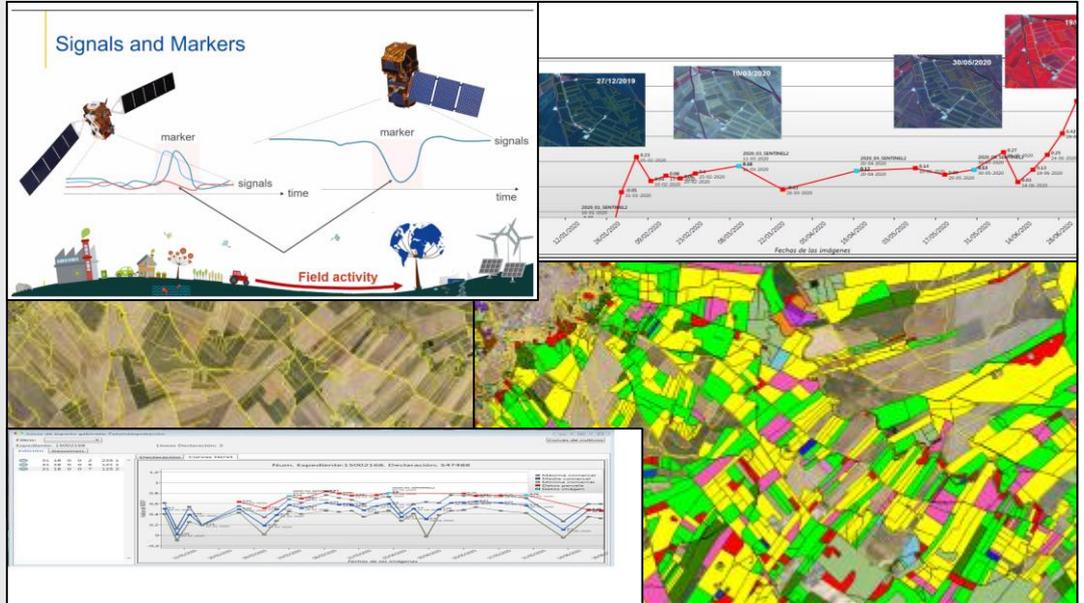
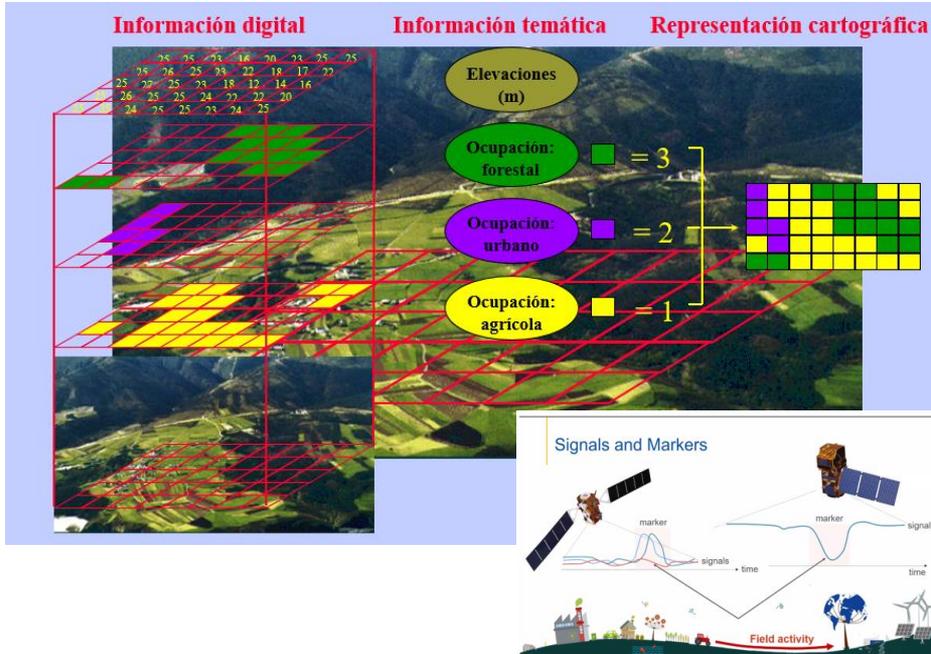


# Innovación en teledetección aplicada a la gestión del regadío.

María del Rosario Escudero  
Blanca Sánchez  
Tragsatec



# 1 LA OBSERVACIÓN REMOTA FUENTE DE DATOS ESENCIAL



¿ Qué aporta la teledetección al conocimiento del territorio?

¿ Qué aporta la teledetección a la gestión del regadío?

¿ Cuáles son sus elementos de innovación?

La teledetección permite obtener información, homogénea, periódica y de bajo coste sobre las coberturas terrestres, a nivel de parcela o a gran escala.

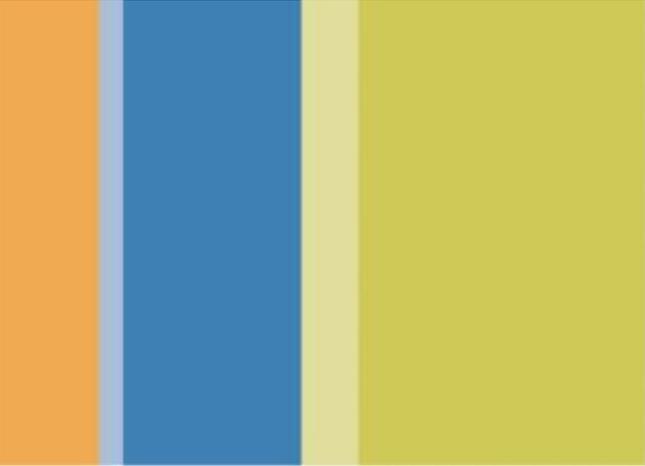
Quienes somos y qué hacemos.

## 1) Innovación tecnológica en la Observación Remota.

- ✓ Principales misiones espaciales.
- ✓ La PAC en vanguardia de innovación.
- ✓ Aportaciones RPAS al manejo del regadío.

## 2) Teledetección por satélite aplicada a la innovación en la gestión del regadío.

- ✓ Cálculo de evapotranspiración y necesidades hídricas.
- ✓ Proyecto Espacio SiAR MAPA.
- ✓ Otras líneas de innovación.



# Quiénes somos y qué hacemos



- ✓ Adquisición de imágenes → Multiplataforma
- ✓ Procesamiento con herramientas de Fotogrametría, Teledetección, SIG y Data Analytics
- ✓ Generación de productos y servicios de valor añadido



Decisiones



Análisis de datos espaciales



IA y supercomputación

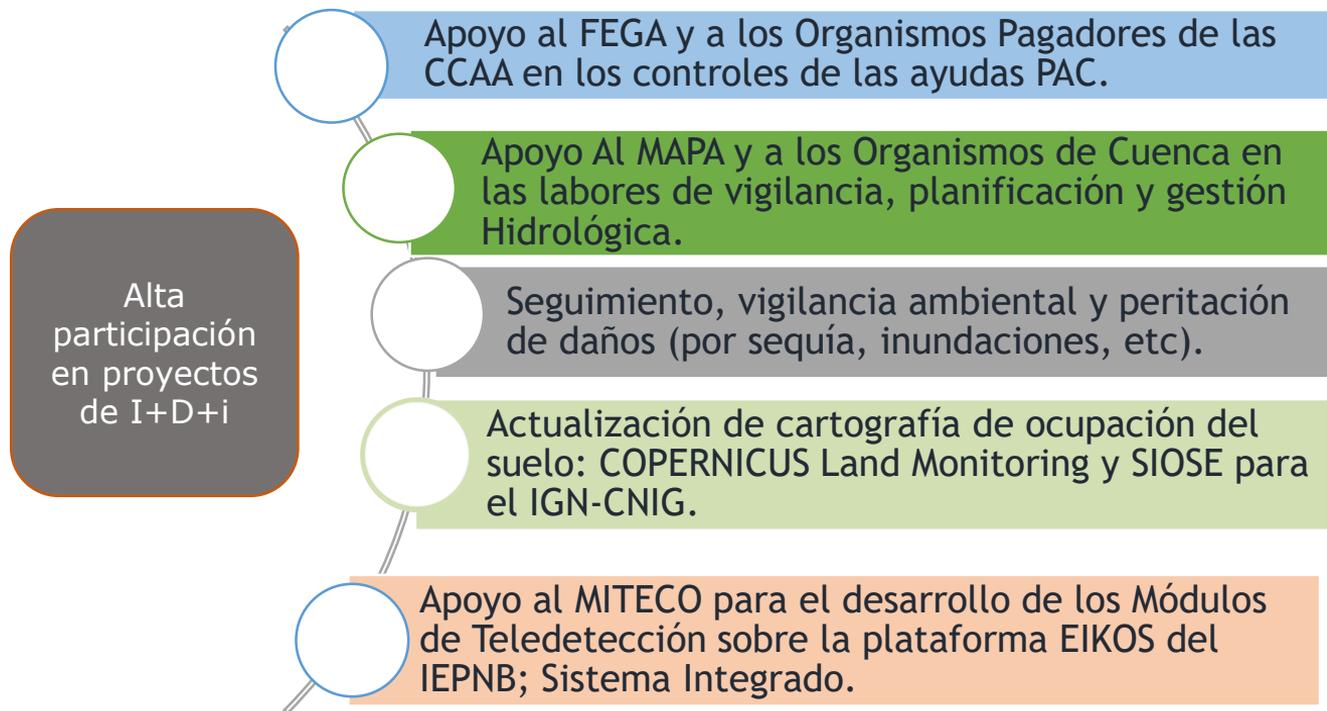


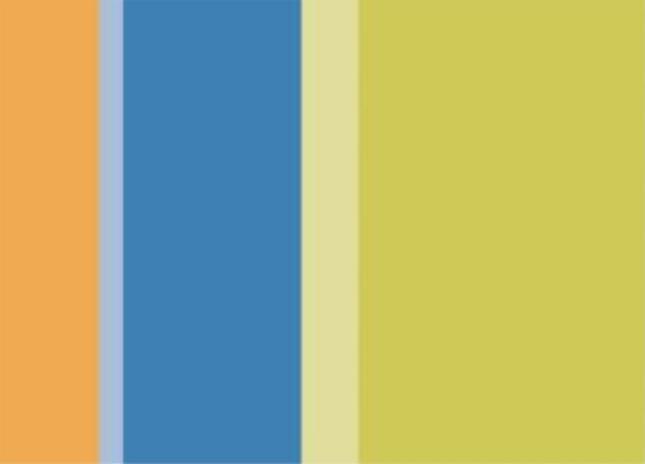
<https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>

<https://sig.mapama.gob.es/bdn/>

<http://sigred.oapn.es/VisorRedPPNN/>

<http://www.ign.es/3d-stereo/>





# Innovación tecnológica en la Observación Remota

- En la industria aeroespacial:
  - Constelaciones de satélites (periodo corto de revisita)
  - Avance en sensores:
    - incremento espectacular en la resolución espacial y espectral de las imágenes.
  - Giróscopos de gran capacidad de apuntamiento:
    - Trazados lineales, pequeñas y grandes superficies.
- Gran inversión europea en los programas espaciales de Observación → COPERNICUS buque insignia europeo.
- Política abierta de datos → apertura de los archivos de imágenes de NASA y ESA → acceso a catálogos históricos on line.
- Incorporación de los drones como plataformas de soporte → inmediatez y versatilidad

- Estándares de interfaz para intercambio e interoperabilidad de los datos. Open Geospatial Consortium (OGC) y otros.
- Técnicas de procesamiento y análisis masivo de las series temporales de imágenes: Big data y supercomputación.
- Aplicación de algoritmos de IA (Machine Learning y Deep Learning) para obtención de predicciones.
- Implementación de servicios API Rest para intercambio de datos entre máquinas

Rápido crecimiento de las plataformas de almacenamiento, procesamiento y análisis de datos en la nube dotadas de herramientas, tecnología y enorme potencia computacional para realizar análisis de series temporales de datos a escala planetaria.



Cloud-Based Remote Sensing  
with Google Earth Engine



Welcome to Cloud-Based  
Remote Sensing with Google  
Earth Engine: Fundamentals  
and Applications

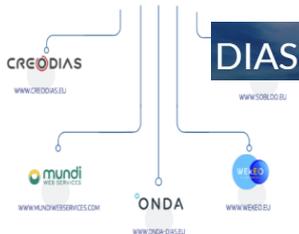
This book is the product of more than a year of effort from  
more than 100 individuals, working in concert to provide this  
free resource for learning how to use this exciting technology  
for the public good.

The book includes work from professors, undergraduates,  
master's students, PhD students, assistant professors,  
associate professors, and independent consultants.

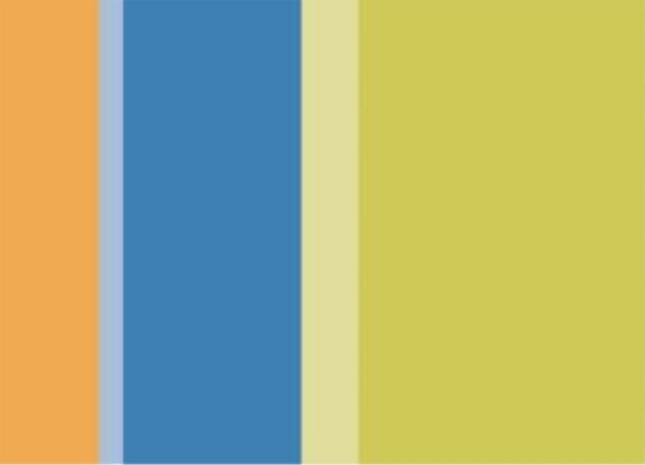
Learn more



ACCESO A LAS PLATAFORMAS DIAS



- Aplica perfecto a los datos de Teledetección por satélite, disponibles bajo una política de datos abierta.
- Los protocolos de análisis de datos han de ser FAIR
- La interoperabilidad entre plataformas requiere el desarrollo de interfaces abiertas de programación de aplicaciones.



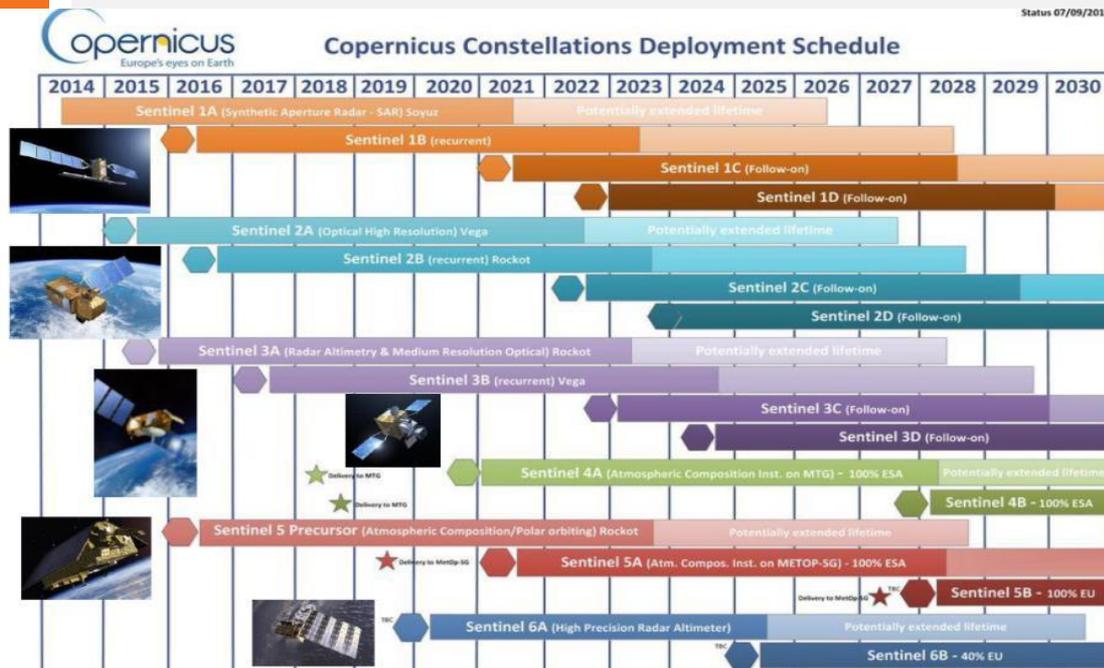
# Principales misiones espaciales

Tragsatec



## PRINCIPALES PROGRAMAS DE OBSERVACIÓN POR SATÉLITE CON DATOS ABIERTOS

Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución temporal	Resoluc. Radiométr.
NASA	MODIS	2330 Km	Ms: 36 bandas (visible e infrarrojo cercano a térmico)	250, 500 y 1000 m	2 diarias (4 combinada TERRA/AQUA)	12 bits
NASA	LANDSAT 8	185 Km	Pan y Ms 10 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15, 30 y 100 m	16 días	12 bits
NASA	ASTER	60 Km	Ms 14 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15, 30, 90 m	16 días	8, 12 bits
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	5 días	12 bits
ESA	SENTINEL3	1270 Km	Ms 21 bandas (OLCI), SLSTR y SRAL	300 m	1 día	16 bits



Servicios gratuitos de la CE para las administraciones públicas



Inversión de más de 4.000 millones de euros  
Servicios y datos abiertos



# 3 PRINCIPALES PROGRAMAS COMERCIALES DE OBSERVACIÓN POR SATÉLITE

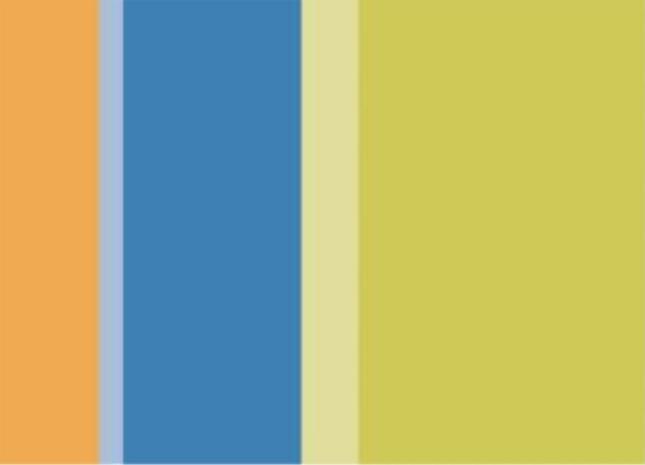
Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resoluc. espacial	Resoluc. temporal	Resoluc. Radiom.
Airbus	Spot6- Spot7	60 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 1,5 m y 6 m	4 días	12 bits
Airbus	Pléiades 1A-1B	20 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm Ms 2 m	4 días (2 días const.)	12 bits
Airbus	Pléiades NEO	14 Km	Pan y Ms: 6 bandas (visible, nir)	Pan 30 cm Ms 1,2 m	2 veces al día	12 bits
European Space Imaging (EUSI)	Maxar Worldview Constellation (4 activos)	16 Km	Pan y Ms: hasta 16 bandas (visible a irc)	Pan 30 cm Ms 1,2 m	3 días	11 bits
European Space Imaging (EUSI)	GeoEye	15 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm Ms 2 m	3 días	11 bits
Planet	SkySat	8-5,5 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 57 cm Ms 75 cm	<1 día	

1998



2022

GSD 20m (SP4)    GSD 10m (SP5)    GSD 1,5m (SP6)    GSD 50 cm (PL)    GSD 30 cm (PLN)



# La PAC en vanguardia de innovación

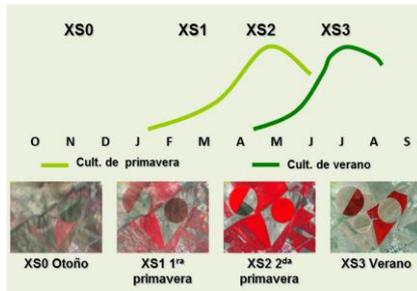
## Control por teledetección (desde 1994)



Controles sobre el terreno del 5% de los expedientes



- Desde 2017 Programa Copernicus: Sentinel-2
- HR: Spot 6 / 7
- VHR: WorldView / GeoEye, ...



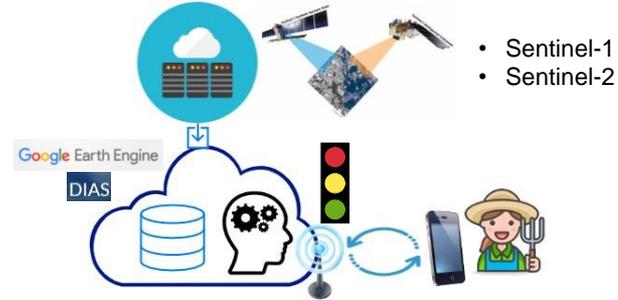
- Fechas de imágenes programadas en fechas clave de media a muy alta resolución espacial.
- Descarga de imágenes y procesamiento de datos en local.
- Verificación por fotointerpretación asistida de imágenes.



## Monitorización (desde 2019)



100% de la tierra agrícola y pastos



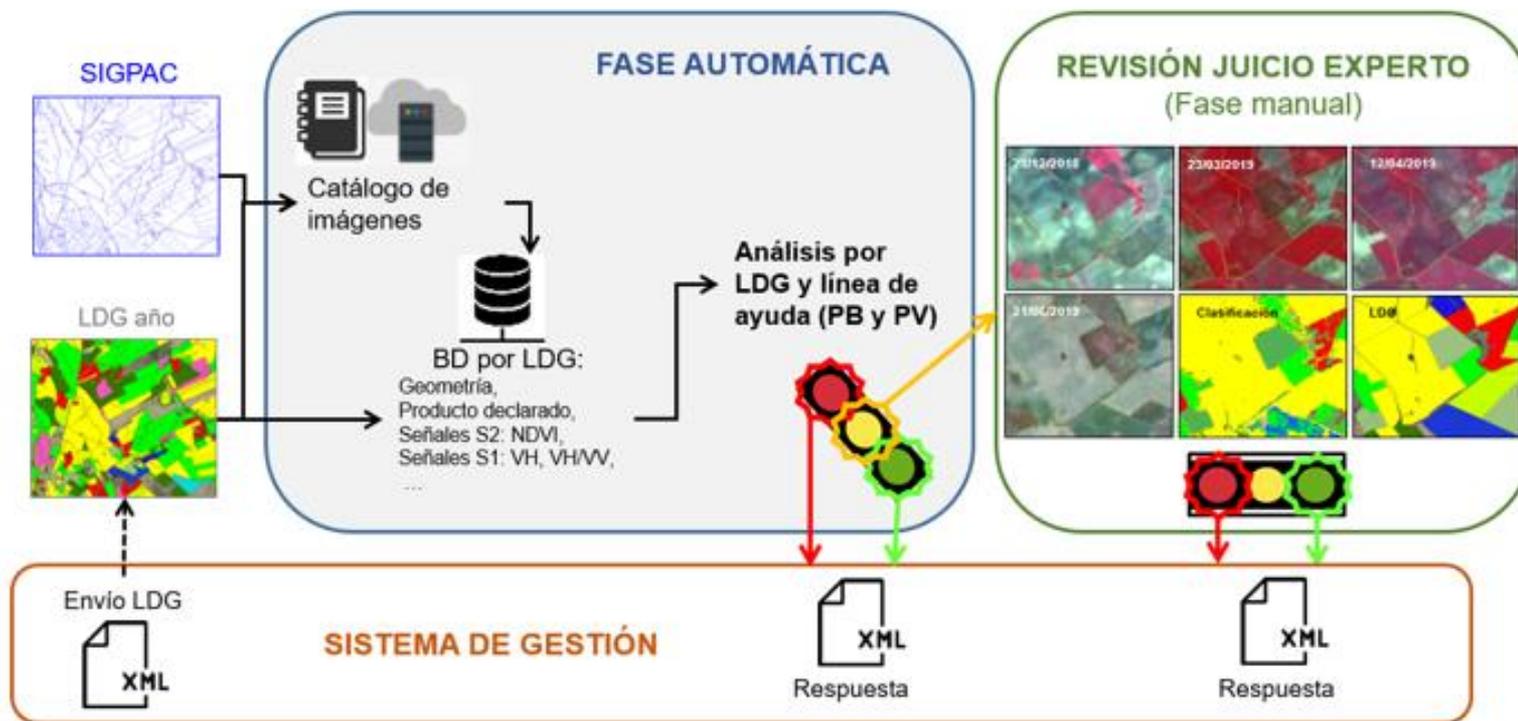
- Sentinel-1
- Sentinel-2

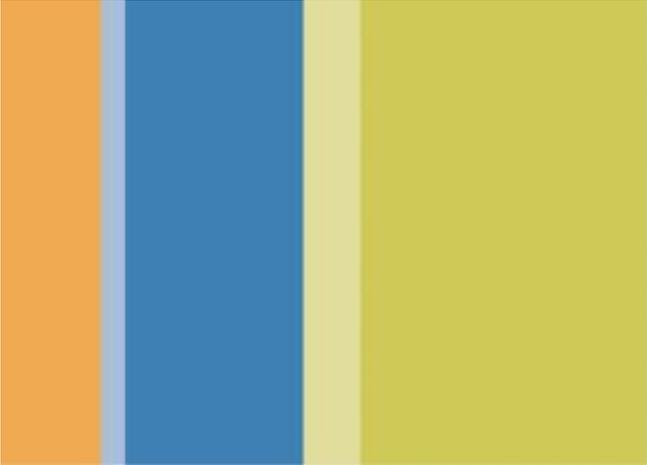
- Serie temporal de imágenes open data (Copernicus).
- Uso de nuevas tecnologías: sin descarga de imágenes, procesamiento en la nube, inteligencia artificial, fotografías geotiquetadas, etc.
- Monitorización automática y juicio experto de las LDGs.
- Implicación de los beneficiarios

- Se basa en el seguimiento continuo de las declaraciones de los agricultores con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos asociados a los distintos tipos de ayudas. El resultado es un semáforo que se actualiza cíclicamente a lo largo de la campaña.
- La plataforma de monitorización realiza el procesado masivo de las series temporales de las imágenes de los satélites Sentinel 1 y 2, el SIGPAC y la información aportada por el agricultor, aplicando técnicas de teledetección, big data e IA.
- El semáforo automático se ejecuta en una serie de ciclos entre marzo y julio (hasta octubre para algodón y arroz) y resuelve el 95% de las declaraciones.
- Las luces amarillas y rojas se resuelven primero mediante JEG y por último en visita rápida de campo.

Pago Básico, verificación del mantenimiento de la actividad agraria.

Pago Verde, comprobación del producto declarado.





## Aportaciones RPAS al manejo del regadío

# 1 INCORPORACIÓN TEMPRANA DE LOS DRONES EN TRAGSA

## DJI S-1000 (Modificado)

- Ala rotatoria experimental
- MTOW 12 Kg
- Autonomía 12-15 min
- Actuaciones Multisensor
- **Sensores Teled.:** Tetracam, FLIR A-65, Sequoia



## AibotX6

- Ala rotatoria comercial
- MTOW 6.6 Kg
- Autonomía 12-15 min
- Actuaciones con métrica
- **Sensores Teled.:** Tetracam y Sequoia



## eBee Plus

- Ala fija
- MTOW 1.4 Kg
- Autonomía 50 min
- Actuaciones alto rendimiento
- BVLOS
- **Sensores Teled.:** Sequoia



- Sony Alpha ILCE-5100 (RGB)**
- Objetivo 20 mm
  - 6000 x 4000
  - Sensor CMOS 23.5 x 15.6 mm



- FLIR A-65 (Termográfica)**
- Objetivo 13 mm
  - 640 x 512
  - Rango espectral 7,5 – 13  $\mu$ m



- Tetracam  $\mu$ CA 6 Snap (Multispectral)**
- Espectro visible: Azul (490 nm), Verde (650 nm), Rojo (680 nm)
  - Infrarrojo: Borde rojo (720 nm), IRC1 (800 nm), IRC2 (900 nm)



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

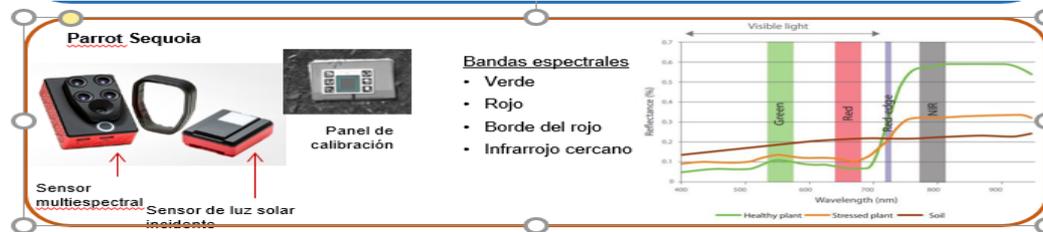


- Parrot Sequoia (Multispectral)**
- 16 MP – RGB / 1.2 MP – MS
  - 1280 x 960
  - Verde, Rojo, Borde Rojo, IRC + RGB



- S.O.D.A. (RGB)**
- Objetivo 10 mm
  - 5472 x 3648
  - 13,1 x 8,8 mm

- 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.
- Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula en España la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto.





#### Plataforma RPAS - eBee Plus

- Plataforma RPAS ala fija
- Autonomía de 50 minutos
- Superficie cubierta de 100 Ha por vuelo
- Peso 1.4 Kg sin carga de pago
- Posibilidad de intercambiar el sensor

#### CÁMARA RGB - SODA

- Focal de 10 mm
- Resolución 5472 x 3648
- 20 Mpx
- Tamaño del sensor 12.75 x 8.5 mm

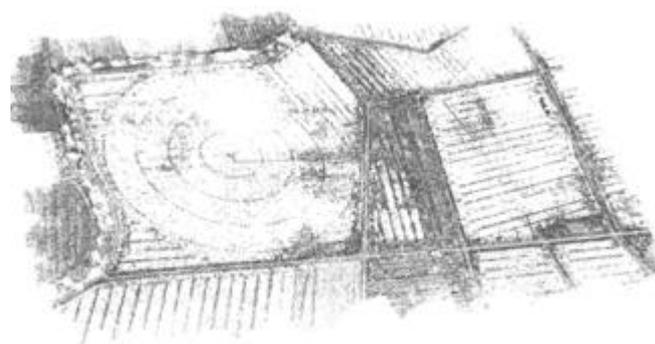
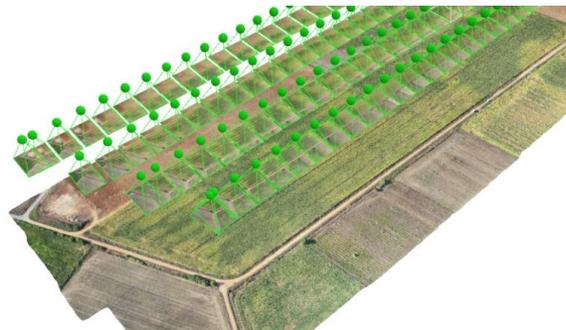
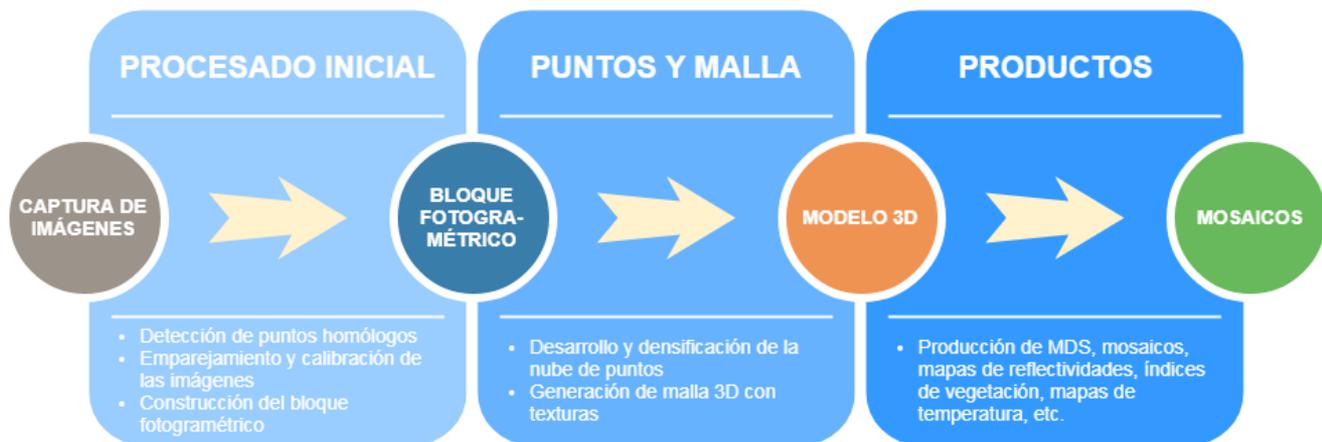


#### CÁMARA MS - SEQUOIA

- 4 bandas espectrales en los rangos del Verde, Rojo, Borde del rojo e Infrarrojo cercano
- Cámara RGB de 16 Mpx
- Resolución 1280 x 960
- Sensor de luz incidente

#### CÁMARA TM - THERMOMAP

- Rango de temperaturas de -40°C a 160°C
- Resolución 640 x 512



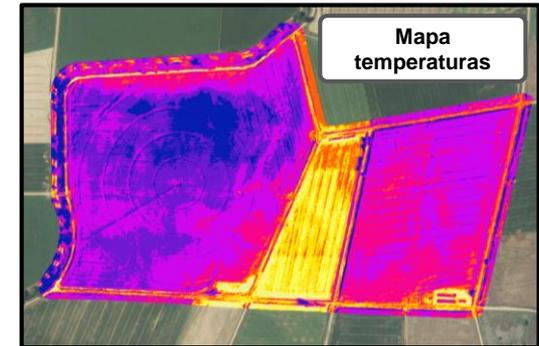
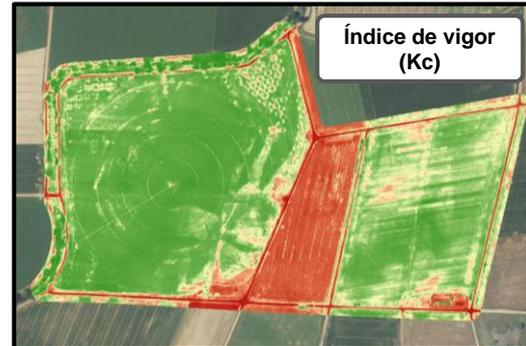
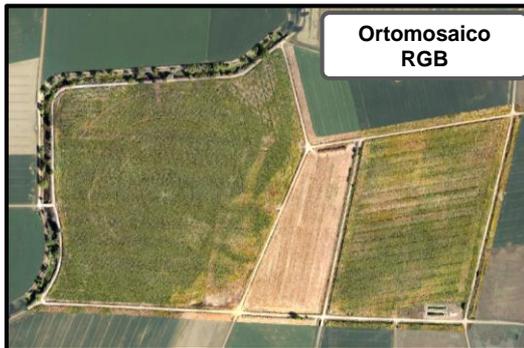
Ensayo RPAS Regadío en el Porma (León) 2018.

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 e índices de vegetación y regadío:
- Mapas de temperatura



## 4

# VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LAS SOLUCIONES RPAS

- ✓ Los drones aportan la posibilidad de explorar soluciones de teledetección a la carta para áreas pequeñas.

- Flexibilidad operacional
- Simplicidad e inmediatez en la captura de datos
- Posibilidad de captura multisensor (RGB, multispectral y térmico)
- Alta resolución espacial de las imágenes (10-15 cm de GSD para imágenes multispectrales) y hasta 1 cm en RGB
- Escalabilidad de los trabajos



- x Las campañas de vuelo requieren una buena planificación, puesto que, los tiempos de operación son cortos y el viento puede suponer un factor limitante de operabilidad.
- x Grandes limitaciones legales de vuelo
- x Se requiere conocimiento experto en la captura y procesado de datos.

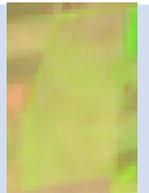
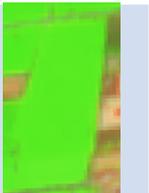
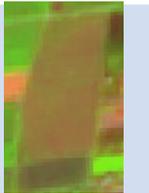


# Teledetección por satélite aplicada a la innovación en la gestión del regadío

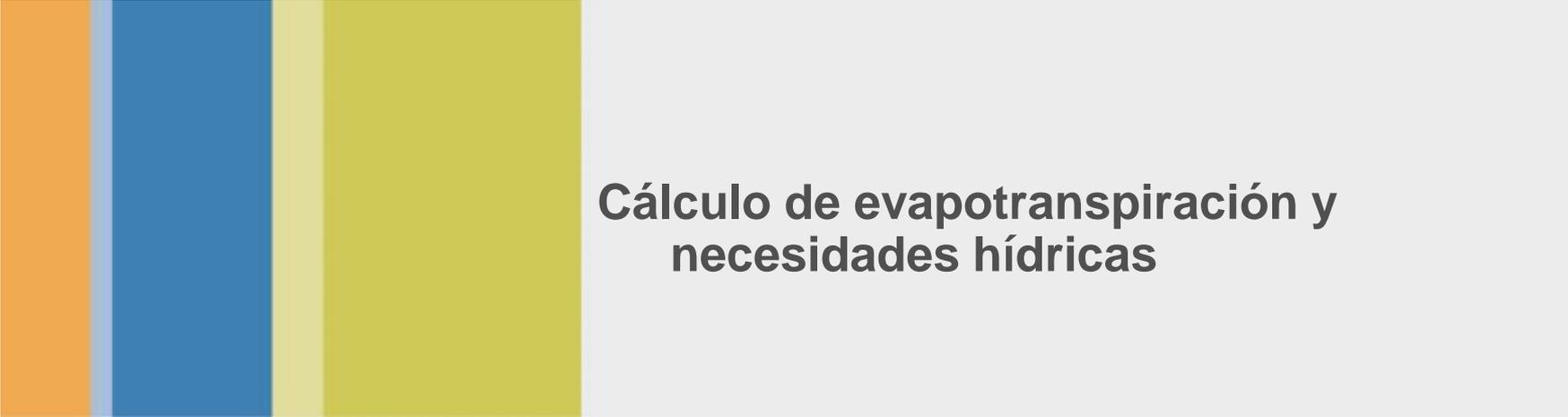
## 1

# APORTACION DE LA TELEDETECCION EN LA GESTION DEL REGADIO

- Los datos de teledetección posibilitan el seguimiento de los cultivos a lo largo de todo su ciclo de desarrollo con bajo coste
- Proporcionan datos para trabajar a nivel de parcela o de grandes superficies
- La integración de estos datos en diferentes modelos proporciona resultados valiosos para:
  - la **gestión de input 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 2 meses	50-53 días	53-110 días	110-120 días
Abril	Abril-Junio		Junio-Agosto	Septiembre-October

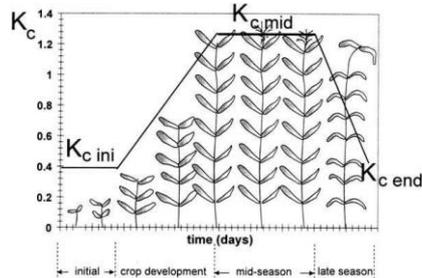
Punto que veremos con mayor detalle



## Cálculo de evapotranspiración y necesidades hídricas

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

## Coeficiente único

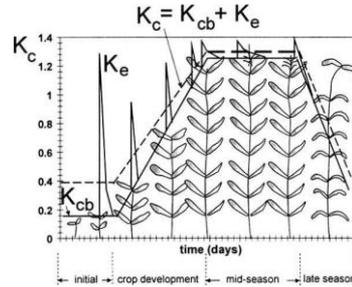


Tablas FAO de coeficientes Kc variables con la fenología del cultivo. Ej: Maíz

## 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.

## Coeficiente dual



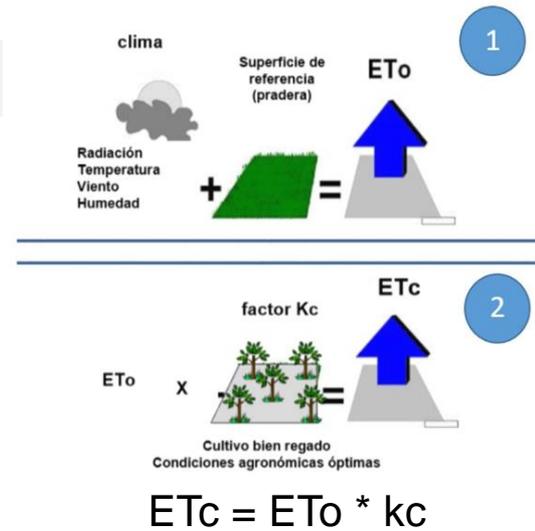
Incorpora el efecto de la variación de la humedad de la superficie del suelo en el kc

## Tablas Kc FAO

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

Uso de datos de imágenes de satélite: Calculo kc en función a índices de tdt. Ej:

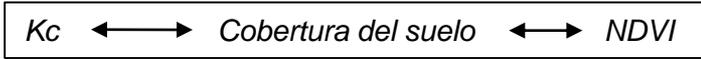
$$kc = f ( NDVI )$$



# 2 MODELO FAO: EVAPOTRANSPIRACION POR TELEDETECCIÓN

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

## Modelo Coef. único en función a NDVI



$$Kc = a * NDVI + b$$

$$Kc = 1,25 * NDVI + 0,1 \quad (\text{Cuesta et al. 2005})$$



## Modelo Dual en función a SAVI

$$Kc = Kcb * Ks + Ke$$

Kcb: Coeficiente del cultivo basal

Ks: Coeficiente de estrés hídrico

Ke: Coeficiente de evaporación del suelo

$$Kcb = \frac{Kcb \text{ max}}{SAVI \text{ eff} - SAVI \text{ suelo}} (SAVI - SAVI \text{ suelo})$$

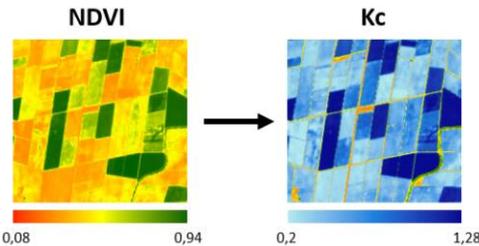
(Gonzalez-Dugo et al. 2009)



## 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



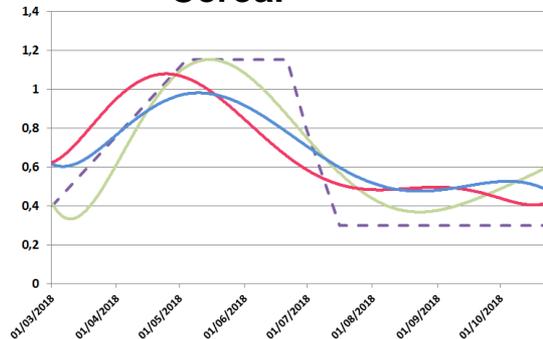
Kc FAO

Kc 2018

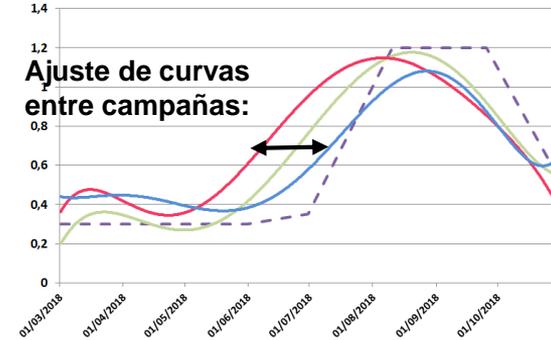
Kc 2020

Kc 2022

### Cereal

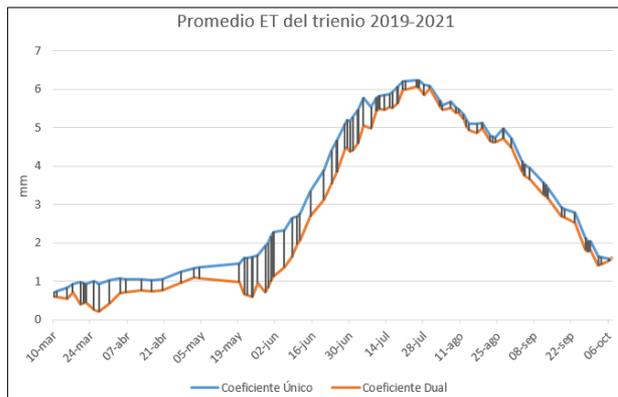
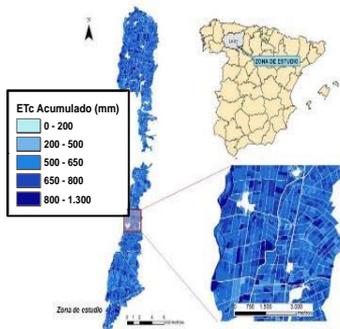


### Maíz



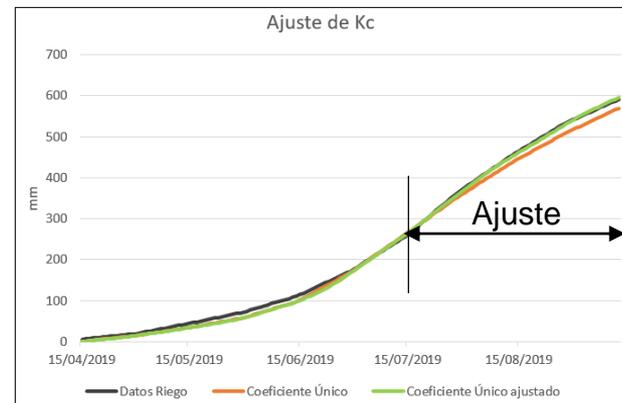
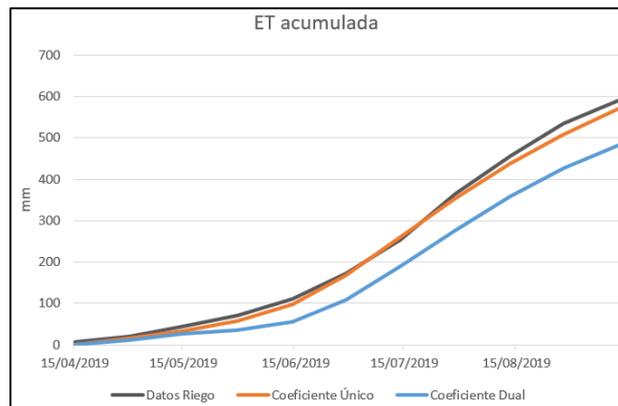
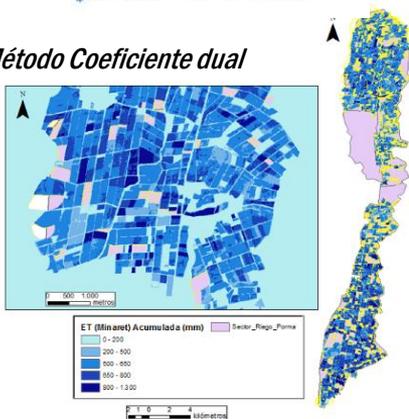
## Proyecto I+D+i DEMETER. Maíz

### Método Coeficiente único



- Modelo Coef. Único → 12,5% más de ET
- Volumen ET/campaña con modelo coeficiente único: **6,288 m<sup>3</sup>/ha**
- Volumen ET/campaña con modelo coeficiente dual: **5,499 m<sup>3</sup>/ha**
- Comparativa con datos de riego reales: mejor ajuste del modelo de coeficiente único (para maíz en León)
- Ajuste Kc:  $Kc = 1,47 * NDVI + 0,1$  (a partir del 15/07)

### Método Coeficiente dual



## Valores Kc FAO por cultivo. Zona sub-húmeda

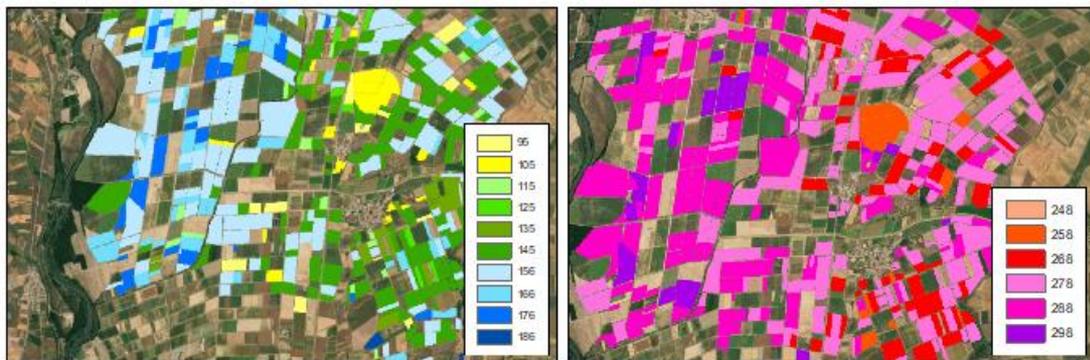
Grupo de cultivos	K <sub>Cini</sub>	K <sub>Cmed</sub>	K <sub>Cfin</sub>	
Hortalizas pequeñas (crucíferas, apio, lechuga, zanahoria, espinaca, cebolla, rábano, etc.)	0.70	1.05	0.95	
Solanáceas (tomate, chile, pimiento, berenjena)	0.60	1.15	0.80	
Cucurbitáceas (pepino, ayote, zapallo, pipián, melón, sandía)	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 usando muestreos de cultivos en distintas zonas de España
- Usando datos de evaporación disponibles 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:

$$Kc = a * NDVI + b$$

- 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”)



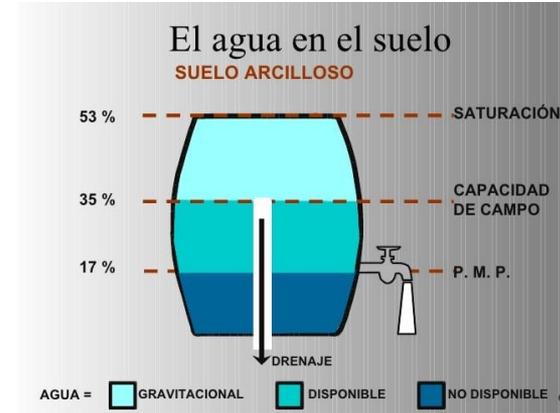
## 5

## BALANCE DE AGUA PARA CALCULO DE NNHH-RIEGO

La ET calculada a partir de datos de teledetección se introduce en modelos de **balance de agua** en el suelo para calcular las necesidades hídricas (NNHH)/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



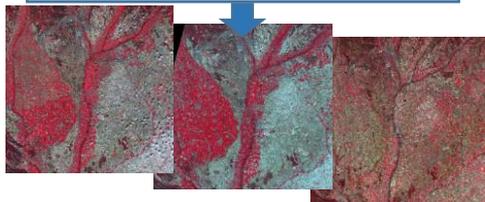
Determina las condiciones de aridez y exceso de humedad mensual

## 6

# APORTACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN AL CALCULO DE NNHH-RIEGO

## SELECCIÓN Y PROCESADO DE IMAGENES

Serie temporal de imágenes de satélite (LANDSAT8, SENTINEL2)



REFLECTIVIDAD BOA,  
MÁSCARA DE NUBES, NDVI

Coefficiente de cultivo:  $K_c$

$$K_c = 1,25 * NDVI + 0,1$$

Coefficiente de cultivo basal:  $K_{cb}$

$$K_{cb} = 1,44 * NDVI - 0,1$$

Modelo  
simplificado  
Univ Castilla la  
Mancha

## 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

$E_{To}$

$K_c$

CÁLCULO NECESIDADES HÍDRICAS

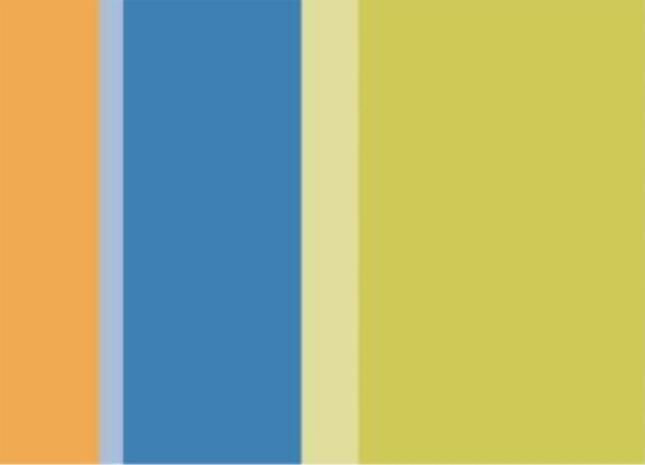
- Precipitación

/  $E_{f\ apli}$

CALCULO DE NECESIDADES HÍDRICAS- PROGRAMACIÓN DE RIEGO

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

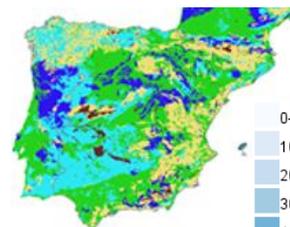




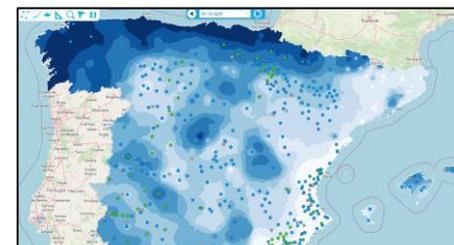
# Proyecto Espacio SiAR MAPA

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

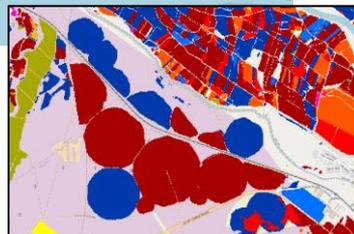
European  
Soil  
database



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

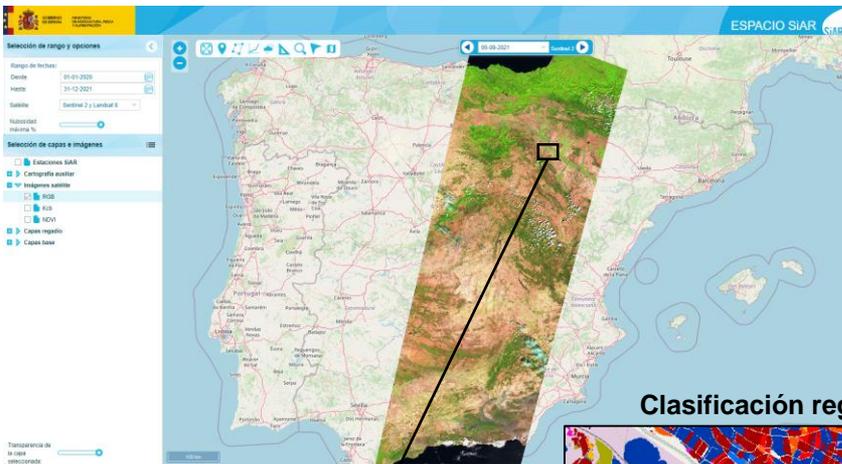
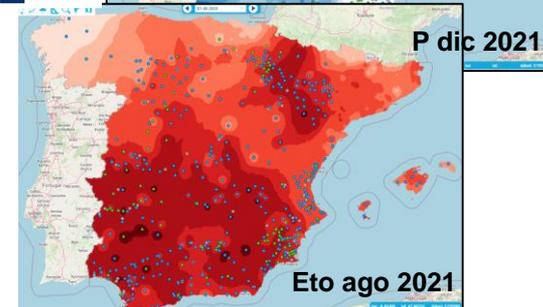
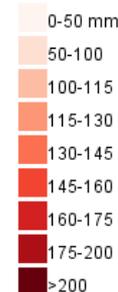


Clasificación regadío



- Regadío de Primavera
- Regadío de Verano
- Regadío Anual

DATOS DE  
ENTRADA

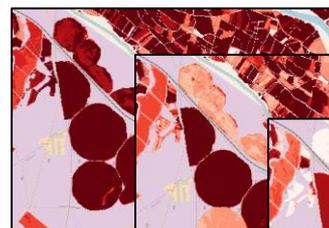


Imágenes de satélite disponibles: visualización RGB, NDVI, kc

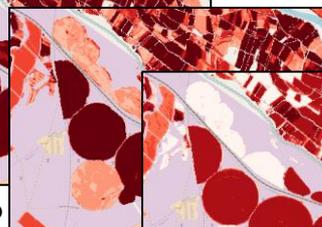


## Resultado:

- Mapas de ET del regadío mensuales y anuales
- Mapas de NNHH mensuales y anuales



ET Mayo



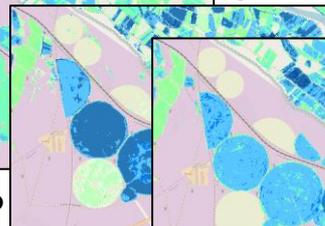
ET Junio



ET Septiembre



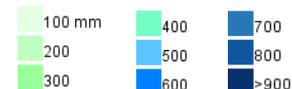
NH Mayo



NH Junio



NH Septiembre



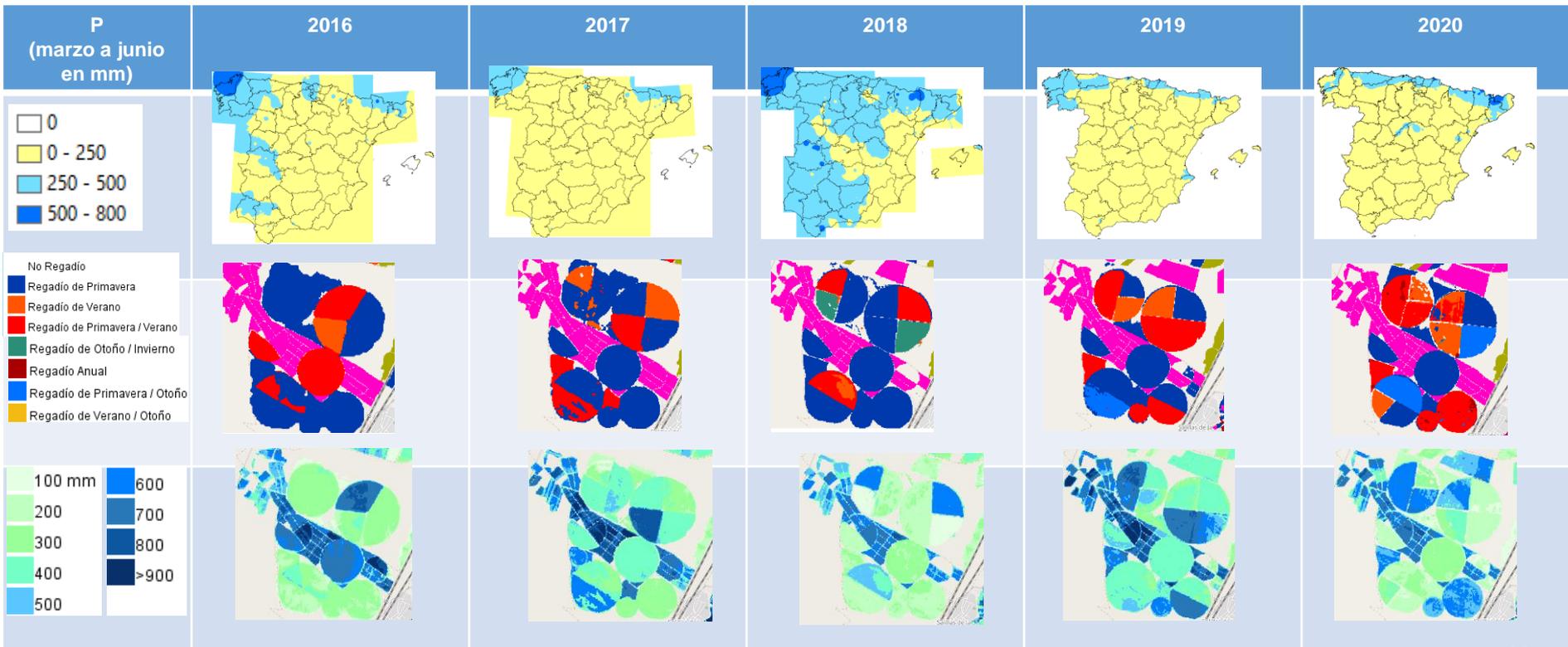
## Clasificación regadío

- Regadío de Primavera
- Regadío de Verano
- Regadío Anual



Ortofoto

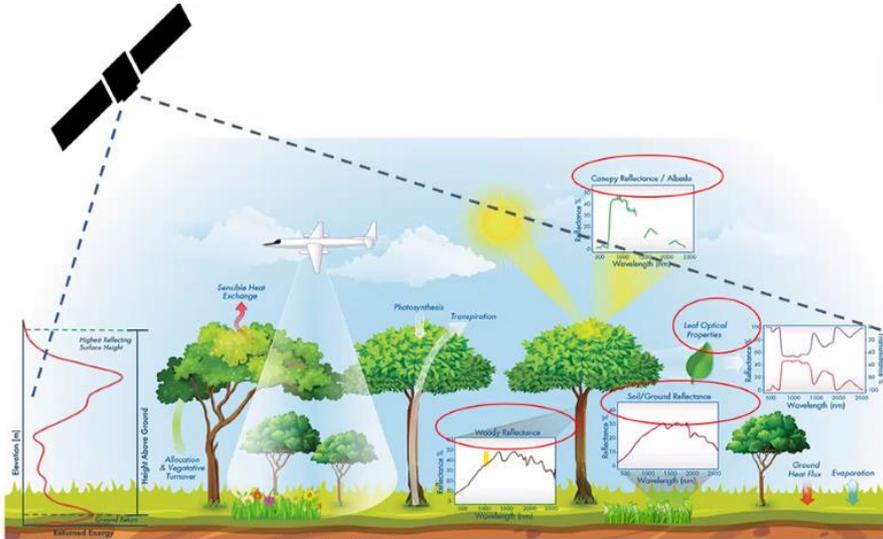
Ejemplos de explotación de datos en Visor SiAR: - series mensuales de precipitación  
 - evolución de superficies de regadío  
 - análisis espacio-temporal de necesidades hídricas





## Otras líneas de innovación

# 1 OTRAS LÍNEAS DE INNOVACIÓN EN LA GESTIÓN DE CULTIVOS EN REGADÍO



Serbin and Townsend P.A. (2020) In: *Remote Sensing of Plant Biodiversity*

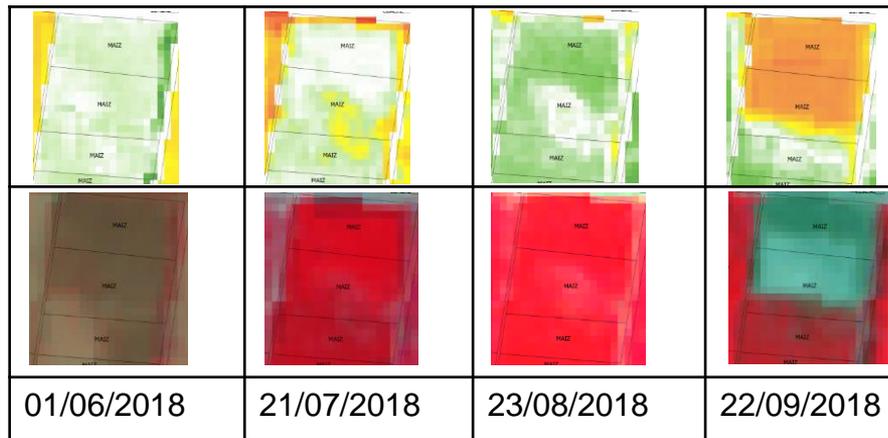
Aportación de la teledetección:

- ✓ Alerta temprana de problemas en parcela
- ✓ Fertilización variable
- ✓ Mapas de nutrientes
- ✓ Sanidad vegetal y control de plagas
- ✓ Aplicación de herbicidas y fitosanitarios
- ✓ Monitorización de la humedad en el suelo-sequía, etc

## 2 IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE PROBLEMAS EN PARCELA

Tratamiento estadístico de índices de vegetación.

Producto de seguimiento del vigor de un cultivo por comparación con el vigor medio del cultivo en la zona en cada fecha.

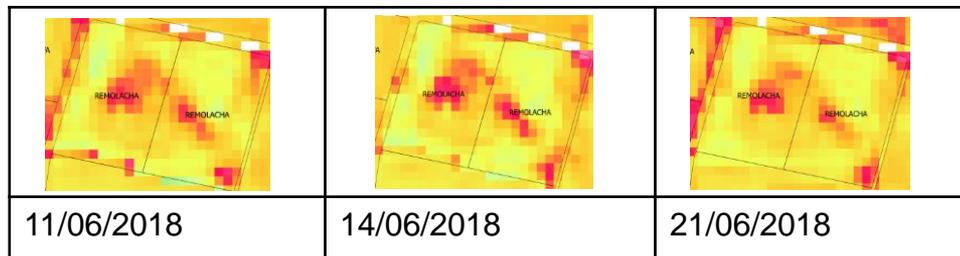


### Vigor interparcelas

- Vigor menor al esperado
- Vigor esperado
- Vigor mayor al esperado

Imagen de visualización RGB falso color

Producto de evolución del vigor dentro de la unidad de riego para detección precoz de problemas en el cultivo



### Vigor intraparcela

- Retraso en desarrollo
- Ligero retraso en desarrollo
- Desarrollo esperado
- Ligero adelanto en desarrollo
- Adelanto en desarrollo
- Sin dato

## 3

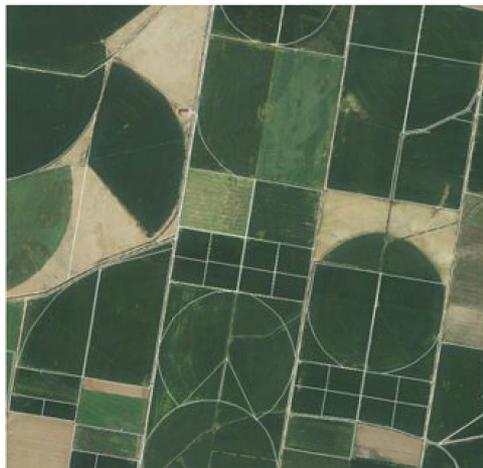
## FERTILIZACIÓN VARIABLE

Aplicación de modelos de rendimiento a partir de la biomasa en varias campañas. Proyecto **DEMETER**

- Evaluación de modelos a partir de eficiencia de uso de la luz y uso del agua
- Resultados más ajustados a rendimientos medidos en campo en campañas 2019-2022 con **modelo de eficiencia uso de la luz**:

$$\text{Rendimiento de cultivo} = \text{Biomasa} \cdot \text{IC}$$

$$\text{Biomasa} = \int_{t_0}^t \text{LUE} \cdot \text{APAR} \, d(t)$$



PARCELAS DE MAIZ SOBRE ORTOFOTO 2017



ZONIFICACION DE RENDIMIENTOS CON DATOS DEL TRIENIO



APAR: Radiación fotosintéticamente activa absorbida (MJ/m<sup>2</sup>)

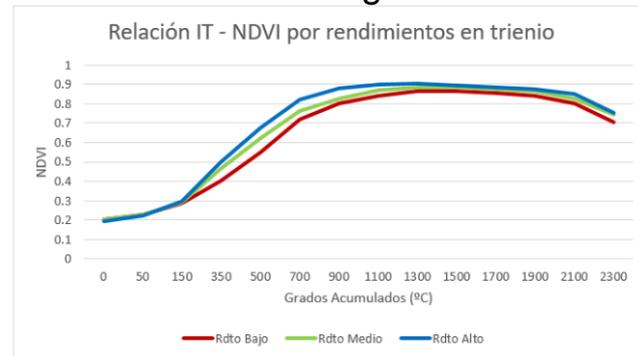
LUE: Eficiencia en el uso de la luz (g/MJ)

PAR: Radiación solar incidente → Estaciones SiAR

fAPAR: Fracción fotosintéticamente absorbida → f (NDVI)

### Mapas base para fertilización variable

Previsión de rendimiento en tiempo real con relación NDVI/integral térmica



# 4

# MAPA DE NUTRIENTES

## Mapas de contenido de nutrientes en el suelo (P2O5)

Estimación por medios convencionales

Estimación a partir de datos de Teledetección

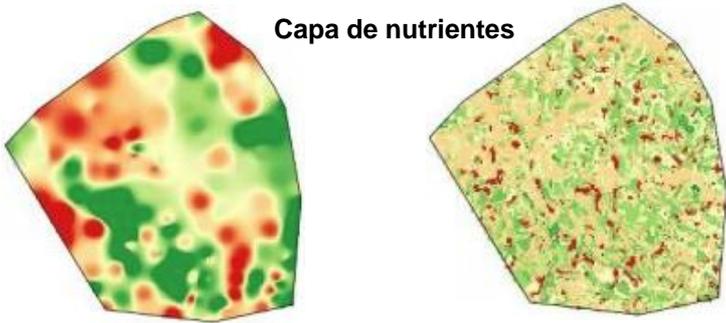
Muestreo en campo

Datos de entrada:  
Observación Remota

Interpolación: métodos deterministas o geostatísticos

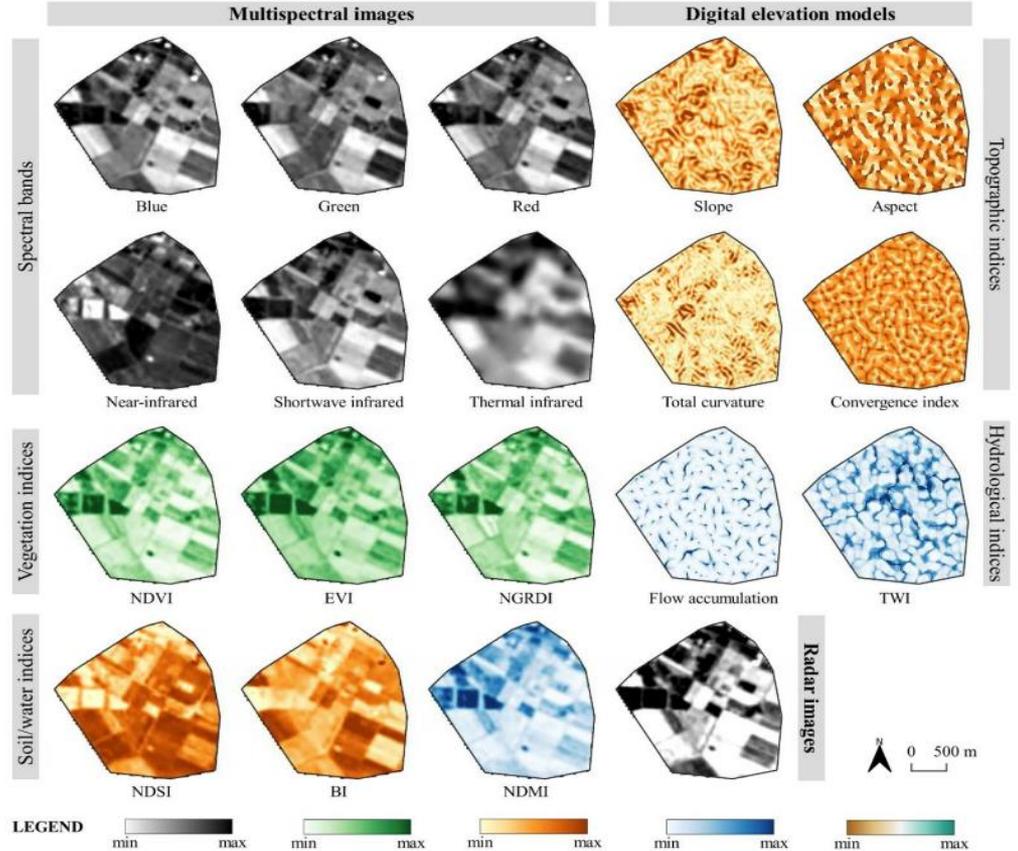
Predicción basada en algoritmos de Machine Learning (ML)

Capa de nutrientes



20

30 mg 100 g<sup>-1</sup>

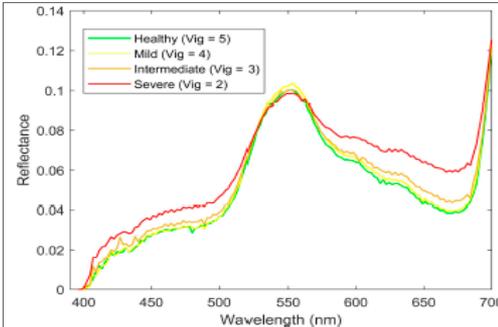
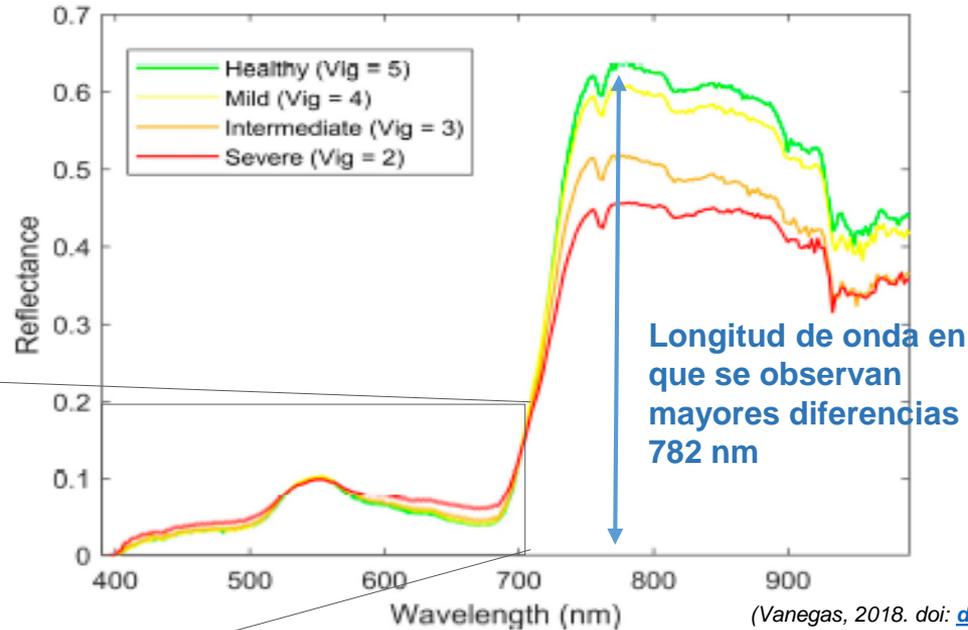
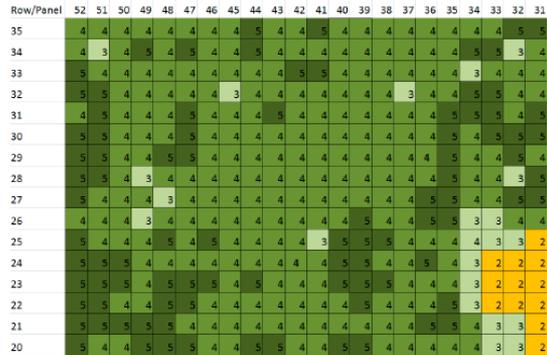


(Radocaj, 2022. doi: [10.3390/rs14030778](https://doi.org/10.3390/rs14030778))

### Caso de estudio identificación temprana de la Filoxera de la Vid con cámara multi e hiperespectral sobre RPAS

- > Síntomas: Amarillamiento (falta de clorofila, decaimiento de la vegetación, escasa brotación, etc.) -> Comienzan a aparecer después de 2-3 años de la infestación. Reducción del vigor
- > Detección -> inspección visual o trampas -> Pérdida de tiempo, estacionalidad, requiere de experiencia taxonómica.

#### Nivel de vigor de la vegetación y grado de infestación



$$PI1 = \frac{R_{522} - R_{504}}{R_{522} + R_{504}}$$

$$PI3 = \frac{R_{700} - R_{680}}{R_{700} + R_{680}}$$

$$PI2 = \frac{R_{551} - R_{562}}{R_{551} + R_{562}}$$

$$PI4 = \frac{R_{782} - R_{700}}{R_{782} + R_{700}}$$

(Vanegas, 2018. doi: [doi.org/10.3390/s18010260](https://doi.org/10.3390/s18010260))



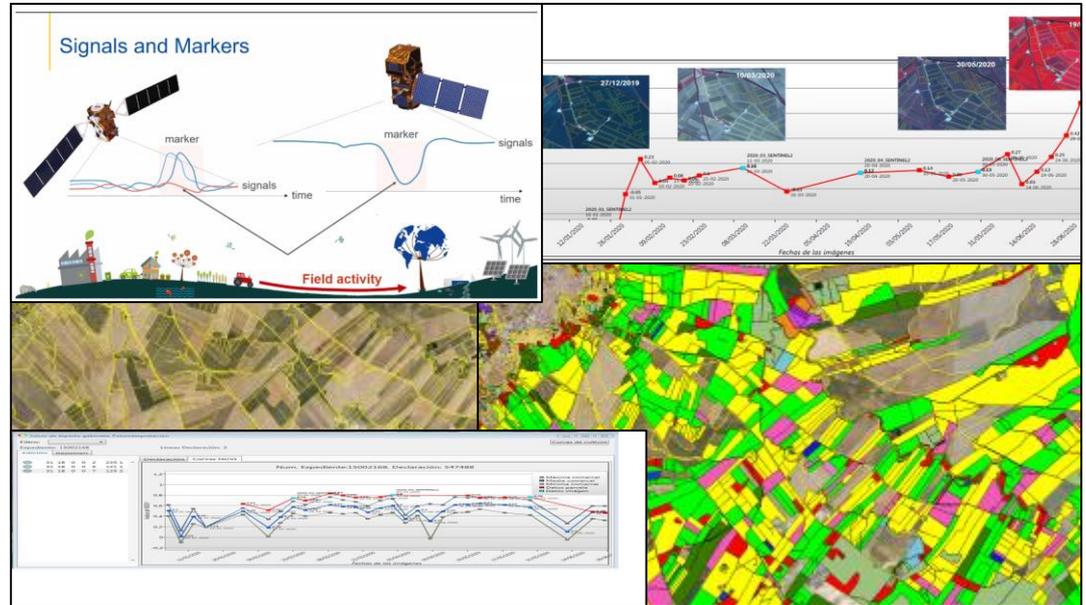
Afección foliar



Afección radicular

# Innovación en teledetección aplicada a la gestión del regadío.

María del Rosario Escudero  
Blanca Sánchez  
Tragsatec



➤ *Gracias por su atención*