| Reserva       | 135 | 176 | 187 | 182 | 124 | 2   | 0   | 0   | 0   | 0  | 52 | 108 |
| Exceso        |     |     | 13  |     |     |     |     |     |     |    |    |     |
| Riego 100% ef |     |     |     |     |     | 89  | 182 | 173 | 114 | 1  |    |     |

Capacidad de campo: 187 mm, Marchitez: 75 mm

Los balances de humedad diarios permiten la programación de los riegos durante la campaña. Parámetros de riego: dotación, frecuencia, calendario, caudal

[www.siar.es](http://www.siar.es)

Estaciones Agroclimáticas: información meteorológica



EVAPOTRANSPIRACION REAL

ETo

Kc

CÁLCULO NECESIDADES HÍDRICAS

Precipitación

Ef apli

CALCULO DE NECESIDADES HÍDRICAS- PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Datos directos de campo: reserva hídrica, eficiencia de riego, ...





## 6

## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

Valores Kc FAO por cultivo. Zona sub-húmeda

| Grupo de cultivos                                                                           | K <sub>Cini</sub> | K <sub>Cmed</sub> | K <sub>Cfin</sub> |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| Hortalizas pequeñas (crucíferas, apio, lechuga, zanahoria, espinaca, cebolla, rábano, etc.) | 0.70              | 1.05              | 0.95              |      |
| Solanáceas (tomate, chile, pimiento, berenjena)                                             | 0.60              | 1.15              | 0.80              |      |
| Cucurbitáceas (pepino, ayote, zapallo, pipián, melón, sandía)                               | 0.50              | 1.00              | 0.80              |      |
| Raíces y tubérculos (remolacha, yuca, papa, camote)                                         | 0.50              | 1.10              | 0.95              |      |
| Leguminosas (frijol, habichuela, cacahuete, haba, arveja, soya)                             | 0.40              | 1.15              | 0.55              |      |
| Hortalizas perennes (alcachofa, espárrago, fresa)                                           | 0.50              | 1.00              | 0.80              |      |
| Cultivos oleaginosos (ricino, colza, cártamo, ajonjolí, girasol)                            | 0.35              | 1.15              | 0.35              |      |
| Cereales (maíz, trigo, sorgo, arroz)                                                        | 0.30              | 1.15              | 0.40              |      |
| Pastos:                                                                                     | H*                | S*                | H                 | S    |
| - Alfalfa                                                                                   | 0.50              | 0.40              | 0.85              | 0.95 |
| - Leguminosas                                                                               | 0.55              | 0.55              | 1.00              | 1.05 |
| - Pasto para heno                                                                           | 0.60              | 0.55              | 0.80              | 0.90 |
| - Pasto bajo pastoreo                                                                       | 0.55              | 0.50              | 0.95              | 1.00 |
| Caña de azúcar                                                                              | 0.40              | 1.25              | 0.75              |      |
| Banano                                                                                      | 0.50              | 1.10              | 1.00              |      |
| Piña                                                                                        | 0.50              | 0.30              | 0.30              |      |
| Cítricos                                                                                    |                   |                   | H                 | S    |
|                                                                                             |                   |                   | 0.65              | 0.75 |
| Frutales de hoja caduca                                                                     |                   |                   | H                 | S    |
|                                                                                             |                   |                   | 0.60              | 0.70 |
| Aguacate                                                                                    |                   |                   | H                 | S    |
|                                                                                             |                   |                   | 0.50              | 0.55 |

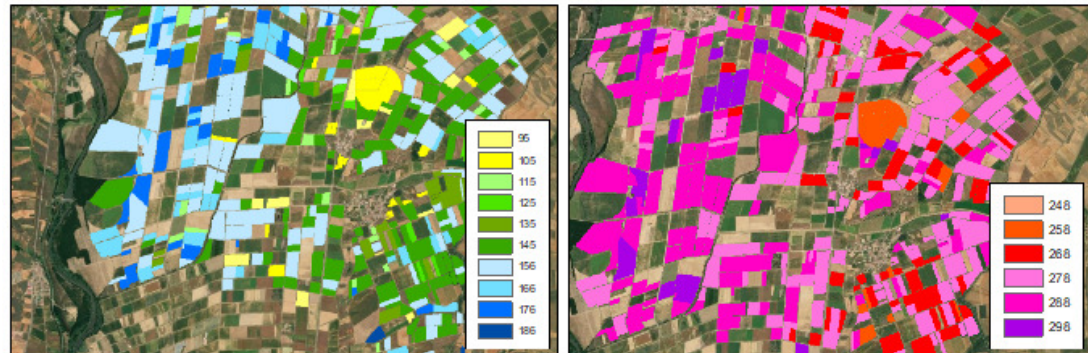
(\*) H = clima húmedo; S = clima seco

## Ajustes de Kc en cultivos a partir de datos de teledetección

- Ajustes usando muestreos de cultivos en distintas zonas de España
- Usando datos de evaporación medidos en campo (con lisímetros) o datos de humedad del suelo (con sondas de humedad)
- Correlaciones de los datos con los valores de los índices extraídos a partir de imágenes de satélite, obtención de coeficientes:

$$K_c = a * NDVI + b$$

- Uso de imágenes de satélite para definir los puntos de inicio de cultivo y cosecha. Mapas de fechas de *Green-up* y maduración en distintas parcelas de maíz (en “*days of year*”)

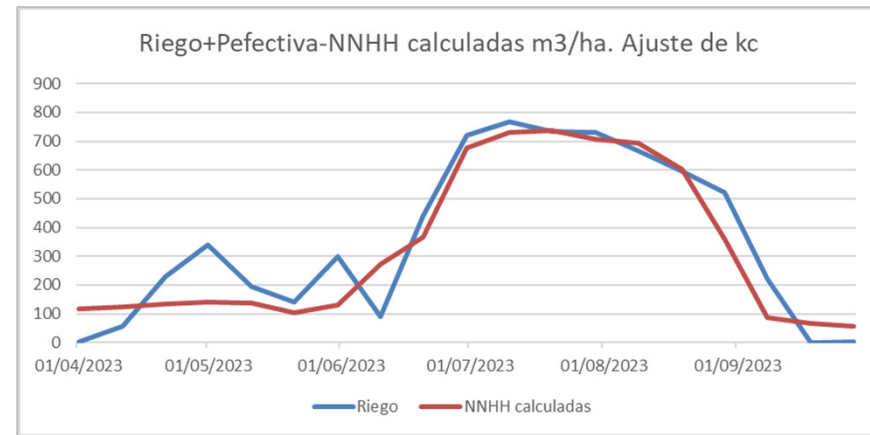
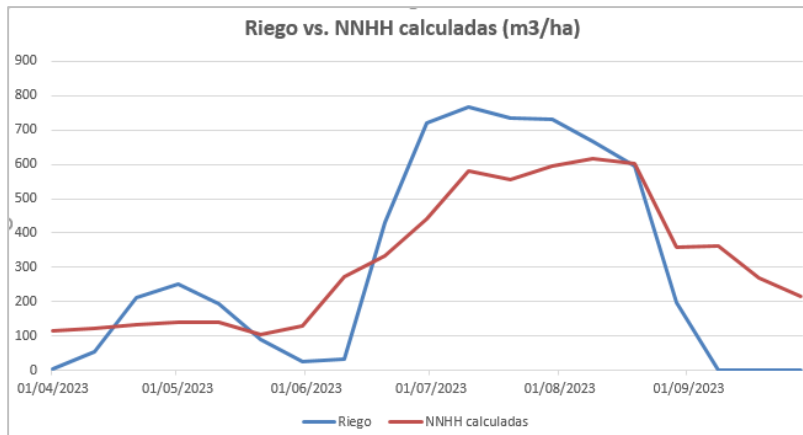


# 6

## TELEDETECCIÓN APLICADA A LA GESTIÓN DEL REGADÍO

### Proyecto I+D+i DEMETER.

### Ajuste del cálculo de Kc según el estado fenológico: Maíz (León)



SIN AJUSTAR

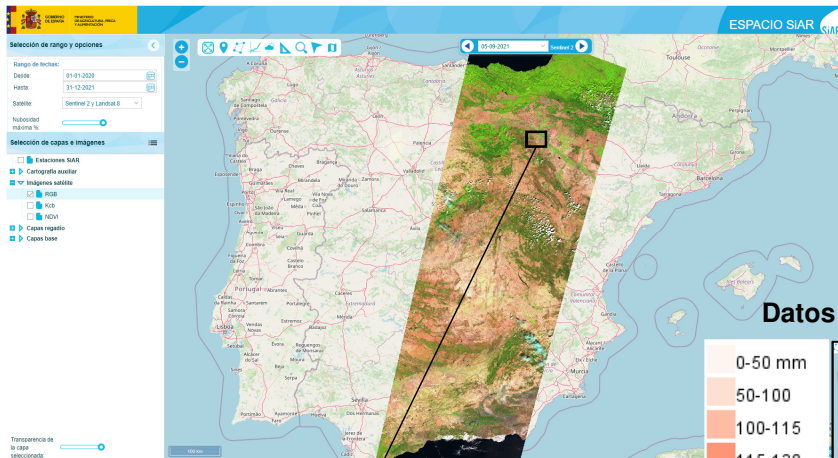
AJUSTADO

|         | SIN AJUSTAR |            |            |            |            |            |            |            |            | AJUSTADO   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
|---------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
|         |             |            |            |            |            |            |            |            |            | Ajuste kc  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
| Decenas | 01/04/2023  | 11/04/2023 | 21/04/2023 | 01/05/2023 | 11/05/2023 | 21/05/2023 | 31/05/2023 | 10/06/2023 | 20/06/2023 | 30/06/2023 | 10/07/2023 | 20/07/2023 | 30/07/2023 | 09/08/2023 | 19/08/2023 | 29/08/2023 | 08/09/2023 | 18/09/2023 | 28/09/2023 |  |
| kc      | 1,25        |            |            |            |            |            |            |            |            | 1,42       | 2          | 1,6        | 1,7        | 1,5        | 1,42       | 1,25       | 0,2        |            |            |  |

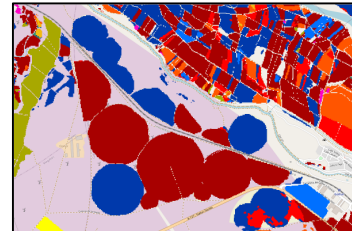
7

## PROYECTO ESPACIO SiAR (MAPA)





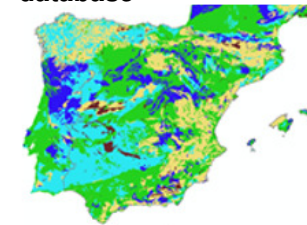
## Clasificación regadío



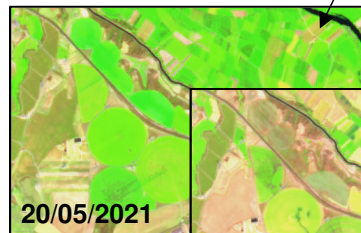
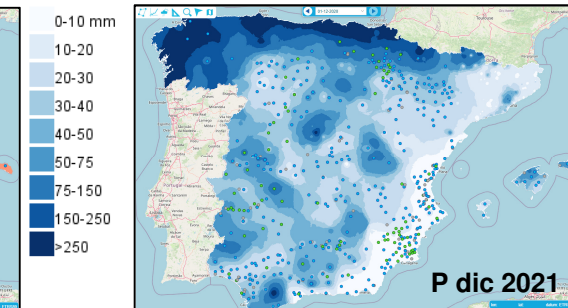
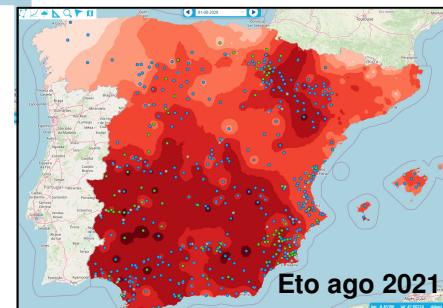
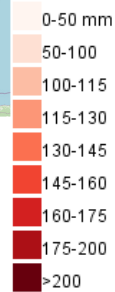
## DATOS DE ENTRADA

- Regadío de Primavera
- Regadío de Verano
- Regadío Anual

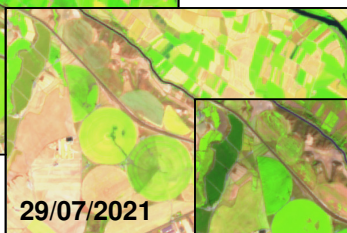
## European Soil database



## Datos de Precipitación y Eto diarias de estaciones SiAR: acumulados mensuales



20/05/2021



29/07/2021



5/10/2021

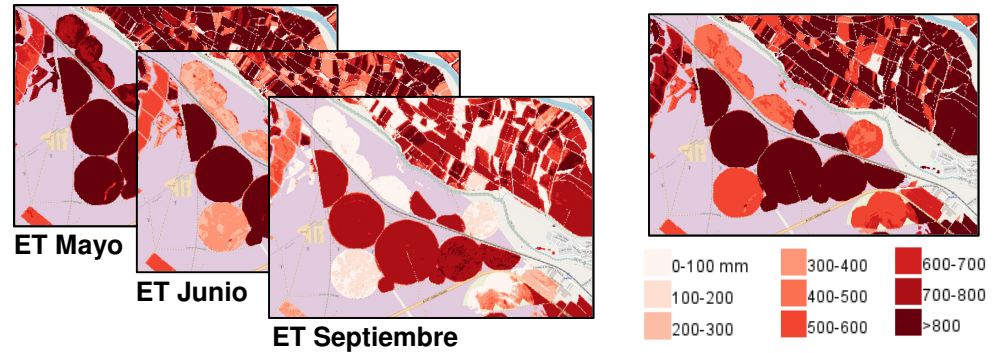
Imágenes de satélite disponibles: visualización RGB, NDVI, kc

- Cálculo anual a año vencido desde 2014
- **Modelo FAO para el cálculo de NNHH** (ET con coeficiente dual a partir de NDVI de imágenes Sentinel-Landsat y Eto y Precipitación de estaciones SiAR y otras)
- Despliegue de datos en **visor Espacio-SiAR**

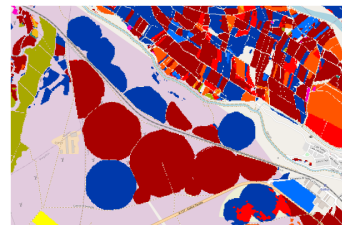




**RESULTADOS:**  
Mapas de ET del regadío mensuales y anuales  
Mapas de NNHH mensuales y anuales

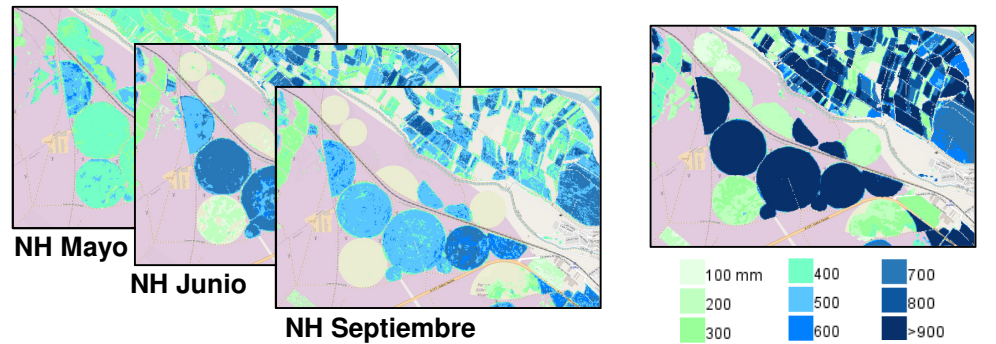


Ortofoto



Clasificación regadío

- Regadío de Primavera
- Regadío de Verano
- Regadío Anual

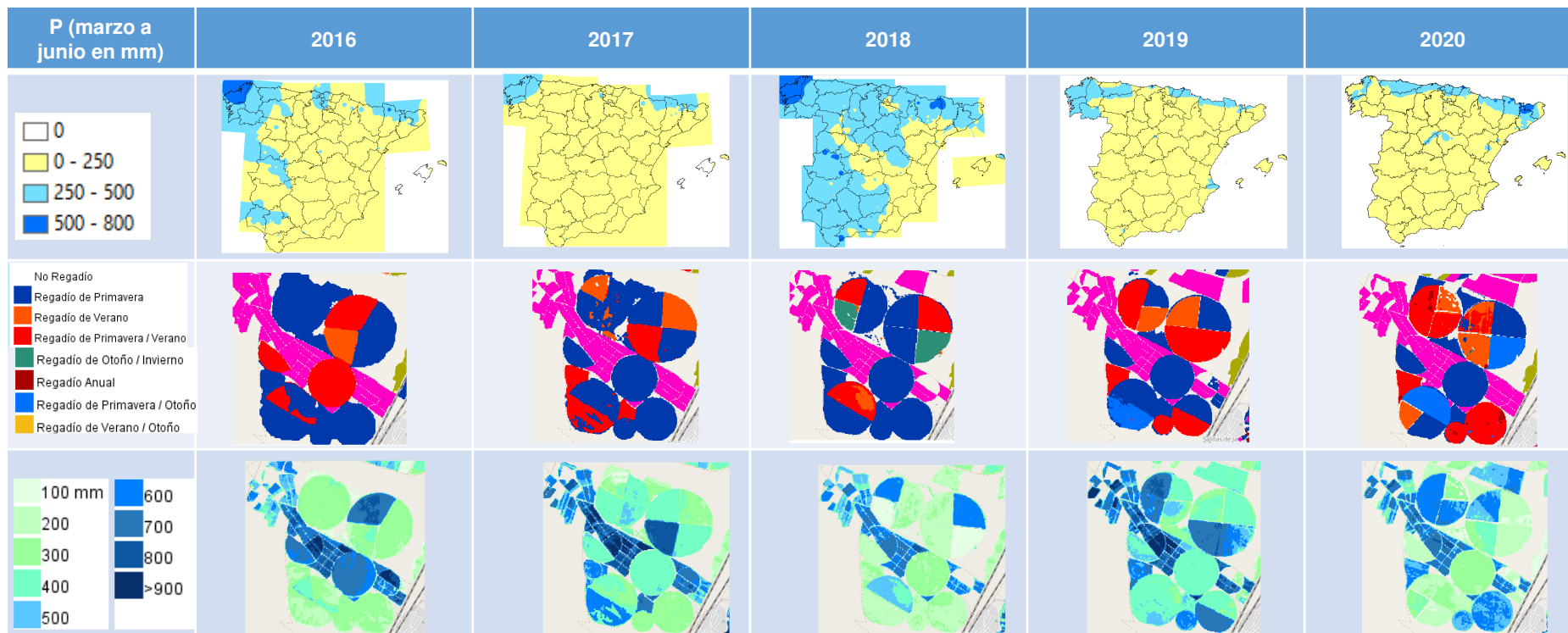




# 7

## PROYECTO ESPACIO SiAR: EJ. DE EXPLOTACIÓN DE DATOS

- Análisis de series mensuales de precipitación: evolución de precipitación total en primavera
- Evolución de superficies de regadío
- Análisis espacio-temporal de necesidades hídricas





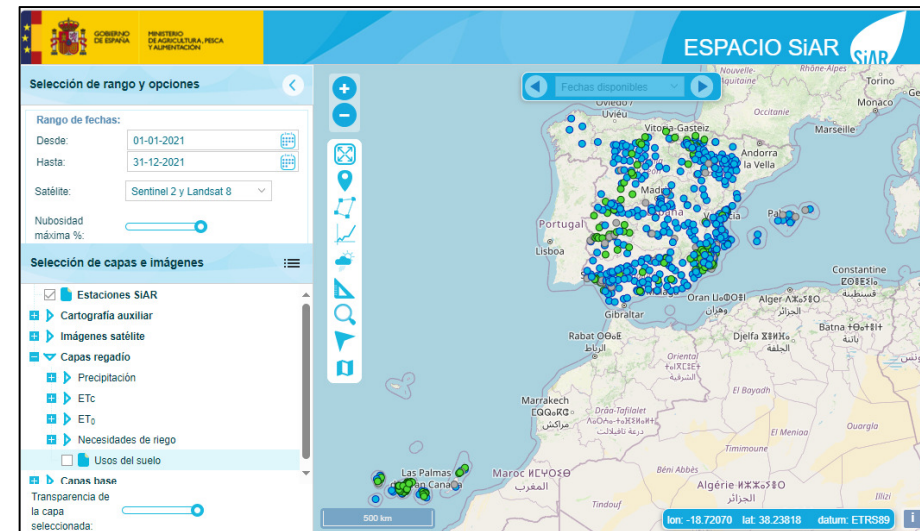
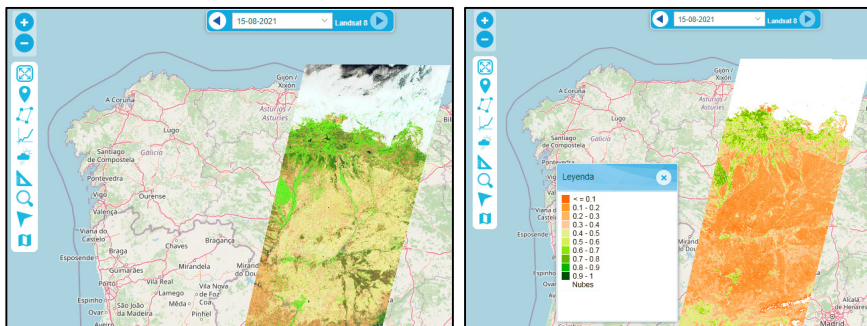
<https://espaciosiar.es/>

Los resultados de Espacio SiAR se muestran en abierto en un visor con la siguiente información:

- Servicio de imágenes de satélite en tiempo real (RGB, NDVI, kcb)

Publicación a campaña vencida:

- Capa anual de usos en regadío, obtenida por teledetección.
- Capas mensuales y anuales de Etc.
- Capas mensuales y anuales de necesidades hídricas.



Ámbito:

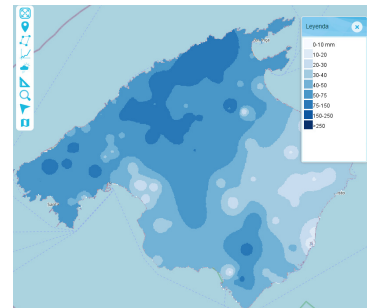
España peninsular: De 2014 a 2017

Todo el territorio español: Desde 2018

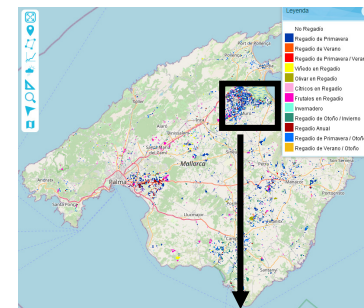


Selección de fechas, imágenes y capas cartográficas

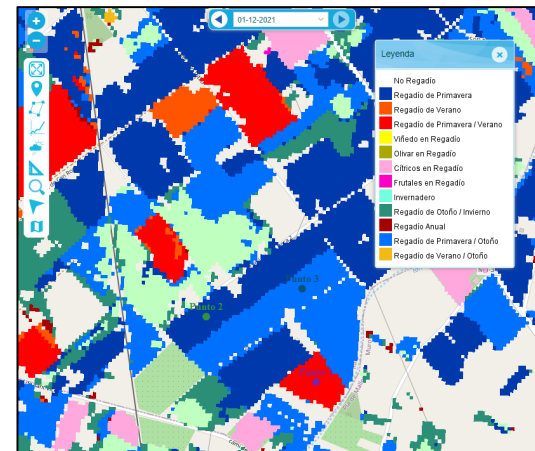
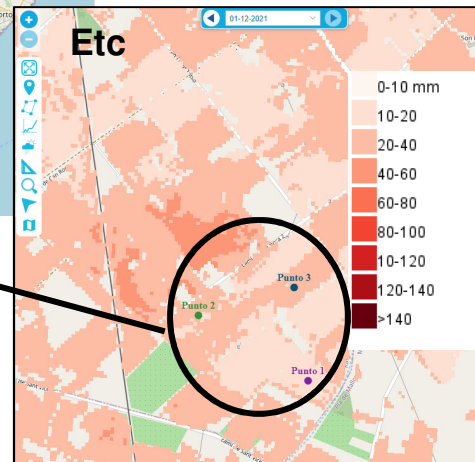
Precipitación



Usos en regadío



Etc



Consulta de valores por puntos o recintos  
Descarga de datos

Figura X

| Coordenadas ETRS89 H30: | X          | Y          |
|-------------------------|------------|------------|
| Punto 1                 | 1017604,21 | 4416744,29 |
| Punto 2                 | 1017273,19 | 4416909,72 |
| Punto 3                 | 1017543,65 | 4417010,87 |

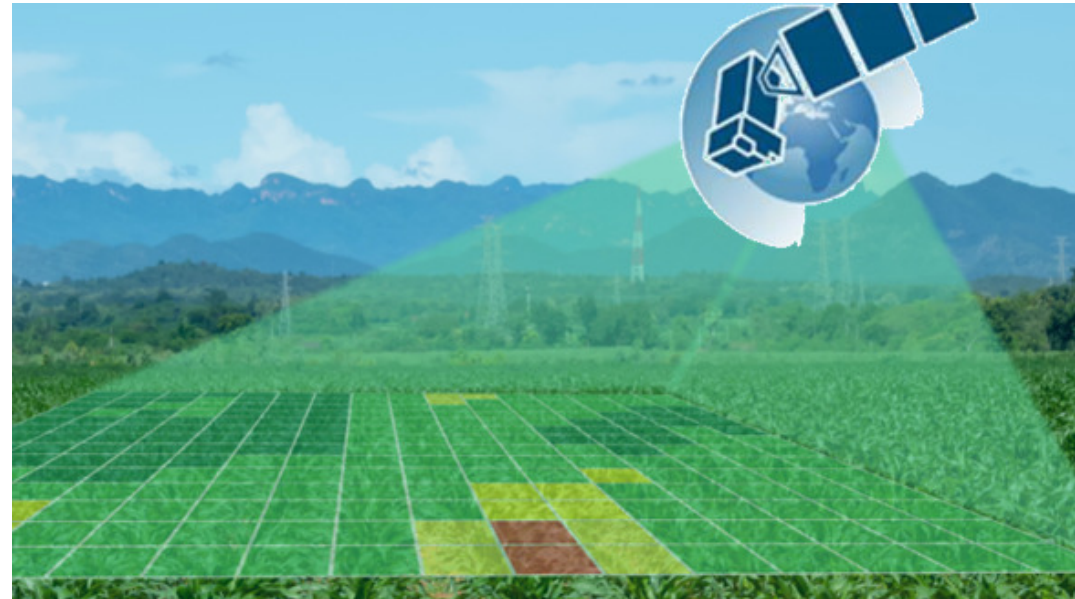
| fecha      | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|------------|---------|---------|---------|
| 01/01/2021 | 0       | 0       | 0       |
| 01/02/2021 | 30      | 0       | 30      |
| 01/03/2021 | 30      | 60      | 30      |
| 01/04/2021 | 30      | 60      | 90      |
| 01/05/2021 | 0       | 30      | 60      |
| 01/06/2021 | 90      | 0       | 0       |
| 01/07/2021 | 210     | 0       | 0       |
| 01/08/2021 | 150     | 0       | 0       |
| 01/09/2021 | 0       | 0       | 0       |
| 01/10/2021 | 0       | 0       | 30      |
| 01/11/2021 | 0       | 0       | 0       |
| 01/12/2021 | 0       | 0       | 0       |

Figura X

# Teledetección y Big Data: Optimización del riego con imágenes Satelitales

23/04/2024

María José Checa Alonso  
Departamento de Teledetección  
Tragsatec (Grupo Tragsa)



*¡Gracias por su atención!*

