

National Aeronautics and Space Administration
Desarrollado en colaboración con
Agriculture and Agri-Food Canada.



 UCLouvain

 esa



RUS

copernicus

Clasificación de Cultivos con Radar de Apertura Sintética y Teledetección Óptica

Extracción de Variables Biofísicas con Datos Ópticos, Como Apoyo al Monitoreo de Prácticas Agrícolas
Pierre Defourny y Sophie Bontemps - Universidad Católica de Louvain, Bélgica



Estructura del curso

5 Octubre, 2021

Recordatorio de Radar de Apertura Sintética (SAR)

7 Octubre, 2021

Recordatorio de Teledetección con Datos Ópticos & Introducción a SNAP

12 Octubre, 2021

Guía para la Clasificación Operativa de Cultivos con Datos Ópticos y de SAR (Parte 1)

14 Octubre, 2021

Guía para la Clasificación Operativa de Cultivos con Datos Ópticos y de SAR (Parte 2)

19 Octubre, 2021

Extracción de Variables Biofísicas con Datos Ópticos, Como Apoyo al Monitoreo de Prácticas Agrícolas

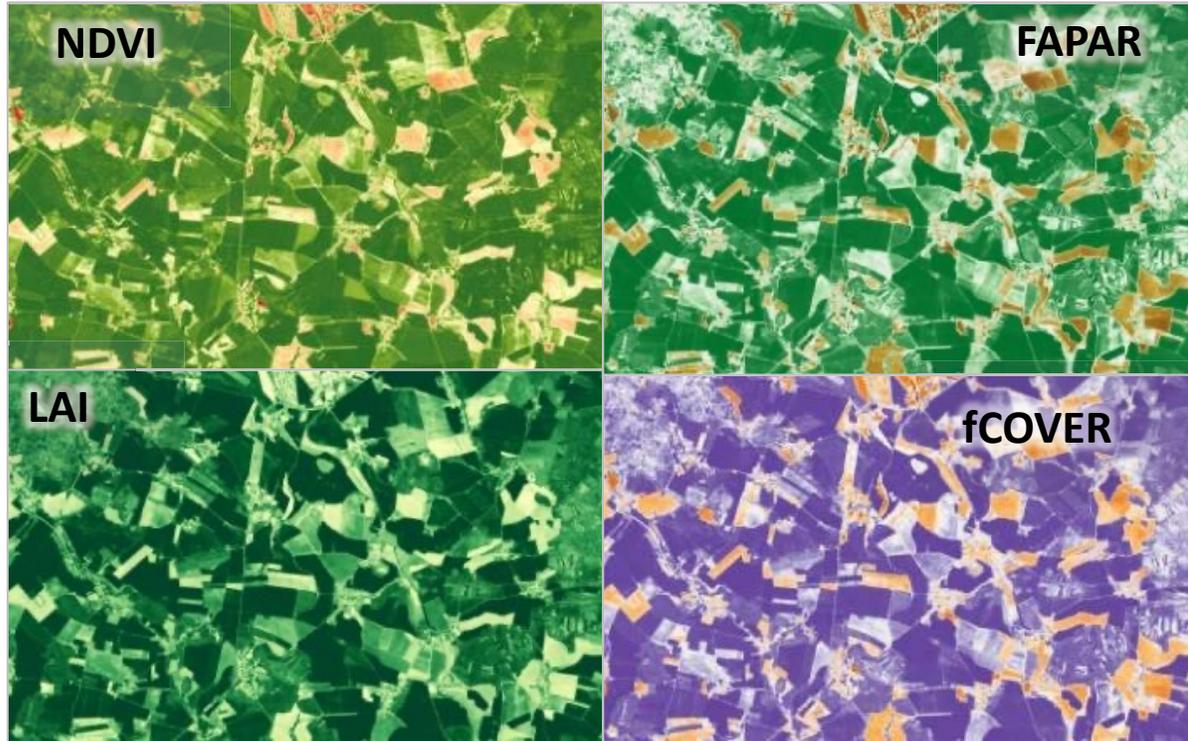
Objetivos de Aprendizaje

Al final de esta sesión, usted habrá aprendido:

- Cuál es la importancia de los índices espectrales para la agricultura
- Cuáles son las variables biofísicas relevantes para la agricultura
- Cómo calibrar modelos de extracción de variables biofísicas
- Cómo evaluar los rendimientos de la estimación de variables biofísicas
- Qué es la fenometría y cuál es su utilidad
- Cómo las variables biofísicas pueden apoyar el seguimiento de las prácticas agrícolas
- Cómo las variables biofísicas pueden respaldar las estimaciones del rendimiento de los cultivos
- Qué son las cajas de herramientas Sen2-Agri, Sen4CAP y Sen4Stat de la ESA

Tabla de contenidos

- Sección 1: Índices espectrales y variables biofísicas para la agricultura
- Sección 2: Calibración de modelos de extracción de variables biofísicas y evaluación de su rendimiento
- Sección 3: Fenometría para identificar la distribución y el momento de un cultivo determinado
- Sección 4: Seguimiento de las prácticas agrícolas
- Sección 5: Variables biofísicas como apoyo a la estimación del rendimiento
- Sección 6: Cajas de herramientas abiertas ESA Sen2-Agri / Sen4CAP / Sen4Stat
- Preguntas y respuestas y principales referencias

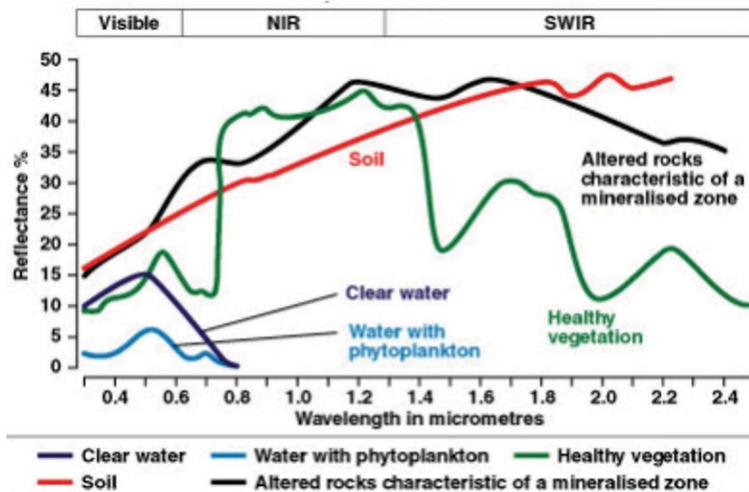
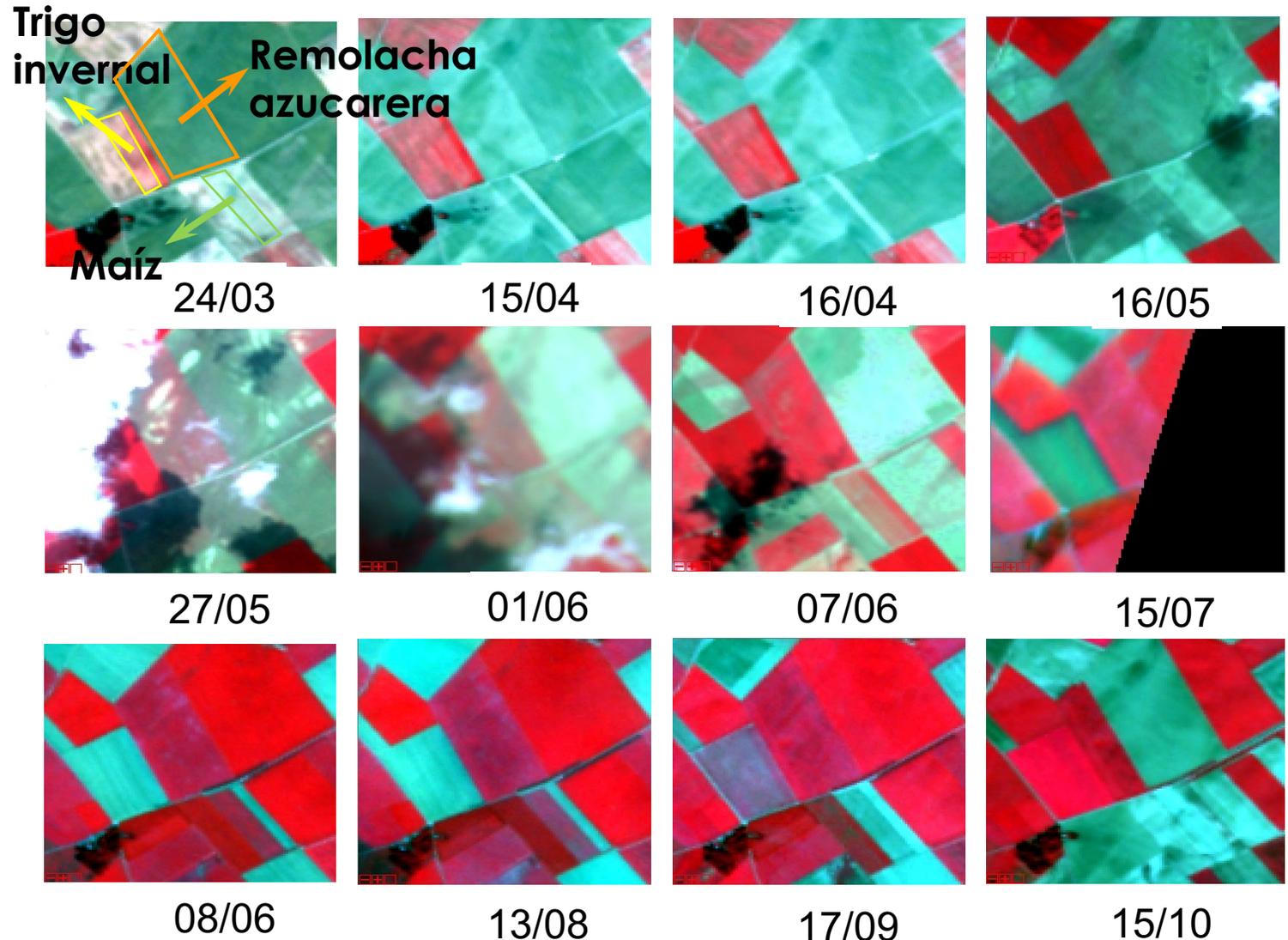


SECCIÓN 1: Índices Espectrales y Variables Biofísicas para la agricultura

Seguimiento del desarrollo de la vegetación a partir de la reflectancia espectral

Evaluación de cultivos por:

- mediciones en campo
- estimación de variables biofísicas a partir de UAV /observaciones satelitales
- índices espectrales o radiométricos que combinan varias bandas de reflectancia



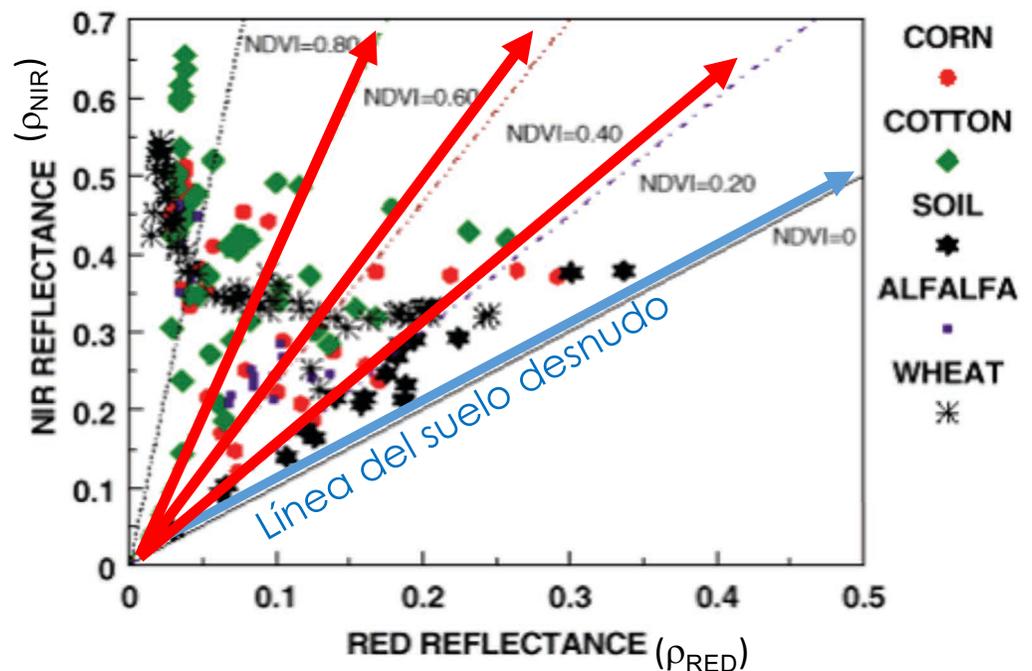
1. Índices espectrales: extraer señal específica de firma espectral

Los índices de vegetación basados en la absorción del rojo por la clorofila y en una alta reflectancia del infrarrojo cercano por la estructura de la hoja interna, mejoran la sensibilidad a la vegetación verde y minimizan otros efectos. (humedad del suelo, color del suelo, efectos atmosféricos residuales,...)

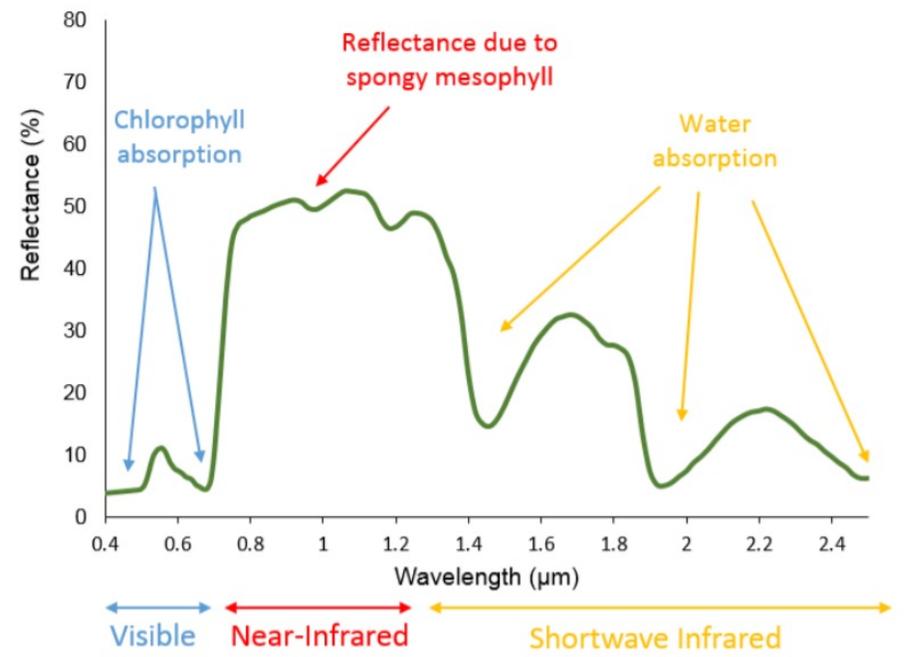
Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)

(~ biomasa verde)

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$



Cada punto corresponde a una observación de cultivo durante su ciclo de desarrollo (modificado a partir de de Lewis et al. UCLondon)



Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

(~ contenido de agua de la vegetación verde)

$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})}$$

Índices espectrales: NDVI, el índice de vegetación más popular

Un ciclo de cultivo corresponde a una transición progresiva de una firma espectral de suelo desnudo a un dosel de vegetación verde cerrado, y típicamente termina con la senescencia de la vegetación.

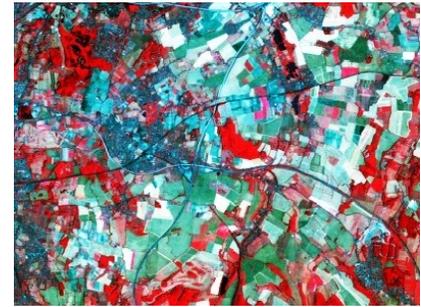
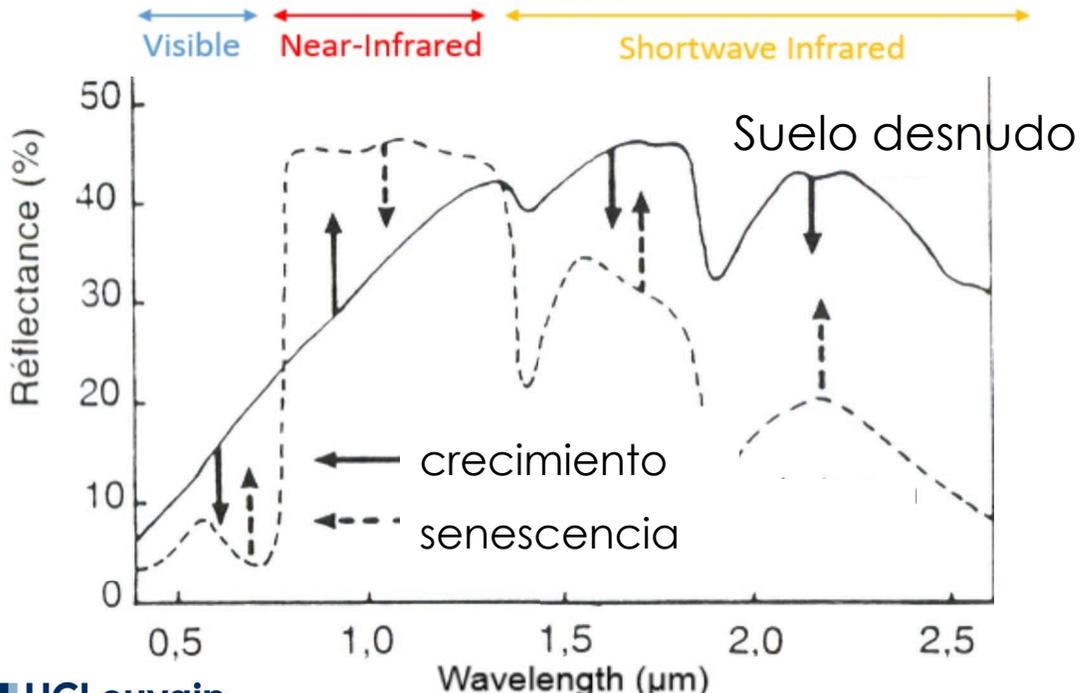


Imagen en color falso NIR



NDVI -1 0 1



Indices	Name	Formula
Chlogreen	Chlorophyll Green index	$\frac{\rho_{NIRnarrow}}{\rho_{Green} + \rho_{Rededge1}}$
GI	Greenness Index	$\frac{\rho_{Green}}{\rho_{Red}}$
gNDVI	Green normalized difference vegetation index	$\frac{\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Green}}{\rho_{NIRnarrow} + \rho_{Green}}$
MSAVI	Modified soil adjusted vegetation index	$1 - 2 \times a \times NDVI \times WDV_i$
MSI	Moisture stress index	$\frac{\rho_{SWIR1}}{\rho_{NIRnarrow}}$
ND _{RededgeSWIR}	Normalized Difference of Red-edge and SWIR2	$\frac{\rho_{Rededge2} - \rho_{SWIR2}}{\rho_{Rededge2} + \rho_{SWIR2}}$
NDVI	Normalized difference vegetation index	$\frac{\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Red}}{\rho_{NIRnarrow} + \rho_{Red}}$
NDVI _{re}	Red-edge normalized difference vegetation index	$\frac{\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Rededge1}}{\rho_{NIRnarrow} + \rho_{Rededge1}}$
PVI	Perpendicular vegetation index	$\frac{\rho_{NIRnarrow} - a \times \rho_{Red} - b}{\sqrt{a^2 + 1}}$
RededgePeakArea	Red-edge peak area	$\rho_{Red} + \rho_{Rededge1} + \rho_{Rededge2} + \rho_{Rededge3} + \rho_{NIRnarrow}$
RTVI _{core}	Red-edge Triangular Vegetation Index	$100 \times (\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Rededge1}) - 10 \times (\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Green})$
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$\frac{\rho_{NIRnarrow} - \rho_{Red}}{\rho_{NIRnarrow} + \rho_{Red} + L} \times L$ with $L = 0.5$
SR _{NIRnarrowBlue}	Simple ratio NIR narrow and Blue	$\frac{\rho_{Blue}}{\rho_{NIRnarrow}}$
SR _{NIRnarrowGreen}	Simple ratio NIR narrow and Green	$\frac{\rho_{Green}}{\rho_{NIRnarrow}}$
SR _{NIRnarrowRed}	Simple ratio NIR narrow and Red	$\frac{\rho_{Red}}{\rho_{NIRnarrow}}$
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	$\frac{a \times (\rho_{NIRnarrow} - a \times \rho_{Red} - b)}{\rho_{NIRnarrow} + \rho_{Red} - a \times b + 0,08 \times (1 + a^2)}$
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$\rho_{NIRnarrow} - a \times \rho_{Red}$

Vegetation discrimination

Índices espectrales: índices basados en el margen rojo

La región del margen rojo correspondiente a la zona de transición Rojo- Infrarrojo cercano (NIR), es la base de varios índices de vegetación relacionados con la **contenido de clorofila del dosel** o con el **contenido de nitrógeno del dosel**

Posición del margen rojo (REP) ~ longitud de onda específica donde el cambio de reflectancia alcanza su máxima (pendiente máxima) en la región 680 - 780 nm.
REP se traslada a longitudes de onda más largas según el contenido de clorofila aumenta

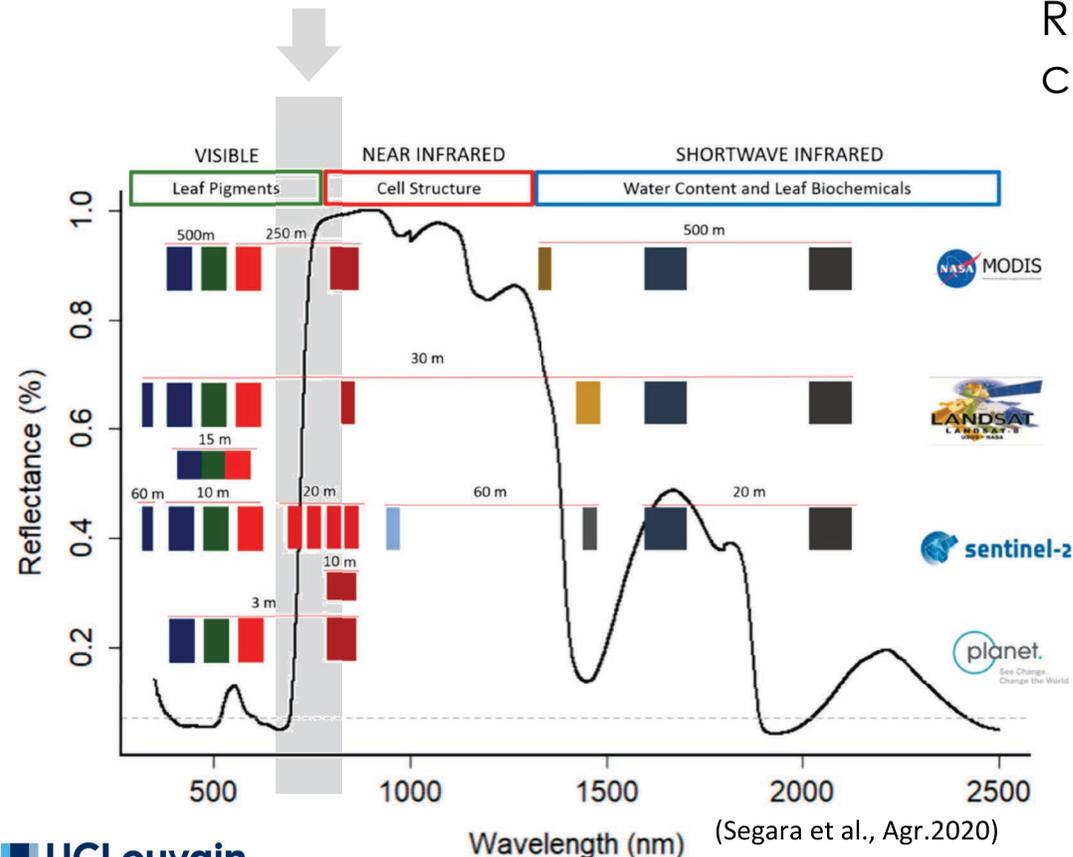


Table 7.3. Chlorophyll indices.

Name	Abbreviation	Index calculation	Parameter	Reference
Simple chlorophyll index (high sensitivity)	R675	R_{675}	Chlorophyll	Jacquemoud and Baret, 1990
Simple chlorophyll index (low sensitivity)	R550	R_{550}	Chlorophyll	Jacquemoud and Baret, 1990
Wavelength of the red edge	λ_{re}	The maximum slope in the reflectance spectra between the RED and NIR regions.	Chlorophyll and N status	Filella <i>et al.</i> , 1995
Amplitude in the 1st derivative of the reflectance spectra	dR_{re}	The maximum amplitude in the 1 st derivative of the reflectance spectra.	Chlorophyll and N status	Filella <i>et al.</i> , 1995
Sum of the amplitudes (680–780 nm) in the 1 st derivative of the reflectance spectra	$\sum dR_{680-780}$	Sum of the amplitudes between 680 and 780nm in the 1 st derivative of the reflectance spectra.	Chlorophyll and N status	Filella <i>et al.</i> , 1995
Normalized difference red edge	NDRE	$(R_{790} - R_{720}) / (R_{790} + R_{720})$	Chlorophyll and N status	Barnes <i>et al.</i> , 2000; Rodriguez <i>et al.</i> , 2006
Normalized phaeophytinization index	NPQI	$(R_{415} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$	Chlorophyll degradation	Peñuelas <i>et al.</i> , 1995b
Canopy chlorophyll content index	CCCI	Calibrated index using NDRE as function of NDVI.	Chlorophyll and N status	Barnes <i>et al.</i> , 2000; Fitzgerald <i>et al.</i> , 2006; Rodriguez <i>et al.</i> , 2006
Modified spectral ratio	MSR	$(R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{445})$	Chlorophyll concentration	Sims and Gamon, 2003
Pigment simple ratio	PSR	R_{430} / R_{680}	Carotenoid to chlorophyll ratio	Peñuelas <i>et al.</i> , 1993
Normalized difference pigment index	NDPI	$(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$	Carotenoid to chlorophyll ratio	Peñuelas <i>et al.</i> , 1993
Structural independent pigment index	SIPI	$(R_{800} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$	Carotenoid to chlorophyll ratio	Peñuelas <i>et al.</i> , 1995a
Photochemical reflectance index	PRI	$(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$	Radiation use efficiency	Peñuelas <i>et al.</i> , 1995a

(Reynolds et al., 20212)

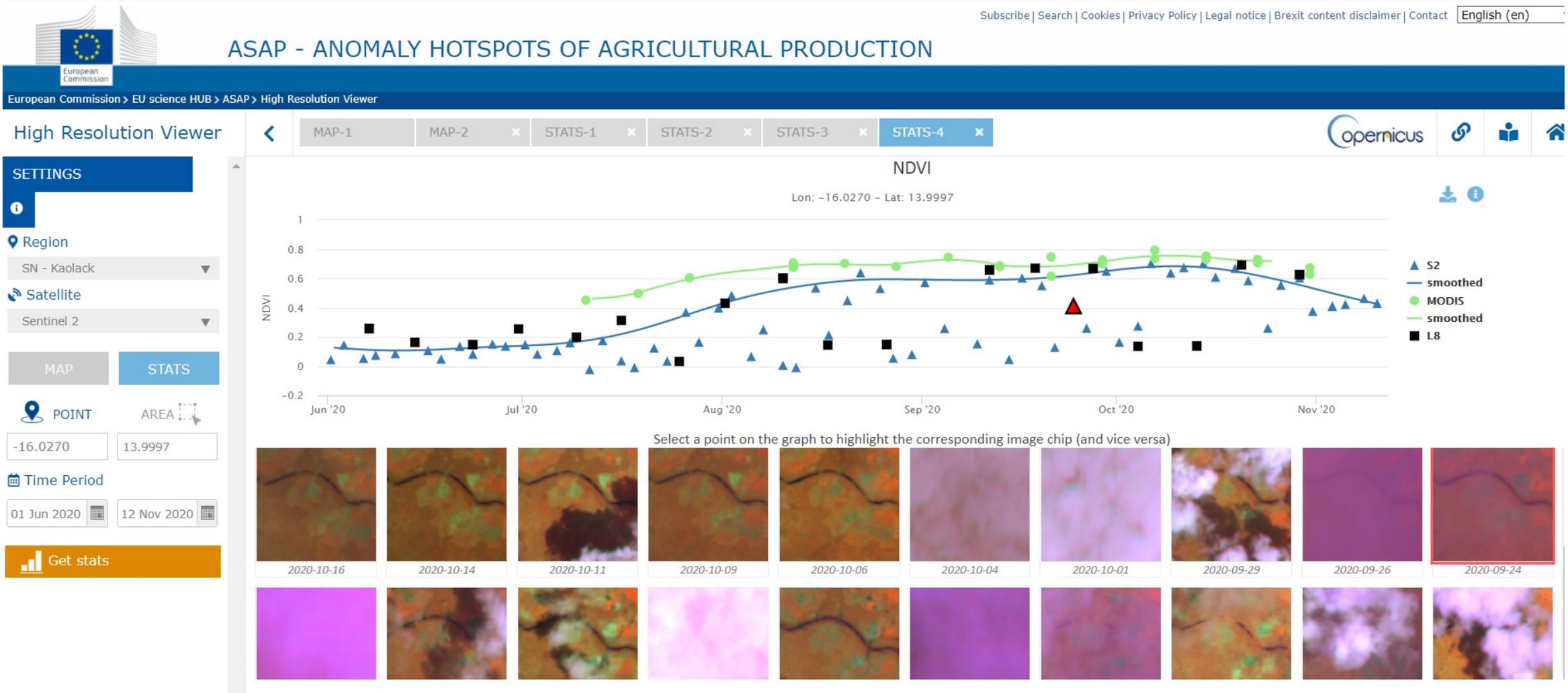
Índices espectrales: Visualizar índices en el [Sentinel-2 playground](https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/)

The screenshot displays the Sentinel-2 Playground interface. At the top, the header includes the Sentinel Hub logo, the date '2021-09-19', and a cloud cover of '10%'. A search bar with 'Go to Place' and zoom controls are also visible. On the left, a 'Rendering' sidebar lists various spectral indices with their corresponding band combinations:

- Custom
- Natural color (Based on bands 4,3,2)
- Color Infrared (vegetation) (Based on bands 8,4,3)
- Vegetation Index (Based on combination of bands (B8 - B4)/(B8 + B4))
- False color (urban) (Based on bands 12,11,4)
- Moisture index (Based on combination of bands (B8A - B11)/(B8A + B11))
- SWIR (Based on bands 12,8A,4)
- NDWI (Based on combination of bands (B3 - B8)/(B3 + B8))

The main display area is divided into three vertical panels. The left panel shows the 'Natural color' rendering of the satellite imagery. The middle panel shows the 'NDVI' (Normalized Difference Vegetation Index) map, with the text 'NDVI' overlaid in white. The right panel shows the 'NDWI' (Normalized Difference Water Index) map, with the text 'NDWI' overlaid in white. A 'GENERATE' button is located at the bottom of the sidebar.

Índices espectrales: Perfil temporal muy afectado por perturbaciones atmosféricas



<https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/hresolution/?region=0>

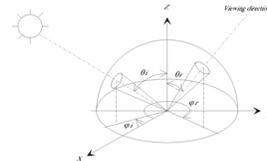
Índices espectrales - Extraerlos únicamente de imágenes L2A

Los índices espectrales normalizados minimizan el ruido de la señal y las perturbaciones atmosféricas residuales, pero siempre deben calcularse a partir de imágenes de reflectancia de superficie de Nivel 2A (L2A) producidas con una buena corrección atmosférica (para aerosoles, agua vapor, ozono) y con mascararas eficientes de nubes y de sombras de nubes.



0	No Data (Missing data on projected tiles) (black)	
1	Saturated or defective pixel (red)	
2	Dark features / Shadows (very dark grey)	
3	Cloud shadows (dark brown)	
4	Vegetation (green)	
5	Bare soils / deserts (dark yellow)	
6	Water (dark and bright) (blue)	
7	Cloud low probability (dark grey)	
8	Cloud medium probability (grey)	
9	Cloud high probability (white)	
10	Thin cirrus (very bright blue)	
11	Snow or ice (very bright pink)	

En este caso, normalizar = el índice espectral incluye la división por la suma de las bandas utilizadas. Esto reduce los efectos angulares de la observación bidireccional.



Capas utilizadas para enmascarar nubes y sombras de nubes y en el algoritmo de corrección atmosférica

Índices espectrales - bandas que varían según el sensor

La firma espectral y los índices espectrales derivados pueden ser sensibles a muchas variables de interés de la vegetación, según la longitud de onda y el ancho de banda registrados por el sensor del satélite.

La [Base de datos de índices](#) por ejemplo, proporciona la fórmula de más de 300 índices para la mayoría de los instrumentos satelitales

Index DataBase
A database for remote sensing indices

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

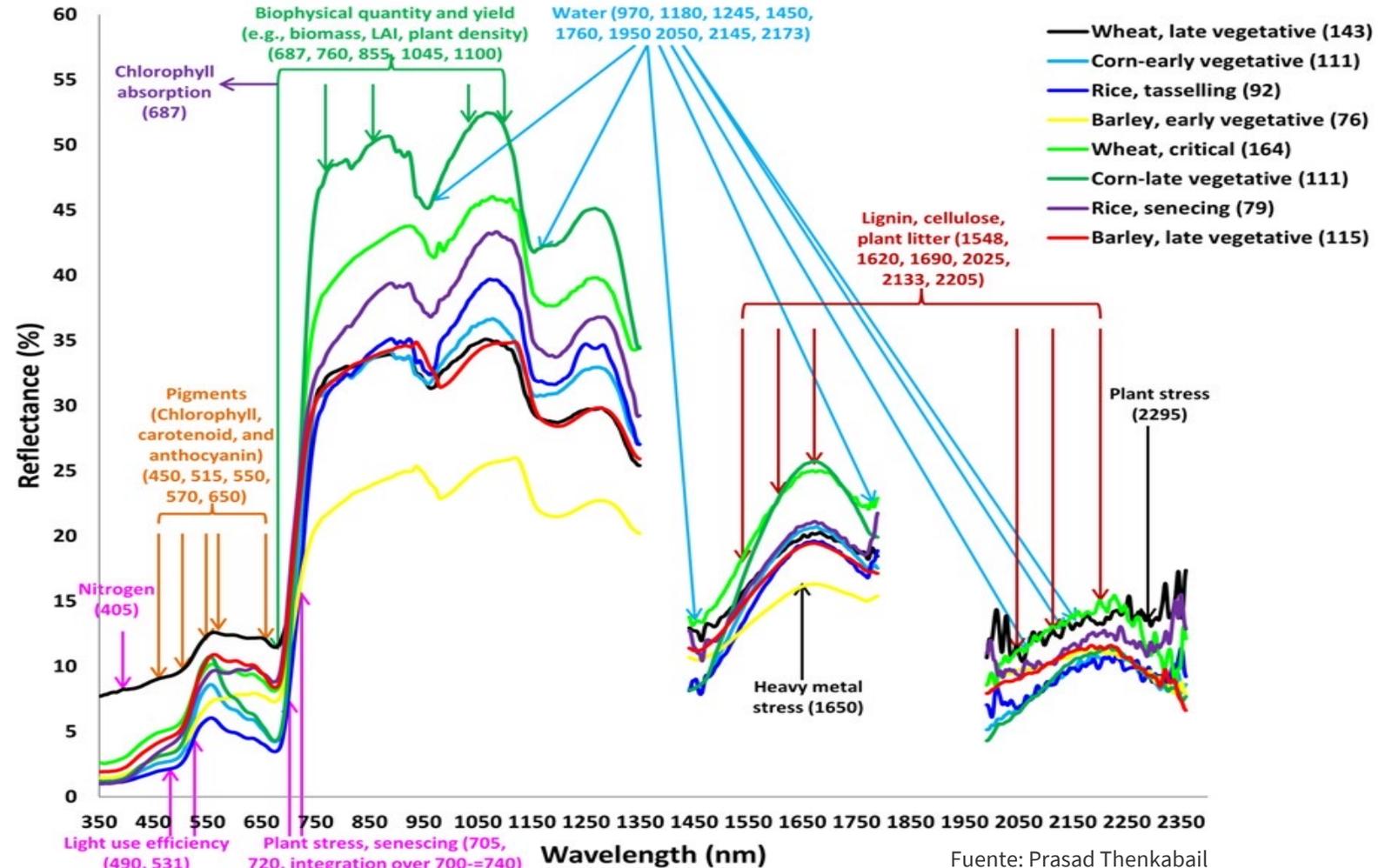
List of available indices

Order by: Name [v] • Abbreviation [v] • Applications [v] • Sensors [v] • References [v]

Page 1 of 2 [1] [2] > >

#	Name	Abbrev.	Formula	Variables	Source	# Sats.	# Appl.	# Ref.
1	Adjusted transformed ash-adjusted VI	ATSAVI	$\frac{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{NIR}, \rho_{SWIR}$	Original Formula	87	2	3
2	Normalized free vegetation index 1600	AFR1600	$\frac{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{NIR}, \rho_{SWIR}$	Original Formula	57	3	2
3	Normalized free vegetation index 2100	AFR2100	$\frac{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{NIR}, \rho_{SWIR}$	Original Formula	59	3	2
4	Alteration		$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}$	ρ_{NIR}, ρ_{SWIR}	Derived	25	3	1
5	Alumina/Kaolinite/Synphyllite		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	13	3	1
6	Amphibole		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	13	3	1
7	Amphibole / MgOH		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	12	2	1
8	Anthocyanin reflectance index	ARI	$\frac{\rho_{405} - \rho_{550}}{\rho_{405} + \rho_{550}}$	ρ_{405}, ρ_{550}	Original Formula	38	2	1
9	Anthocyanin reflectance index	ARI	$\frac{\rho_{405} - \rho_{550}}{\rho_{405} + \rho_{550}}$	ρ_{405}, ρ_{550}	Original Formula	38	2	1
10	Anthocyanin reflectance index	ARI	$\frac{\rho_{405} - \rho_{550}}{\rho_{405} + \rho_{550}}$	ρ_{405}, ρ_{550}	Original Formula	38	2	1
11	Anthocyanin reflectance index	ARI	$\frac{\rho_{405} - \rho_{550}}{\rho_{405} + \rho_{550}}$	ρ_{405}, ρ_{550}	Original Formula	38	2	1
12	Average reflectance 750 to 850	AR750/850	$\frac{\rho_{750} + \rho_{850}}{2}$	ρ_{750}, ρ_{850}	Original Formula	28	1	2
13	Basic Degree Index - SIO2		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	5	3	2
14	Blue-wide dynamic range vegetation index	BWDRVI	$\frac{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{1 - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{NIR}, \rho_{SWIR}$	Original Formula	71	1	1
15	Browning Reflectance Index	BR1	$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Original Formula	35	1	1
16	Canopy Chlorophyll Content Index	CCCI	$\frac{\rho_{405} - \rho_{550}}{\rho_{405} + \rho_{550}}$	ρ_{405}, ρ_{550}	Original Formula	69	4	3
17	Carbonate		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	6	2	2
18	Carbonate/Chlorite/Epidote		$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Derived	12	3	1
19	CASE NDVI	CASE NDVI	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}$	ρ_{NIR}, ρ_{SWIR}	Original Formula	18	3	1
20	CASE TIR/2	CASE TIR/2	$\frac{\rho_{1600} - \rho_{2100}}{\rho_{1600} + \rho_{2100}}$	ρ_{1600}, ρ_{2100}	Original Formula	18	3	1
21	Cellulose Absorption Index	CAI	$\frac{1 - \rho_{1600} - \rho_{2100}}{1 - \rho_{1600} - \rho_{2100} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{1600}, \rho_{2100}$	Original Formula	10	3	0
22	Cellulose absorption index 2	CAI	$\frac{1 - \rho_{1600} - \rho_{2100}}{1 - \rho_{1600} - \rho_{2100} + \rho_{VIS}}$	$\rho_{VIS}, \rho_{1600}, \rho_{2100}$	Original Formula	9	3	4

<https://www.indexdatabase.de/db/i.php>



Fuente: Prasad Thenkabail

2. Estimación de variables biofísicas para aplicaciones agrícolas

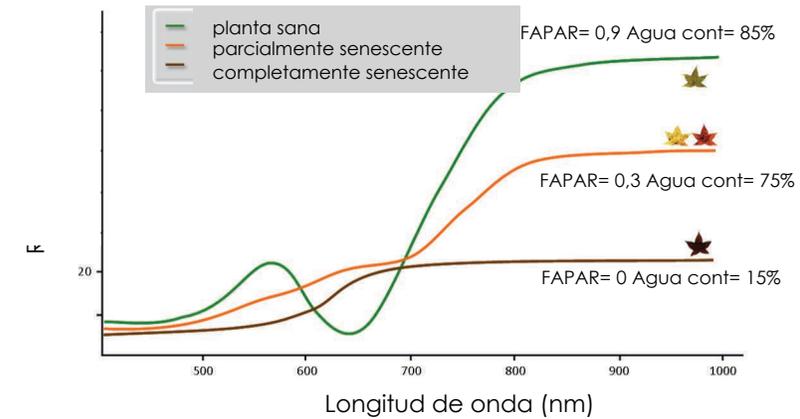
Las variables biofísicas son rasgos de las plantas o características de interés que se pueden medir en el suelo y posiblemente estimar mediante teledetección a varias escalas dependiendo de la resolución espacial del sensor (a nivel de hojas, plantas, dosel y paisaje).

Rasgos del cultivo

Procesos

	LAI	FAPAR	FCOVER	Albedo	Chlorophyll	Water-content	SLA	soil brightness	Temperature
Photosynthesis	+++	+++			+++		++		
Evapotranspiration	++	+++	+++	++		++			+++
Respiration	++								
Nitrogen	+++				+++				
Phenology	+++	++	++						
Lodging									
Impact of pests	+++								
Soil permanent charac.								+++	
Residues									

(Baret, 2016)

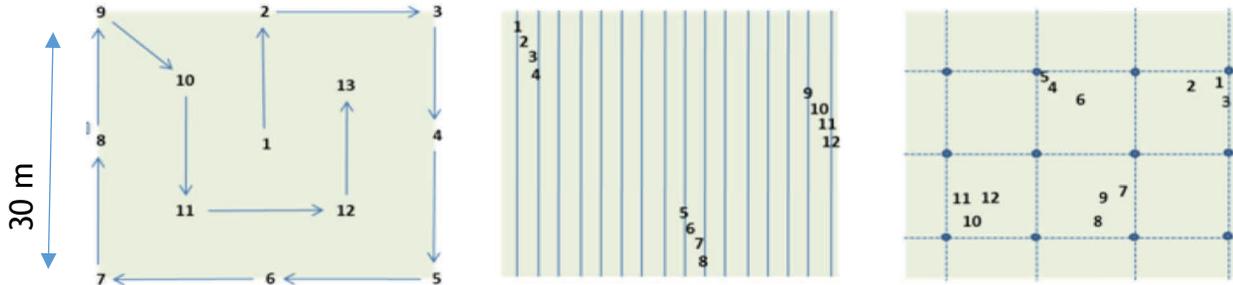
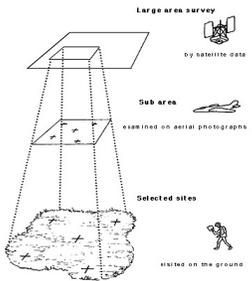


2.1. Variables biofísicas: mediciones del suelo como referencia

Los datos de campo son **observaciones de referencia para calibración y / o validación**.

Unidad de Muestreo Elemental (UME) : datos de campo que representen el área correspondiente a un solo píxel o un pequeño grupo de píxeles (típicamente 3x3 píxeles) georreferenciados con precisión.

Protocolo de muestreo dentro de una UME : estima el valor medio sobre la UME ya que la huella de la observación de campo es generalmente mucho más pequeña que el tamaño de una UME.



Muestreo típico de UME para vegetación plantada de manera aleatoria (izd) , en filas (centro) y con patrón regular (dcha).

Los números se refieren a la ubicación de las medidas individuales.



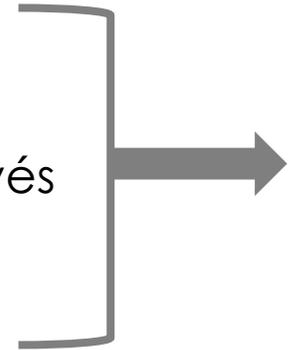
Opciones críticas para las UME:

- **Número** : los conjuntos de datos de calibración y validación idealmente superan las 30 UME, respectivamente
- **Localización** : a una distancia razonable (i.e. 1 o 2 píxeles) de los bordes de una cubierta terrestre diferente
- **Momento**: lo más cercano al día de adquisición del satélite y en un momento apropiado del ciclo diurno
- **Homogeneidad**: para que los UME sean representativos a partir de número limitado de datos de campo por UME
- **Diversidad**: conjunto de UMEs cubriendo todo el rango de valores de los datos de campo observados en el área
- **Tamaño** : se debe considerar que la función Point Spread hace coincidir la UME con la huella correspondiente del sensor en órbita.

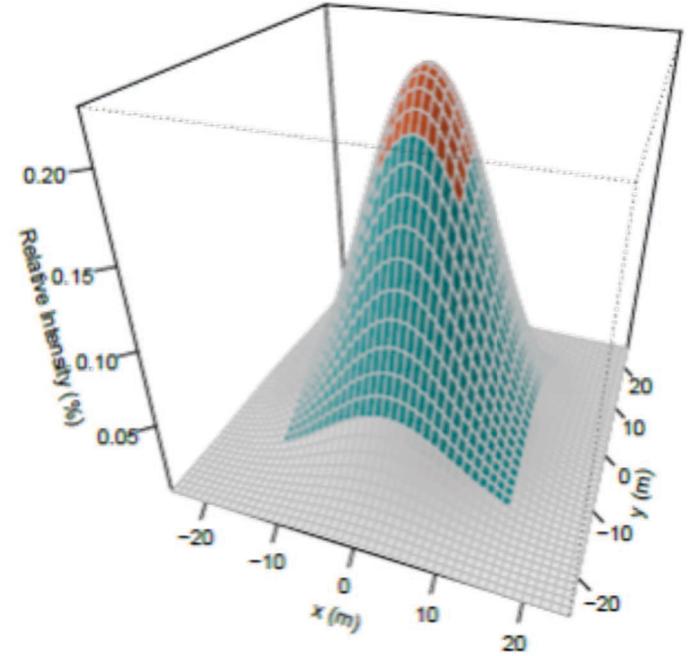
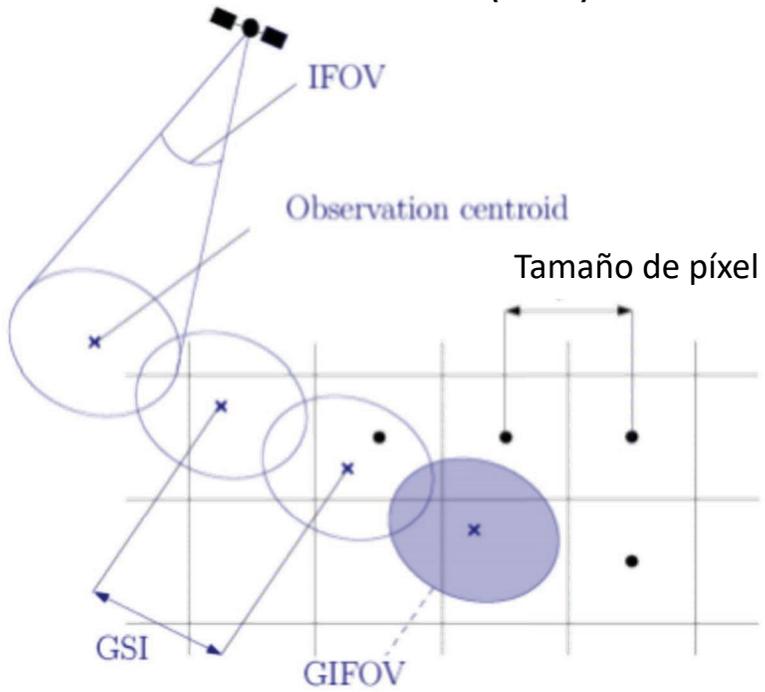
Variables biofísicas: huella de medición satelital

Huella de la observación del instrumento en órbita \neq tamaño de píxel

- Campo de Visión Instantáneo (IFOV)
- IFOV sobre el Terreno (GIFOV)
(IFOV proyectado sobre el terreno que varía a través de la trayectoria del satélite y se mejora usando la curvatura de la Tierra)
- Intervalo de Muestreo terrestre (GSI)



Función Point Spread (PSF) que describe la respuesta de un sistema de imágenes a un objeto puntual



Contribución relativa a la medición del instrumento

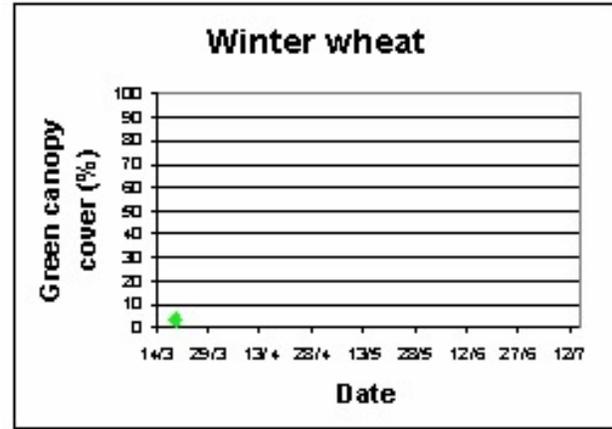
Rojo: área GIFOV
Rojo + Azul: área de contribución efectiva para la medición de la radiancia

(Radoux et al., 2016)

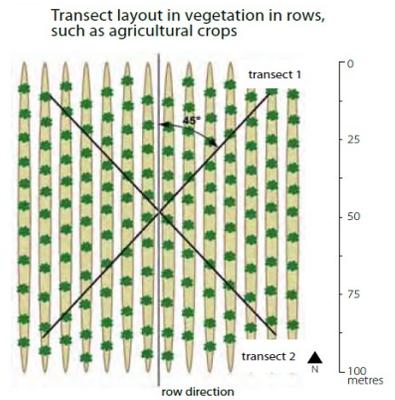
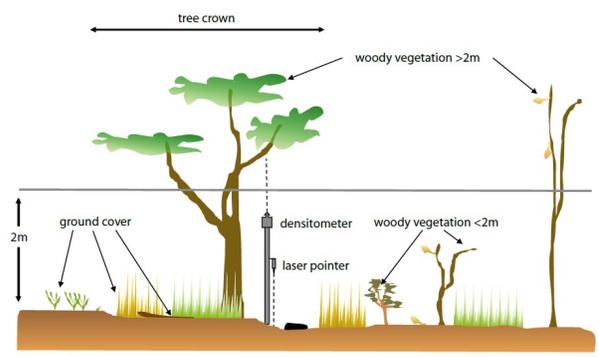
2.2. Variables biofísicas -fCover

Fracción de cobertura (fCover): fracción de cobertura verde visto desde la dirección del nadir

- variable estructural del dosel adimensional
- independiente de geometría de iluminación (a diferencia de FAPAR)
- muy sensible a una fracción de cobertura baja
- se alcanza saturación al 100% antes del desarrollo completo de la planta



Mediciones de fCover con lidar o fotografía vertical



Fuente: Medición de campo de la cobertura vegetal fraccionada, Australia 2011

Variables biofísicas - FAPAR



Fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR)
~ equilibrio entre PAR incidente y transmitido (400-700 nm) a través del dosel

- valor adimensional que va de 0 a casi 1 para la vegetación completamente verde
- utilizado para describir procesos de fotosíntesis y evapotranspiración
- depende también de las condiciones de iluminación (posición angular del sol y contribuciones relativas de la iluminación directa y difusa (cielo negro o cielo blanco))

Mediciones :

- Con una instalación permanente para calcular el equilibrio PAR con mediciones continuas que cubren la variabilidad de la iluminación a lo largo de días y / o estaciones.
- estimado a partir de la medición de PAR transmitida en la parte inferior del dosel (los llamados ceptómetros)



Ceptómetro Accupar



USDA-ARS

$$\text{Biomasa} = \int_{time} PAR_i \cdot fAPAR(time) \cdot \varepsilon_b$$

ε_b = Eficiencia de Use de la Luz (LUE)

Variables biofísicas: contenido de clorofila del dosel (CCC)

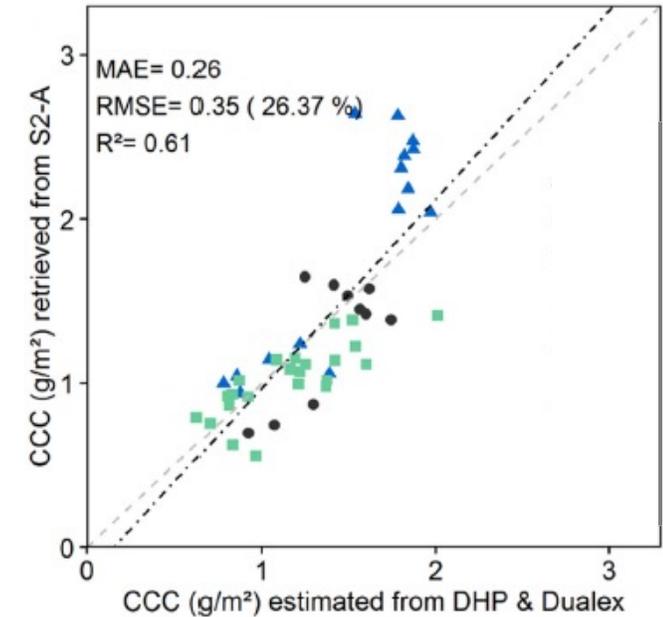
CCC es el **cantidad total de pigmentos de clorofila ayb** en un grupo contiguo de plantas por unidad de superficie terrestre (en g / m²)

- estrechamente ligado al contenido de nitrógeno de la planta (fertilización)
- baja absorción de clorofila a 550 nm, sensible a una gran variedad de CCC, no se satura fácilmente pero menos sensible a cambios de clorofila
- reflectancia a 675 nm muy sensible a cambios en contenido de clorofila pero solo para valores bajos de CCC

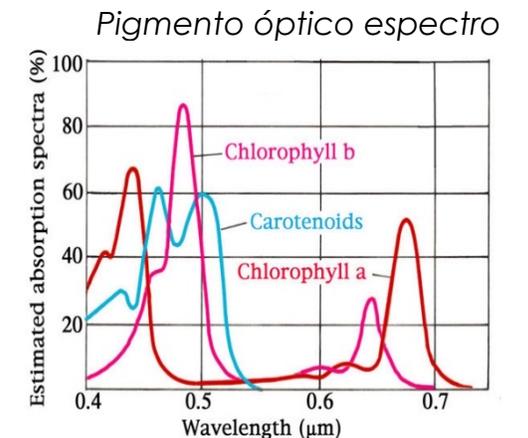
Datos de campo de CCC utilizando un medidor de mano de una sola hoja que mide la clorofila usando transmitancia de luz a 650 nm y 940 nm (por ejemplo, utilizando SPAD o un instrumento Dualex)



cloroplasto



(Delloye et al., RSE2018)



Variables biofísicas - Índice de Superficie Foliar (LAI)

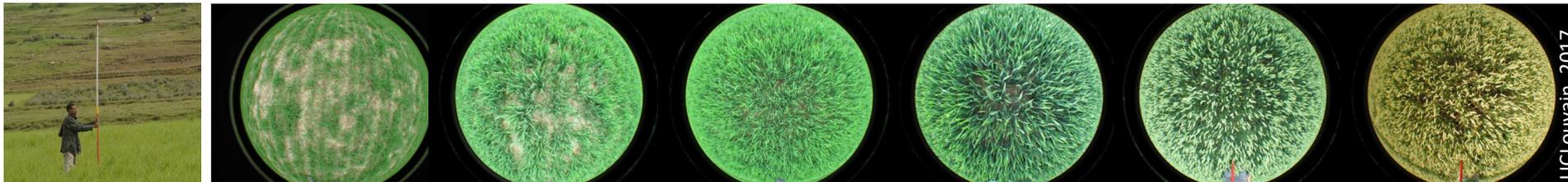
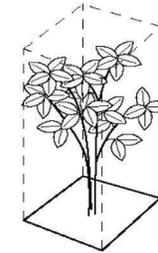


En particular **Índice de Áreas Verdes (IAV)**



➤ **IAV Verdadero:** mitad del área desarrollada con elementos verdes por unidad de superficie horizontal del suelo (mediciones destructivas)

➤ **IAV Efectivo:** valor recuperado de la fracción verde (fracción de brecha), mediciones basadas en suposición de medio turbio (DHP, LAI2200)



Medición de IAV terrestre obtenida de Fotografía Hemisférica Digital (DHP) utilizando el software Can-eye

➤ **IAV Aparente:** valor recuperado de las observaciones de teledetección que depende de los supuestos asociados al algoritmo de estimación (e.g. orientación de la hoja, aglutinando de hojas)

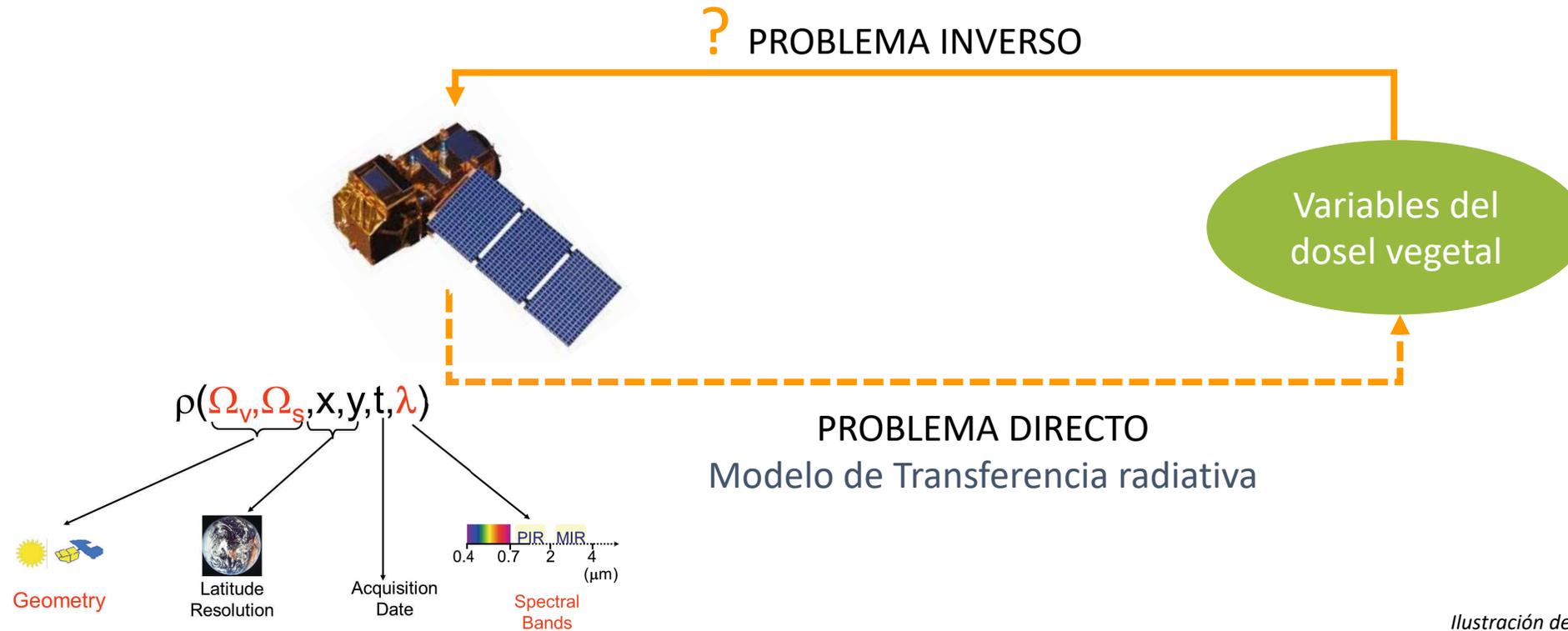


Ilustración de Weiss – Curso Avanzado de la ESA 2019

SECCIÓN 2: Calibración de modelos de extracción de variables biofísicas y evaluación de su rendimiento

1. Extracción de variables biofísicas - modelos empíricos

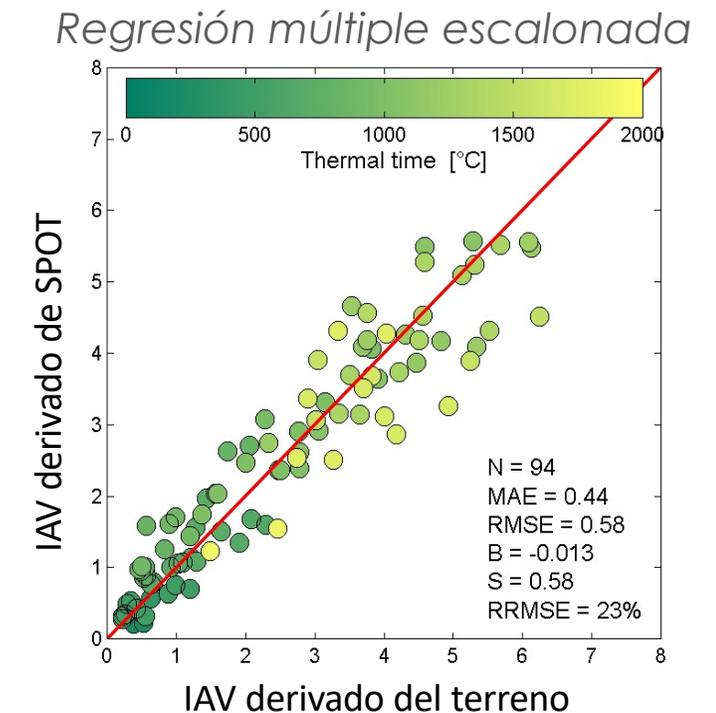
Modelos empíricos que usan regresión estadística o relaciones de aprendizaje automático

- **Calibración** entre índices o valores de reflectancia espectral y los valores de referencia correspondientes (típicamente a partir de datos de campo)
- **Validación** usando un conjunto de datos independiente para estimar el error de predicción del modelo

Los modelos empíricos calibrados localmente son válidos para el área y condiciones correspondientes a la calibración del conjunto de datos

versus

Modelos basados en la física transponibles a otras áreas y condiciones, ya que están diseñadas para ser genéricas



MAE: Error Medio Absoluto

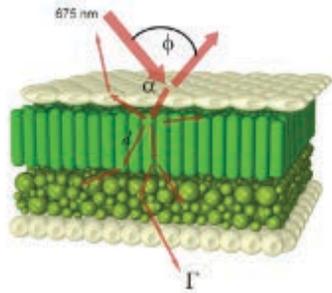
RRMSE: Error Cuadrático Medio Relativo de la Raíz

(Duveiller et al. RSE 2011)

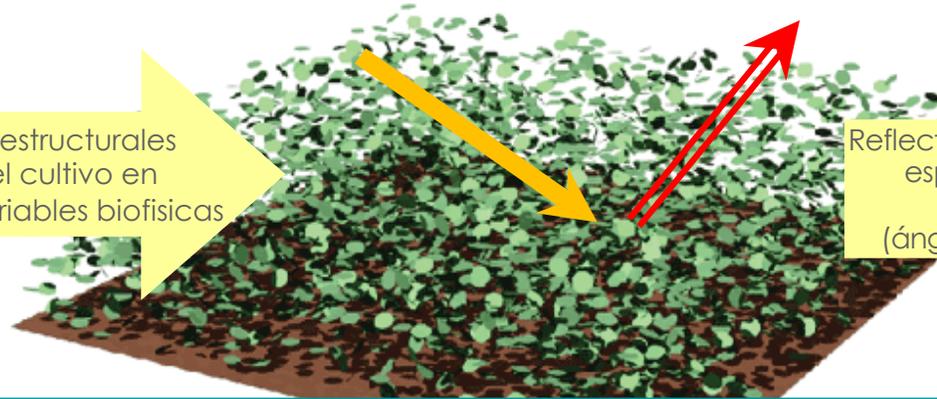
2. Extracción de variables biofísicas - modelos basados en la física

Extracción de IAV mediante inversión del Modelo de Transferencia Radiativa (RT) utilizando una red neuronal (NN)

Modelo PROSPECT RT a nivel de hoja

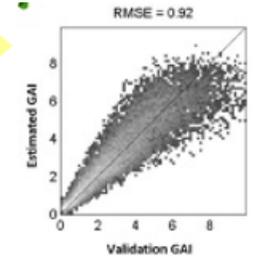


Propiedades estructurales y ópticas del cultivo en 3-D (incluidas variables biofísicas)



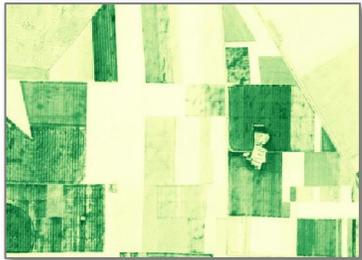
Reflectancia simulada para bandas espectrales y observaciones Geométricas (ángulos del sol y de los satélites)

Simulación de rendimientos (solo valores de modelo)

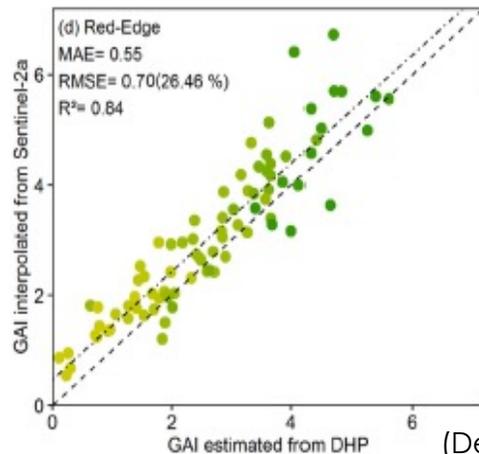


Método de extracción usando Modelo Calibrado de NN

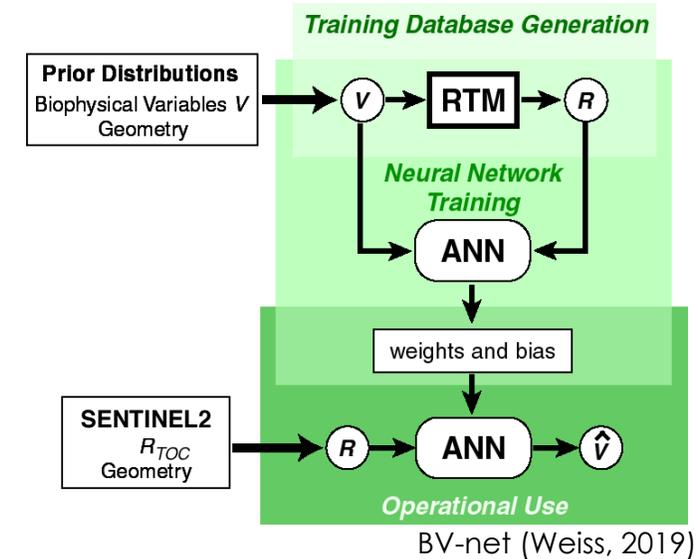
Fuente: http://fapar.jrc.ec.europa.eu/WWW/Data/Pages/FAPAR_Software/Images/semi-discrete.gif



Validación real de rendimientos de la extracción (validación a partir de mediciones en campo)



(Delloye et al., RSE 2018)

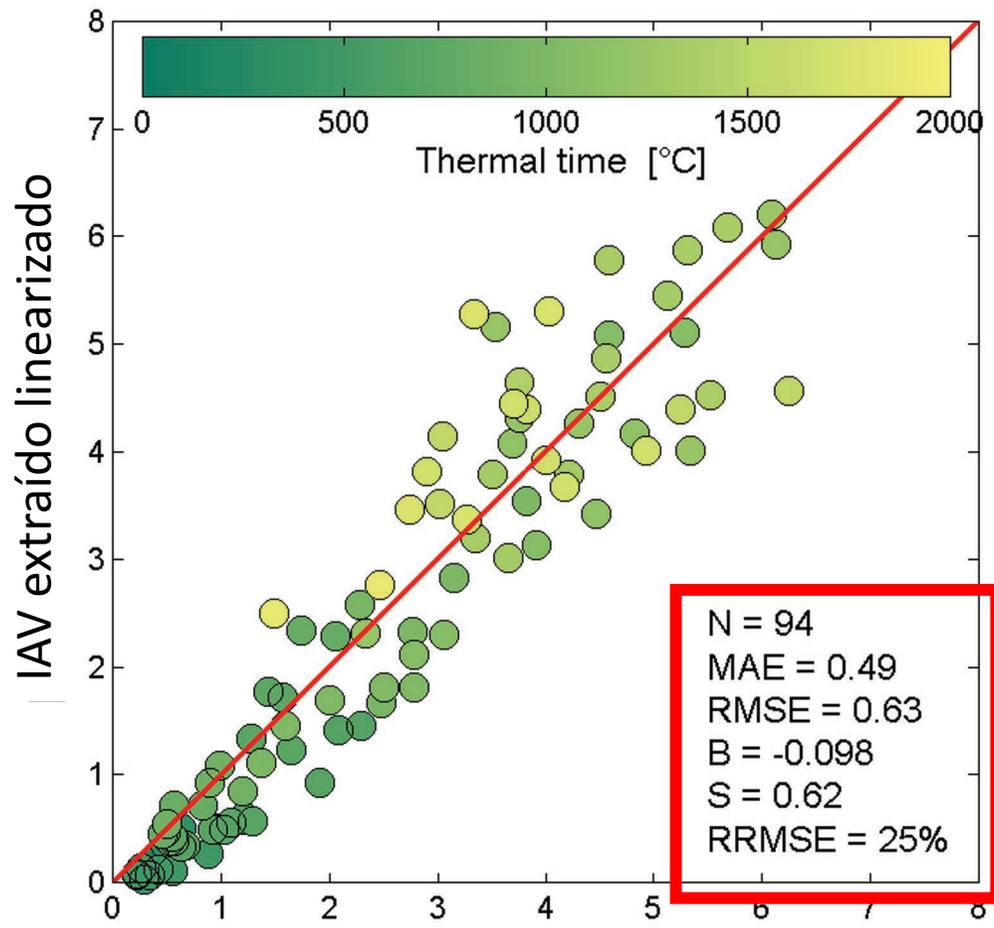


BV-net (Weiss, 2019)



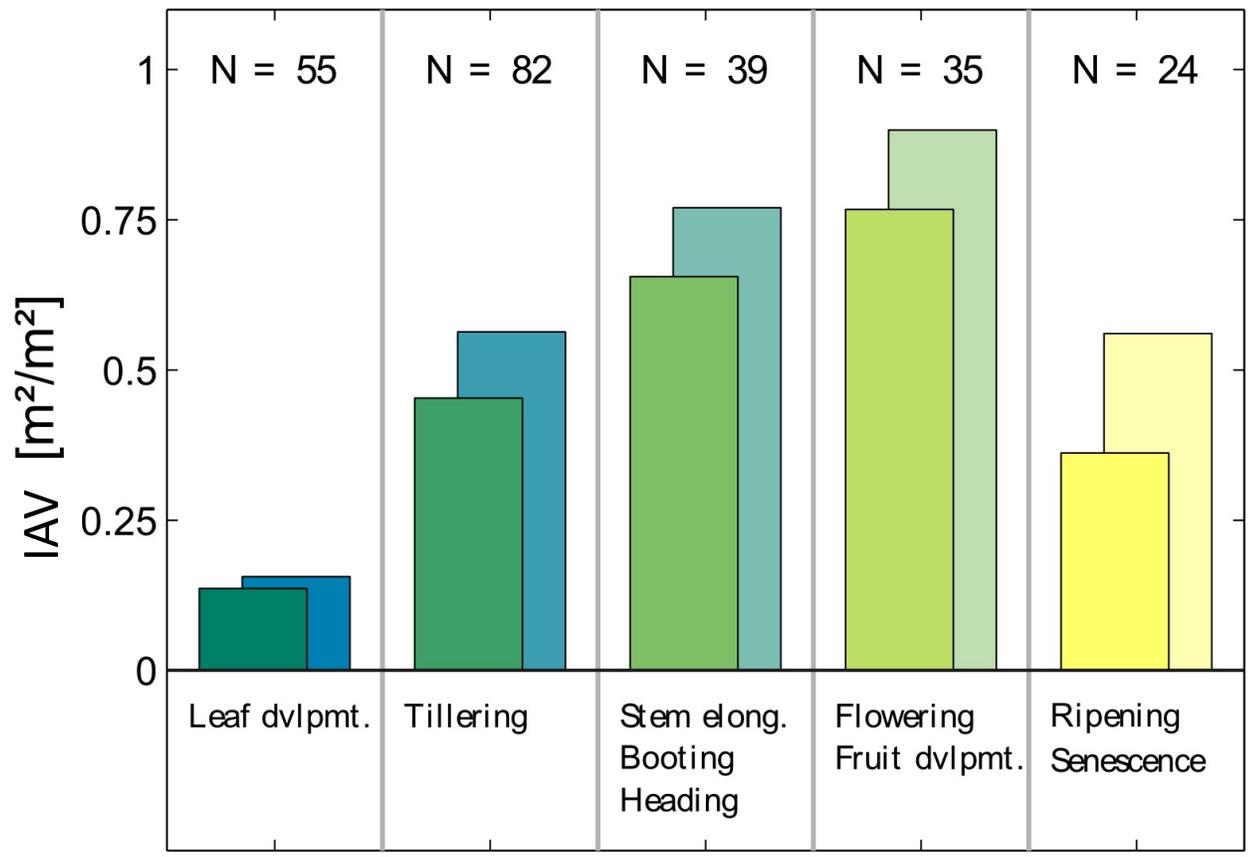
3. Extracción de variables biofísicas - evaluación del rendimiento

Validación de IAV extraído usando NN & Modelo RT



Error de IAV según etapa de desarrollo

IAV (columna delantera) & RMSE (columna trasera)



MAE: Error Medio Absoluto
 RRMSE: Error Cuadrático Medio Relativo de la Raíz

(Duveilleret al. RSE 2011)

Extracción de variables biofísicas - evaluación del rendimiento

Sesgo y RMSE Relativo del IAV extraído según la etapa de desarrollo

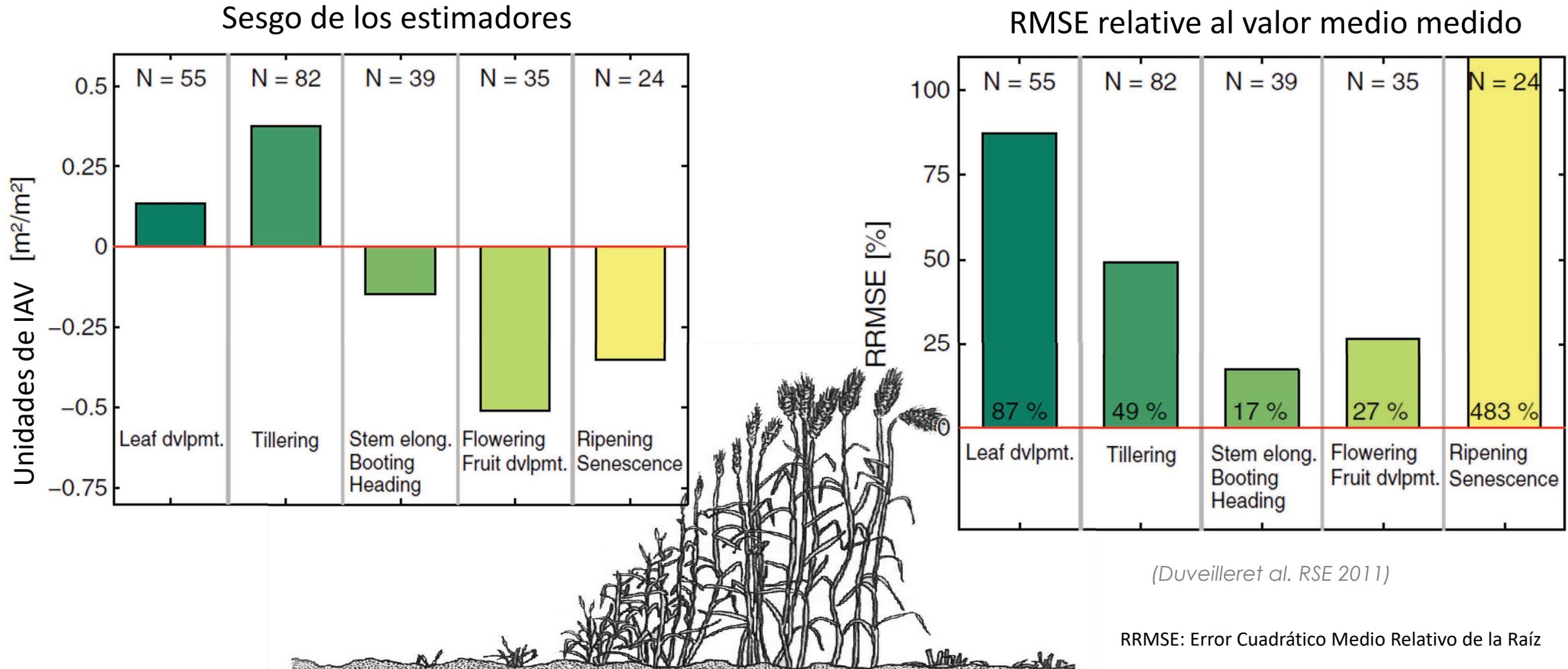


Tabla de contenidos

- Sección 1: Índices espectrales y variables biofísicas para la agricultura
- Sección 2: Calibración de modelos de extracción de variables biofísicas y evaluación de su rendimiento
- **Sección 3: Fenometría para identificar la distribución y el momento de un cultivo determinado**
- **Sección 4: Seguimiento de las prácticas agrícolas**
- **Sección 5: Variables biofísicas como apoyo a la estimación del rendimiento**
- **Sección 6: Cajas de herramientas abiertas ESA Sen2-Agri / Sen4CAP / Sen4Stat**
- Preguntas y respuestas y principales referencias

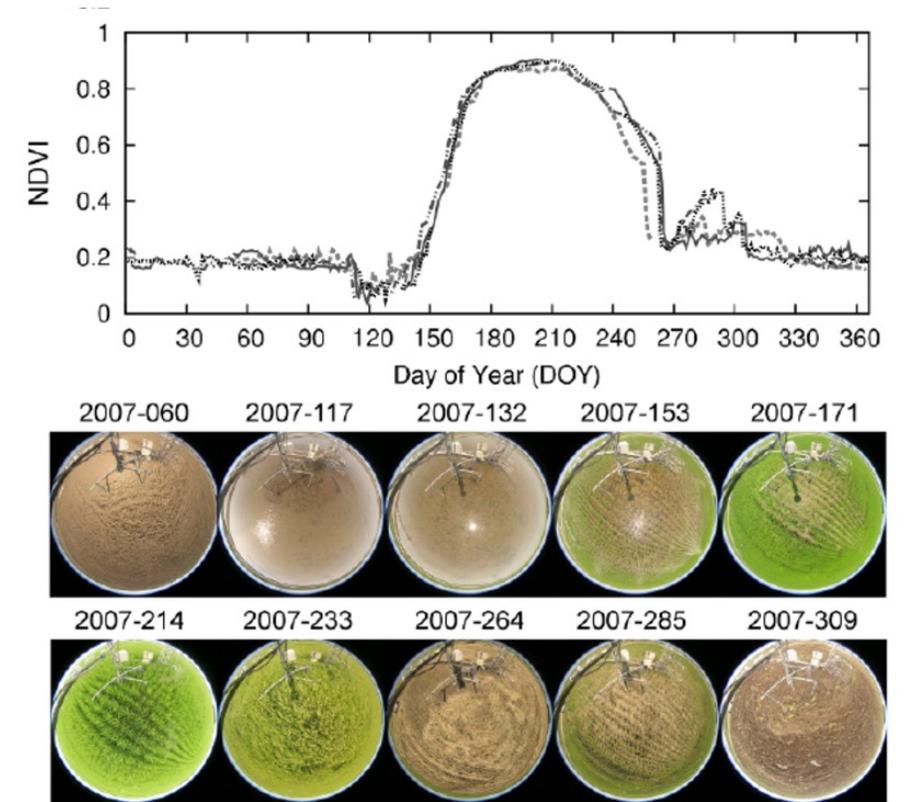
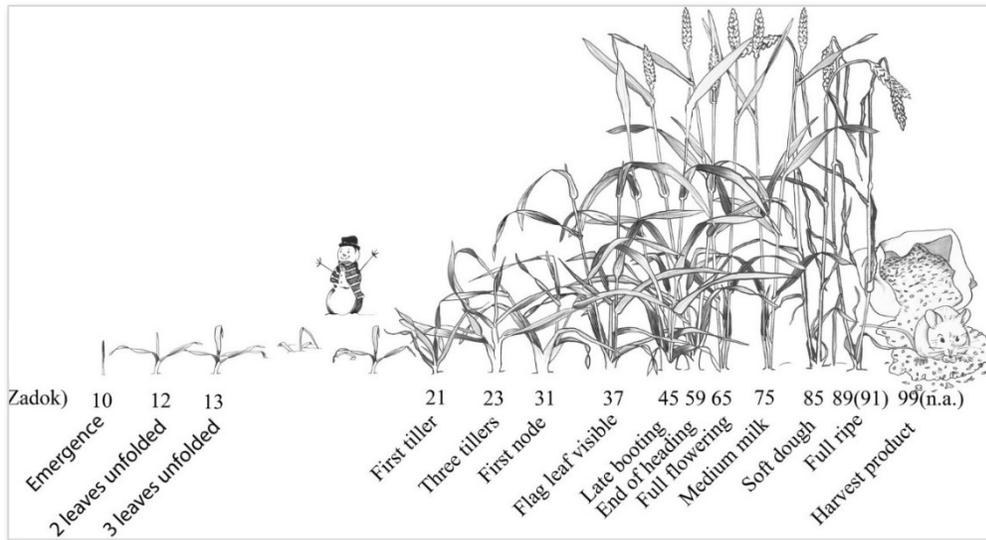


Ilustración de Bochetti – Curso Avanzado de la ESA 2019

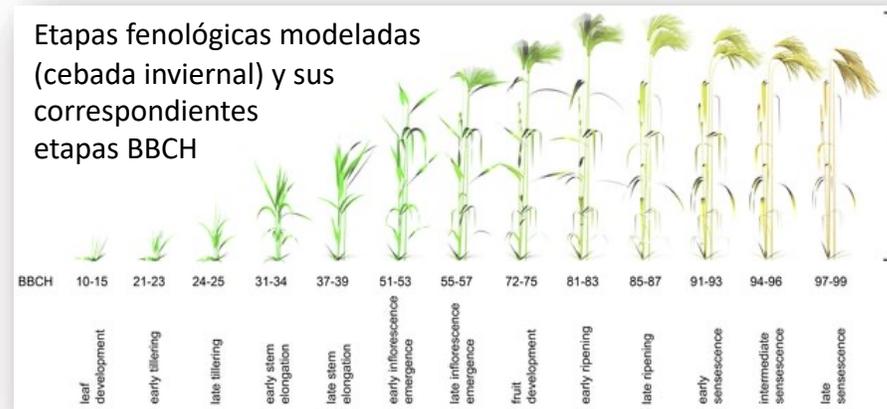
SECCIÓN 3: Fenometría para identificar la distribución y el momento de un cultivo determinado

Fenología y fenometría

- La **fenología** de las plantas detalla la definición de la **etapas de desarrollo** de las plantas y el registro de las **fechas** en las que estas etapas ocurren en diferentes entornos
- Si las plantas observadas son cultivos, se habla de **fenología agrícola o agrofenología**.
- Se usan sistemas convencionales como el **BBCH**



Por C. Schürch (dibujos), L. Kronenberg, A. Hund - ETH Zurich, Grup of Crop Science, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70621817>



Kuester y Spengler, 2018

Morfologías de arroz en distintas etapas fenológicas

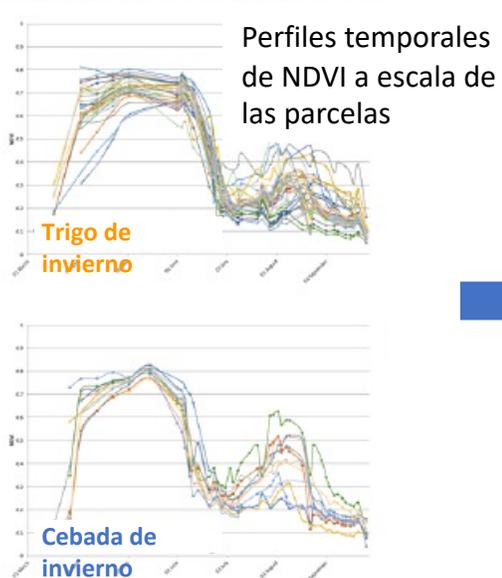


Yang et al. 2016

Seguimiento de la fenología para caracterizar el tipo de cultivo y monitorear su desarrollo

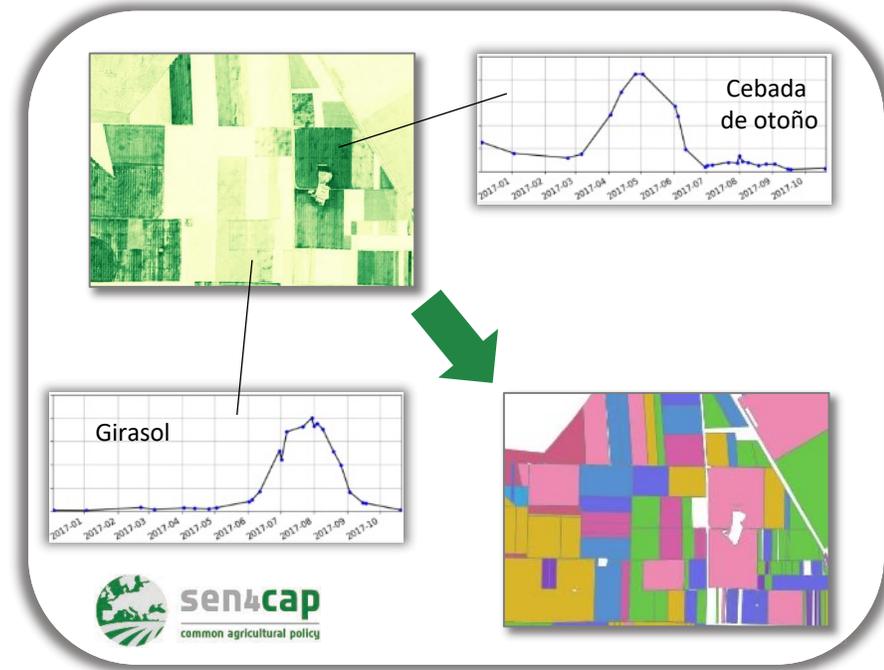
- Identificar distribución y el momento de un cultivo determinado: dónde y cuándo se cultiva
- **Análisis de series temporales** para estudiar la señal multitemporal de índices espectrales / variables biofísicas

1) Análisis completo de series temporales



Diferencia en la duración del período de la vegetación

Δ Verde Trigo Inv. >> Δ Verde Cebada Inv.



Seguimiento de la fenología para caracterizar el tipo de cultivo y monitorear su desarrollo

2) Extracción de métricas temporales específicas del cultivo, ligadas a la fenología del cultivo



(Matton et al., 2015,
Waldner et al., 2016,
Lambert et al., 2016)

Ejemplo: extraer el inicio de temporada (SoS) fenométrico

- **Criterios de umbral local:** identificación de condición específica de los valores de los Índices de Vegetación / Variables Biofísicas en relación a la curva

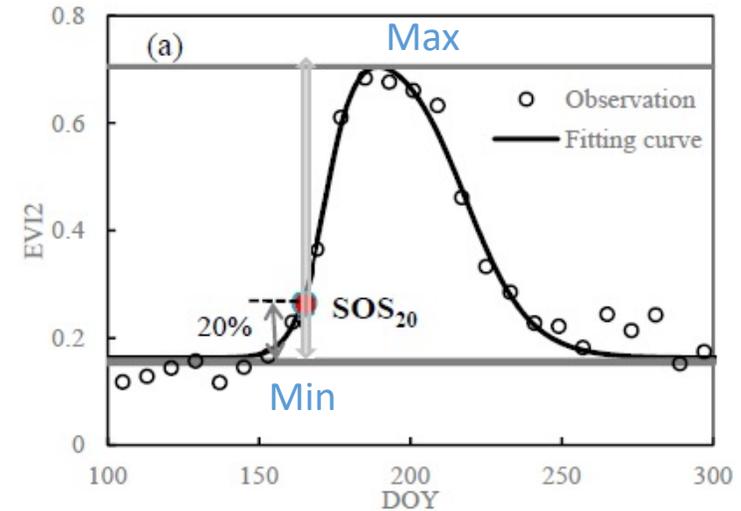
E.g.: SoS = fecha en que los Índices de Vegetación alcanzan un nivel de umbral

- Absoluto (basado en expertos)
- Relativo (e.g., Entre el 10% y el 20% de la amplitud máxima estacional)

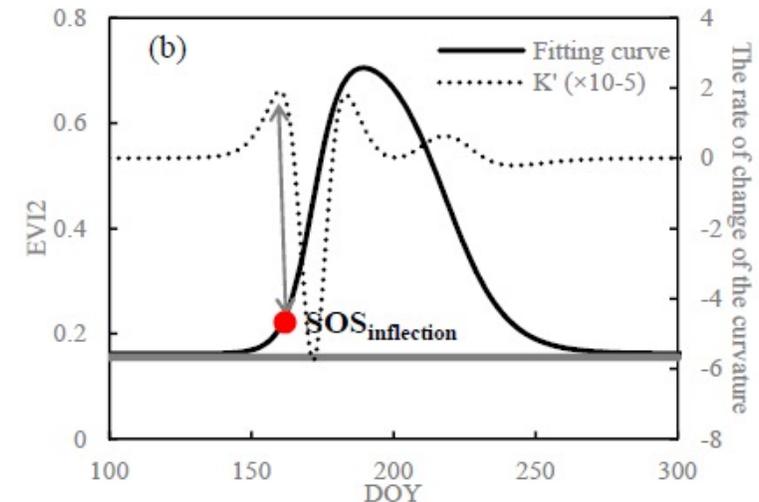
- **Análisis de curvas:** cambios en la derivada para identificar puntos de inflexión

E.g.: SoS = punto de inflexión correspondiente al inicio de crecimiento vegetativo rápido

Comparación de extracción de SOS_{20} y $SOS_{inflection}$ con la curva ajustada de EVI2



Umrales locales según el umbral relativo (> valores mín. máx. de la curva)

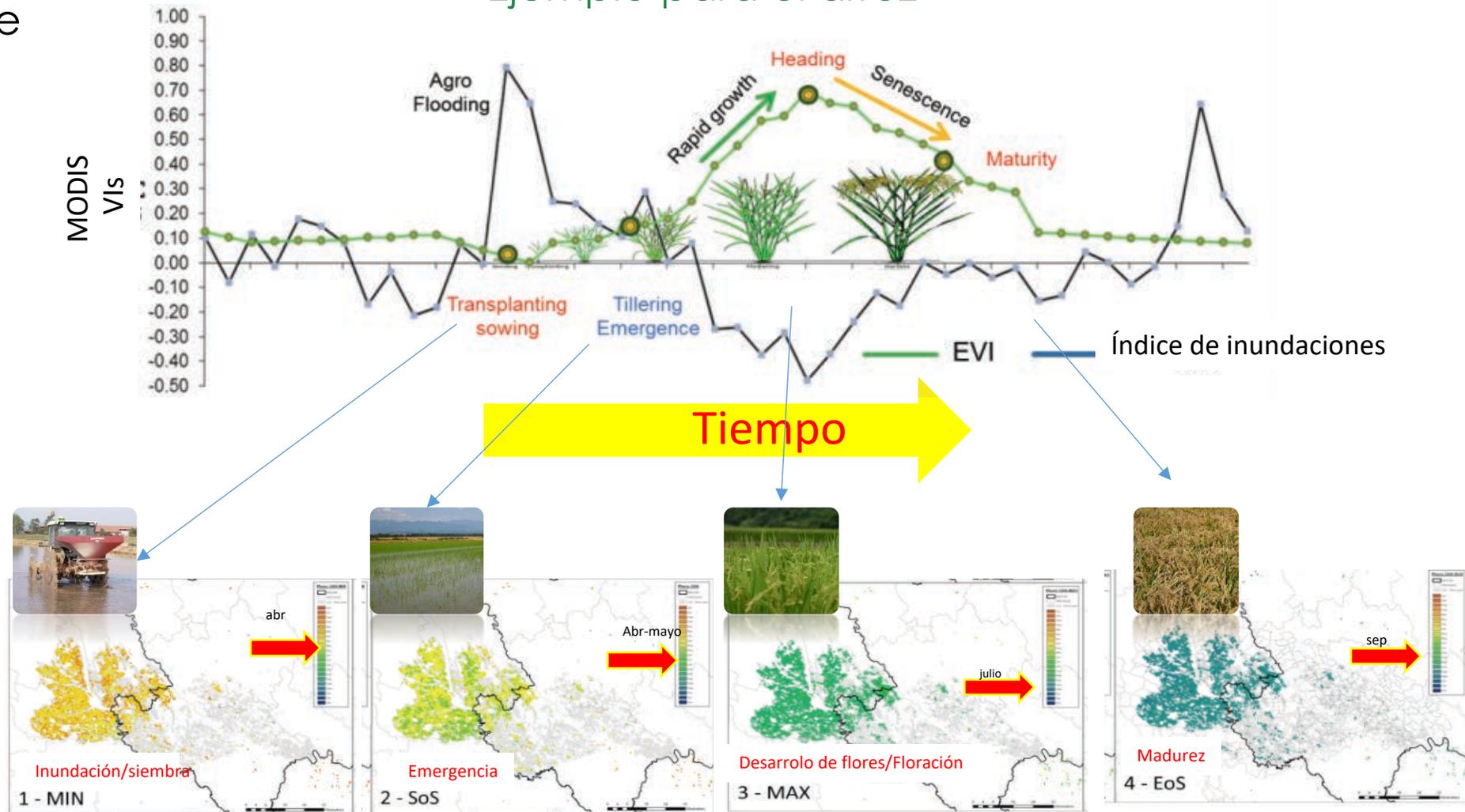


(primero) Valor máximo de la derivada de primer orden de la curvatura de la curva ajustada (K')

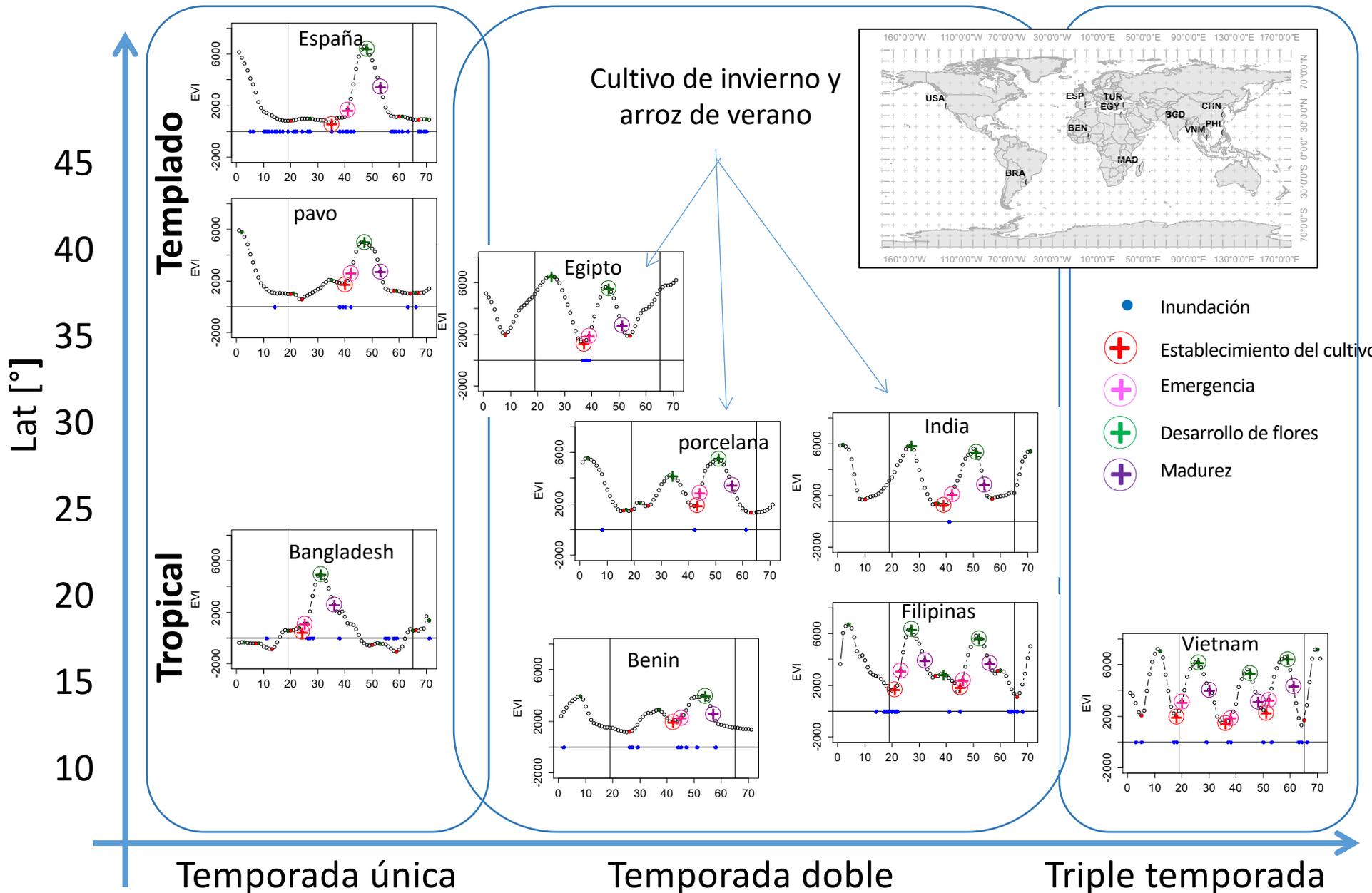
APLICACIÓN A NIVEL REGIONAL 1: CALENDARIOS DE CULTIVOS DINÁMICOS BASADOS EN MODIS

Ejemplo para el arroz

Concepto de
Phenorice

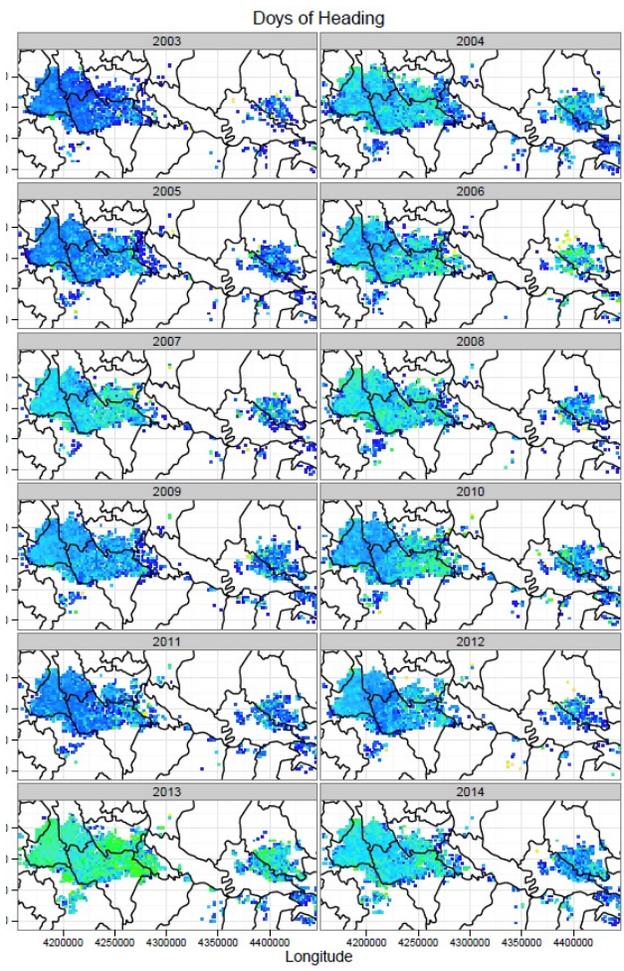
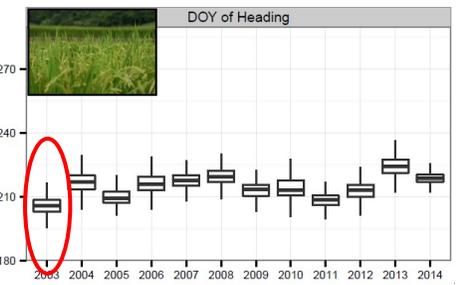
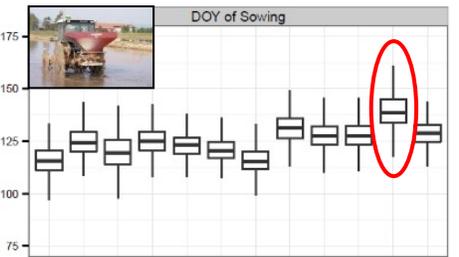
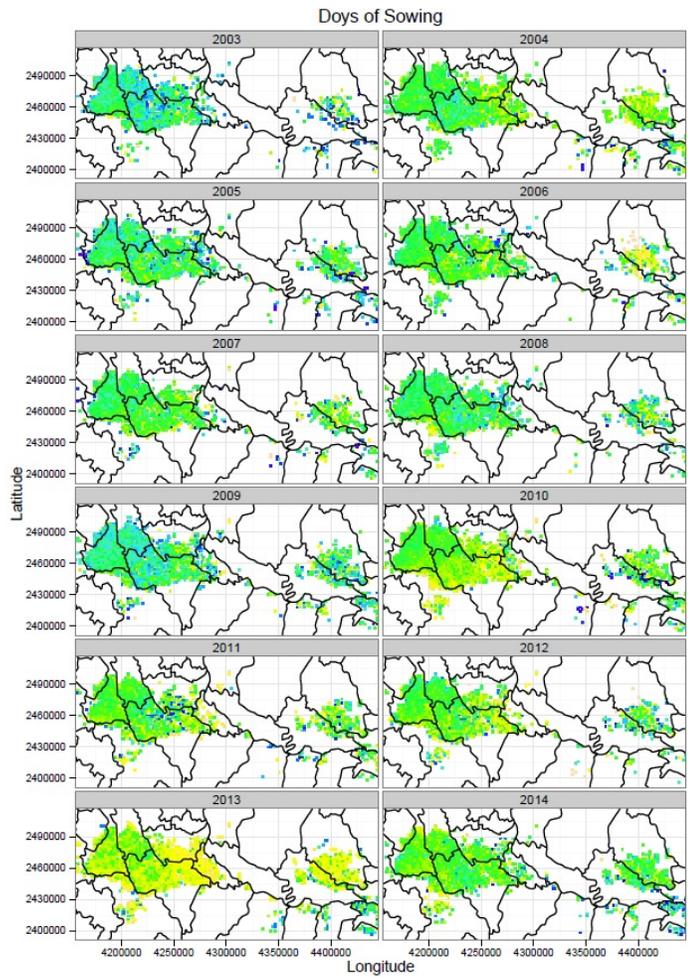


Boschetti et al. 2017



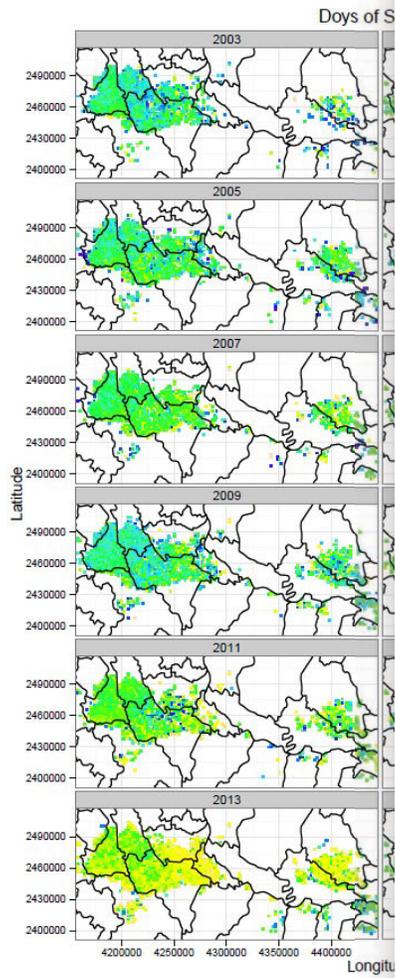
Resultado de PhenoRice: del “calendario agrícola estático” a la dinámica estacional. Ejemplo en Italia

- **Un análisis retrospectivo** con datos MODIS es útil para estudios regionales y modelos de cultivos forzados
- **La extracción estacional** proporciona información casi en tiempo real para los sistemas operativos de monitoreo de cultivos (MARS)



Resultado de PhenoRice: del “calenda

- **Un análisis retrospectivo** con datos MODIS es útil para estudios regionales y modelos de cultivos forzados
- **La extracción estacional** proporciona información casi en tiempo real para los sistemas operativos de monitoreo de cultivos (MARS)



onal. Ejemplo en Italia

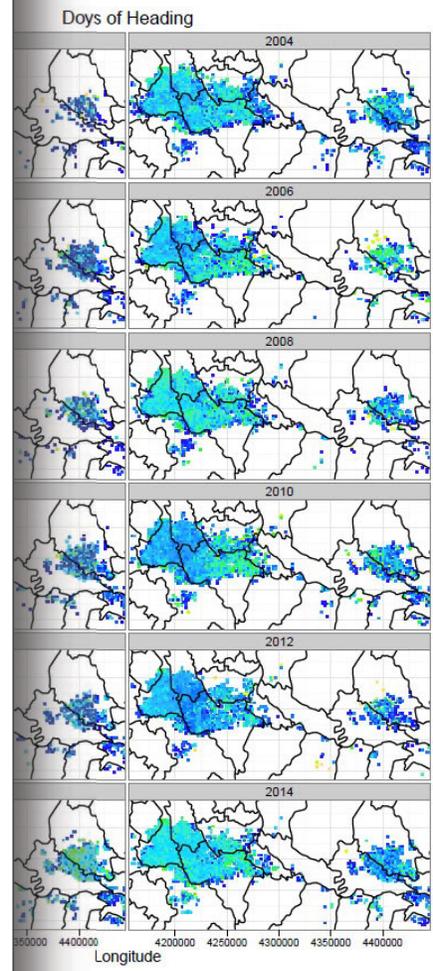
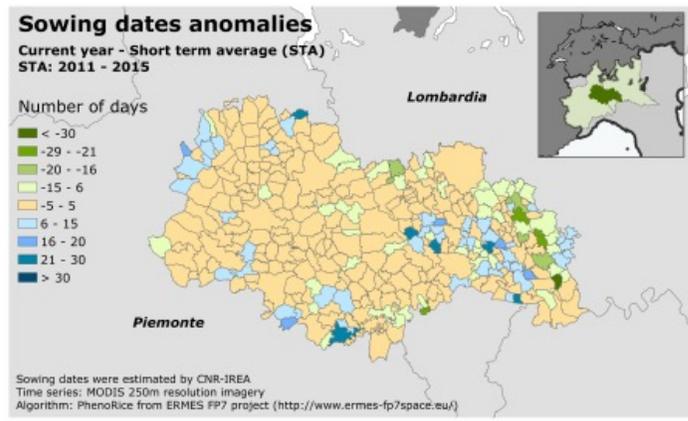
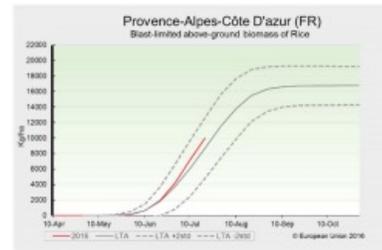
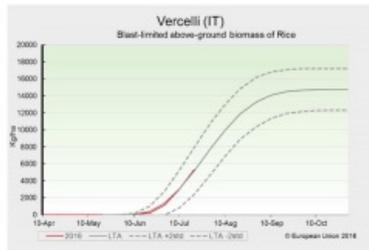
3.2 European Union – rice producing countries

Italy and France

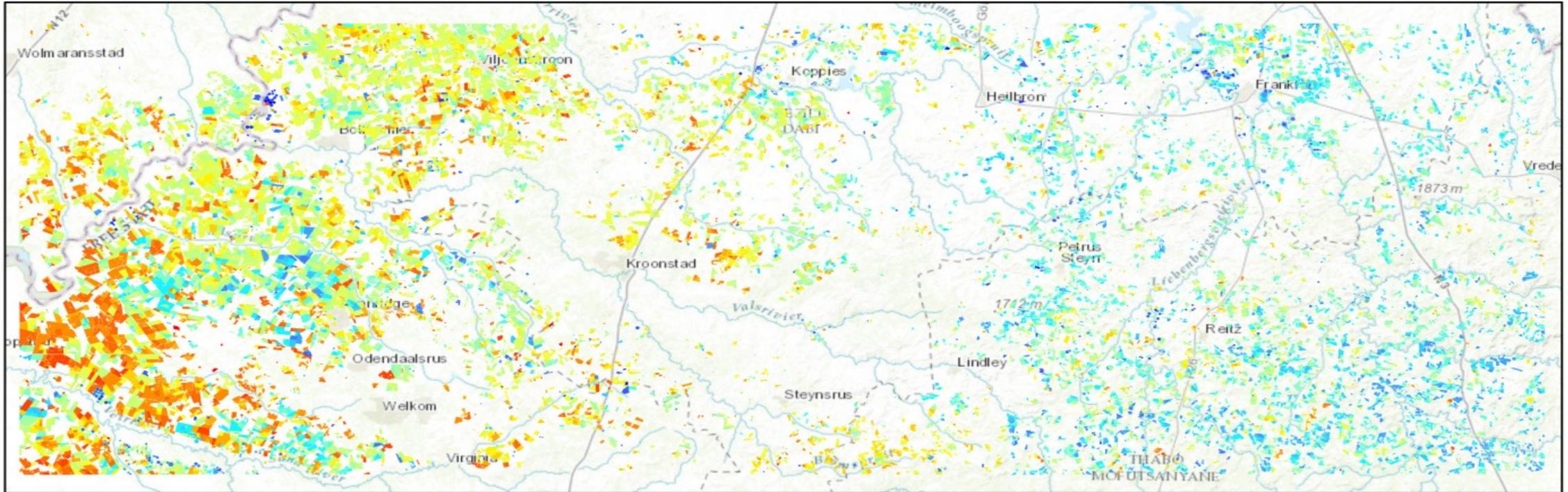
Crop growth conditions close to average

Meteorological conditions during the growing season have been generally favourable in the main rice-producing areas of Italy - *Piemonte* and *Lombardia*. Some temperature fluctuations occurred since the end of June, but cumulated active temperatures during the growing season are close to the long-term average. Rainfall has been near average in Piemonte and above average in *Lombardia*. Rice was sown on time and is still in the vegetative phase, though with some local variations, see map. Reflecting these weather conditions, indicators based on remote sensing analysis and model simulations,

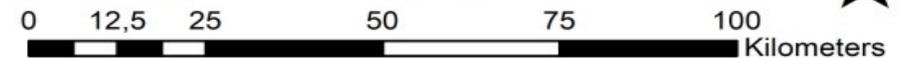
such as leaf area expansion, total biomass and risk of fungal disease, are close to seasonal values. Therefore, average yields are expected for these regions. Average meteorological conditions also characterised the main rice-producing areas of France (*Languedoc-Roussillon* and *Provence-Alpes-Côte d'Azur*). There, however, radiation levels were above average, resulting in slightly above-average biomass accumulation and lower risk of blast infection. The yield forecast is still close to the five-year average but well above last year's value.



APLICACIÓN A NIVEL REGIONAL 2: MAPA DE FECHAS DE EMERGENCIA DEL MAÍZ A NIVEL DE CAMPO

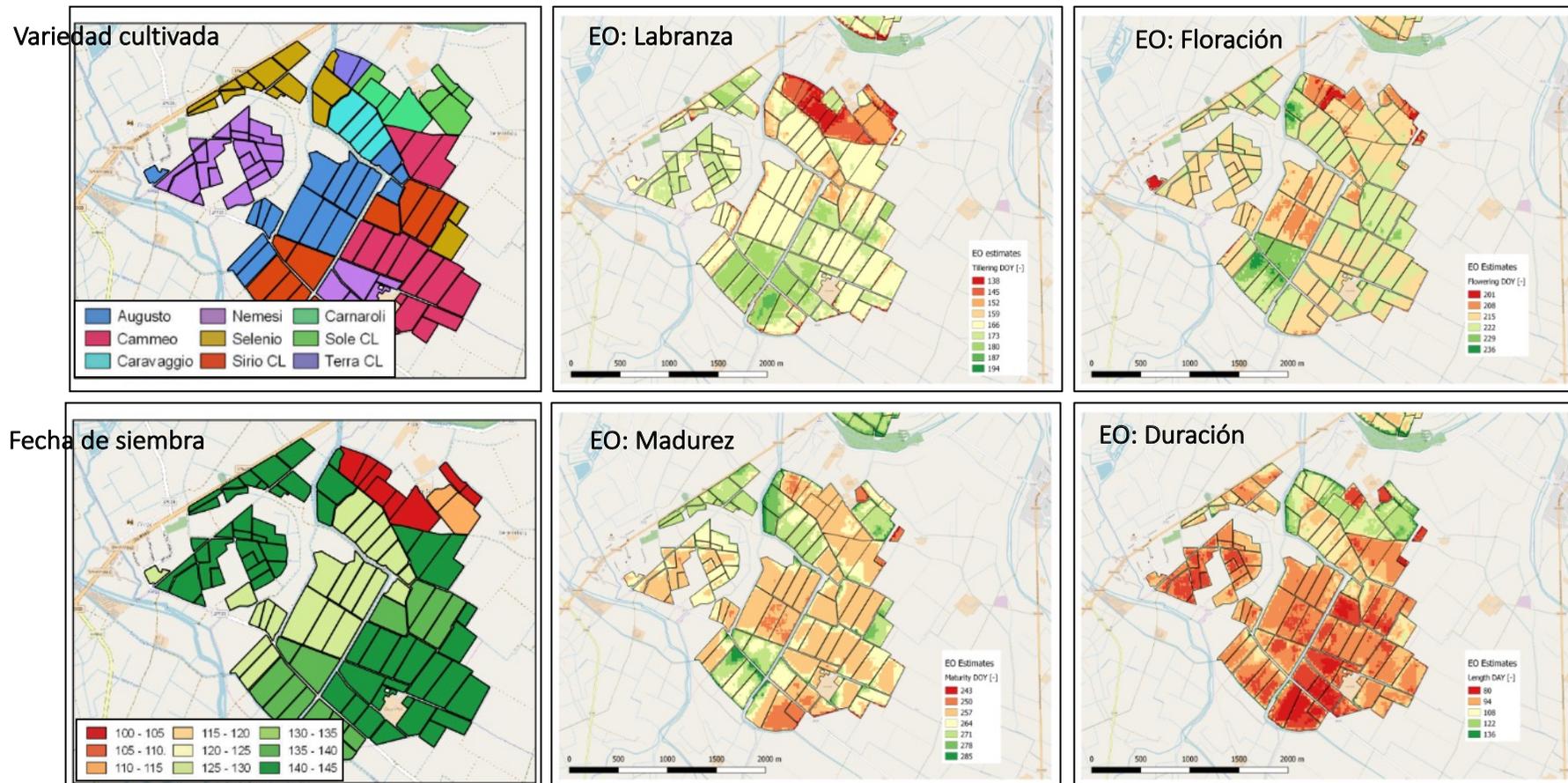


Emergence date	10-19 - 10-23	11-02 - 11-05	11-14 - 11-17	11-27 - 12-01	12-12 - 12-16	12-27 - 01-02
10-05 - 10-11	10-24 - 10-28	11-06 - 11-09	11-18 - 11-21	12-02 - 12-06	12-17 - 12-21	01-03 - 01-20
10-12 - 10-18	10-29 - 11-01	11-10 - 11-13	11-22 - 11-26	12-07 - 12-11	12-22 - 12-26	01-21 - 02-18

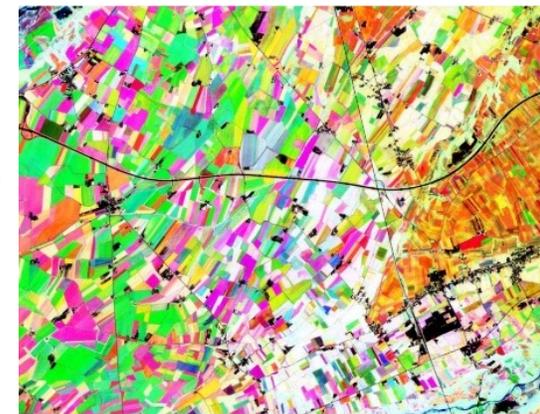
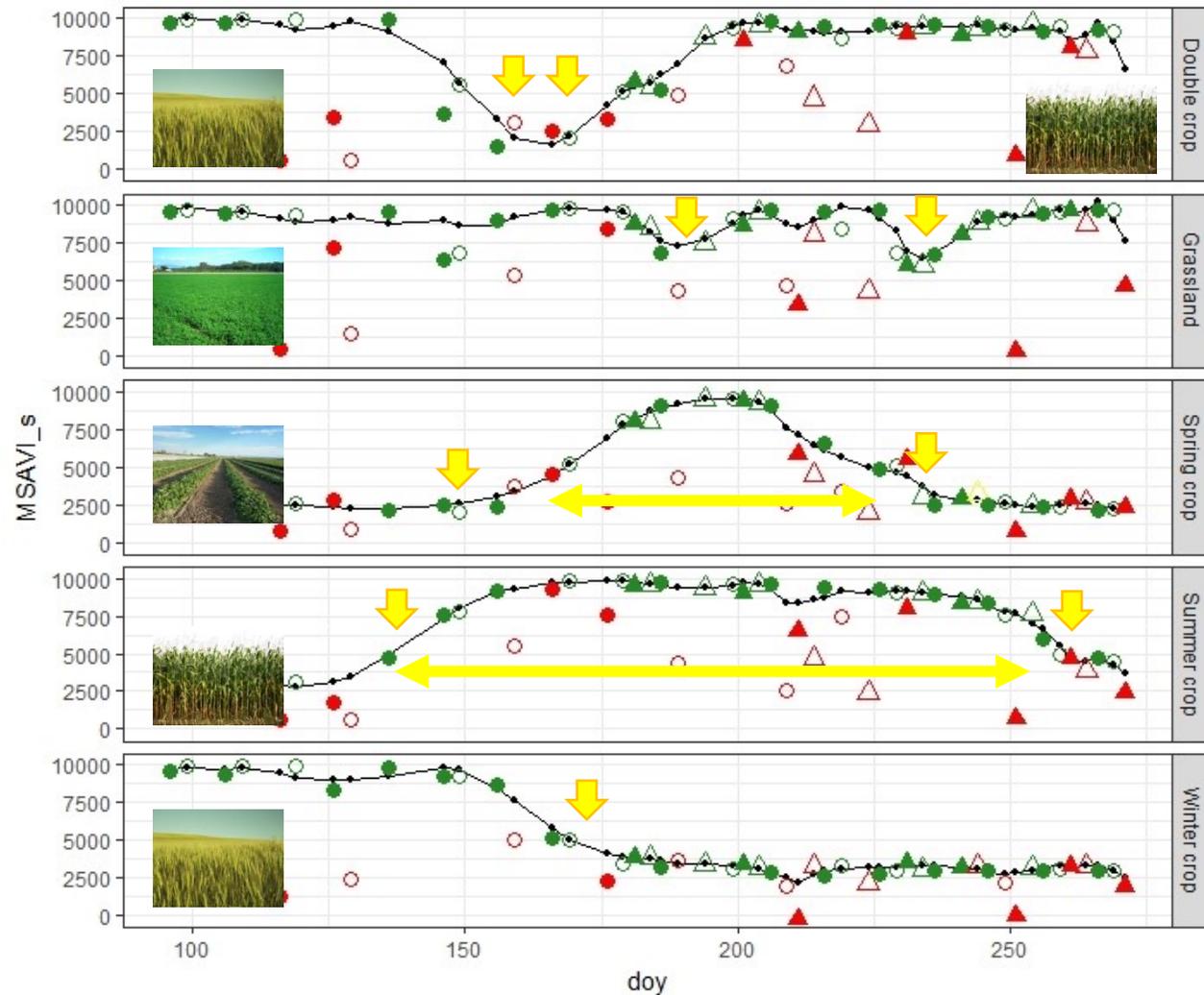


APLICACIÓN A NIVEL DE CAMPO Y DE GRANJA FENOMETRÍA COMO "HERRAMIENTAS" DE DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR GRUPOS DE VARIEDADES DE ARROZ

Mapeo del desarrollo fenológico a nivel de campo, gracias a la resolución Sentinel-2 de 10m



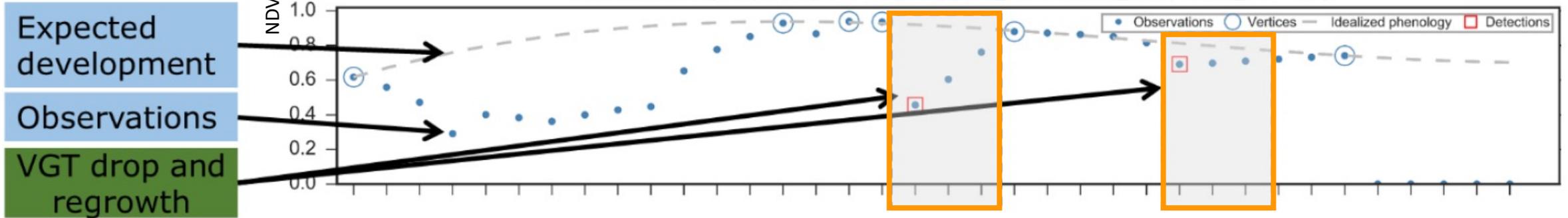
Posiblemente
ligado a las
variedades de
arroz.



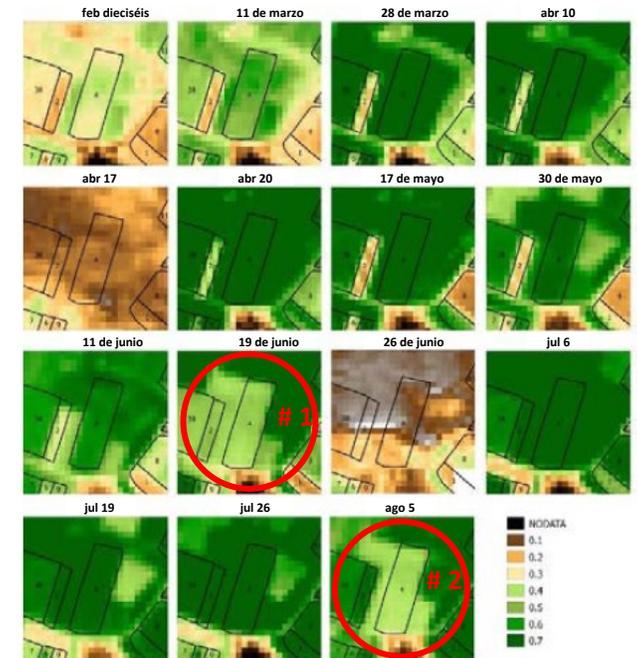
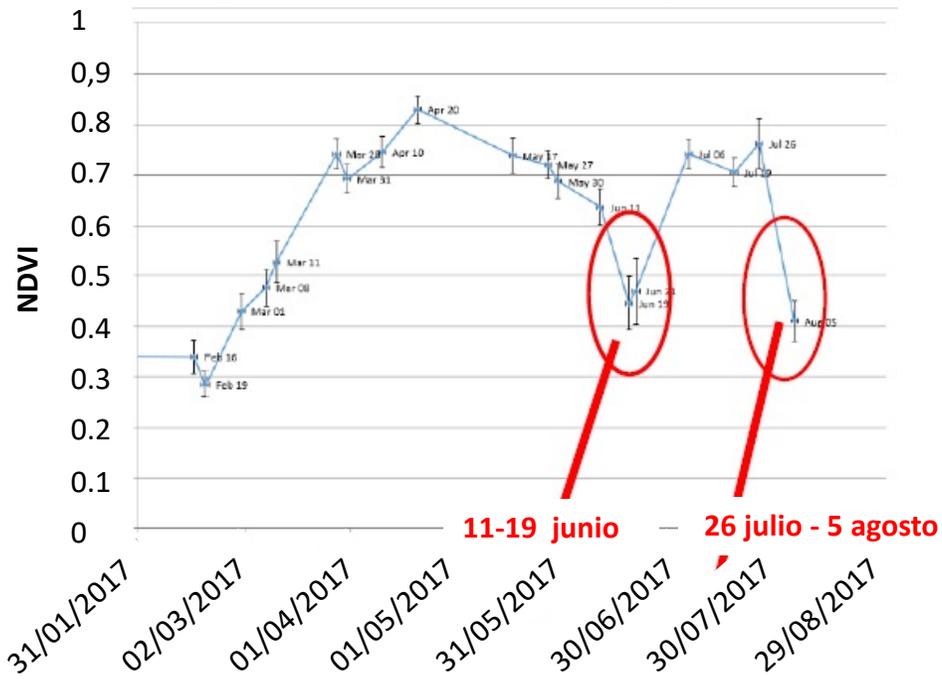
SECCIÓN 4: Seguimiento de las prácticas agrícolas

DetECCIÓN DE SIEGA EN PRADERA PERMANENTE

Detected mowing events: 2 (DOY 176, 260) [max_vals=6, clear_width=2, req_dev=-0.2]

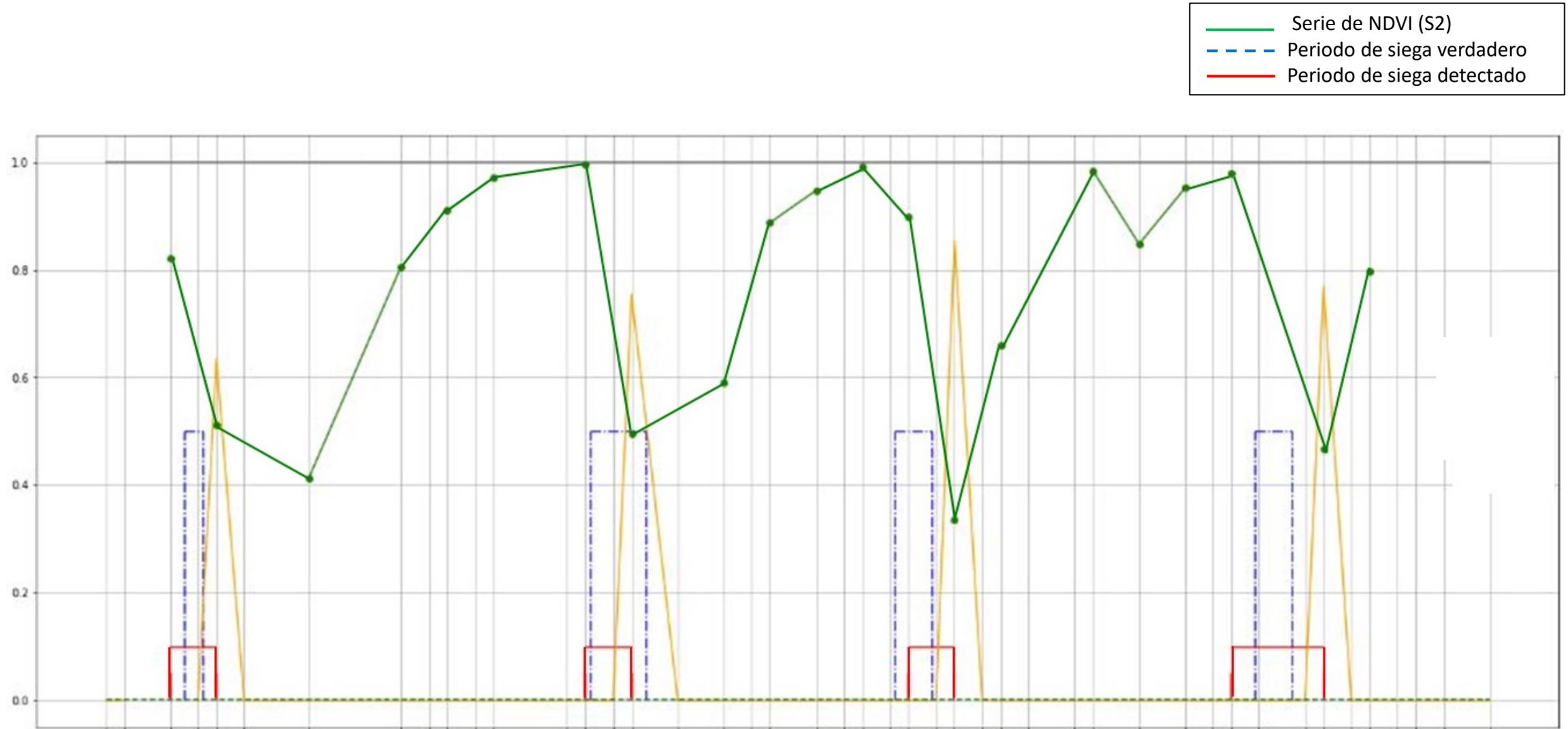


JRC Technical Reports, DS/CDP/2018/18 & DS/CDP/2017/03 revising R2014/809



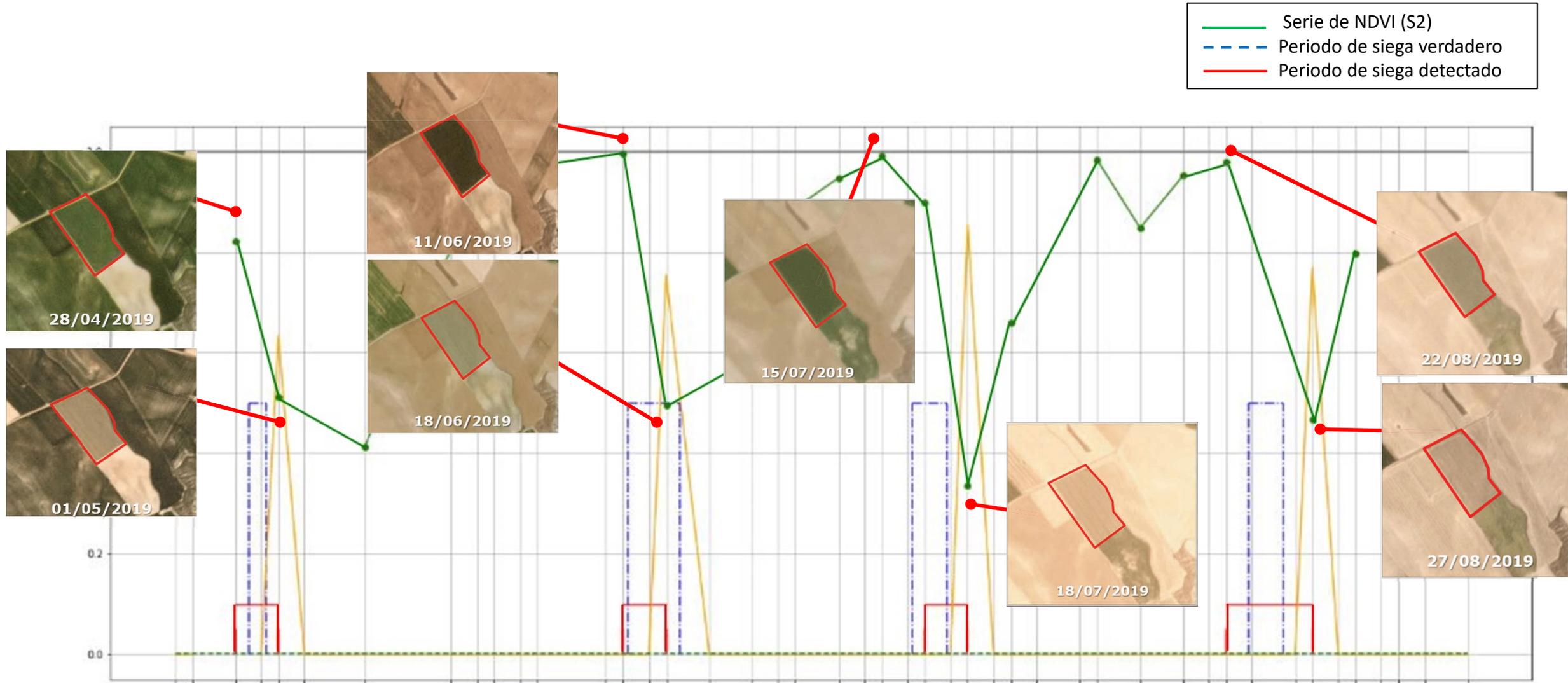
Serie Temporal de NDVI

Ejemplo de detección de siega en España - Castilla y León



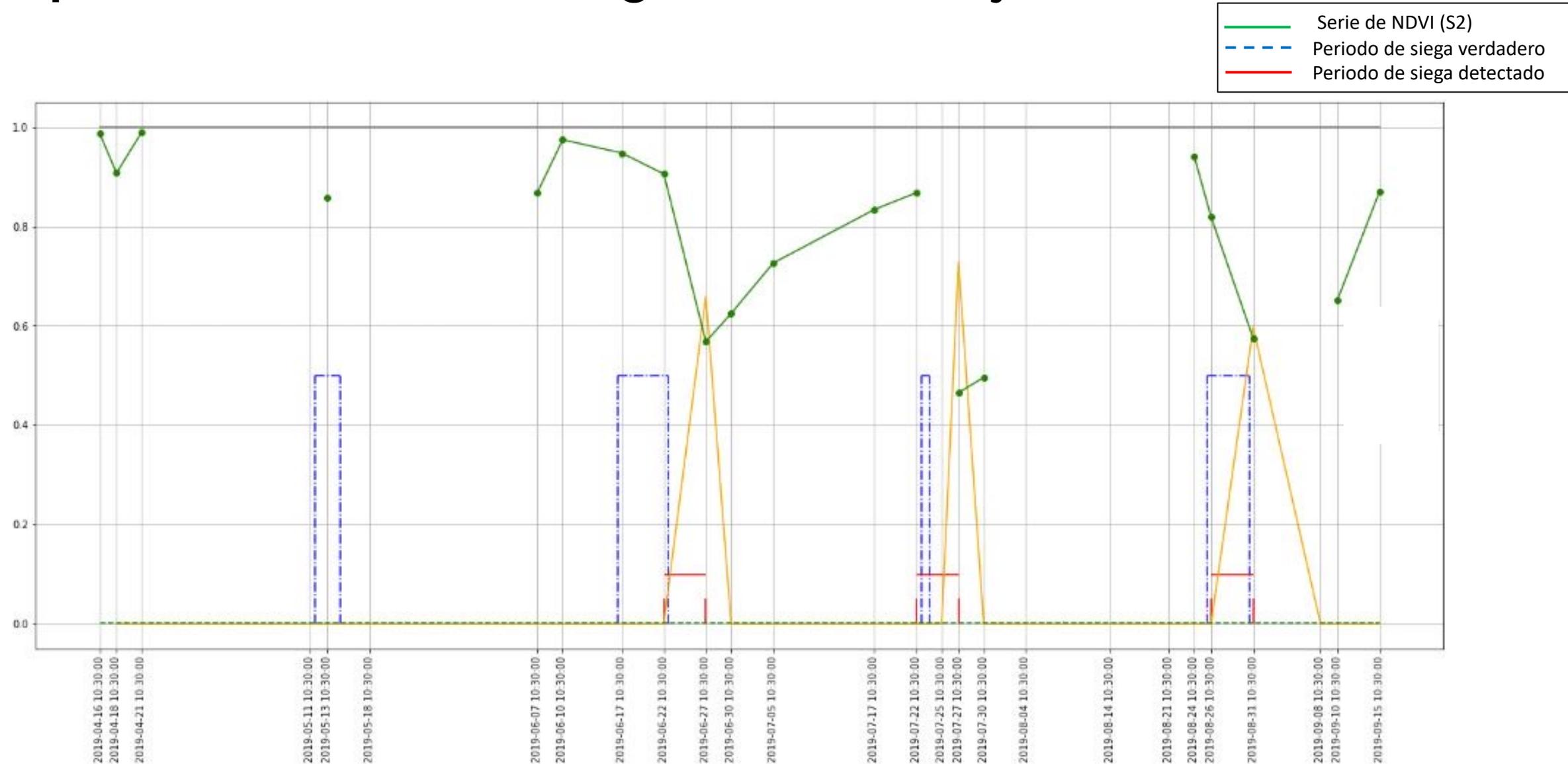
Serie temporal de NDVI y detección de siega en una parcela seleccionada

Ejemplo de detección de siega en España - Castilla y León



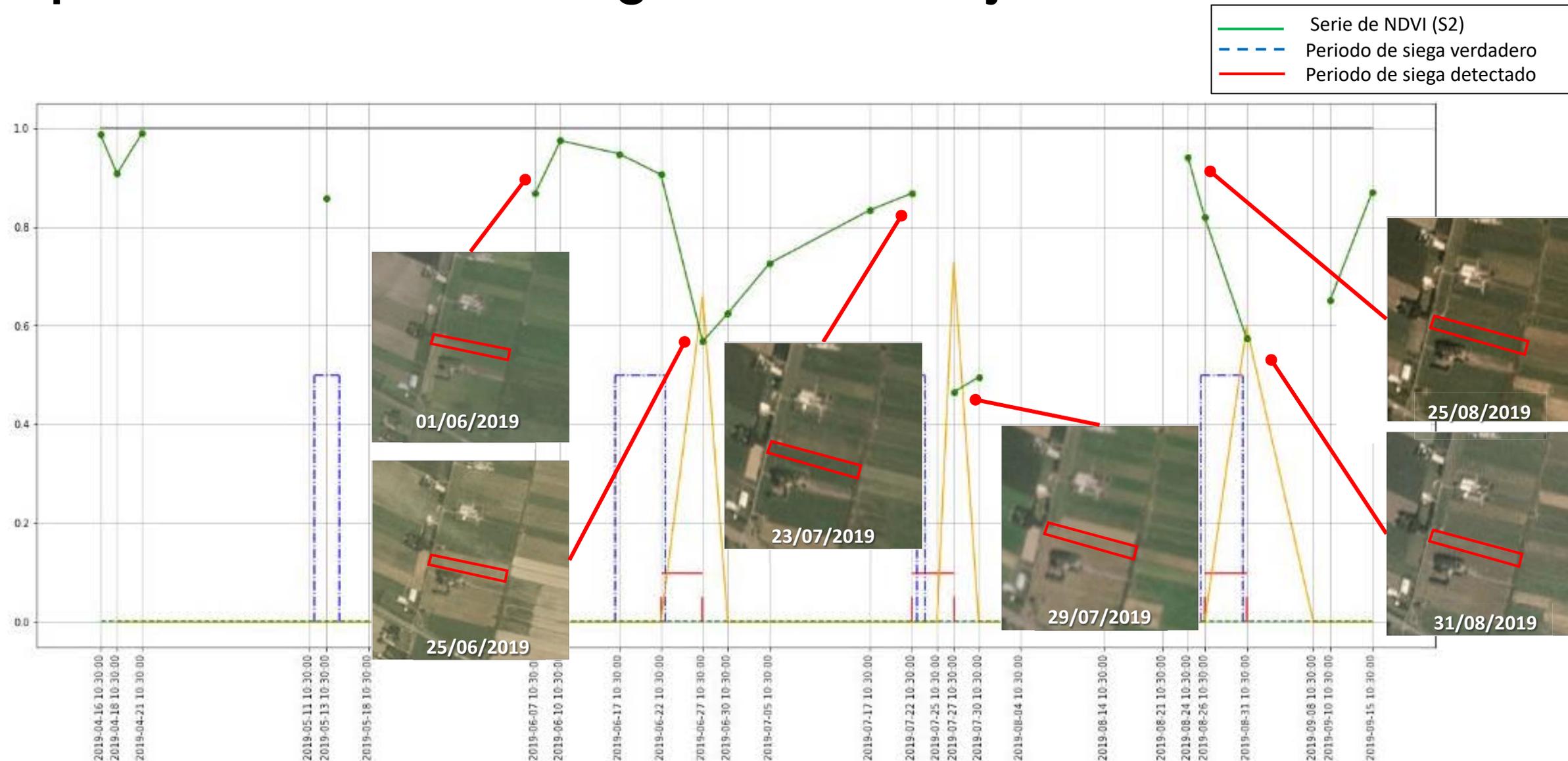
Serie temporal de NDVI y detección de siega en una parcela seleccionada

Ejemplo de detección de siega en Países Bajos



Serie temporal de NDVI y detección de siega en una parcela seleccionada

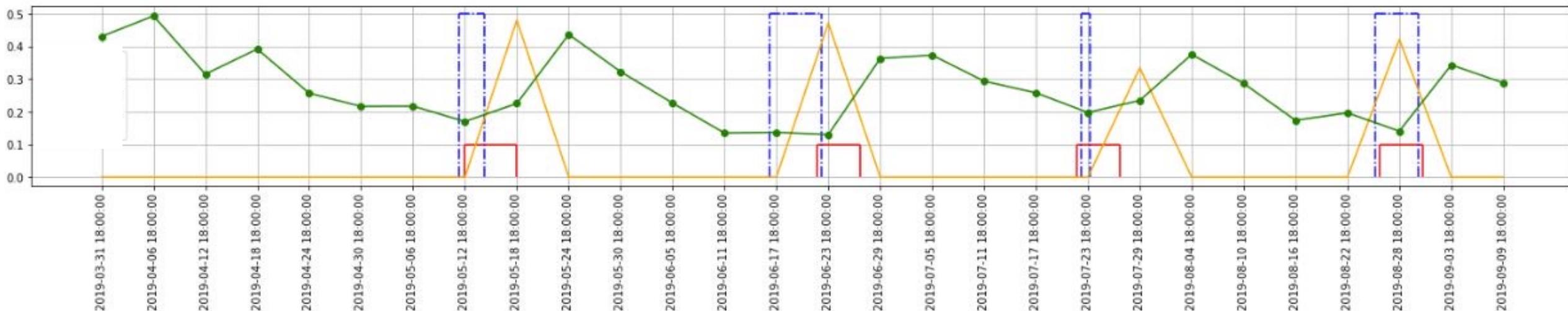
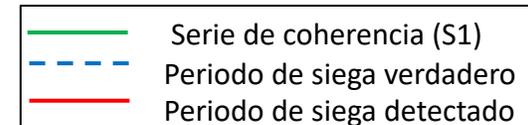
Ejemplo de detección de siega en Países Bajos



Serie temporal de NDVI y detección de siega en una parcela seleccionada

Ejemplo de detección de siega en Países Bajos

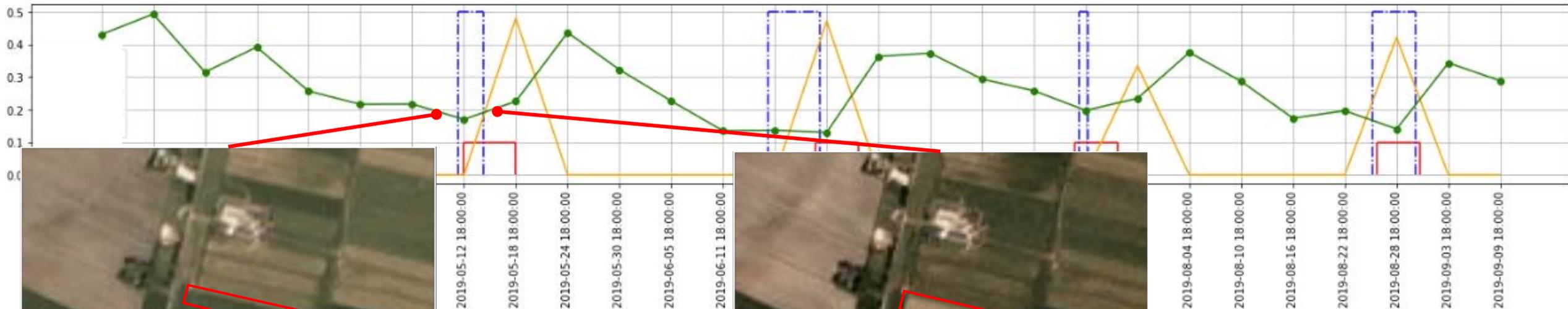
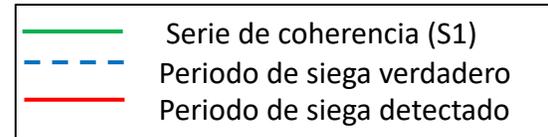
Prácticas agrícolas con métricas de SAR



Serie temporal de coherencia del SAR Sentinel-1 y detección de siega en una parcela seleccionada

Ejemplo de detección de siega en Países Bajos

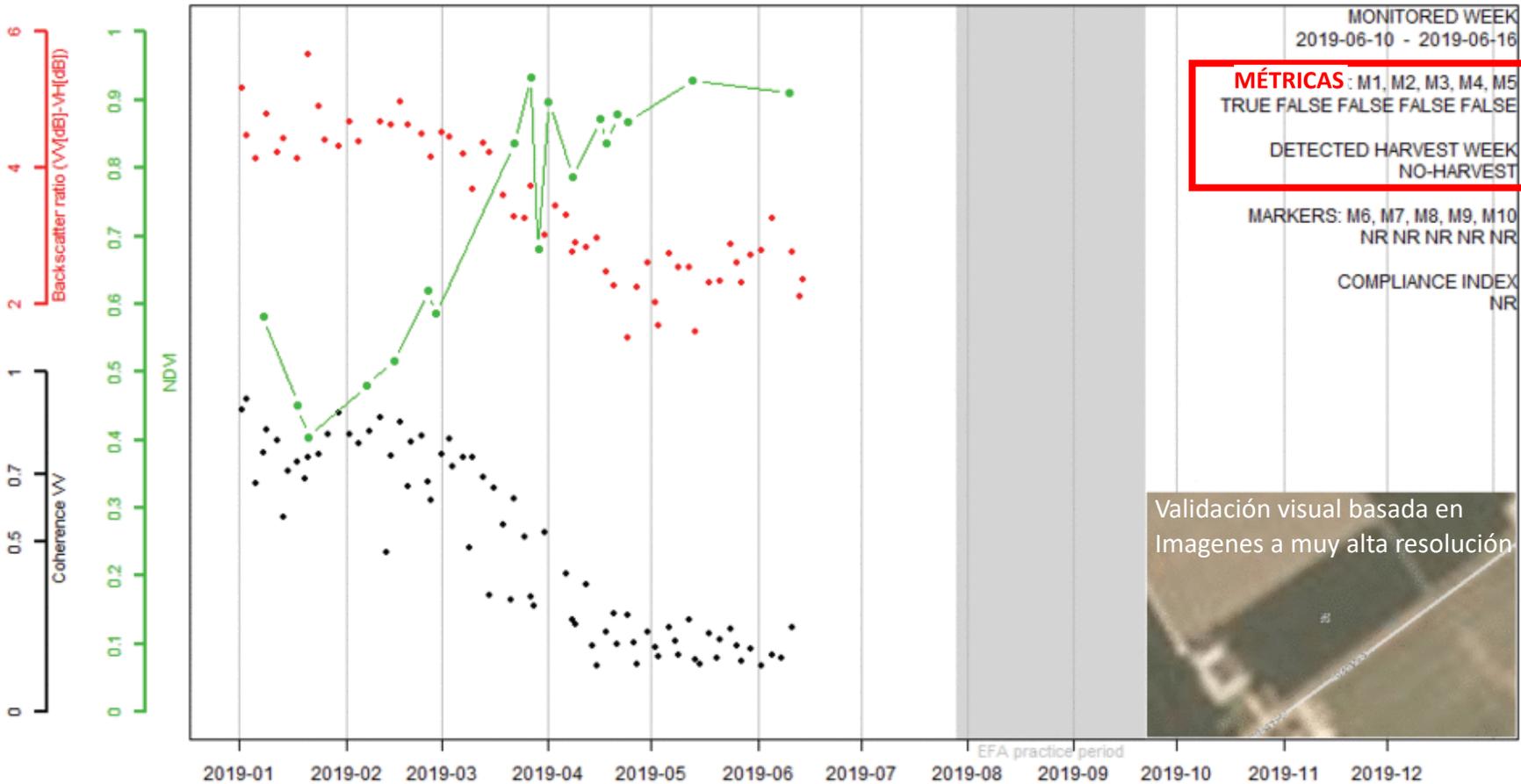
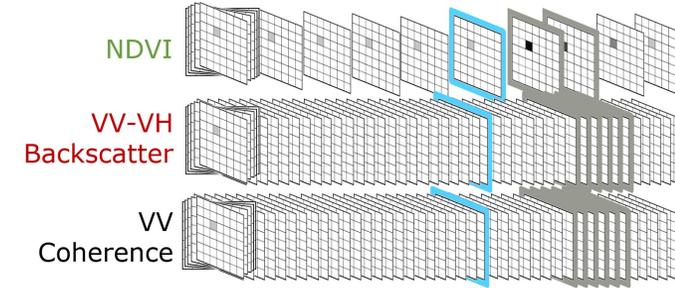
Prácticas agrícolas con métricas de SAR



Serie temporal de coherencia del SAR Sentinel-1 y detección de siega en una parcela seleccionada

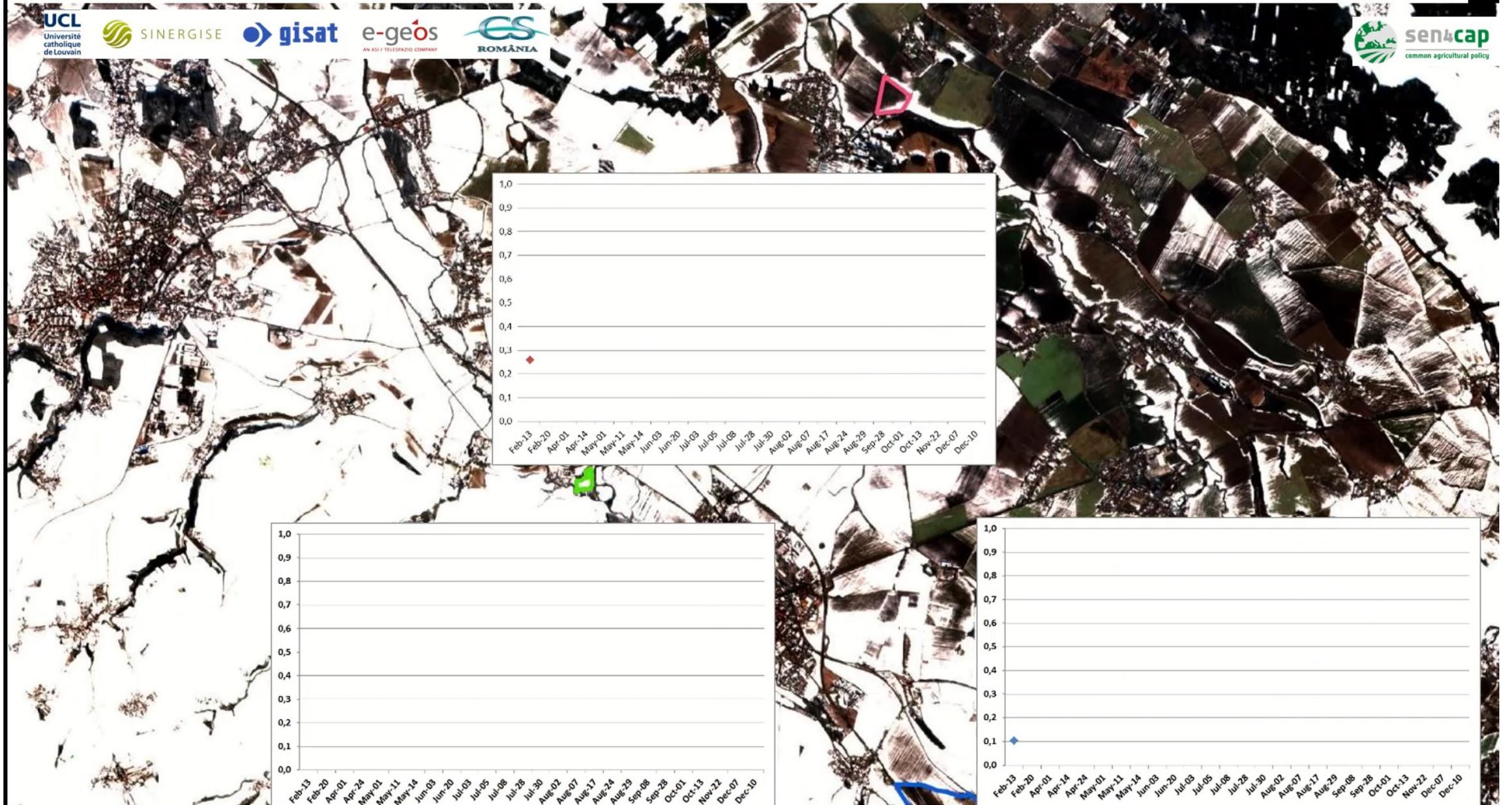
Detección de fecha de cosecha basada en 5 métricas calculadas a partir de 3 series de tiempo paralelas

Monitoreo de cosecha y de cultivos de cobertura



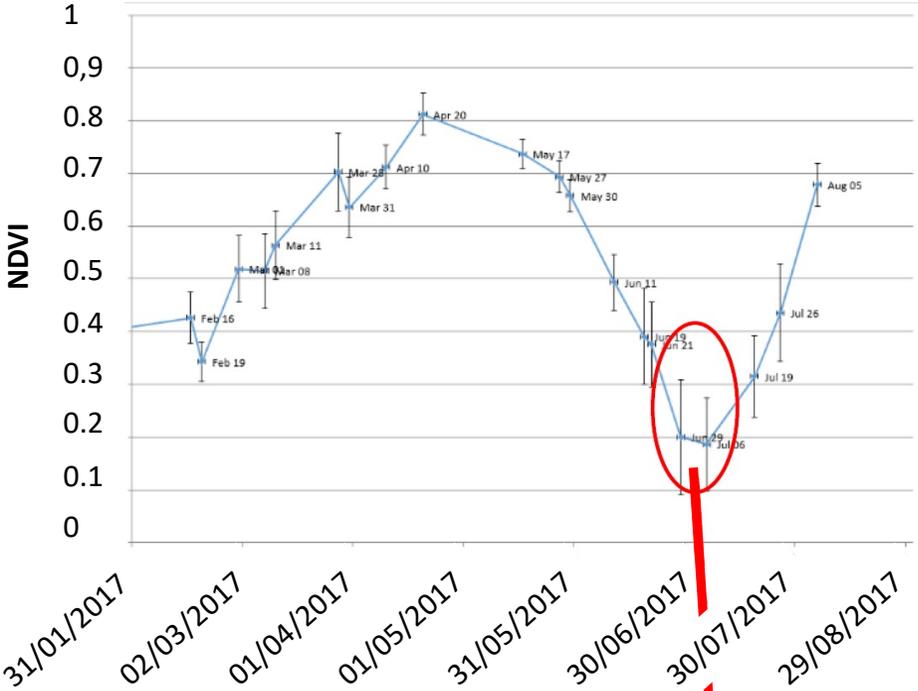
Cosecha detectada entre 29 Julio y 4 Agosto

Cultivo de cobertura en la zona durante el período obligatorio y no cosechado antes del final de su ciclo

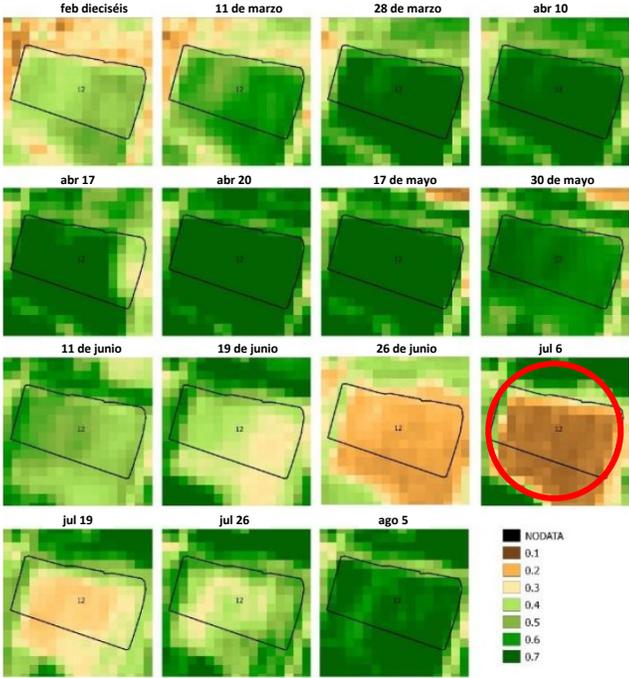


Detección de eventos de arado / labranza

Serie temporal del NDVI en una parcela seleccionada de cereales



Arado inmediatamente tras la cosecha

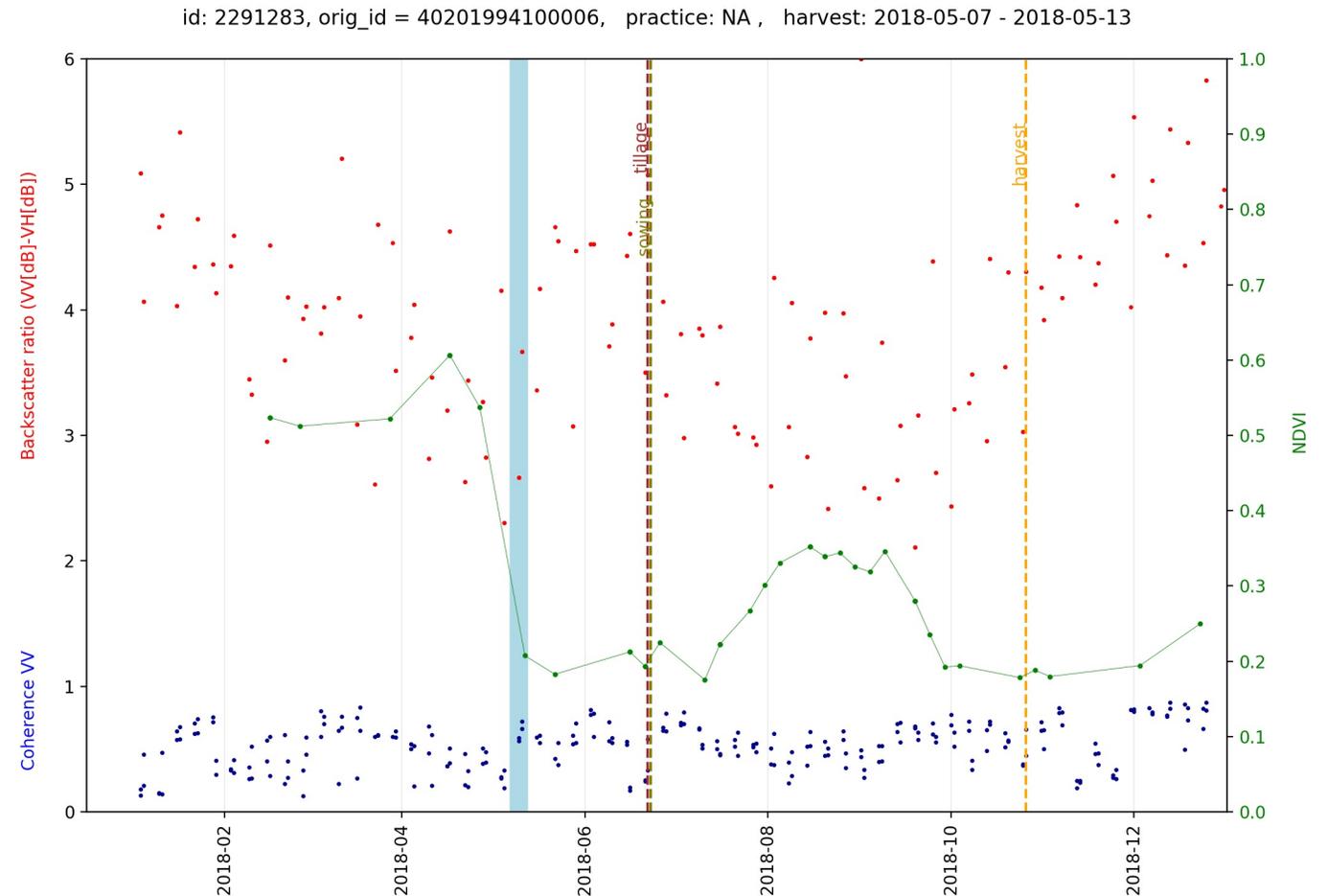


Detección de labranza con series temporales de NDVI /LAI de datos ópticos y de retrodispersión / coherencia de SAR

(1) El NDVI debe permanecer bajo durante todo este proceso.

(2) El ratio de retrodispersión debe permanecer alto o en aumento durante este proceso.

(3) La coherencia debe aumentar durante / después de la cosecha, disminuir después de arar / labrar y finalmente aumentar de nuevo a un estado estable

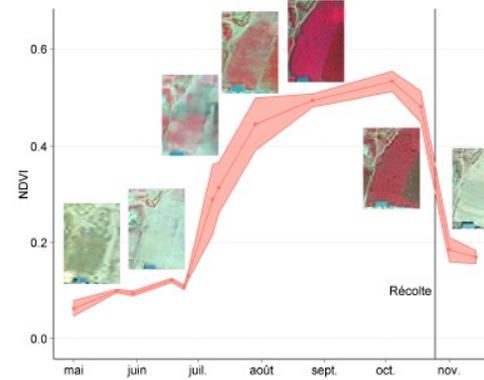


Seguimiento de prácticas agrícolas en minifundios con series temporales de 1(0) m - fertilización en Mali

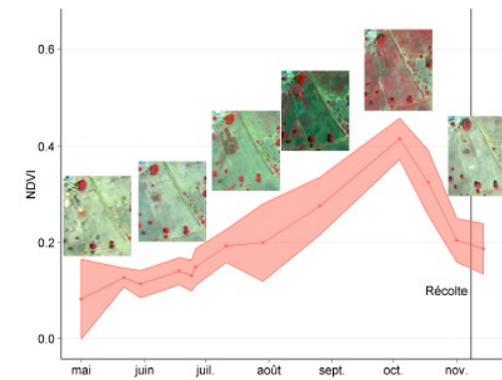
Explotando series temporales (deca)métricas se captura la señal de desarrollo del cultivo incluyendo la heterogeneidad espacial de los campos (sorgo para 3 campos distintos)



Series temporales a 2m de resolución capturan la gran heterogeneidad de los campos

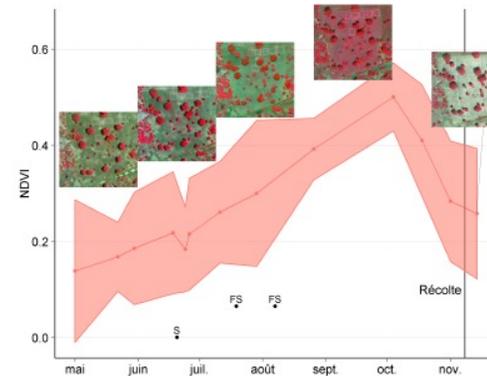


a) Parcela cerca del pueblo, homogénea y con cultivo temprano



B) Parcela cerca de la meseta sin cultivo intermedio y con condiciones hidromórficas

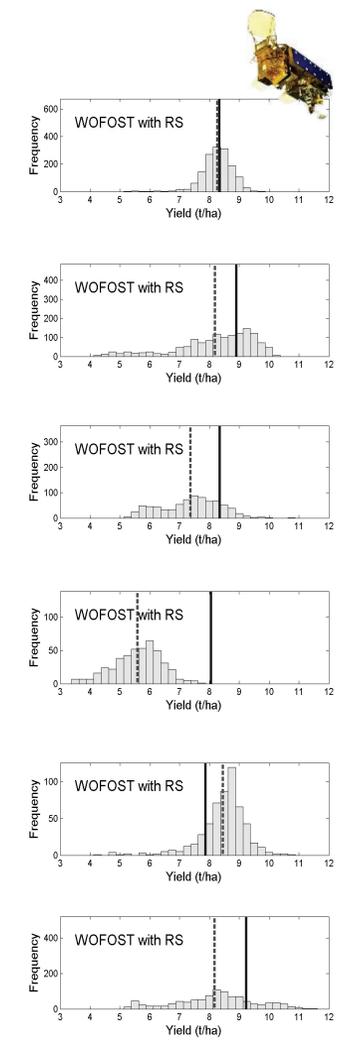
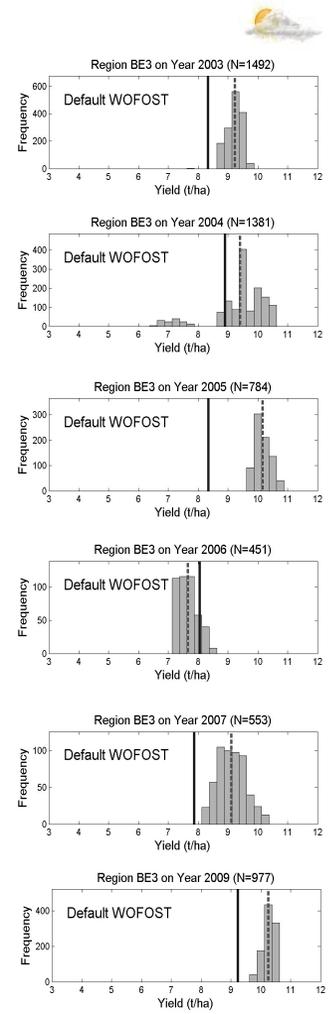
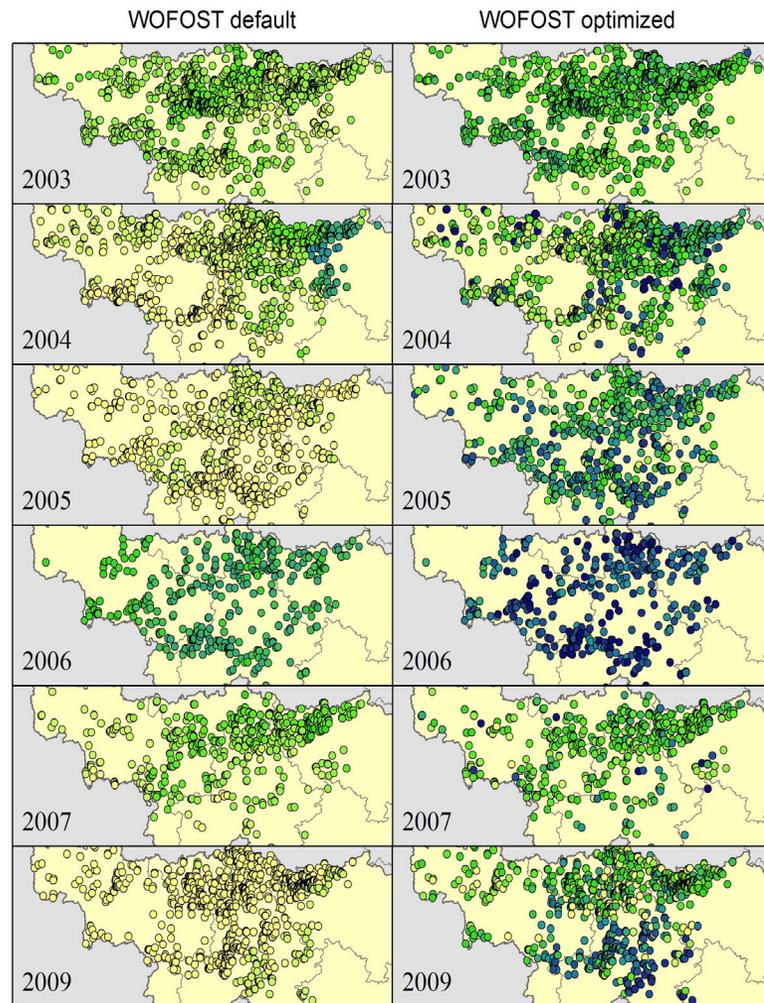
CAMPOS DE SORGO



C) Parcela cerca de la meseta, con cultivo intermedio para producción (S = siembra, FS = Fertilización de parcelas de STARS)

Yield Estimations

- < 5.0 t/ha ● 6.5 - 7.0 t/ha ● 8.5 - 8.5 t/ha
- 5.0 - 5.5 t/ha ● 7.0 - 7.5 t/ha ● 9.0 - 9.5 t/ha
- 5.5 - 6.0 t/ha ● 7.5 - 8.0 t/ha ● 9.5 - 10.0 t/ha
- 6.0 - 6.5.0 t/ha ● 8.0 - 8.5 t/ha ● > 10. t/ha



(Duveiller et al., 2010)

SECCIÓN 5: Variables biofísicas que apoyan la estimación del rendimiento

Información de vanguardia

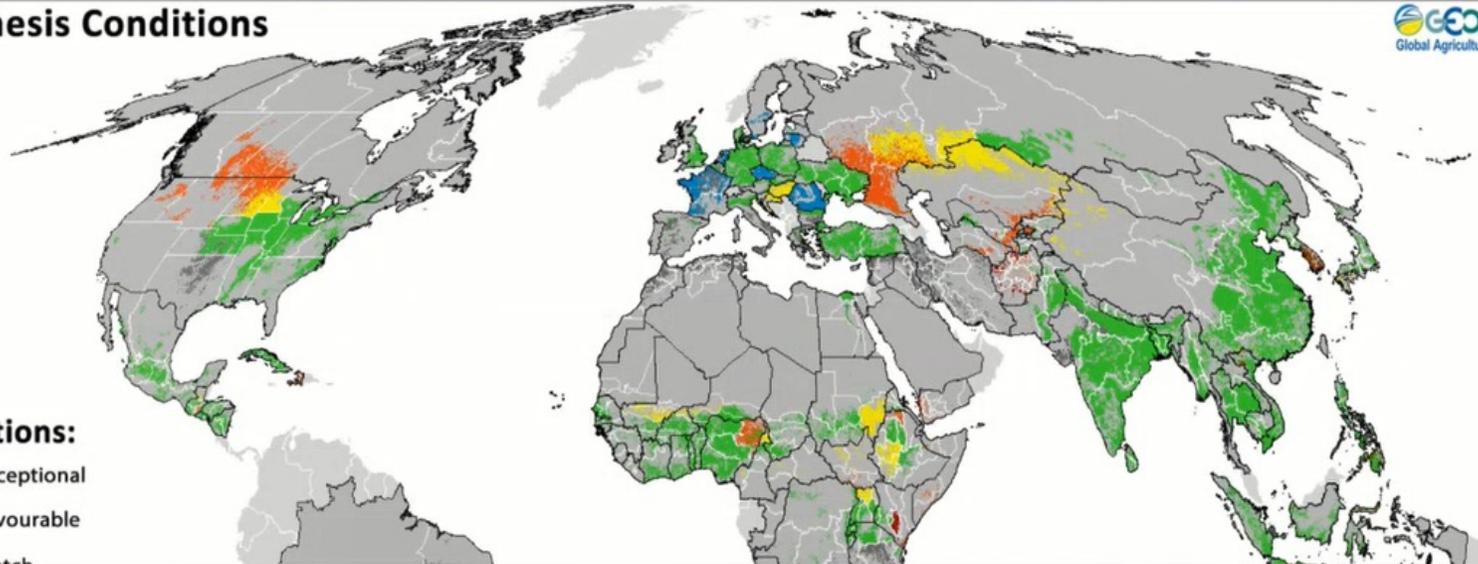
- La estimación de rendimiento basada en Observación de la Tierra (EO) en alta resolución está en su mayoría en desarrollo
 - El uso de la tecnología EO actualmente permanece limitado a datos de resolución espacial gruesa (> 250 m), incapaces de capturar la señal de un cultivo específico en la mayoría de las regiones del mundo.
 - Las variables biofísicas de EO se usan para evaluar las condiciones del cultivo y sus anomalías – E.g.: <https://cropmonitor.org/>
- Las misiones Copernicus Sentinels, operacionales y a alta resolución, están cambiando la situación: oportunidades y además nuevos desafíos
- Métodos principales:
 - **Regresión empírica usando predictores de rendimiento simples basados en Índices de Vegetación / Variables Biofísicas**
 - Modelos semi-empíricos basados en Monteith (modelado de plantas y concepto de eficiencia en el uso de la luz)
 - Modelo mecanicista de cultivos y asimilación de datos



OPEN, TIMELY, AND SCIENCE-DRIVEN INFORMATION ON CROP CONDITIONS IN SUPPORT OF MARKET TRANSPARENCY AND EARLY WARNING OF PRODUCTION SHORTFALLS.

LATEST CONDITIONS PUBLISHED IN OUR REPORTS

Synthesis Conditions



- Conditions:**
- Exceptional
 - Favourable
 - Weak

LATEST REPORTS



SPECIAL REPORTS



CROP MONITOR FOR AMIS



CROP MONITOR FOR EARLY WARNING



CLIMATE FORECAST

SUBSCRIBE TO THE REPORTS

Email

you@example.com

Información de vanguardia

- La estimación de rendimiento basada en Observación de la Tierra (EO) en alta resolución está en su mayoría en desarrollo
 - El uso de la tecnología EO actualmente permanece limitado a datos de resolución espacial gruesa (> 250 m), incapaces de capturar la señal de un cultivo específico en la mayoría de las regiones del mundo.
 - Las variables biofísicas de EO se usan para evaluar las condiciones del cultivo y sus anomalías – E.g.: <https://cropmonitor.org/>
- Las misiones Copernicus Sentinels, operacionales y a alta resolución, están cambiando la situación: oportunidades y además nuevos desafíos
- Métodos principales:
 - **Regresión empírica usando predictores de rendimiento simples basados en Índices de Vegetación / Variables Biofísicas**
 - Modelos semi-empíricos basados en Monteith (modelado de plantas y concepto de eficiencia en el uso de la luz)
 - Modelo mecanicista de cultivos y asimilación de datos

Relación empírica usando predictores de rendimiento simples basados en Índices de Vegetación / Variables Biofísicas

Desde principios de 1980: Los Índices de Vegetación o LAI se utilizan como aproximaciones estacionales de biomasa para estimar el rendimiento de los cultivos

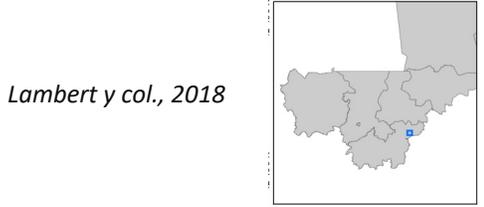
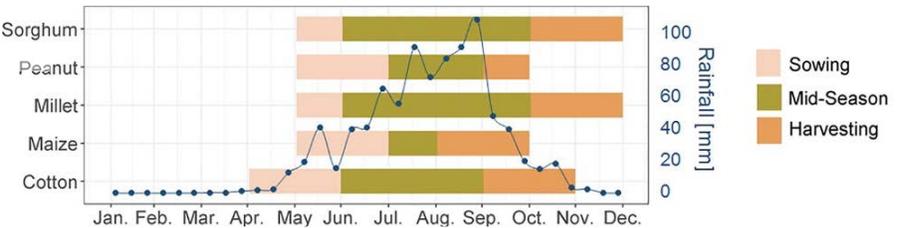
Tucker y col. 1980 informó que el **NDVI por un período de cinco semanas** (elongación del tallo a antesis) podía explicar una variación de ~ 64% en el rendimiento del trigo. Pinter y col. 1981 **sumó el NDVI** para el trigo y la cebada (de la floración a la senescencia completa), explicando aprox. el 88% del rendimiento.

En los últimos años gracias a la disponibilidad de datos satelitales se han desarrollado muchas aplicaciones utilizando relaciones empíricas entre rendimientos y varios Índices de Vegetación / Variables Biofísicas.

Becker-Reshefet al. (2010) utilizó el **máximo NDVI de MODIS** y construyó un modelo de regresión generalizado para pronosticar los rendimientos del trigo de invierno. Franchet al. (2015) mejoraron aún más este enfoque **ajustando el NDVI antes de la fecha pico usando el día de grado creciente (GDD)** para una predicción más temprana. Burke y Lobell (2017) y Lambert et al. (2018) demostraron el valor agregado de **imágenes de (muy) de alta resolución** para la agricultura a pequeña escala, vinculando datos de campo con los **índice de vegetación de clorofila verde** o el **LAI máximo**.

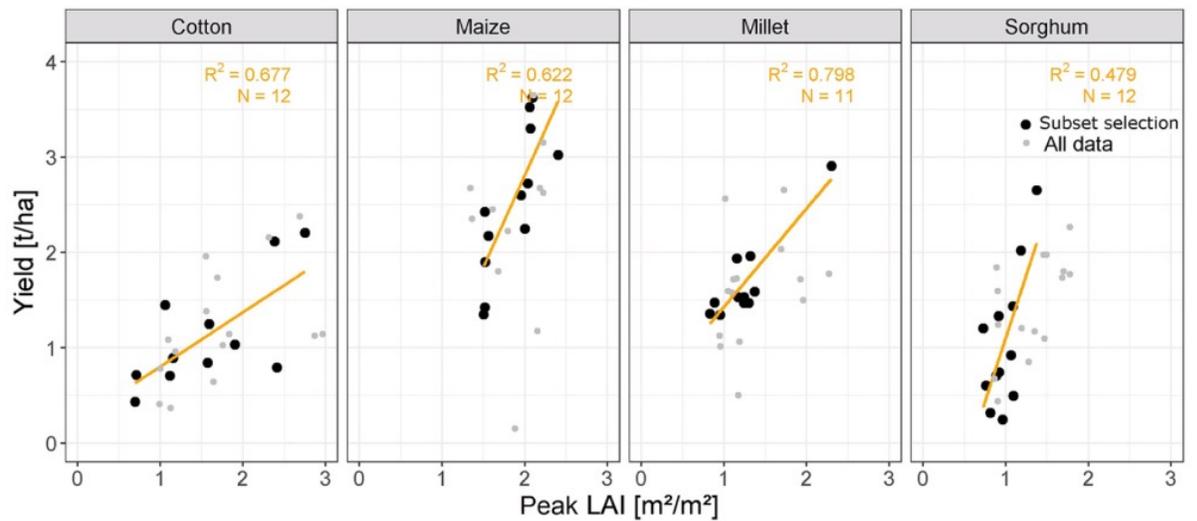
A pesar de la validez local y aplicabilidad limitada a diferentes áreas o años, estos métodos son **simples y efectivos** si las muestras tomadas en campo son representativas y precisas.

Regresión empírica para relacionar Índices de Vegetación / Variables Biofísicas con rendimiento, e.g. vinculando rendimiento y LAI máximo en Mali



DATOS DE CAMPO: Rendimiento fuertemente ligado a biomasa sobre el suelo (R^2 alto para regresiones lineales de un cultivo específico)

Regresiones lineales de rendimiento de cultivos específicos entre max(LAI) y el rendimiento calibrado en un subconjunto homogéneo de datos de campo (puntos negros)



Los datos de EO, y más específicamente, las variables biofísicas – pueden usarse para más que una evaluación de las condiciones de un cultivo: pueden ser **una approx. de confianza del rendimiento** porque trabajamos a alta resolución espacial, y por lo tanto podemos centrarnos en **cultivos específicos**



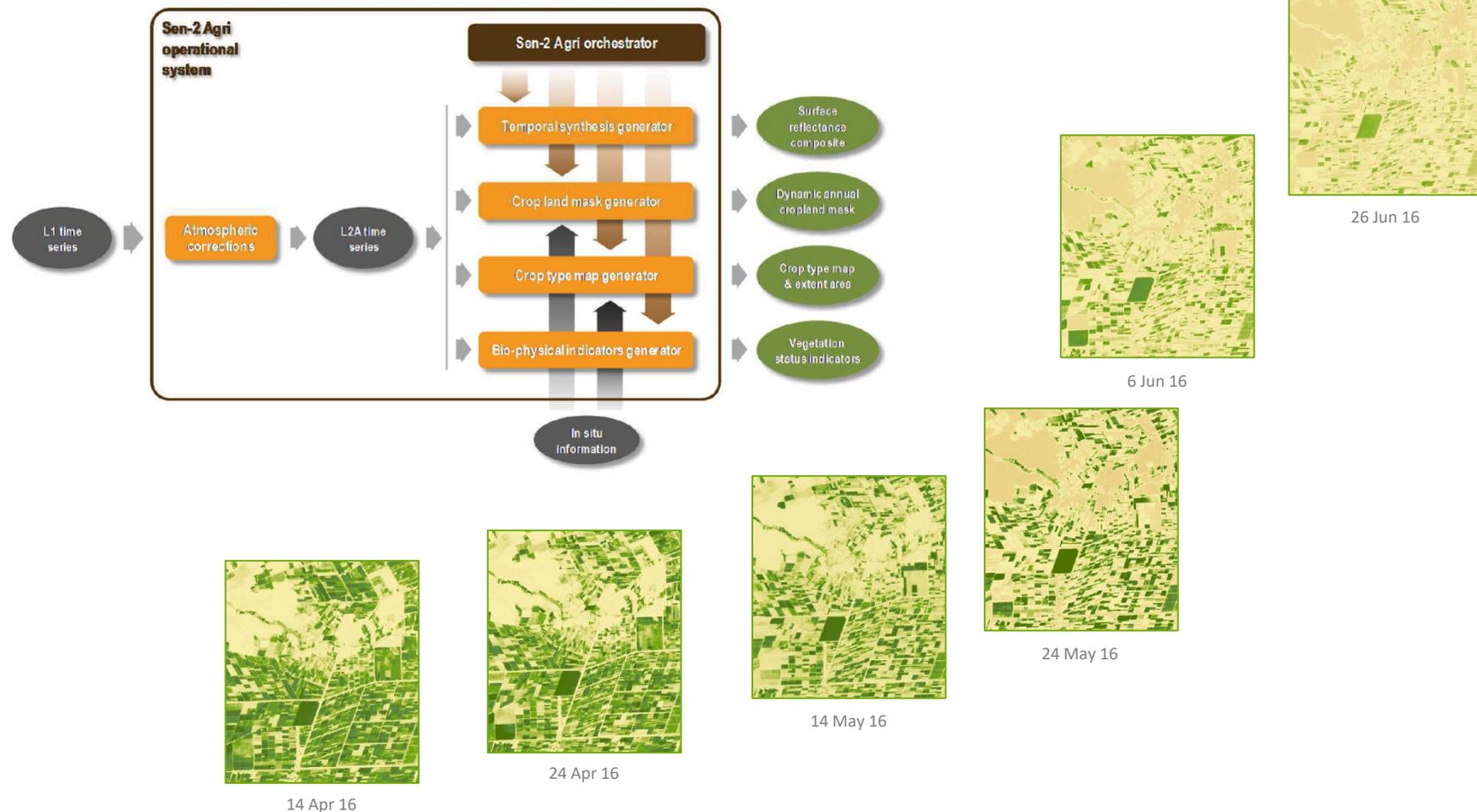
Sen2-Agri
Sentinel-2 for Agriculture



sen4cap
common agricultural policy



Sen4Stat
Sentinels for Agricultural Statistics



SECCIÓN 6: Las cajas de herramientas abiertas de la ESA Sen2-Agri / Sen4CAP / Sen4Stat

Índices Espectrales & Variables Biofísicas calculadas con SNAP

Referirse a la parte 2 de esta serie de webinars

The screenshot displays the SNAP software interface. The main window shows a satellite image of a coastal area with a red box highlighting a specific region. The 'Optical' menu is open, showing 'Thematic Land Processing' selected. A sub-menu is open, listing various biophysical indices and processors. The 'Vegetation Radiometric Indices' sub-menu is also open, showing a list of indices including SAVI, NDVI, TSAVI, MSAVI, MSAVI2, DVI, RVI, PVI, IPVI, WDV, TNDVI, GNDVI, GEMI, ARVI, ND145, MTCI, MCARI, REIP, S2REP, IRECI, and PSSRa. The interface includes a Product Explorer on the left, a Navigation window at the bottom left, and a video player at the bottom.

Product Explorer: [1] S2B_MSIL2A_20200821T100559_N0214...
Level-2A_User_Product
Level-2A_DataStrip_ID
Granules
quality_scene_classification
pins
ground_control_points
B1 (443 nm)
B2 (490 nm)
B3 (560 nm)
B4 (665 nm)
B5 (705 nm)
B6 (740 nm)
B7 (783 nm)
B8 (842 nm)
B8A (865 nm)
B9 (945 nm)
B11 (1610 nm)
B12 (2190 nm)
quality_aot
quality_wvp
quality_doud_confidence
quality_snow_confidence
quality_scene_classification
view_zenith_mean

Optical menu:
Spectrum View
Spectral Unmixing
Geometric
Preprocessing
Thematic Land Processing
Thematic Water Processing

Biophysical Processor (LAI, fAPAR...)
Soil Radiometric Indices
Vegetation Radiometric Indices
Water Radiometric Indices
MERIS/(A)ATSR SMAC Atmospheric Correction
SEN-ET
Forest Cover Change Processor

Biophysical Processor S2
Biophysical Processor S2_10m
Biophysical Processor LANDSAT8

Vegetation Radiometric Indices:
SAVI Processor
NDVI Processor
TSAVI Processor
MSAVI Processor
MSAVI2 Processor
DVI Processor
RVI Processor
PVI Processor
IPVI Processor
WDVI Processor
TNDVI Processor
GNDVI Processor
GEMI Processor
ARVI Processor
ND145 Processor
MTCI Processor
MCARI Processor
REIP Processor
S2REP Processor
IRECI Processor
PSSRa Processor

Navigation - [1] RGB
Colour Manipulation - [1] ...
World View
Time Series

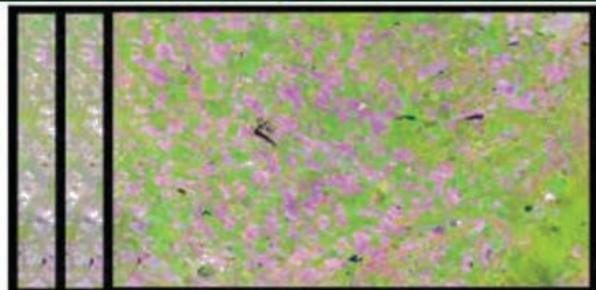
08:44

Prioridad de Sen2-Agri: proporcionar automáticamente 4 productos agrícolas durante la estación con S2 & L8

En acuerdo con los productos de base de GEOGLAM

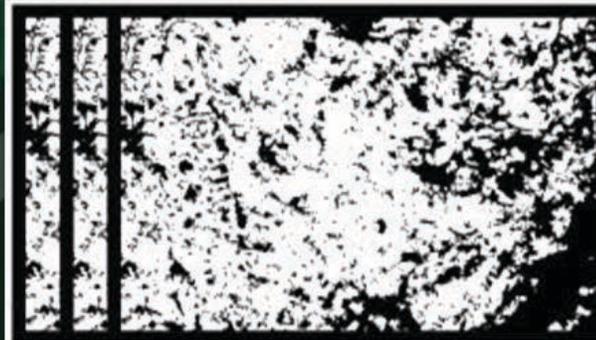
Monthly cloud free surface reflectance composite at 10-20 m

CLOUD FREE SURFACE REFLECTANCE COMPOSITES



Vegetation status map at 10 m delivered every week (NDVI, LAI, pheno index)

DYNAMIC CROPLAND MASK



Binary map identifying annually cultivated land at 10m updated every month

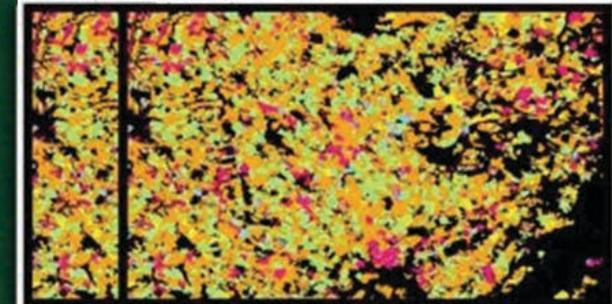
Open source toolbox
Capacity building and training

VEGETATION STATUS



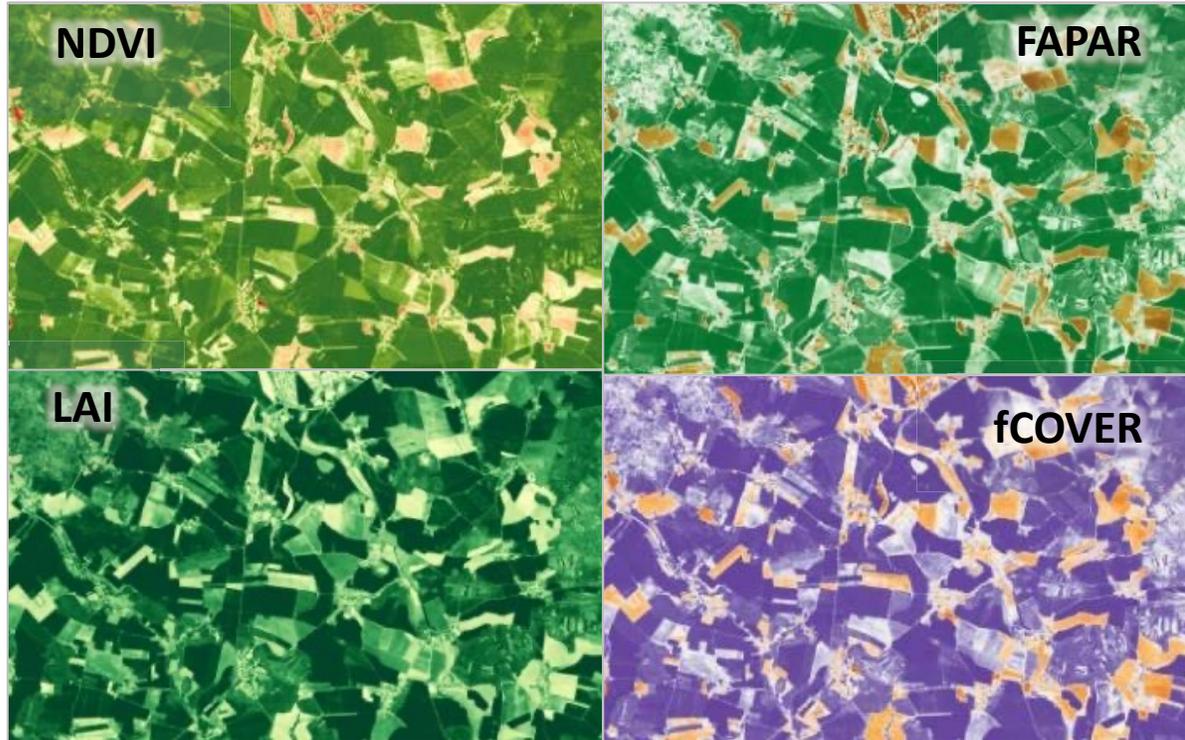
CULTIVATED CROP TYPE MAP

Growing season (first half and end of the season)

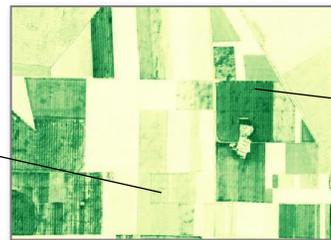
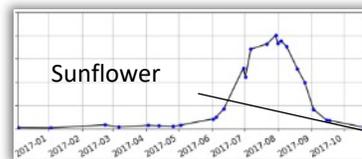


Crop type map at 10 m for the main regional crops including irrigated/rainfed discrimination

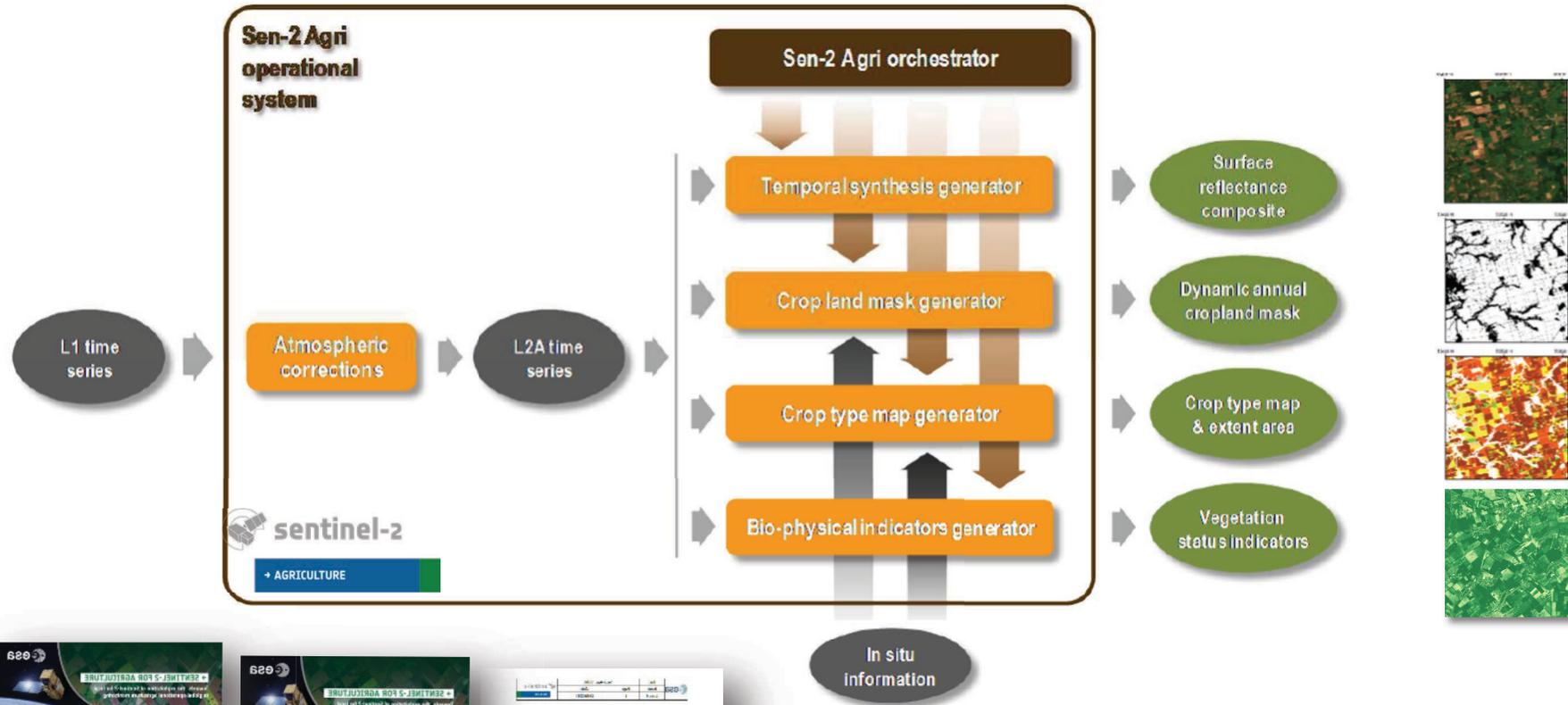
Mapa del estado de la vegetación a 10 m: 4 variables para describir el ciclo de crecimiento del cultivo



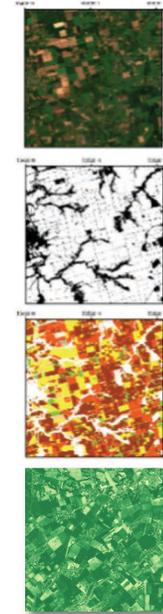
- **NDVI (Índice Diferencial de Vegetación Normalizado)**: el indicador mas popular para hacer seguimiento de la vegetación; ya muy utilizado en aplicaciones operacionales
- **LAI (Índice de Superficie Foliar)**: el tamaño de la interfaz desde la cual se intercambia la energía y la masa entre el dosel y la atmósfera
- **FCover (fracción de Cobertura Vegetal)**: fracción del suelo cubierto por vegetación verde
- **FAPAR (fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa Absorbida)** por los elementos verdes y vivos del dosel.



Sistema Sen2-Agri: Sistema abierto probado a escala completa en tiempo casi real o fuera de línea, ejecutado localmente o en la nube



Imágenes compuestas, mensuales y sin nubes de la reflectancia de la superficie a 10-20 m



Máscara de cultivos a 10m actualizada cada mes

Mapa de tipos de cultivos a 10 m para los principales cultivos de la región

Mapa del estado de la vegetación a 10 m disponible semanalmente (NDVI, LAI, $fCover$, $fAPAR$)



Documentado y disponible para descargar en <http://www.esa-sen2agri.org/resources/software/>

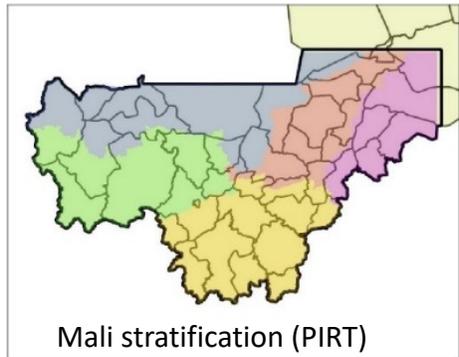
Sistema Sen2-Agri system : parametrización simple de la recogida de datos de campo



Inicialización del sistema



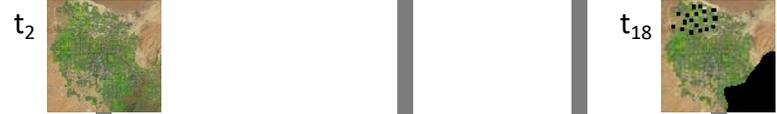
Sistema Sen2-Agri : configuración de parámetros principales	
Área de interés	Cargar una shapefile
Periodo de seguimiento	Definir fechas de inicio y final
S2 o S2 + L8	Seleccionar
Otros parámetros	...



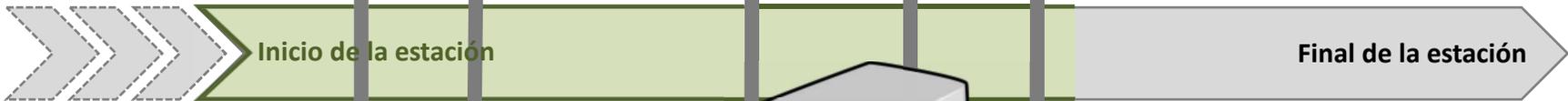
Sistema Sen2-Agri: datos de campo	
Diseño del muestreo	Estratificación y muestreo
Visitas de campo	Recogida de datos in situ – inspección temprana
	Recogida de datos in situ – inspección a mitad de la estación
Subida de datos	Control de calidad de datos de campo y formateo

ID	Shape	ID	CROP	LC	CODE	IRRIGATION
1	Polygon	1	1	Spring Wheat	112	0
2	Polygon	2	1	Spring Wheat	112	0
3	Polygon	3	1	Spring Wheat	112	0
4	Polygon	4	1	Spring Wheat	112	0
5	Polygon	5	1	Spring Wheat	1911	0
6	Polygon	6	1	Triticale	1911	0
7	Polygon	7	1	Triticale	1911	0

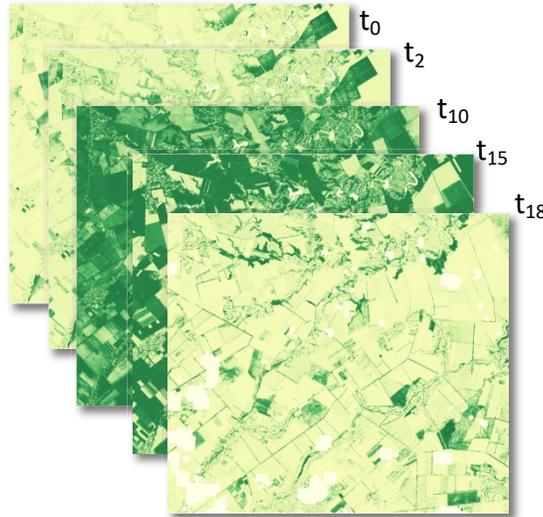
Operar el sistema para monitorear el desarrollo de cultivo en tiempo casi real



Descarga automática de datos de Observación de la Tierra



Descarga automática de datos de Observación de la Tierra de los proveedores



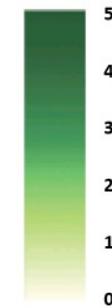
Seguimiento de cultivos a gran escala (nacional)

Series temporales de LAI a escala del pixel (10 m) - Ucrania

18 Feb. 16
18 Abr. 16
28 Abr. 16
17 Jun. 16
17 Jul. 16
8 Sept. 16

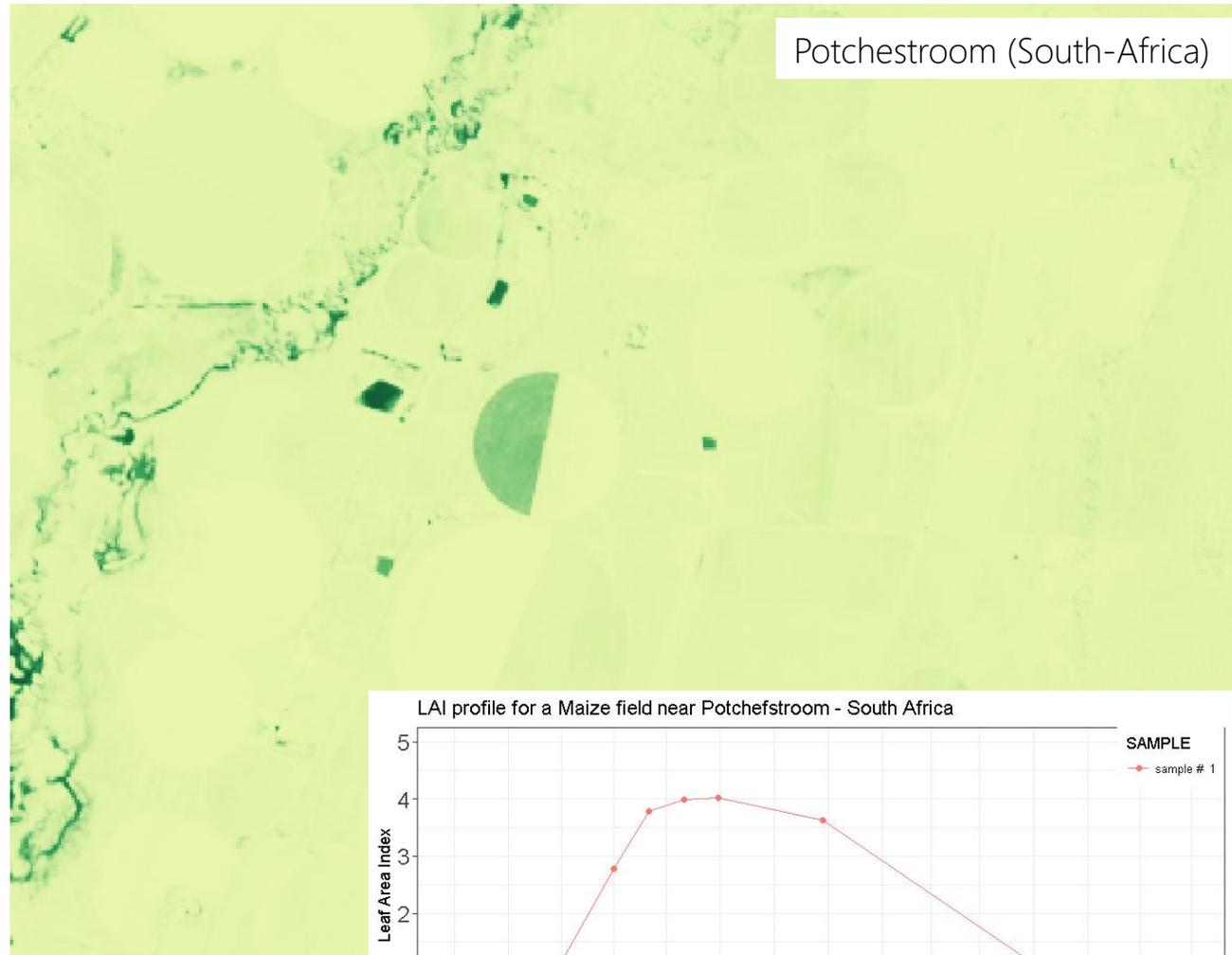


Valores del Índice
de Superficie
Foliar (LAI)



Seguimiento de cultivos a gran escala (nacional)

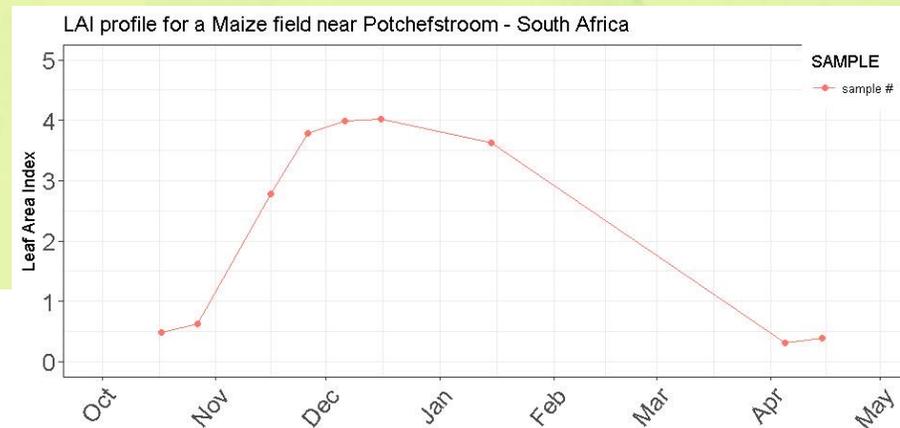
Series temporales de LAI a escala del pixel (10 m) - Sudáfrica



16/10/2016 16/11/2016 16/12/2016 16/01/2017
27/10/2016 27/11/2016 27/12/2016 27/01/2017 27/02/2017 27/03/2017 27/04/2017

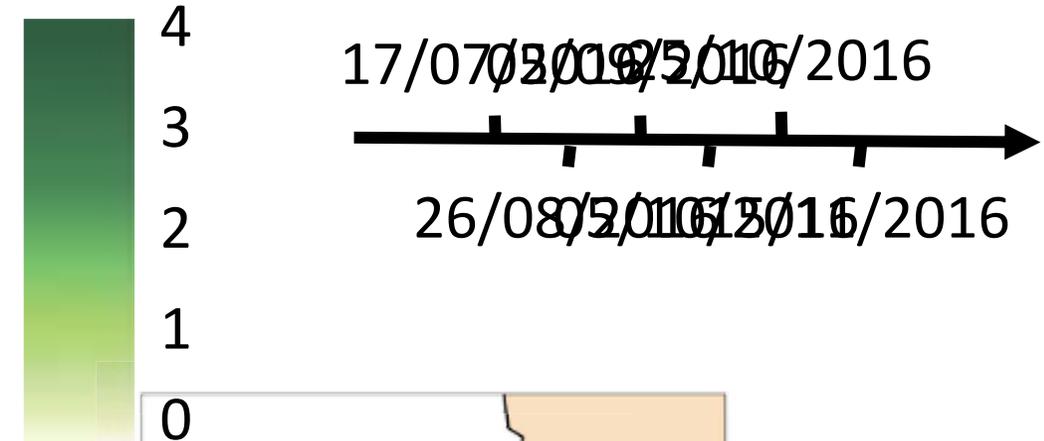


Índice de Superficie
Foliar (LAI)



Seguimiento de cultivos a gran escala (nacional)

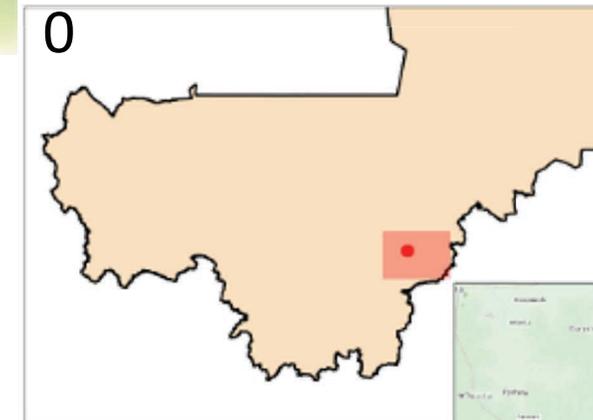
Series temporales de LAI a escala del pixel (10 m) - Mali



17/07/2016 19/05/2016 16/2016



26/08/2016 13/016/2016



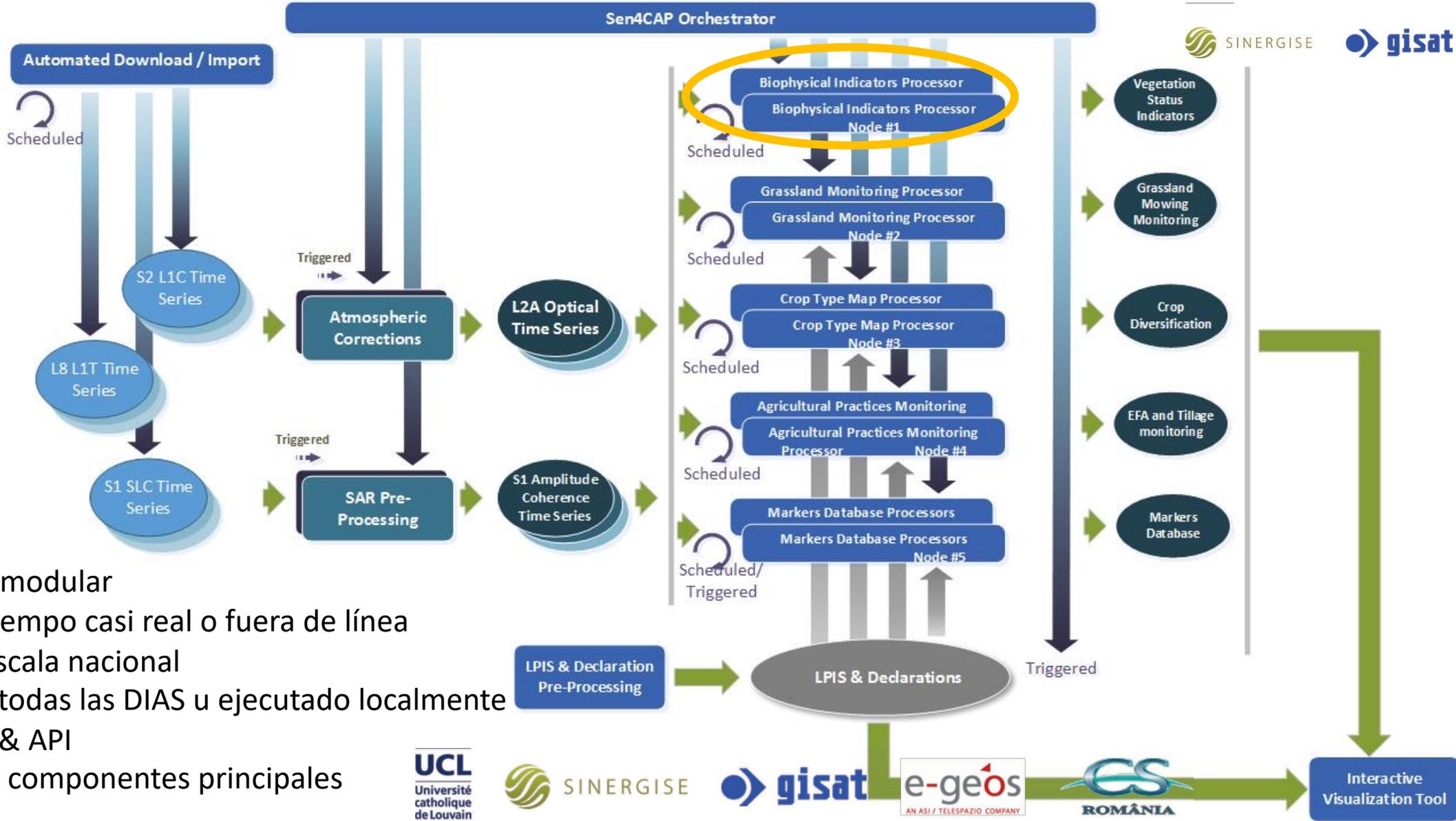
Mali



Koutiala

Sen4CAP – Sistema abierto, basado en objetos y que combina Sentinel-1 y Sentinel-2

Versión 2.0
 disponible
 desde el
 8 Feb. 2021

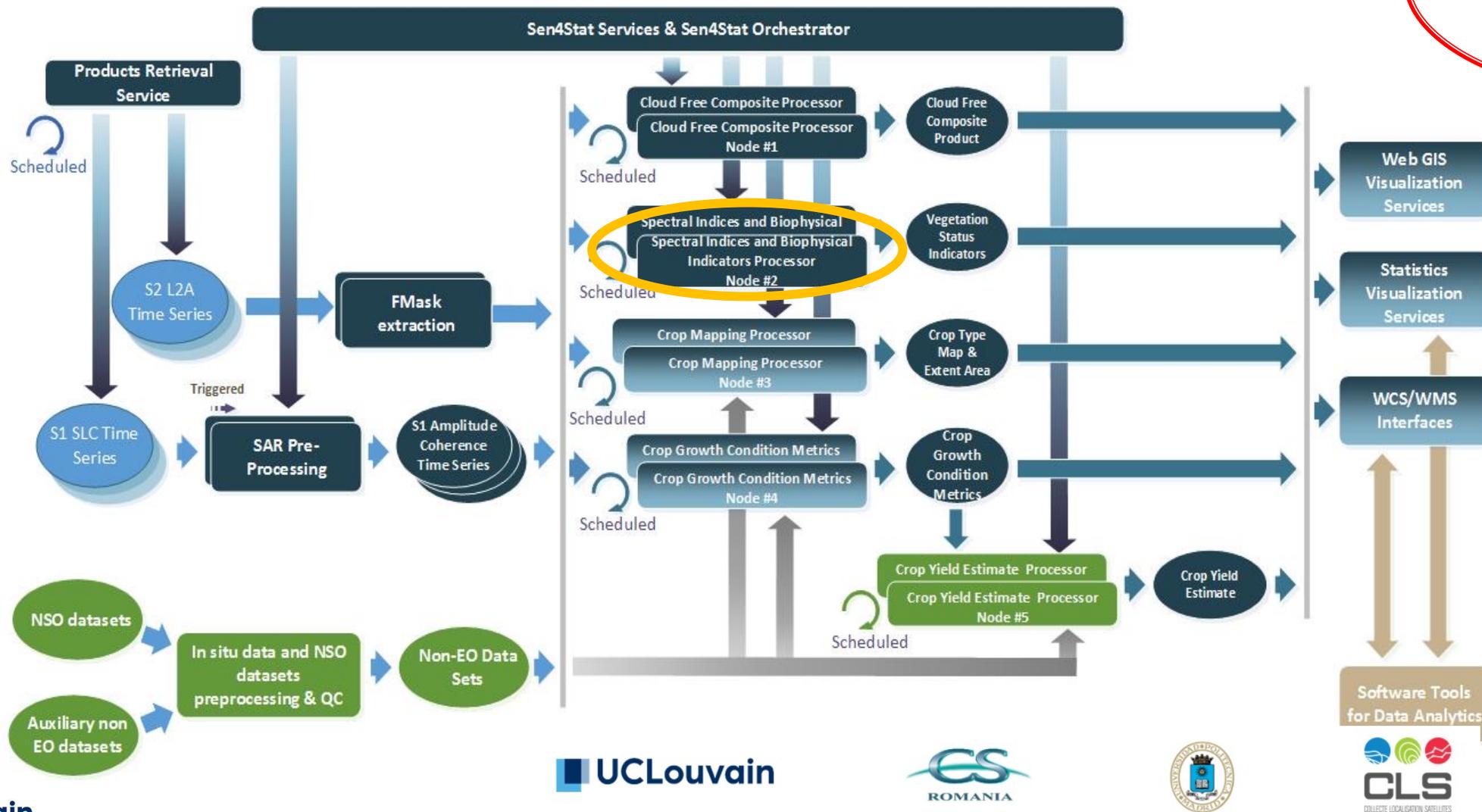


- Sentinel-1 & -2
- Automatizado y modular
- Producción en tiempo casi real o fuera de línea
- Demostrado a escala nacional
- Transportable a todas las DIAS u ejecutado localmente
- Interfaz sencilla & API
- Dockers para los componentes principales

Sen4Stat – Construido a partir de Sen2-Agri y Sen4CAP

Basado en análisis a nivel del pixel, Sentinel-1 y Sentinel-2, datos con módulo de control de calidad

Todavía en desarrollo



Preguntas?

- Por favor escriban sus preguntas en la sección Q&A. Las contestaremos en orden en el que las vayamos recibiendo.
- Tras la conclusión de este webinar, el Q&A con sus preguntas y respuestas se publicará en la web del curso.

Contactos

- Instructores:
 - Pr. PierreDefourny: Pierre.Defourny@uclouvain.be
 - Dra. Sophie Bontemps: Sophie.Bontemps@uclouvain.be
- Página web del curso:
<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-agricultural-crop-classification-synthetic-aperture-radar-and>
- Cajas de herramientas de la ESA para la agricultura:
 - Sen2-Agri: <http://www.esa-sen2agri.org/>
 - Sen4CAP: <http://esa-sen4cap.org/>
 - Sen4Stat: <https://www.esa-sen4stat.org/>

Main references

- Blaes, Xavier ; Chomé, Guillaume ; Lambert, Marie-Julie ; Traoré, Pierre Sibiry ; Schut, Antonius G.T. ; Defourny, Pierre, 2016. Quantifying Fertilizer Application Response Variability with VHR Satellite NDVI Time Series in a Rainfed Smallholder Cropping System of Mali. In: *Remote Sensing*, Vol. 8, p. 531
- Boschetti et al 2018 Testing Multi-Sensors Time Series of Lai Estimates to Monitor Rice Phenology: Preliminary Results. IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. DOI: [10.1109/IGARSS.2018.8518494](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518494)
- Boschetti et al. 2017 PhenoRice: A method for automatic extraction of spatio-temporal information on rice crops using satellite data time series. *Remote Sensing of Environment*. Volume 194, 1 June 2017, Pages 347–365
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.029>Boschetti 2018
- Cai et al. 2017 "Performance of Smoothing Methods for Reconstructing NDVI Time-Series and Estimating Vegetation Phenology from MODIS Data. *Remote Sens*,9, <https://doi.org/10.3390/rs9121271>
- Defourny, Pierre ; Bontemps, Sophie et al., 2019. Near real-time agriculture monitoring at national scale at parcel resolution: Performance assessment of the Sen2-Agri automated system in various cropping systems around the world. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 221, p. 551-568 (2019).
- Delloye, Cindy ; Weiss, Marie ; Defourny, Pierre, 2018. Retrieval of the canopy chlorophyll content from Sentinel-2 spectral bands to estimate nitrogen uptake in intensive winter wheat cropping systems. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 216, p. 245-261 (2018).
- Duveiller G., De Wit, A. , Kouadio, L. , Djaby, B. , Curnel, Y. , Tychon, B. & Defourny, P. (2010). Exploring the potential of crop specific green area index time series to improve yield estimation at regional scale. Proceedings in: RAQRS'III - Recent advances in quantitative remote sensing, Torrent, Spain, 27 September - 1 October 2010, 6 pp
- Lambert et al. 2018, Estimating smallholder crops production at village level from Sentinel-2 time series in Mali's cotton belt. *Remote Sensing of Environment*, 216(2), pp. 647-657, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.036>
- Radoux, Julien ; Chomé, Guillaume ; Jacques, Damien Christophe ; Waldner, François ; Bellemans, Nicolas ; Matton, Nicolas ; Lamarche, Céline ; d'Andrimont, Raphaël ; Defourny, Pierre, 2016. *Sentinel-2's Potential for Sub-Pixel Landscape Feature Detection*. In: *Remote Sensing*, Vol. 8, no.6, p. 488



¡Gracias!

