



UNIVERSITY of  
STIRLING



UCLouvain



Agriculture and  
Agri-Food Canada

Agriculture et  
Agroalimentaire Canada



Environment and  
Climate Change Canada

Environnement et  
Changement climatique Canada



# Mapeo de Cultivos y sus Características Biofísicas con SAR Polarimétrico y Teledetección Óptica

**Parte 3: Caja de herramientas de código abierto Sen4Stat para la cartografía de cultivos a gran escala (teoría y práctica)**

**Pr. Pierre Defourny (UCLouvain)**

26 Abril, 2022

# Esquema de la Capacitación

12 Abril

Parte 1: Polarimetría SAR para la agricultura (teoría y práctica)

19 Abril

Parte 2: Polarimetría SAR práctica con imágenes de Sentinel-1, RCM y SAOCOM para la agricultura

26 Abril

Parte 3: Caja de herramientas de código abierto Sen4Stat para la cartografía de cultivos a gran escala (teoría y práctica)

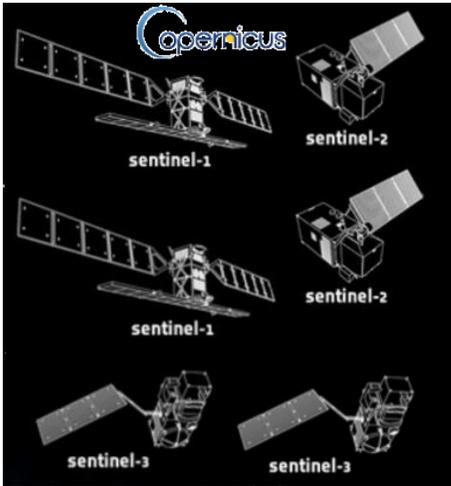
3 Mayo

Parte 4: Análisis de Series de Tiempo de Cultivos Específicos para Análisis del Crecimiento

# Tabla de Contenidos

- Sección 1: Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala con alta resolución espacial
- Sección 2: Mapeo de cultivos a gran escala utilizando la caja de herramientas Sen4Stat
- Sección 3: Uso práctico de la caja de herramientas Sen4Stat para el mapeo de tipos de cultivos
- Sección 4: Preguntas y Respuestas

# Las nuevas misiones por satélite y la (r)evolución de las tecnologías de la información han cambiado las reglas del juego para la agricultura



Granjas de servidores con archivos de datos de Observación de la Tierra completos. Explotación a bajo/ningún coste



Política de datos libre, abierta y a largo plazo (EE.UU., UE,...)



Sen2-Agri

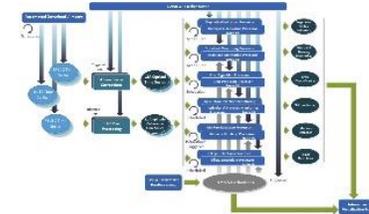
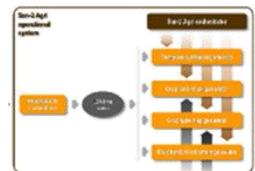


sen4cap common agricultural policy



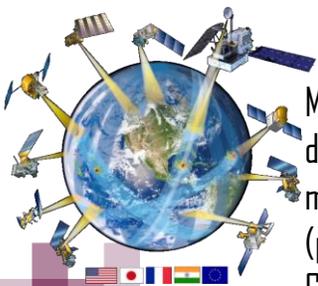
Sen4Stat Sentinel-2 Agricultural Statistics

Herramientas de procesado de código abierto que usan algoritmos de ML & AI.



CEOS

Coordinación para la redundancia y armonización de los sistemas EO



Mejora de los datos meteorológicos (por ejemplo, GPM, ERAS,...)

JECAM Joint Experiment for Crop Assessment and Monitoring Red global con experimento entre sitios.



Buenas prácticas & estándares

Agromet & modelos



Prod. Agric, de Obs. de Tierra => a nivel de parcela o intra-parcelario

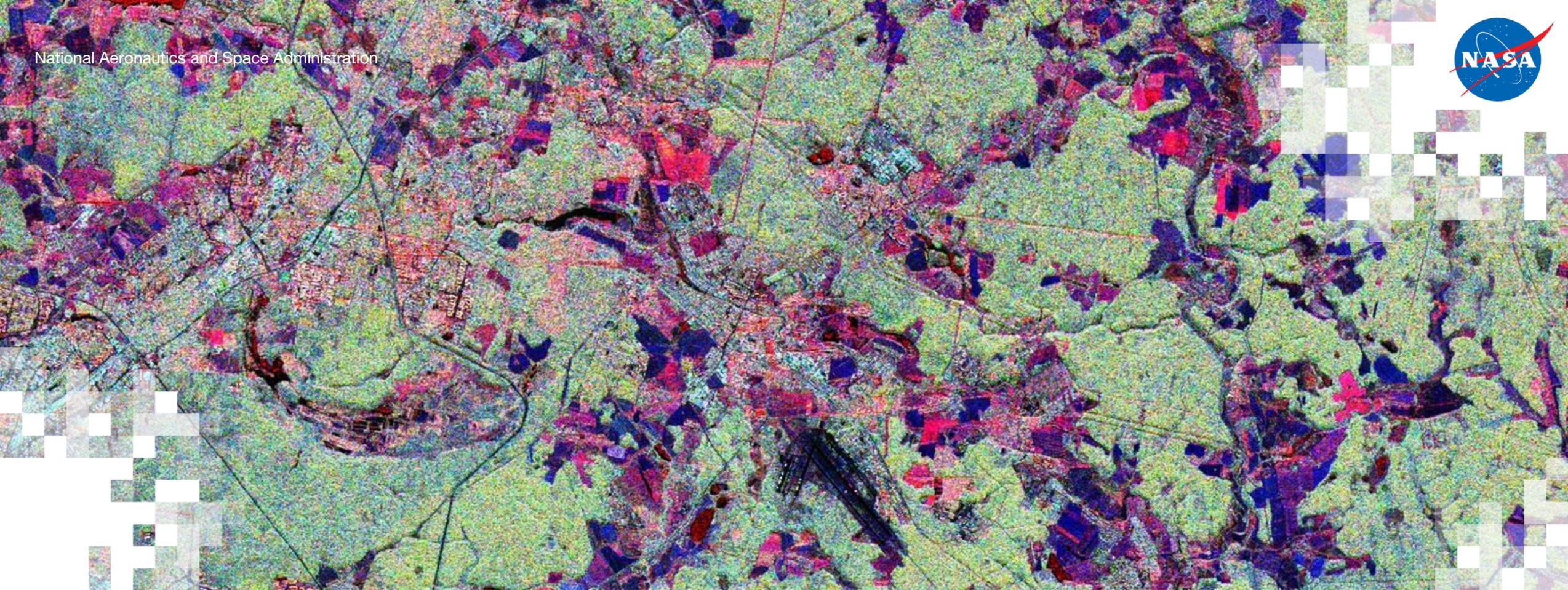
1. Mapeo areas cultivadas
2. Mapeo tipo de cultivo
3. Variables biofísicas (fCover, LAI, fAPAR,...)
4. Monit. del estado del cultivo
5. Monit. de practicas agricolas



¿Cómo aprovechar los datos de Copernicus Sentinel-1 y Sentinel-2 para la cartografía de cultivos a escala nacional?



0 days 00 hours 00 minutes  
Sentinel-2 constellation:  
summer solstice



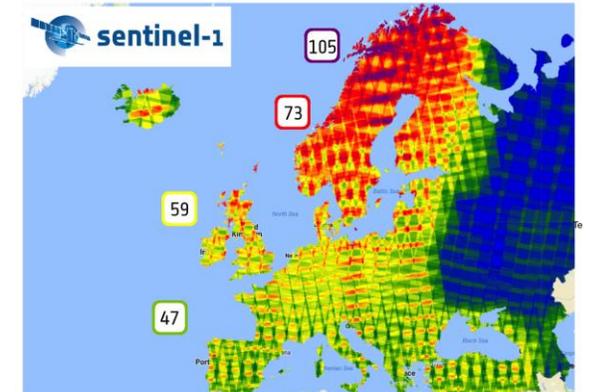
## Sección 1: Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala con alta resolución espacial

# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala



Además del gran volumen de datos y los requisitos informáticos

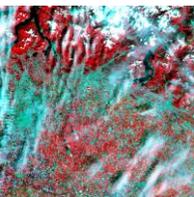
- Los sistemas de los satélites de Observación de la Tierra a alta resolución no cubren una gran superficie de una sola vez
  - Ancho de barrido del instrument de Sentinel-2 : 290 km
  - Ancho de barrido de Sentinel-1 (“interferometric wide swath”) : 250 km
  - Solapamiento entre imágenes adquiridas desde órbitas adyacentes
  - Solapamiento creciente debido a la convergencia de la órbita hacia el Polo Norte



Numero de fechas de observaciones de S-1A & -1B (Julio-Sept)

⇒ **Heterogeneidad de la densidad de observación** en la zona

- Frecuencia de nubosidad bastante variable (sistemas ópticos) y plan de adquisición no sistemático en el espacio y el tiempo (sistemas ópticos y SAR)
  - ⇒ **Heterogeneidad de la densidad de observaciones validas** en la zona



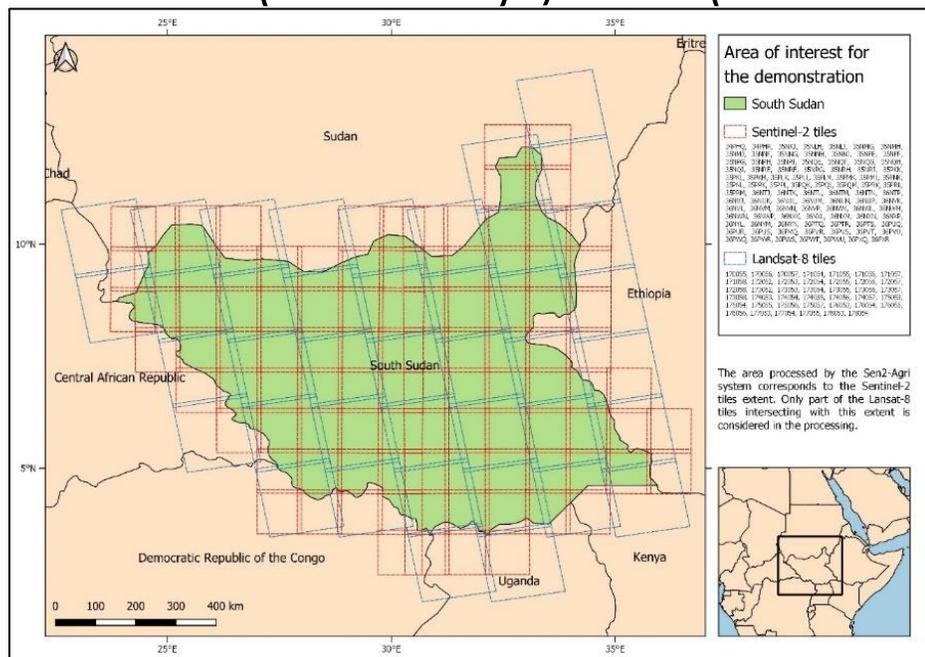
- Importantes **gradientes agroclimáticos** que causan gran variabilidad en los calendarios de cultivo y en el desarrollo de la vegetación en toda la zona

# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala – *Cual es su importancia?*

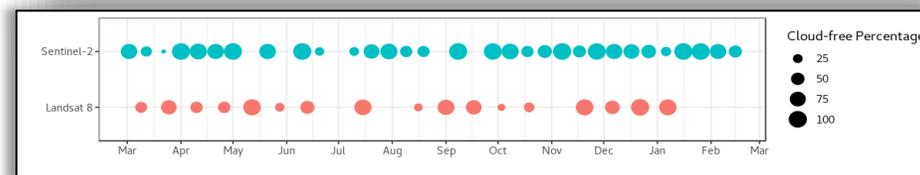
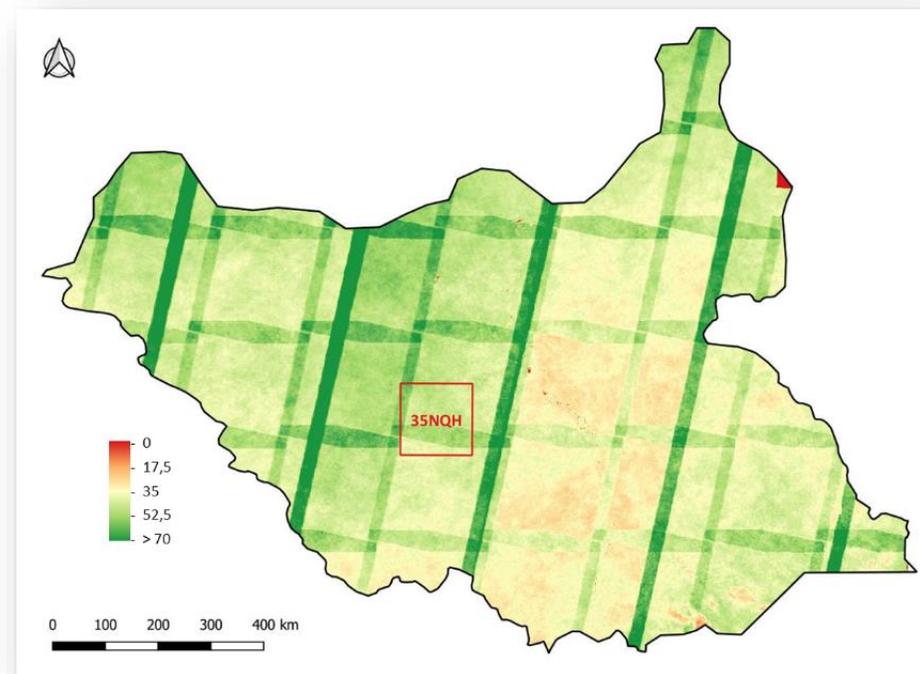
**3 desafíos ya identificados** *resolución temporal resolution crítica para discriminar cultivos*

**Ejemplo de Sudán del Sur** (619.745 km<sup>2</sup>)

Nr de granulos por satélite:  
escenas (Landsat) y tiles (Sentinelas)



Nr de imágenes validas (nubosidad < 10%)  
desde Marzo 2017 a Feb. 2018



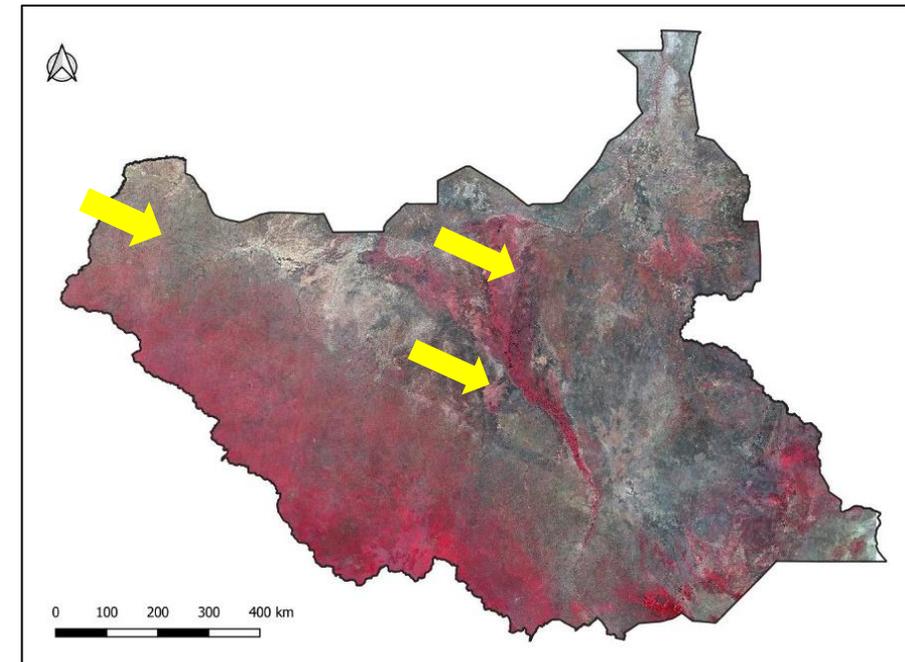
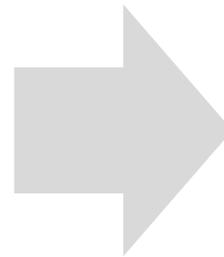
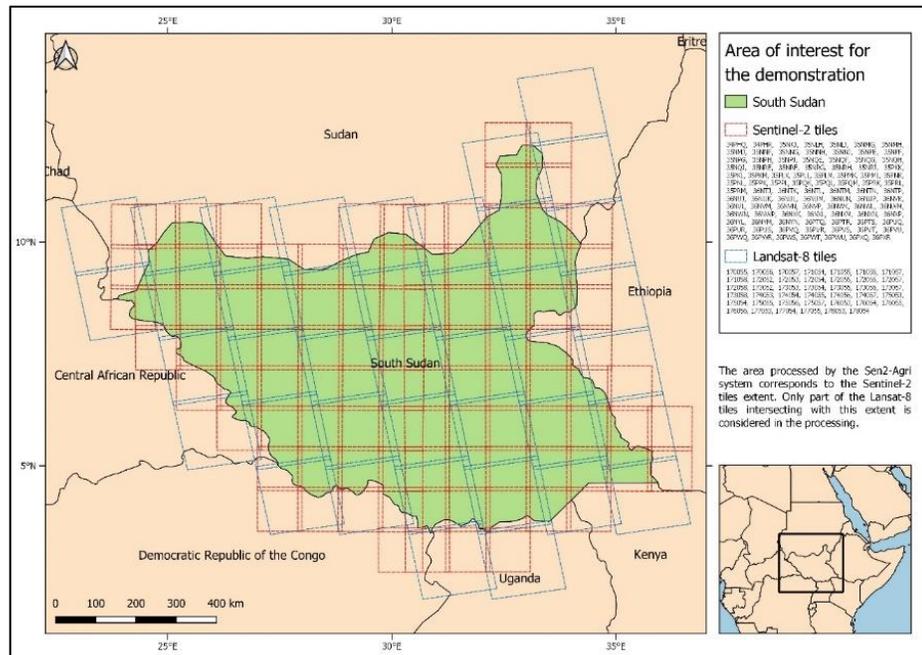
# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

*Ejemplo de Sudán del Sur – primera solución frente a densidad de obs. validas heterogénea*

Nr de granulos por satélite:  
escenas (Landsat) y tiles (Sentinelas)

**Síntesis mensual** (Junio 2017)

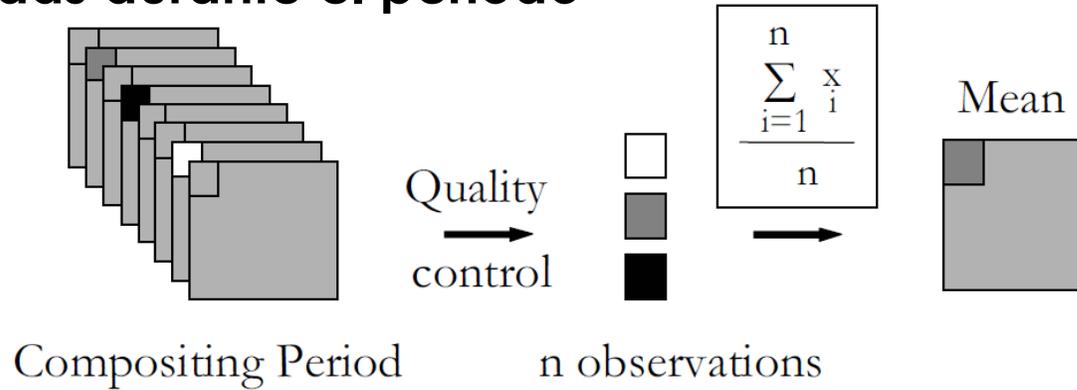
promediando todas las reflectancias libres de nubes



- ⇒ **artefactos** debidos a la variabilidad de los datos usados
- ⇒ **reducción de la resolución temporal** a mensual

# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

Métodos de síntesis temporal que promedian todas las reflectancias libres de nubes adquiridas durante el periodo



## Sen4Stat : Procesador de síntesis de media ponderada

- peso en función de la fecha (distancia de la fecha central)
- peso en función de la Aerosol Optical Thickness
- peso en función de la distancia a las nubes
- peso en función del sensor (S2>L8)

=> reducción de los artefactos de composición

=> resolución temporal mensual no muy adecuada para la discriminación de cultivos

Comparación de los métodos de síntesis temporal

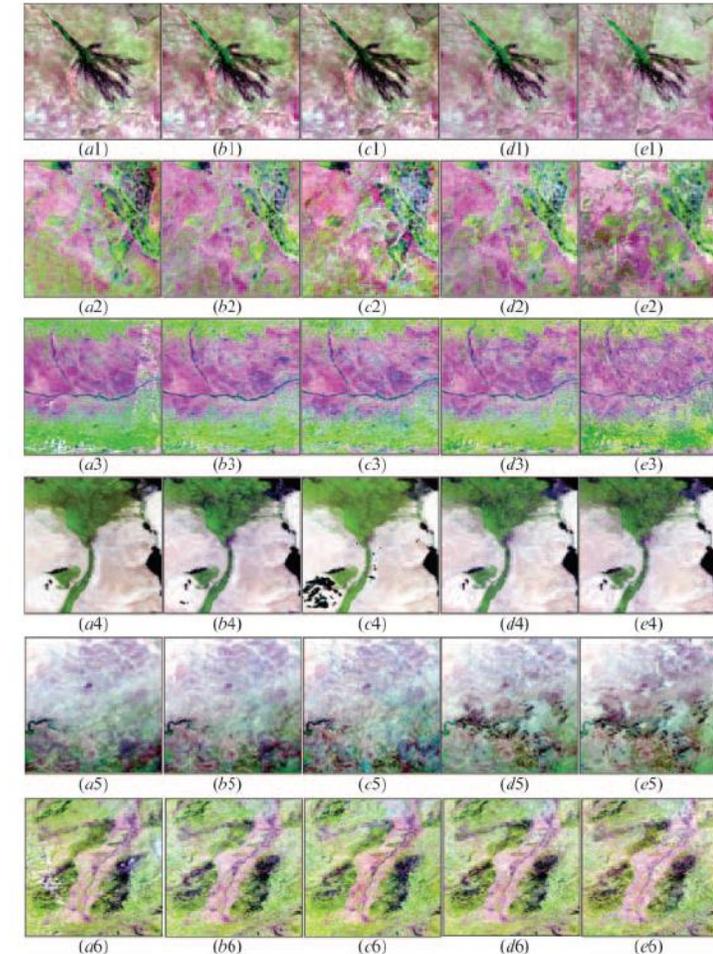


Figure 3. Visual comparison between the best cloud-free image of the decade (a), the MC (b), the BDC (c), the AVG (d) and the MVC (e) colour composites (SWIR, NIR, red), for 6 samples: (1) Botswana (1st decade of June 2002), (2) Sudan (1st decade of November 2002), (3) Romania (2nd decade of June 2002), (4) Egypt (1st decade of November 2002), (5) Senegal (1st decade of June 2002), and (6) Germany (2nd decade of June 2002). Available in colour online.

(Vancutsem et al., IJRS 2008)

# Provincia del Cabo Occidental monitoreada por los compuestos mensuales de Sentinel 2

Región de producción de cereales de invierno (2016 Sudáfrica)

Junio

Julio

Agosto

Septiembre

Octubre

Noviembre

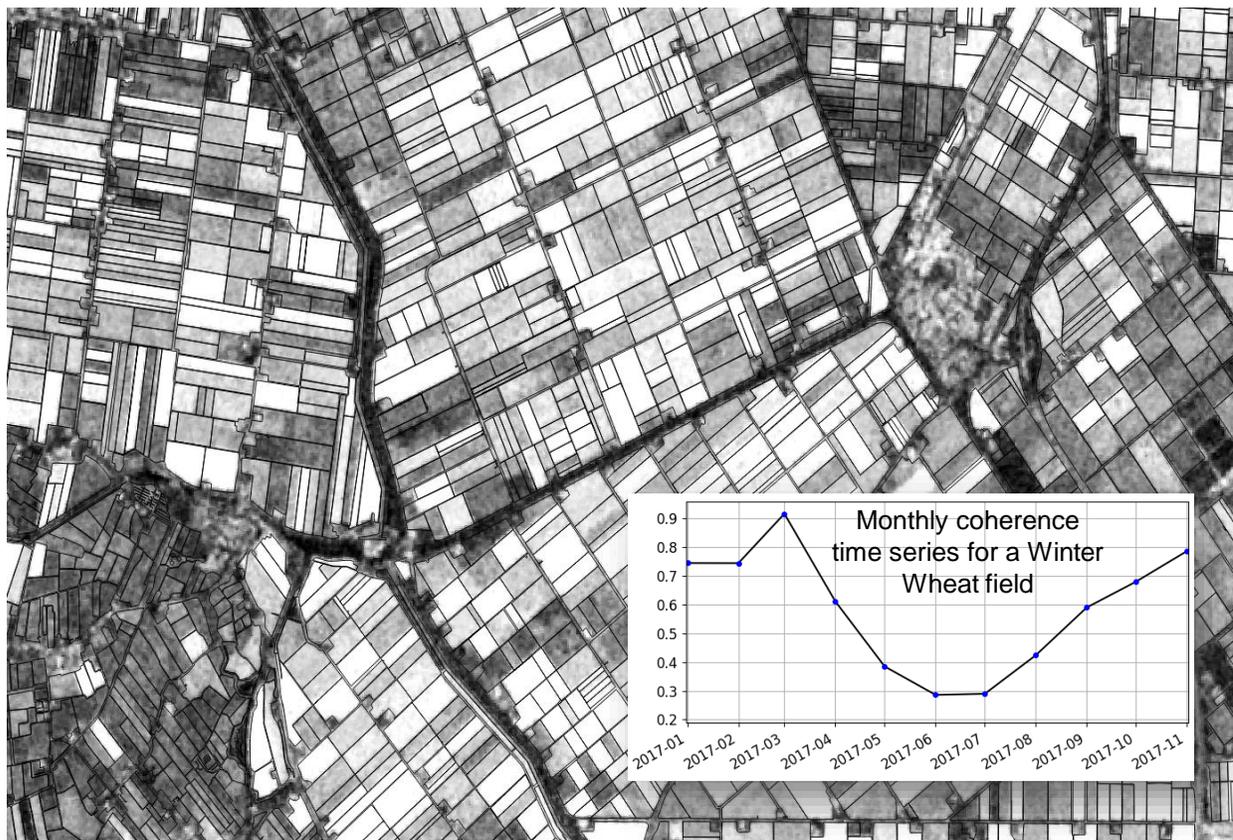


Cape Town



# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

Síntesis temporal del SAR promediando todas las observaciones del SAR a lo largo del periodo para reducir el ruido



Media de los valores de coherencia derivados de los pares interferométricos de Sentinel-1 para marzo de 2017 sobre los Países Bajos



Compuesto de colores de Sentinel-1 (azul: media de la coherencia de julio; verde: media de la coherencia de marzo; rojo: desviación estándar estacional)

# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

La información temporal es esencial para discriminar cultivos

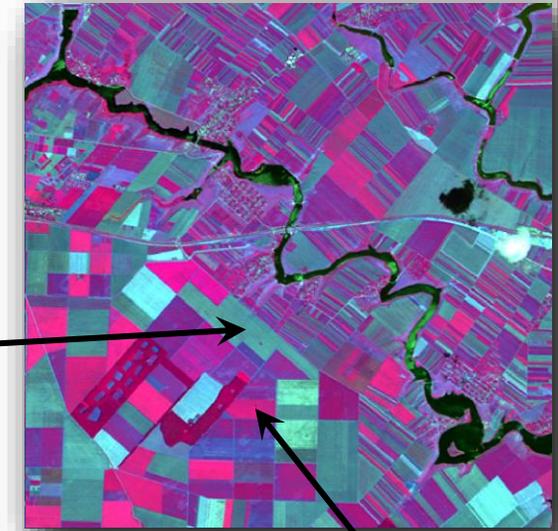
**Segunda solución frente a densidad de obs. heterogénea en un área amplia**



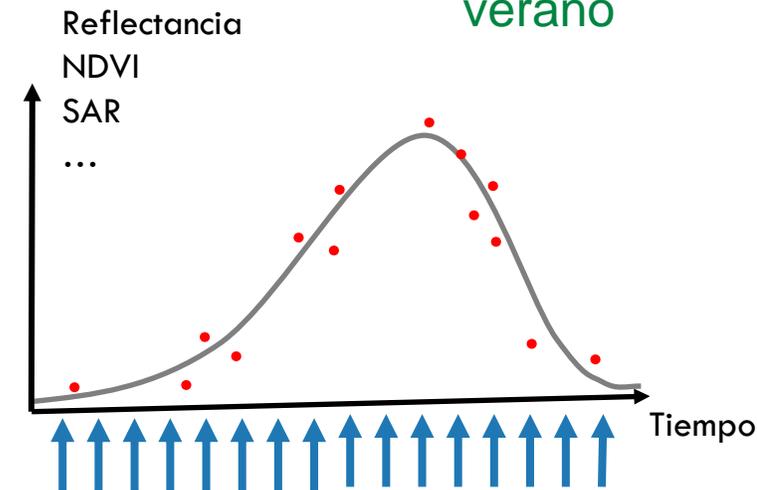
Producción de una **serie temporal de SAR u óptica que:**

- **es rellenada** con un método de interpolación lineal gap-filled con respecto a los datos que faltan ( por nubes, sombras de nubes, ausencia de datos, ...)
  - **remuestreo temporal** a intervalos regulares
- ⇒ Este enfoque proporciona las mismas fechas de "observación" en toda la zona, independientemente de las órbitas de los sensores y de la nubosidad, lo cual es muy importante para aplicar la mayoría de los métodos de clasificación.

Cultivo de invierno



Cultivo de verano



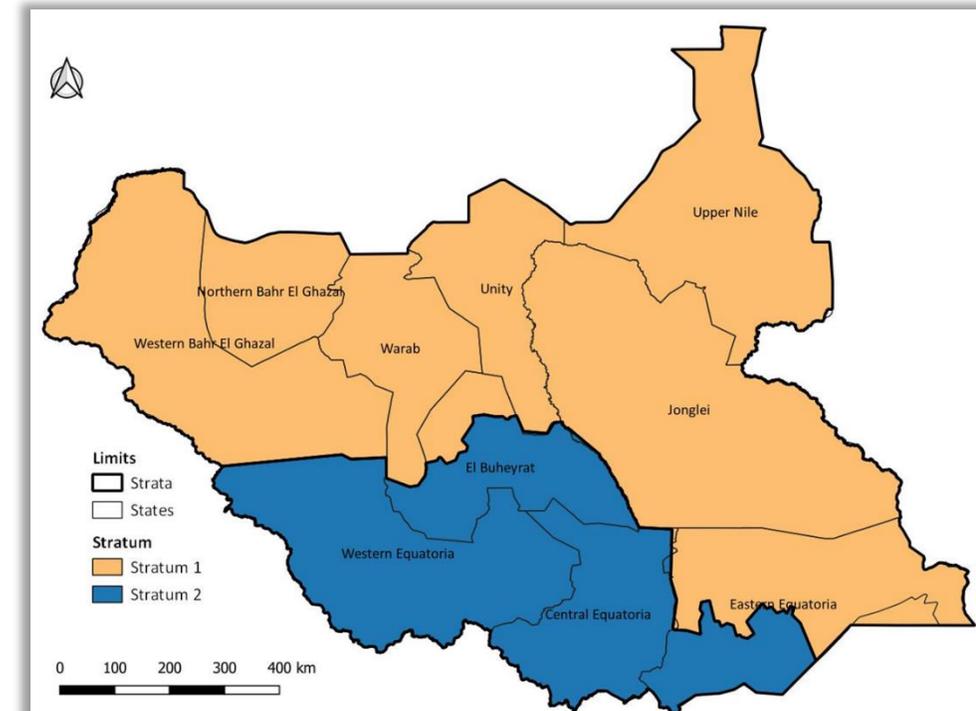
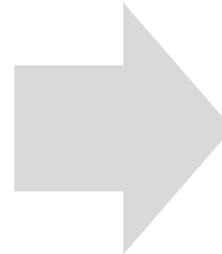
# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

## Ejemplo de Sudán del Sur

Un importante gradiente pluviométrico en el país define dos calendarios de cultivo

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	
Rainfall in the north		Dry season					Wet season					Dry season		
Rainfall in the south		Dry season				Wet season								Dry season
Unimodal production	Main crop				Land preparation and planting	Growing season			Harvest					
	Long-cycle crop	Harvest			Land preparation and planting	Growing season						Harvest		
Bimodal production (only in the south)	First crop			Land preparation and planting	Growing season			Harvest						
	Second crop	Harvest							Land preparation and planting	Growing season		Harvest		

**Estratificación en zonas** que deben clasificarse por separado



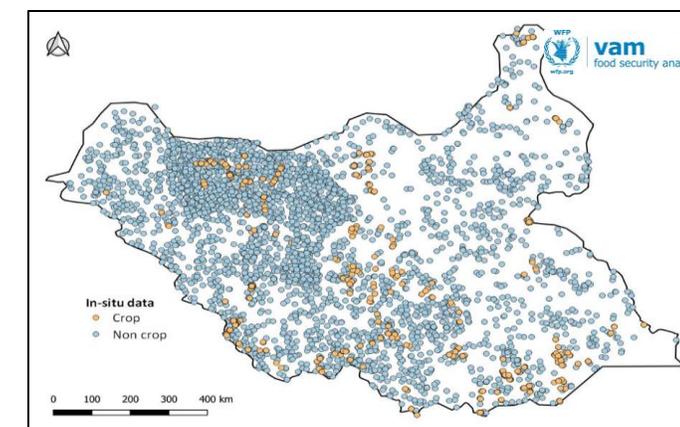
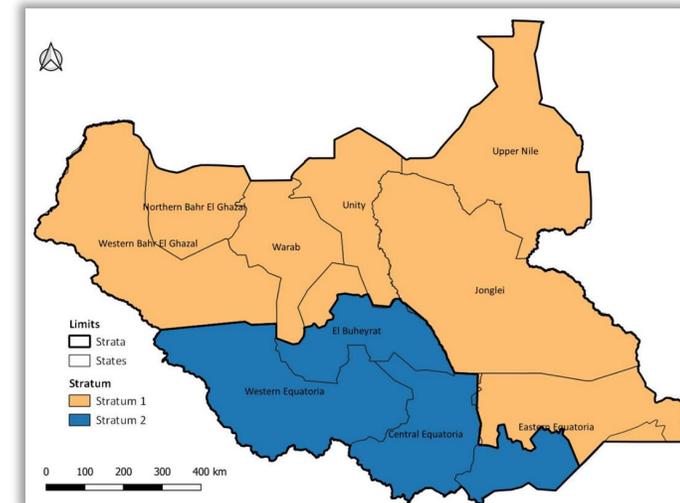
# Desafíos del mapeo de cultivos a gran escala

## Ejemplo de Sudán del Sur – estratificación

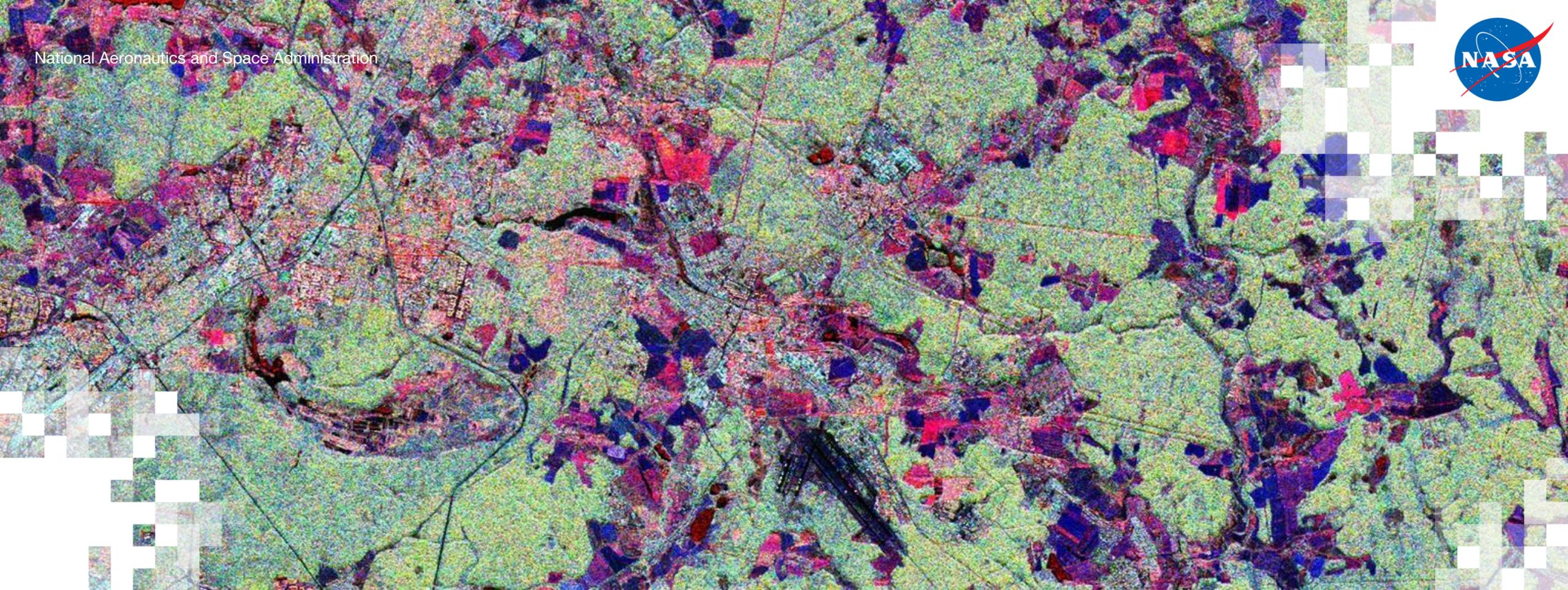
Un modelo a calibrar para cada estrato requiere recoger suficientes muestras de suelo para cada zona, cubriendo todos los tipos de cultivos, pero también todas las clases no agrícolas

Crop / Non crop	Land cover class	Nr of samples	Proportion in crop / no crop categories	Proportion in total
Non crop	Bush	1504	44%	33%
	Forests	566	17%	12%
	Grasslands and meadows	565	16%	12%
	Shrubland	408	12%	9%
	Wetland	93	3%	2%
	Water bodies	78	2%	2%
	Fallow	76	2%	2%
	Built-up surface	71	2%	2%
	Bare soil	64	2%	1%

Crop type	Nr of samples	Proportion in crop / no crop categories	Proportion in total
Early Sorghum	369	31%	8%
Late Sorghum	244	21%	5%
Maize	122	10%	3%
Groundnut	116	10%	3%
Early Sorghum Mixed	105	9%	2%
Cassava	79	7%	2%
Late Sorghum Mixed	55	5%	1%
Maize Mixed	48	4%	1%
Sesame	13	1%	0%
Rice	10	1%	0%
Bulrush Millet	9	1%	0%
Beans	7	1%	0%



=> 4602 muestras bien distribuidas



## Sección 2: Mapeo de cultivos a gran escala utilizando la caja de herramientas Sen4Stat

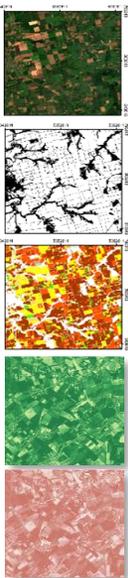




# Caja de herramientas de la ESA de código abierto, para datos ópticos y de SAR, para mapeo y monitoreo operativo de tipos de cultivos en zonas muy extensas

- Procesar las series temporales de Sentinel-1, Sentinel-2 y Landsat-8 y 9 de acuerdo con los últimos avances, incluyendo productos SAR avanzados (coherencia, gamma naught,...)
- Generar (automáticamente o a petición) 5 tipos de productos (procesadores) en tiempo casi real durante adquisición de datos del satélite o bien offline:

1. **Síntesis temporal de 10 m, óptica sin nubes y de SAR**
2. **Serie temporal de índices espectrales** (NDVI, coherence,...) y **var. biofísicas** (LAI, fCover, fAPAR)
3. **Mapas de tipo de cultivo a 10m** durante la estación basados en datos insitu y estratificación
4. **amplio conjunto de métricas de las condiciones de crecimiento de los cultivos** (incluyendo incluso los datos meteorológicos)
5. **estimación del rendimiento de cultivos** a varios niveles de agregación (nacional, regional,...)





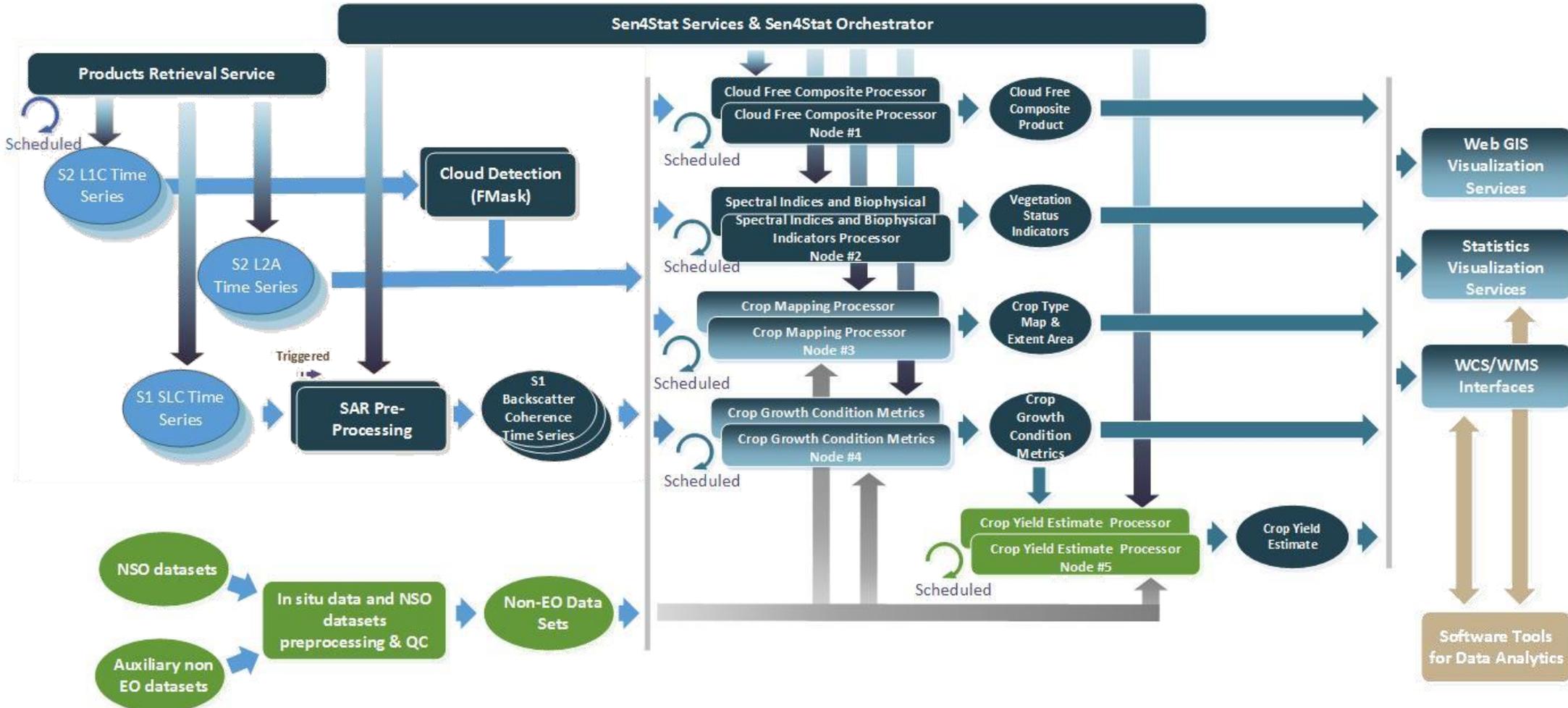
# Caja de herramientas de la ESA de código abierto, para datos ópticos y de SAR, para mapeo y monitoreo operativo de tipos de cultivos en zonas muy extensas

Acceso a datos /descarga

Pre-procesado  
Control calidad In situ

Procesores de productos

Análisis y visualización



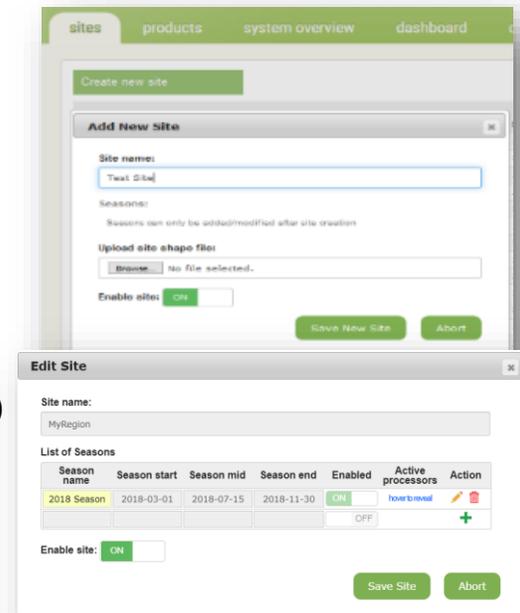
# Caja de herramientas de la ESA de código abierto, para datos ópticos y de SAR, con interfaz gráfica para configurar el sistema, lanzar y monitorear el procesado

## Configuración del sistema



### Sen4Stat : configuración de parámetros

Área de Interés	Cargar shapefile
Periodo de monitoreo	Definir fechas de inicio y final
S1 - S2 - L8&9	Seleccionar
Fuente de datos	ESA&USGS – AWS – DIAS – almacenamiento local ...



### Sen4Stat : campaña de datos

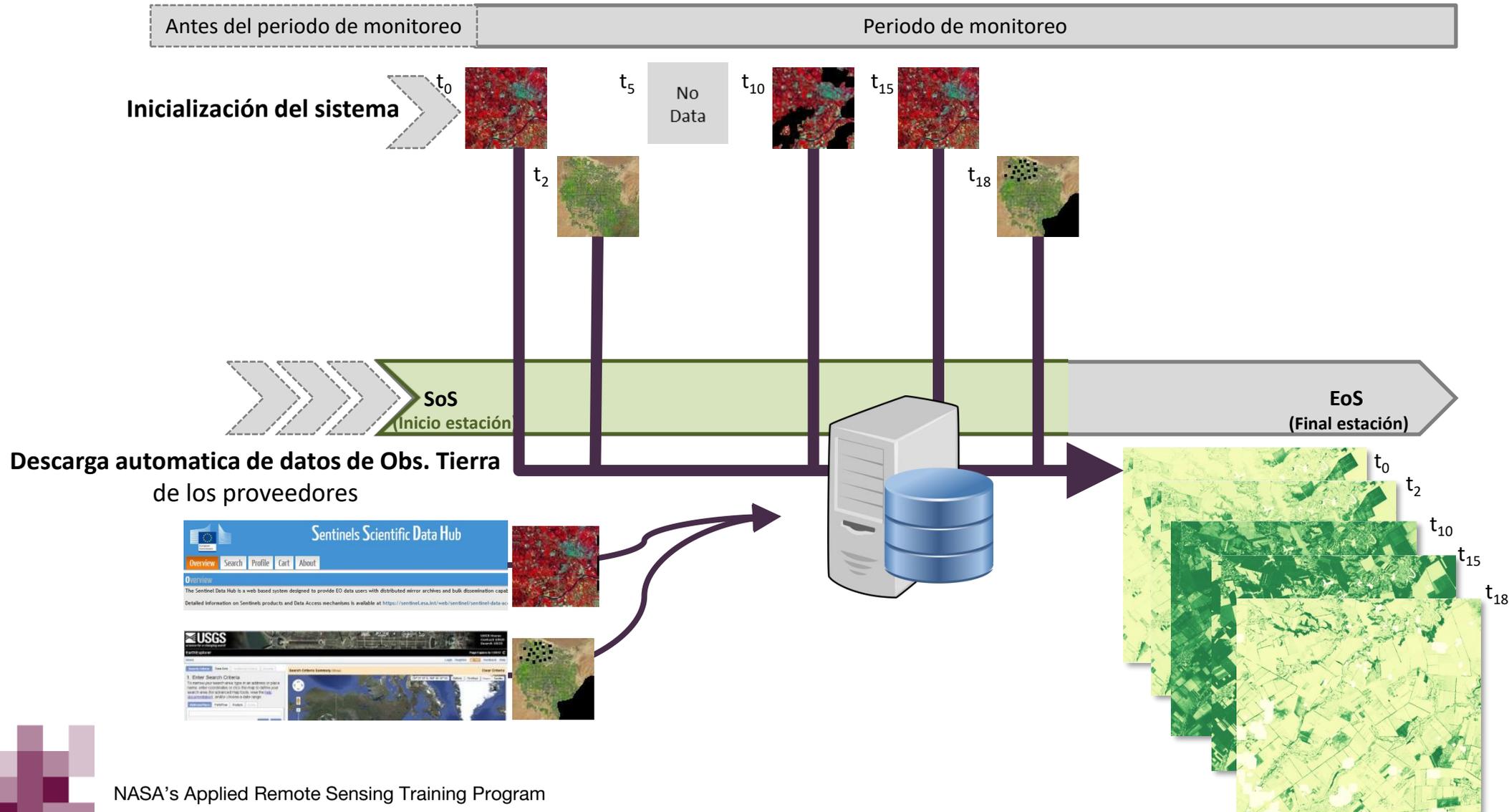
Diseño del muestreo	Estratificación y muestreo
Visita de campo	Recogida de datos in situ - encuesta temprana
	Recogida de datos in situ - encuesta a mitad de temporada
Subida de datos	Control de la calidad de los datos sobre el terreno y su formación

fil	Shape	ID	CROP	LC	CODE	IRRIGATION
0	Polygon	1 1	Spring Wheat		112	0
1	Polygon	2 1	Spring Wheat		112	0
2	Polygon	3 1	Spring Wheat		112	0
3	Polygon	4 1	Spring Wheat		112	0
4	Polygon	5 1	Spring Wheat		1911	0
5	Polygon	6 1	Triticale		1911	0
6	Polygon	7 1	Triticale		1911	0
7	Polygon	8 1	Triticale		1911	0

Cloud Computing

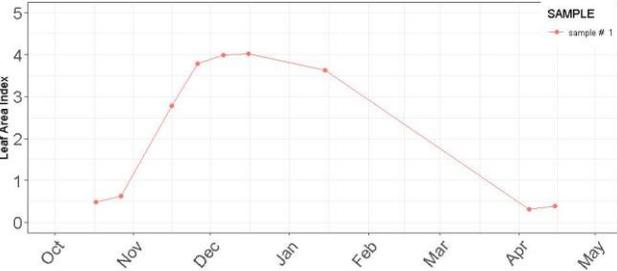


# Sistema para monitoreo de crecimiento de cultivos: producción del Índice Área Foliar (LAI) en tiempo casi real durante la estación

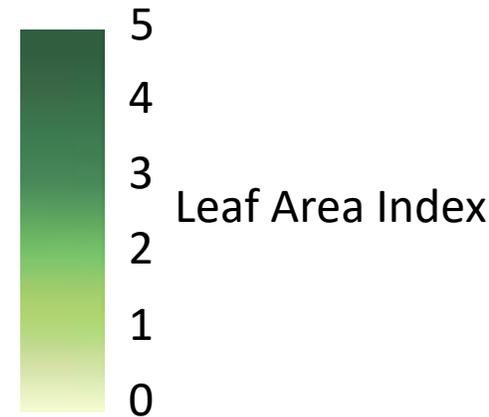
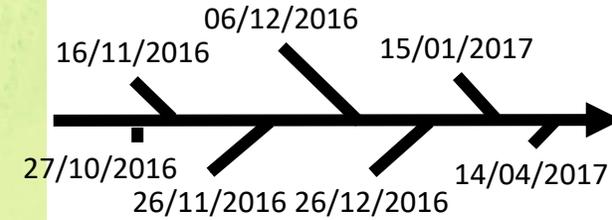
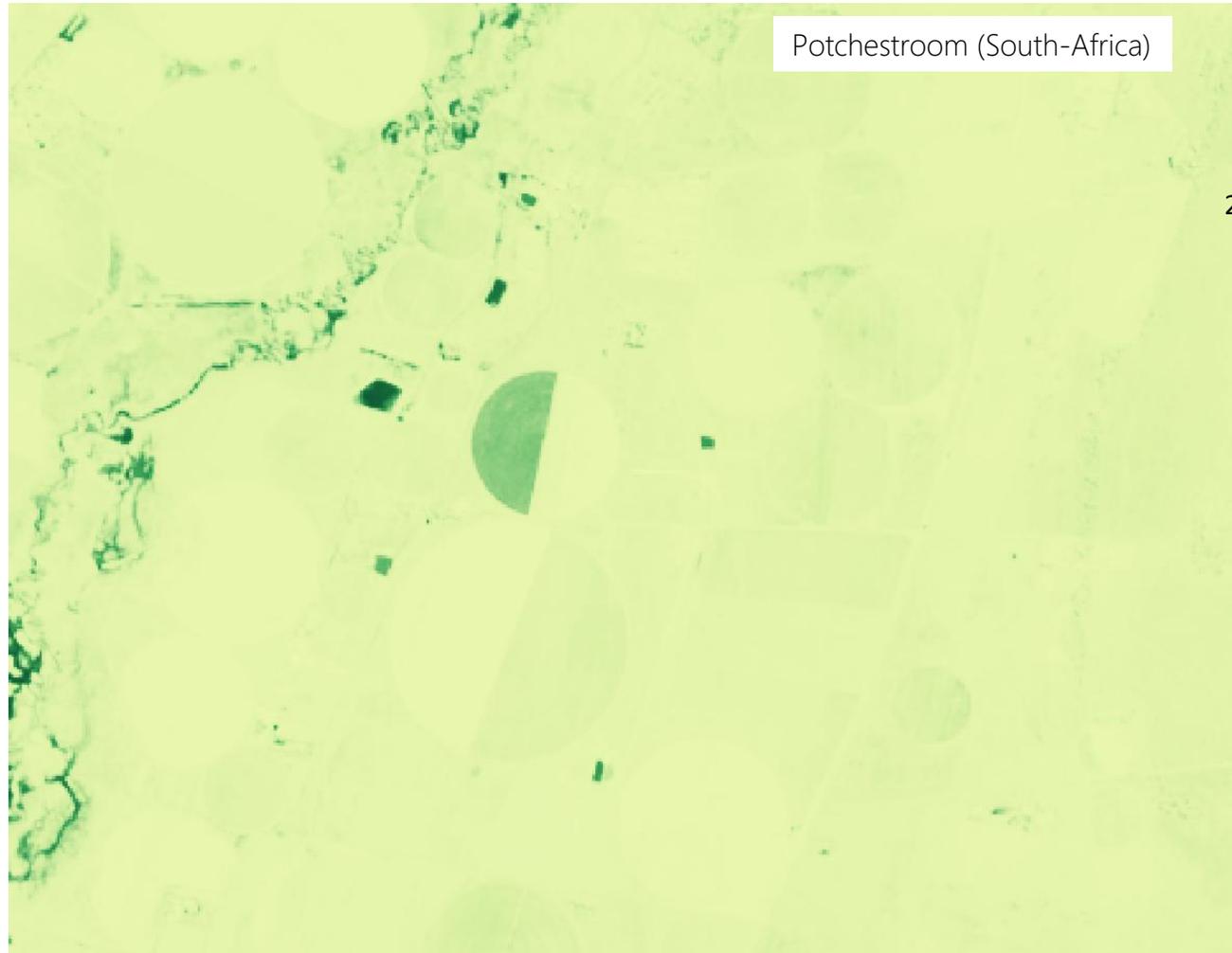


# Sistema para monitoreo de crecimiento de cultivos: producción del **Índice Área Foliar (LAI)** en tiempo casi real durante la estación

LAI profile for a Maize field near Potchefstroom - South Africa



## Sen4Stat - 2016-2017 Índice de Área Foliar (LAI) a 10 m



# Operaciones del Sistema ejecutadas en diferentes modos: en tiempo casi real (NRT) con orquestrador (totalmente automático) or a petición

## Modo automático a través de la interfaz gráfica de usuario (GUI) de la web

a) basado en el Orquestador con parametrización por defecto, descarga y procesamiento automático de datos hasta el final de la temporada, entrega a tiempo

=> **producción operativa en tiempo casi real (NRT)**

b) Ejecución del procesador a petición del usuario, con parametrización por defecto



## Modo manual: para ejecutar el procesador de forma independiente, con parám. personalizados

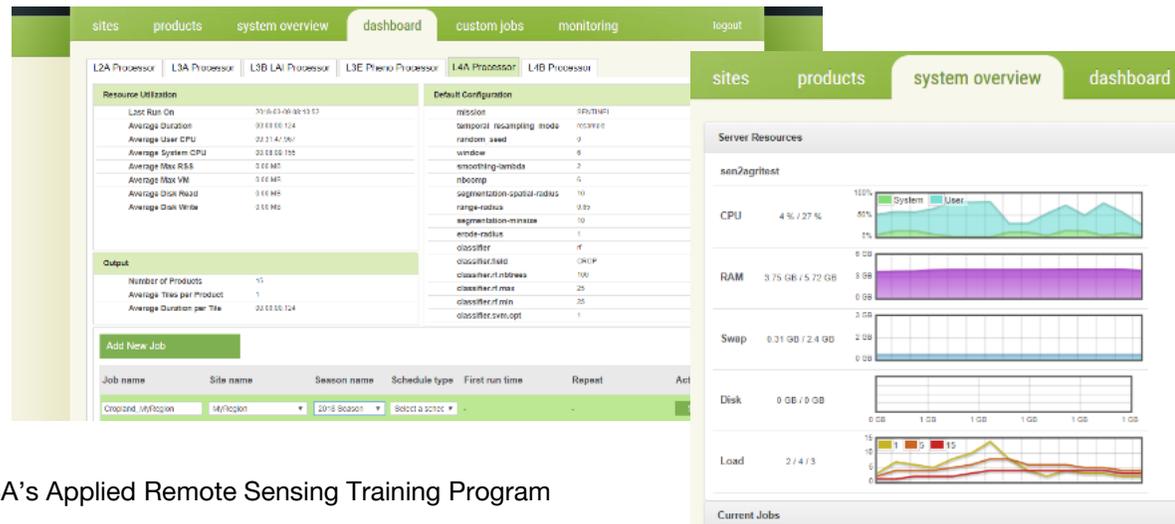
a) A través de la GUI, con un enfoque de trabajo personalizado (Custom job)

b) A través del software SNAP (sólo procesador de nivel 3 y 4)

c) En la línea de comandos a través de un terminal Linux

```

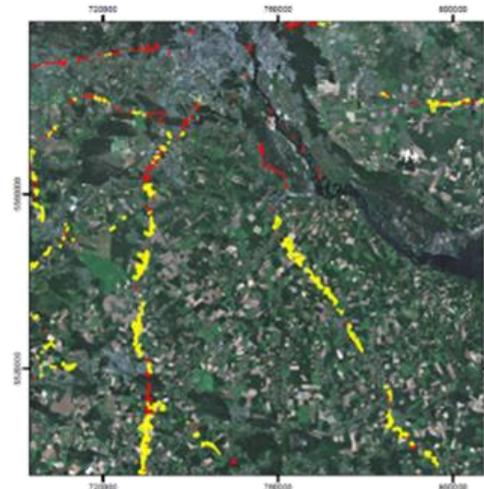
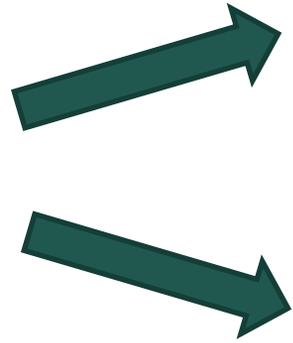
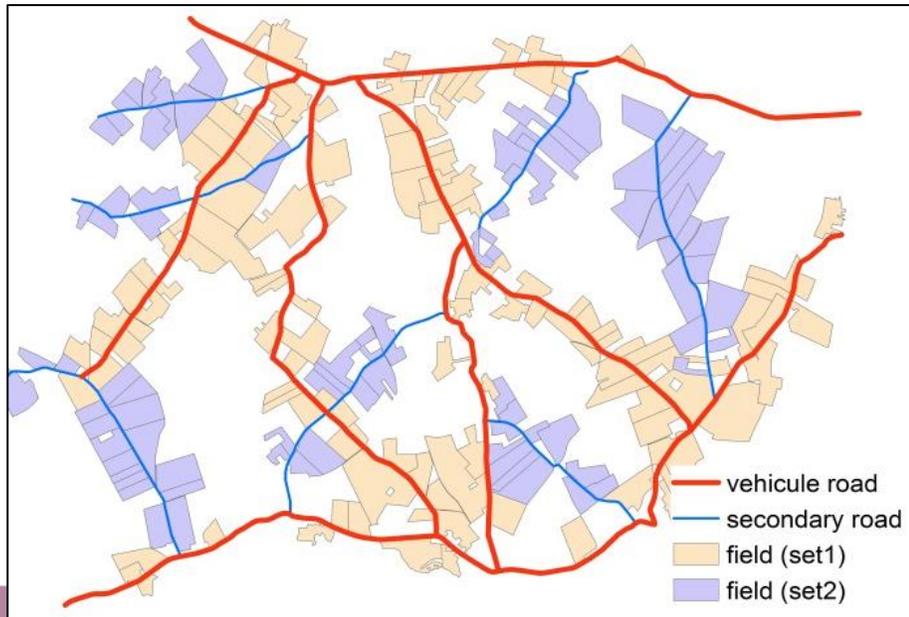
lai_retrieve_processing.py --input
/mnt/archive/maccs_def/mali/l2a/S2A_OPER_PRD_MSIL2A_PDMC_20160718T093045_R008_V2016
0717T104833_20160717T104833.SAFE/S2A_OPER_SSC_L2VALD_30PVV___20160717.HDR --res 10
--outdir /mnt/archive/temp/test_lai --rsrcfg /usr/share/sen2agri/rsr_cfg.txt --
modelsfolder /mnt/archive/temp/test_lai --generatemodel YES --generatemonodate YES -
-genreprocessedlai NO --genfittedlai NO
    
```



The screenshot shows the Sen4Stat web interface. The top navigation bar includes 'sites', 'products', 'system overview', 'dashboard', 'custom jobs', 'monitoring', and 'logout'. The main content area is divided into two panels. The left panel, titled 'system overview', shows resource utilization for various processors (L2A, L3A, L3B LAI, L3E Pheno, L4A, L1B) and a table of default configuration parameters such as 'region', 'temporal\_resampling\_mode', 'random\_seed', 'window', 'smoothing\_lambda', 'nbcomp', 'segmentation\_spots\_radius', 'range\_radius', 'segmentation\_minsize', 'erode\_radius', 'classifier', 'classifier\_field', 'classifier\_nbstrems', 'classifier\_n\_max', 'classifier\_n\_min', and 'classifier\_opt'. The right panel, titled 'server resources', displays metrics for 'sen2agritest' including CPU (4% / 27%), RAM (3.75 GB / 5.72 GB), Swap (0.31 GB / 2.4 GB), Disk (0 GB / 0 GB), and Load (3 / 4 / 3). Below these are line graphs for System and User CPU usage, and a table for 'Current Jobs'.

# Recogida de datos in situ necesaria para mapeo anual de tipo de cultivo

- ❖ Conjunto de datos de referencia disponibles recogidos según un marco de muestreo por áreas o listas (encuestas estadísticas nacionales, Ministerio de Agricultura,...)
- ❖ Directrices JECAM– encuesta ad hoc mediante vehículos motorizados (coche, moto) seleccionando un conjunto de carreteras apropiadas (set 1) y complementado con un transecto adicional regular (set 2) utilizando carreteras y pistas secundarias para intentar reducir el sesgo espacial provocado por el muestreo al borde de la carretera.



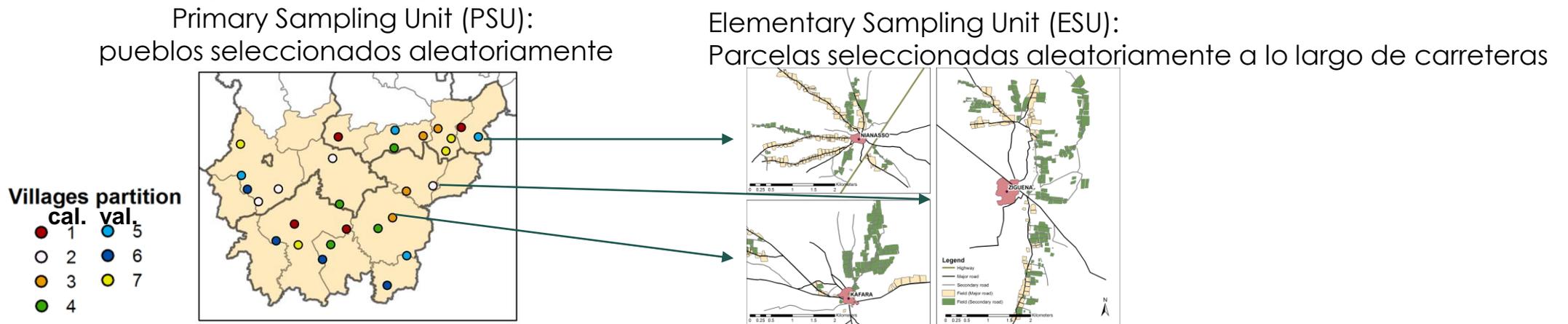
2016 Calibration data survey  
■ Non-cropland samples  
■ Cropland samples




VLA used for aerial observations

# Requisitos para la recogida de datos in situ

- ❑ Datos in situ para **calibración (training)**: muestreo para cubrir la diversidad de situaciones existentes en el área de estudio (posiblemente un territorio nacional) con el fin de **cubrir el rango de posibles firmas para los diferentes elementos de interés** (i.e, la mayoría de los tipos de cultivos y las principales clases no agrícolas).
- ❑ Datos in situ para **validación** para estimar la precisión de productos (con intervalo de confianza) usando **muestreo estadísticamente sólido y por lo tanto objetivo e independiente**; por razones logísticas, el muestreo no es estrictamente aleatorio, se realiza en dos etapas (con PSU y ESU) para evaluar tipos de cultivo (una campaña de campo)



⇒ Las campañas de campo de calibración y validación para mapear tipos de cultivos pueden combinarse, pero entonces el diseño del muestreo debe ser estadísticamente sólido para obtener un conjunto de datos totalmente independiente.

# Proceso de control de calidad de los datos in situ y preparación del conjunto de datos

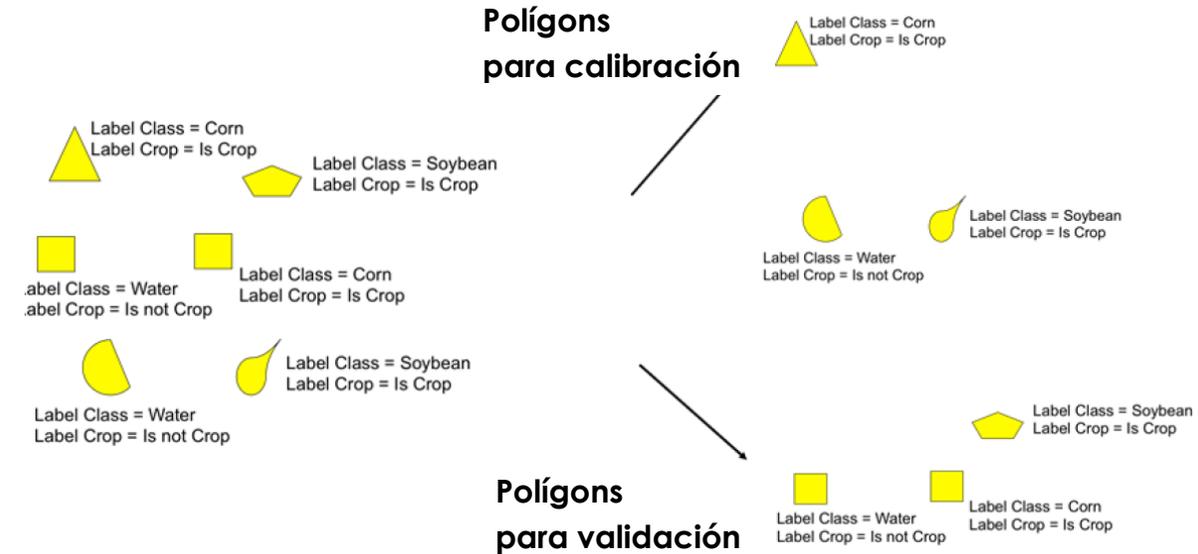
1) Recogida de datos de referencia de alta calidad:

- Tipo de cultivo adquirido en las campañas de campo
- No-cultivo obtenido por interpretación visual de imágenes online de muy alta resolución espacial

2) Control de calidad: consistencia de la geometría, estandarización de la tipología, comprobación de la homogeneidad,...

3) Dividir los polígonos para la calibración (25%) y la validación (75%) para cada clase (podrían ser necesarias estrategias alternativas en caso de que el conjunto de datos in situ esté mal equilibrado)

4) Aumento del número de muestras para el tipo de cultivo marginal mediante la técnica de sobremuestreo sintético minoritario (SMOTE)





- La **precisión global (Overall Accuracy, OA)** se calcula como el número total de píxeles clasificados correctamente ( $n_{ii}$  ~ elementos diagonales de la matriz de confusión) dividido por el número total de píxeles de prueba:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^r n_{ii}}{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r n_{ij}}$$

		Reference Data <sup>a</sup>						
		W	S	F	U	C	H	Row Total
Classification data								
W		226	0	0	12	0	1	239
S		0	216	0	92	1	0	309
F		3	0	360	228	3	5	599
U		2	108	2	397	8	4	521
C		1	4	48	132	190	78	453
H		1	0	19	84	36	219	359
Column total		233	328	429	945	238	307	2480
<b>Producer's Accuracy</b>				<b>User's Accuracy</b>				
W = 226/233 = 97%				W = 226/239 = 94%				
S = 216/328 = 66%				S = 216/309 = 70%				
F = 360/429 = 84%				F = 360/599 = 60%				
U = 397/945 = 42%				U = 397/521 = 76%				
C = 190/238 = 80%				C = 190/453 = 42%				
H = 219/307 = 71%				H = 219/359 = 61%				
Overall accuracy = (226 + 216 + 360 + 397 + 190 + 219)/2480 = 65%								

<sup>a</sup>W, water; S, sand; F, forest; U, urban; C, corn; H, hay.

- **Precisión or Exactitud del Usuario (User Accuracy, UA)** para la clase  $i$  es la fracción de píxeles clasificados correctamente respecto a todos los pixels asignados a dicha clase en la imagen:

$$UA_i = \sum_{j=1}^r \frac{n_{ii}}{n_{ij}}$$

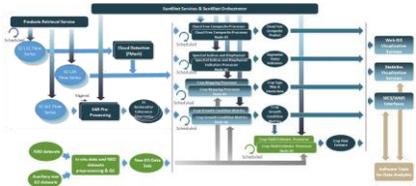
- **Exactitud del Productor (Recall, o Producer's Accuracy, PA)** para la clase  $i$  es la fracción de píxeles clasificados correctamente respecto a todos los pixels asignados a la clase de verdad básica  $i$ :

$$PA_i = \sum_{j=1}^r \frac{n_{ii}}{n_{ji}}$$

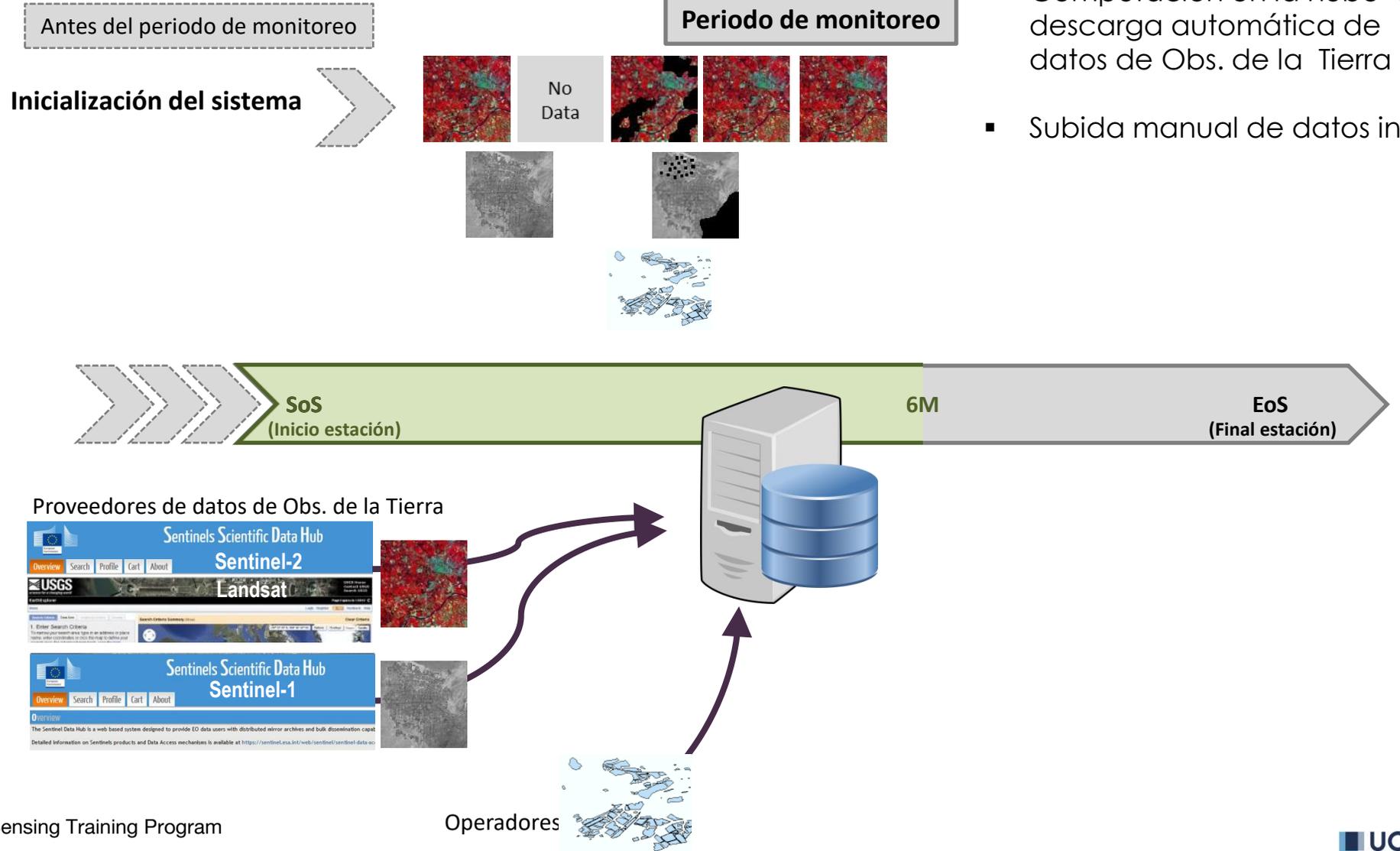
- **F-Score** (o F-1 score, o medida F) es la media armónica de la Precisión y el Recall y alcanza su mejor valor en 1 y su peor puntuación en 0:

$$FScore = 2x \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

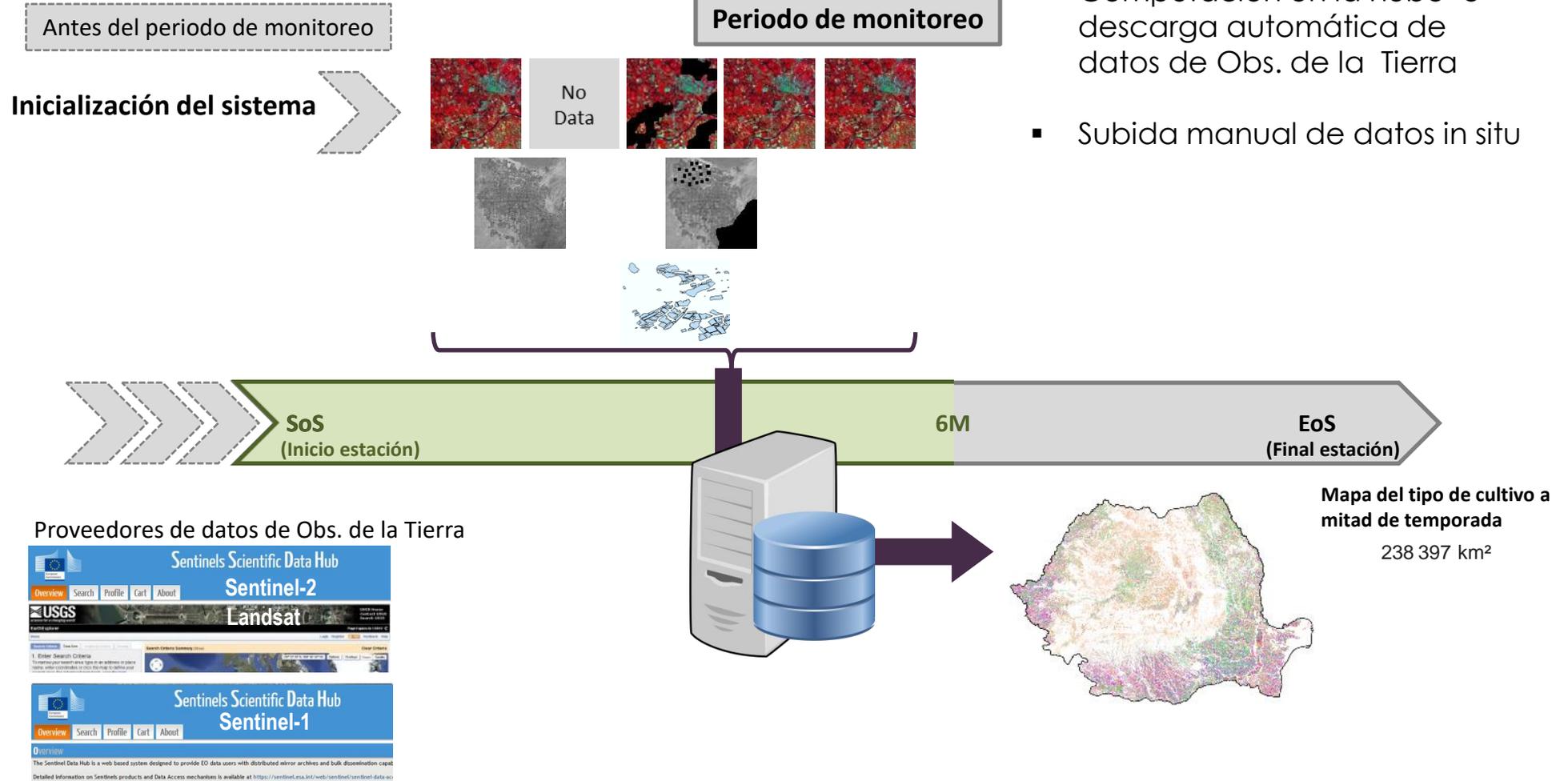
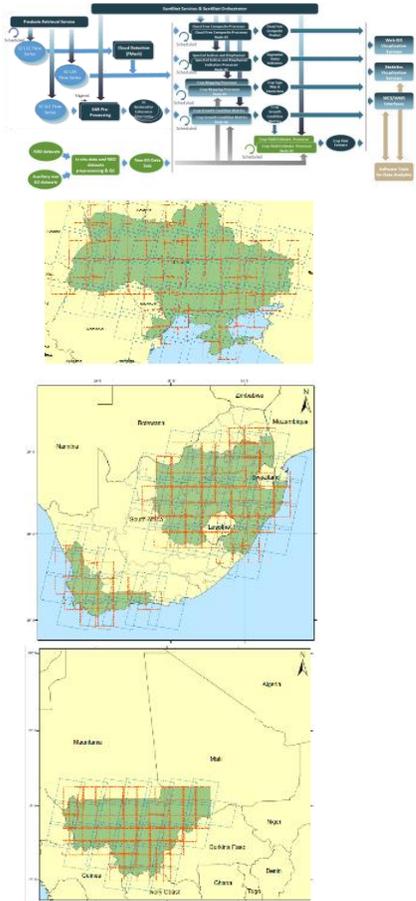
# Sistema en modo automático para crear en tiempo casi real mapas de tipo de cultivo a 10 m y escala nacional



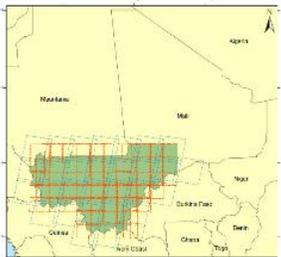
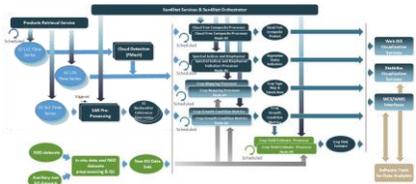
(Defourny et al., RSE2019)



# Sistema en modo automático para crear en tiempo casi real mapas de tipo de cultivo a 10 m y escala nacional



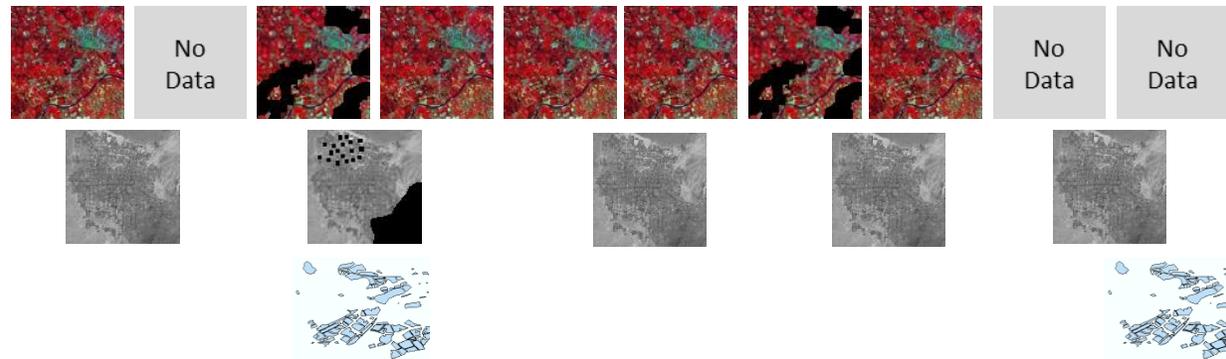
# – system operation in automated mode to deliver in NRT 10-m crop type maps at national scale



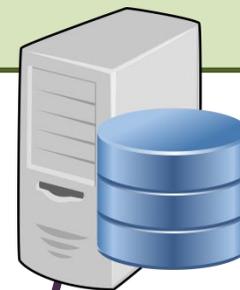
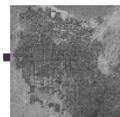
Antes del periodo de monitoreo

Inicialización del sistema

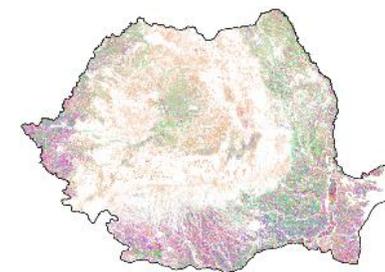
Periodo de monitoreo



Proveedores de datos de Obs. de la Tierra



Operadores



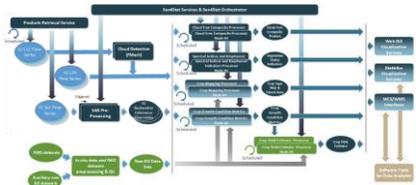
Mapa del tipo de cultivo a mitad de temporada

238 397 km<sup>2</sup>

- Computación en la nube o descarga automática de datos de Obs. de la Tierra
- Subida manual de datos in situ

# – system operation in automated mode to deliver in NRT 10-m crop type maps at national scale

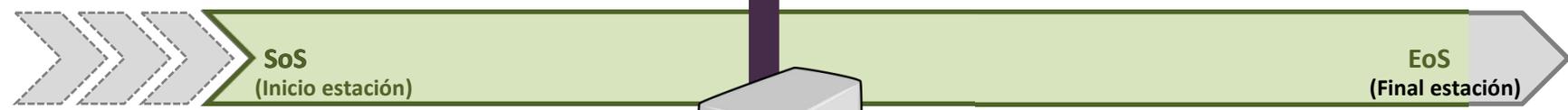
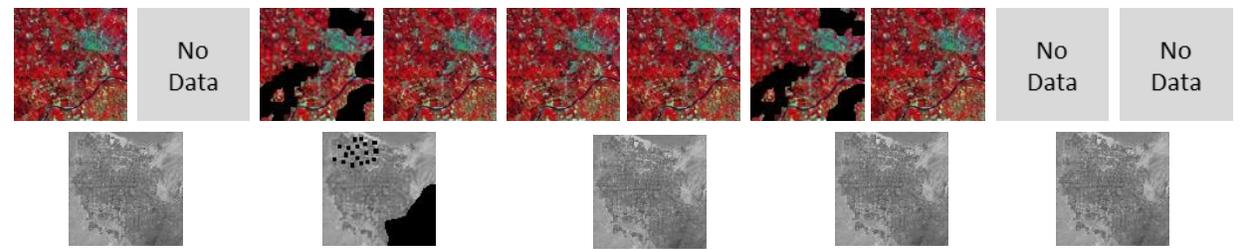
- Computación en la nube o descarga automática de datos de Obs. de la Tierra
- Subida manual de datos in situ



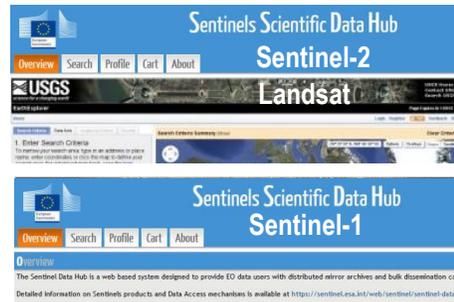
Antes del periodo de monitoreo

**Inicialización del sistema**

**Periodo de monitoreo**



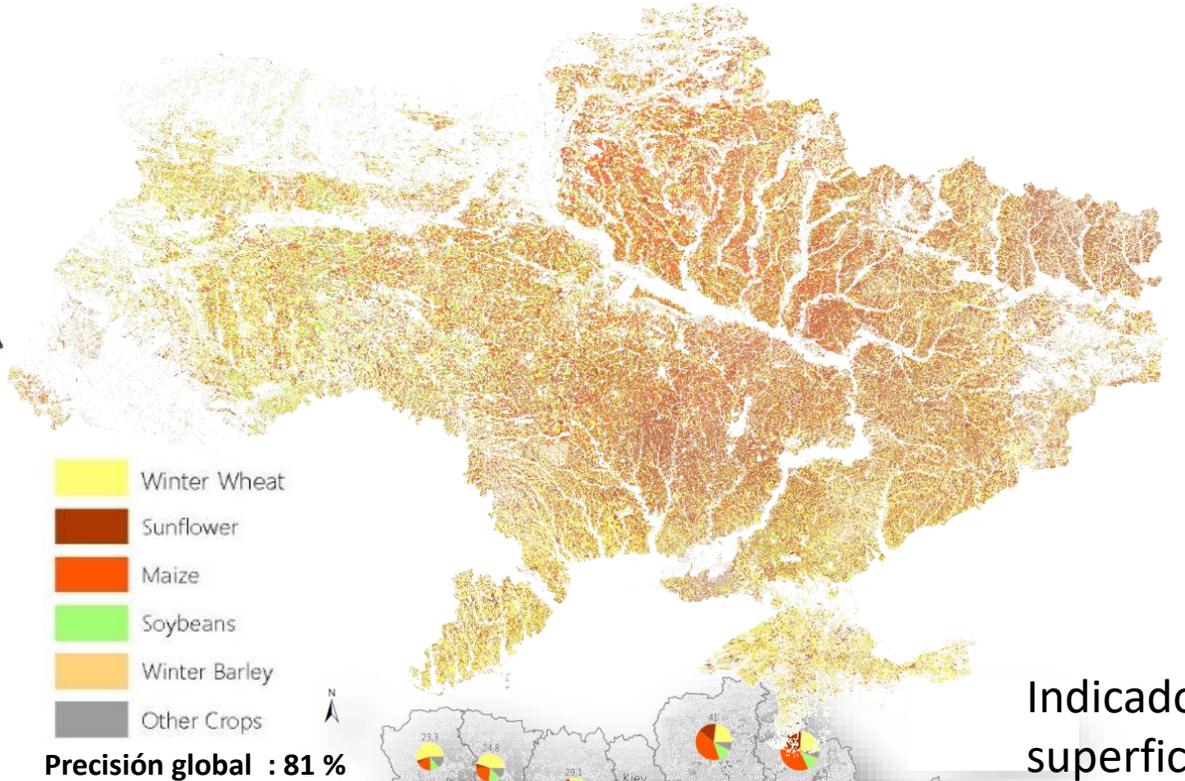
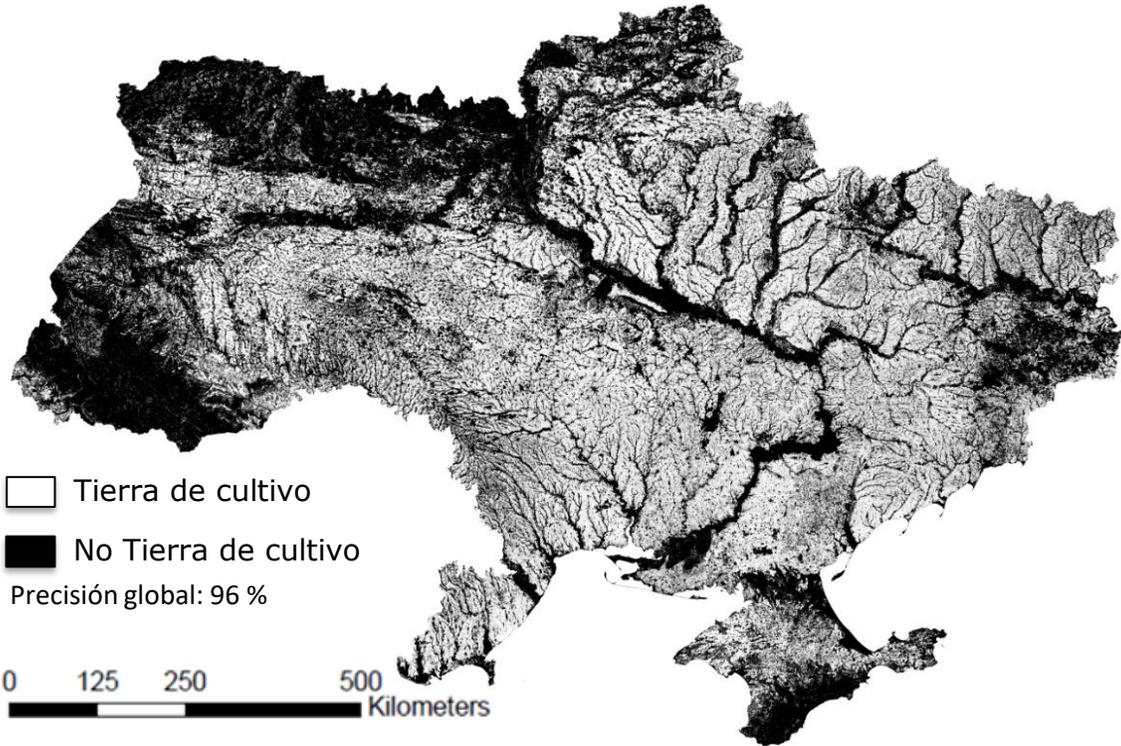
Proveedores de datos de Obs. de la Tierra



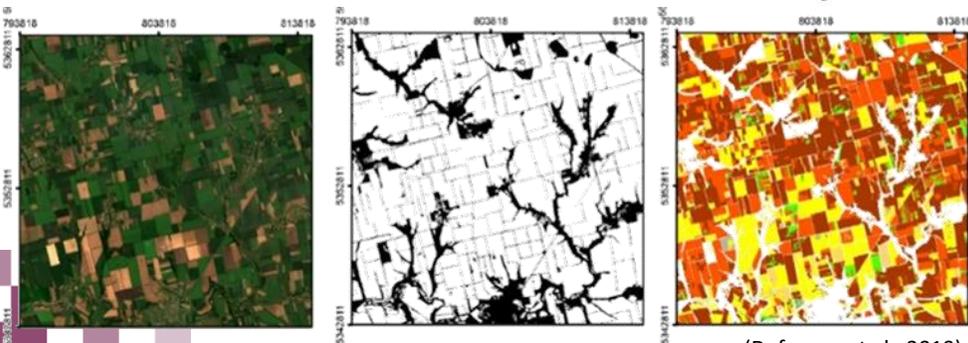
Operadores



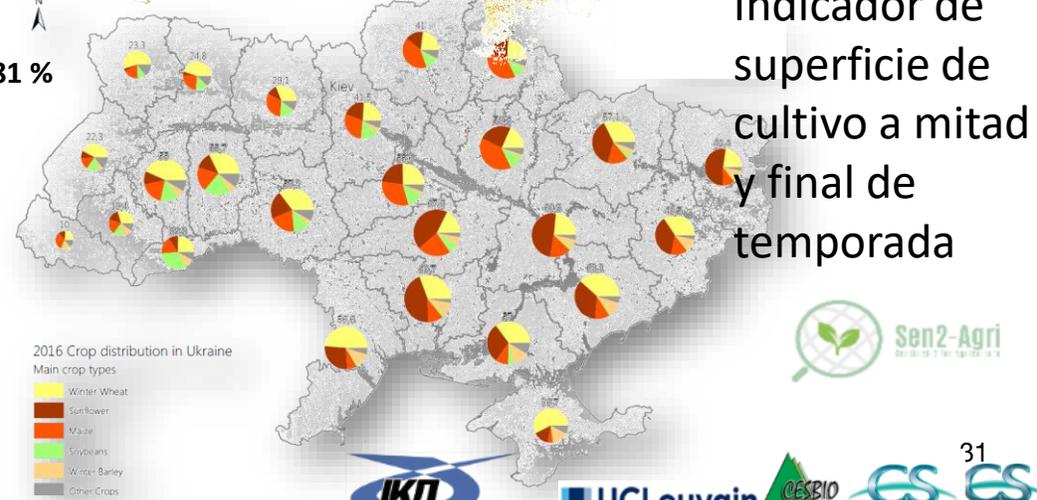
# Primeros mapas nacionales a 10 m de tierras de cultivo y tipos de cultivo basados sólo en Sentinel-2A (Ucrania, Julio 2016)



Indicador de superficie de cultivo a mitad y final de temporada

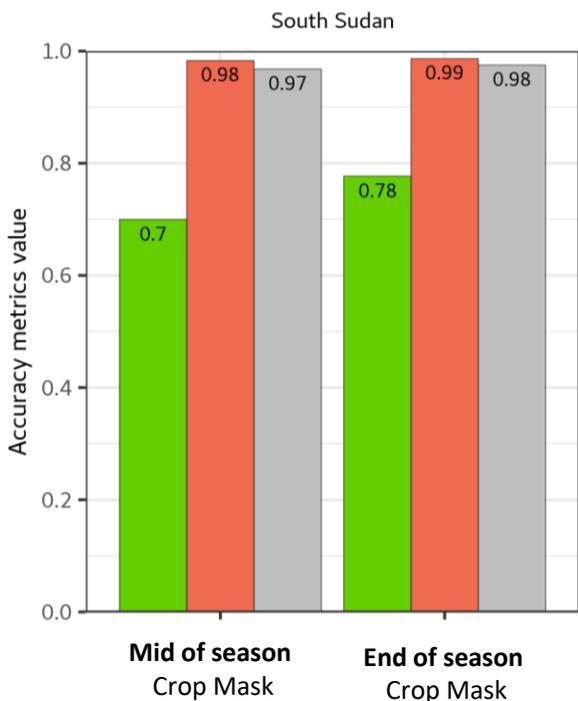


(Defourny et al., 2019)

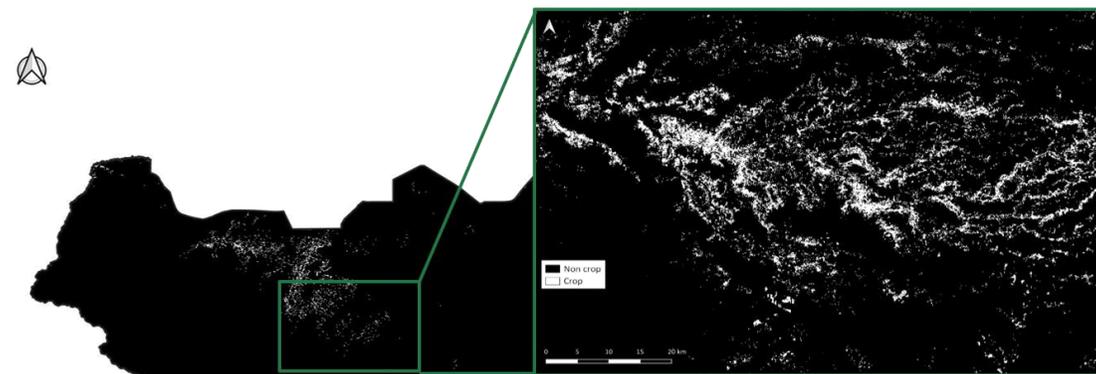


# Mapa de tierras de cultivo a mediados y a finales de la temporada para los dos estratos de Sudán del Sur

El F1-Score de tierras de cultivo aumenta con la cantidad de datos de Obs. de la Tierra disponibles durante la estación



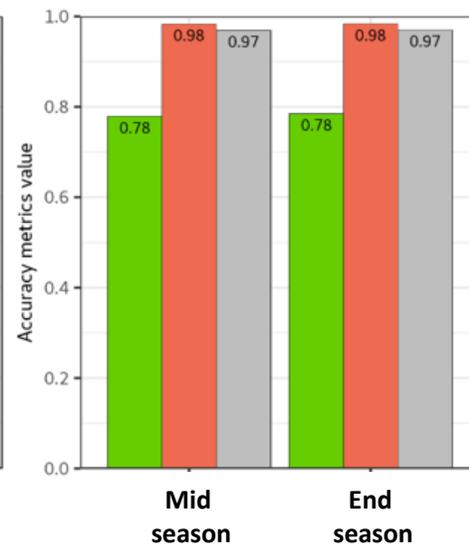
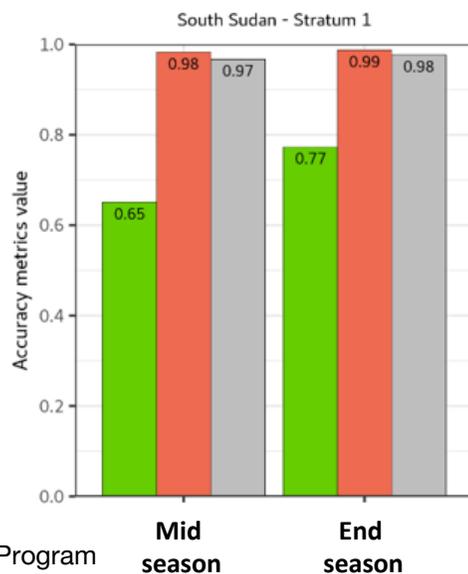
■ F1-Score Cropland  
■ F1-Score Non-Cropland  
■ Overall Accuracy



■ Non crop  
■ Crop

0 100 200 300 400 km

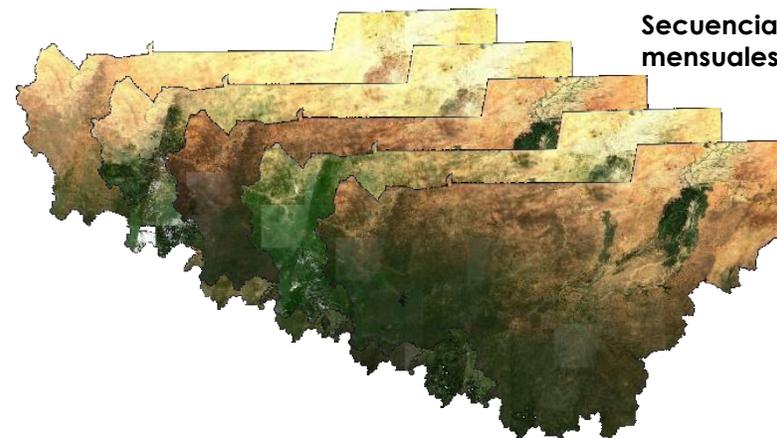
South Sudan - Stratum 2



# Mapa de cultivos en Mali (2017)

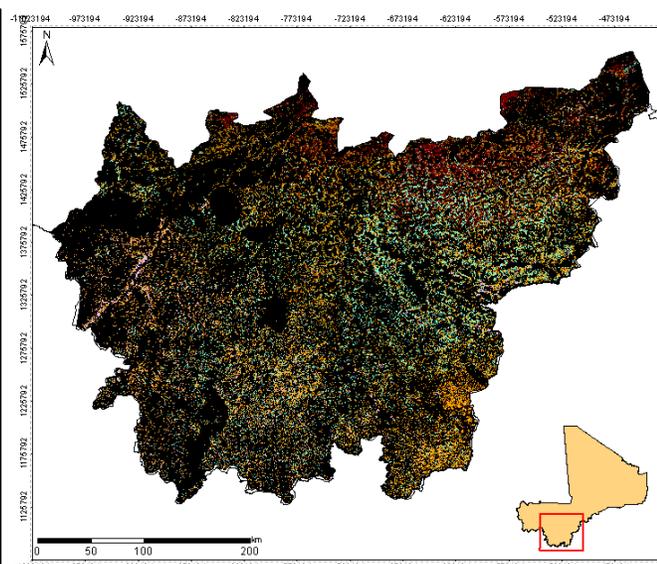
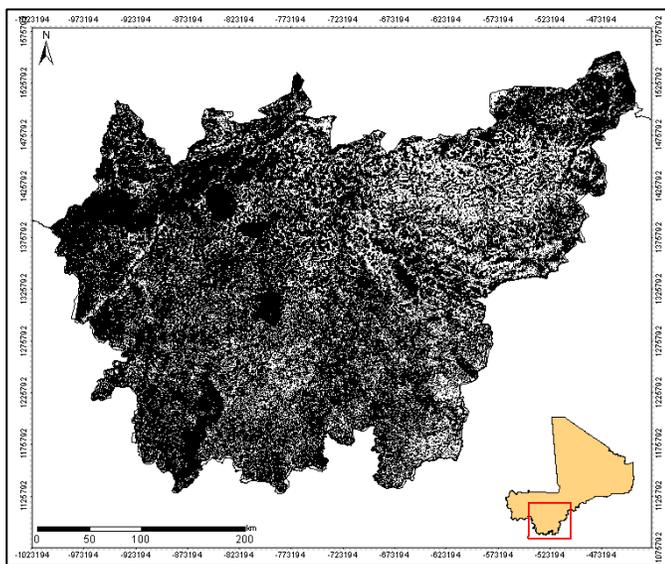


- Exitoso mapeo de cultivos a 10m de resolución en colaboración con ICRISAT
- ~4.5 TB de datos Sentinel-2 (2152 imágenes S2 y 542 imágenes L8 )

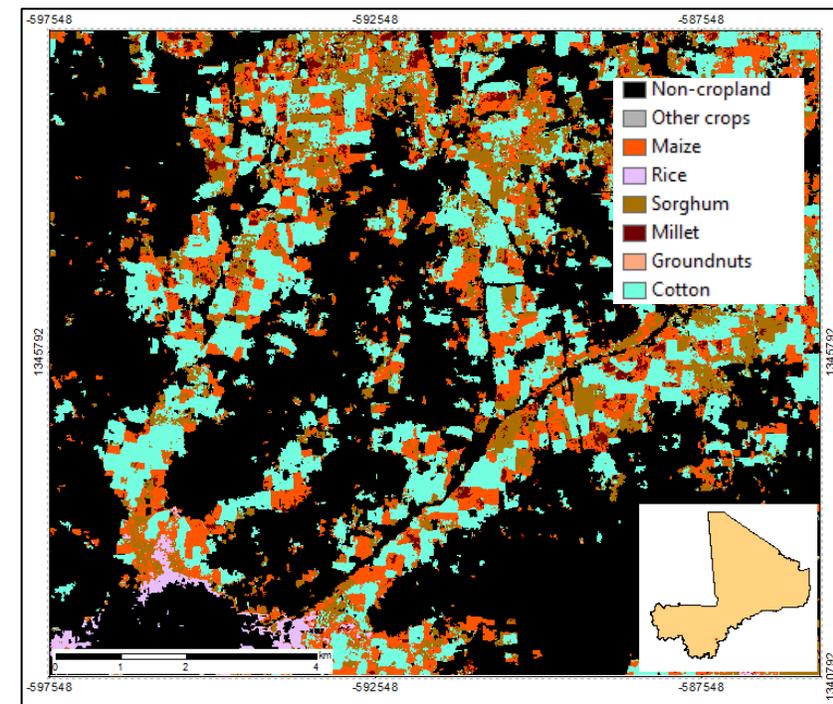


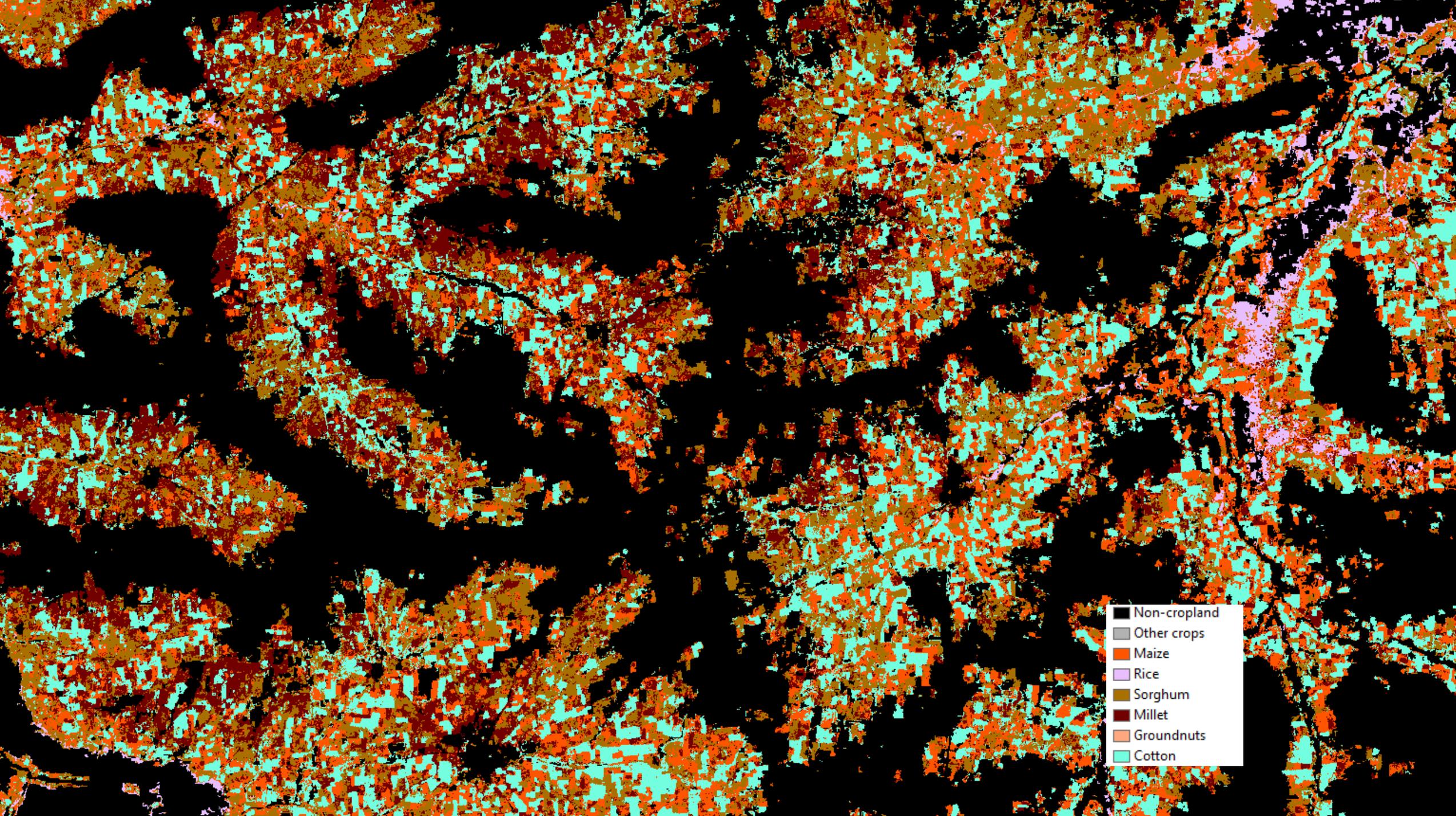
Secuencia de composiciones mensuales sin nubes sobre Malí

Máscara de cultivo para la temporada de crecimiento 2017 (final de temporada)  
OA = 96 %



Mapa del tipo de cultivo para la temporada de crecimiento de 2017 (final de temporada) OA = 66 %





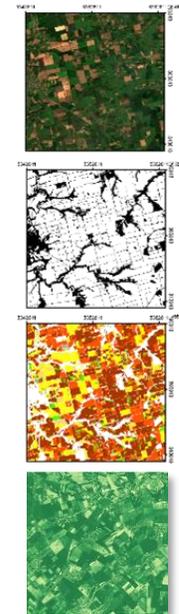
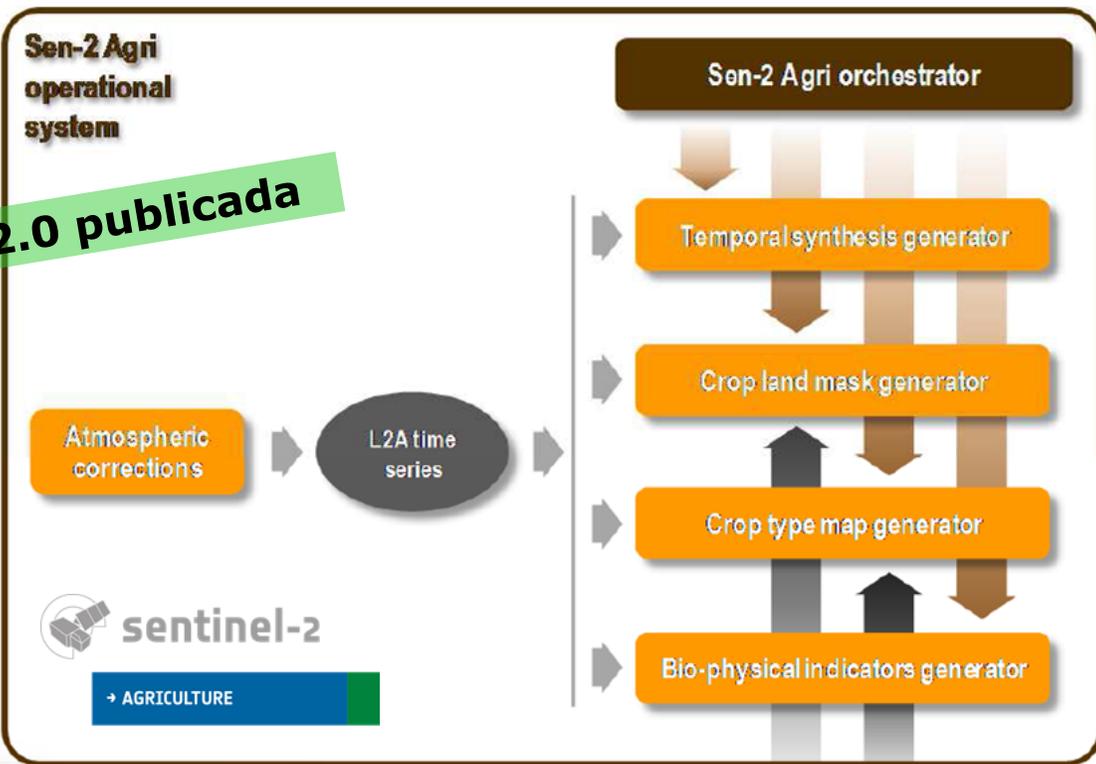


# Sistema Sen2Agri: sistema de acceso libre precursor de Sen4Stat con procesado en tiempo casi real o bien offline, localmente o en la nube



**Versión 2.0 publicada**

L1 time series



Compuesto mensual de reflectancia de la superficie sin nubes a 10-20 m

Máscara de cultivo a 10m actualizada cada mes

Mapa del tipo de cultivo a 10 m para los principales cultivos regionales

Mapa del estado de la vegetación a 10 m cada semana (NDVI, LAI, fCover, fAPAR)



Documentado y descargable desde [www.esa-sen2agri.org/resources/software/](http://www.esa-sen2agri.org/resources/software/)



Sen2Agri como servicio en la nube EODC (e.g. para WFP)



Bajo licencia GNU-GPL



Software de código abierto basado en **Orfeo ToolBox**



Arquitectura preparada para clústeres para el procesamiento distribuido

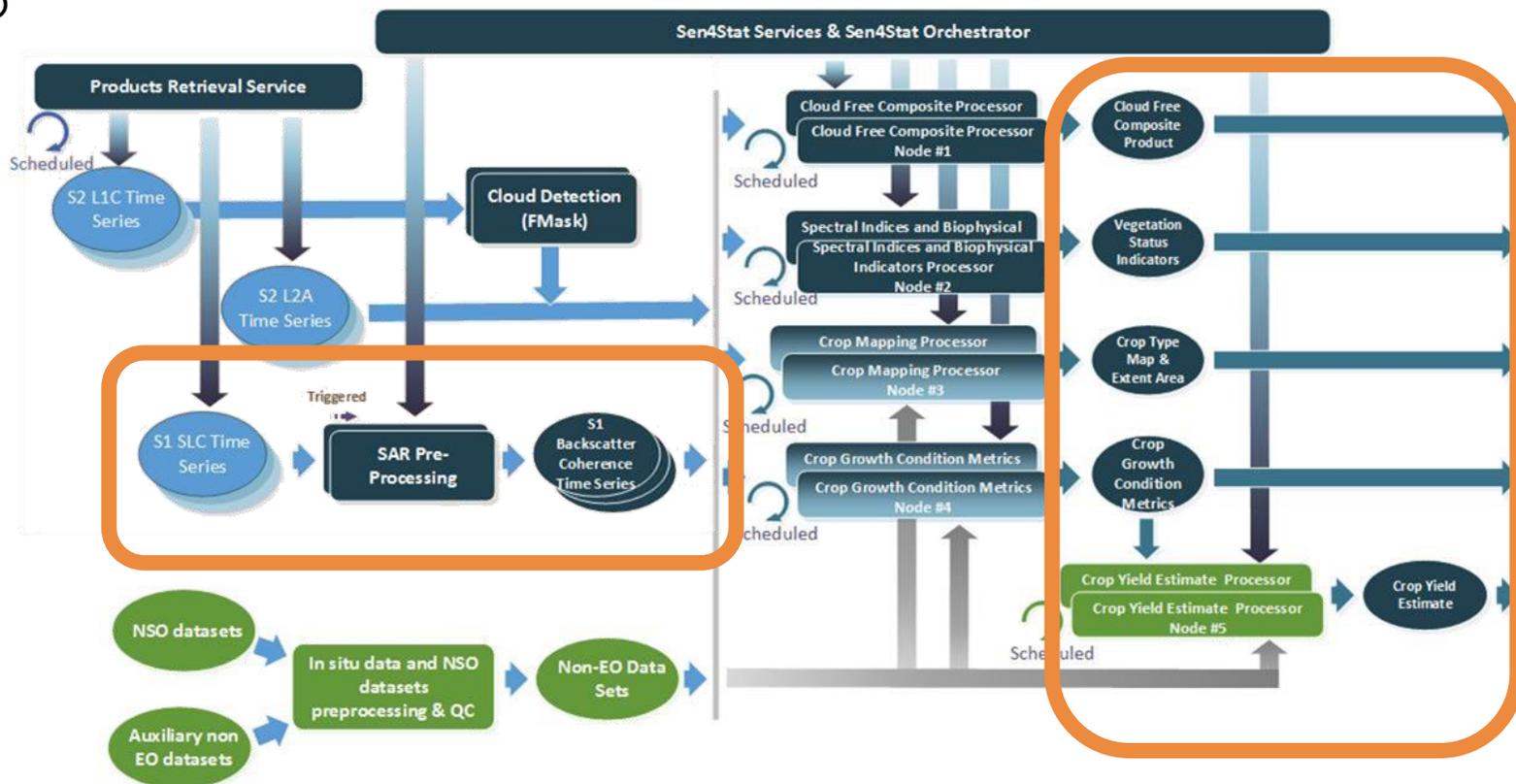


Integración con **Sentinel-2 ToolBox**



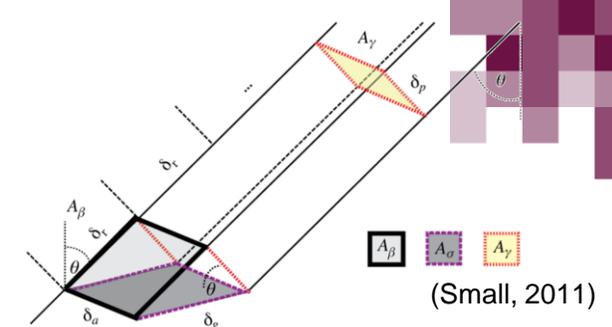
Sistema operativo requerido: **CentOS 7** (GNU/LINUX)

5 procesadores principales combinables



Procesamiento SAR de última generación para productos de alto nivel

# Procesamiento SAR de última generación para productos de alto nivel de amplitud y coherencia



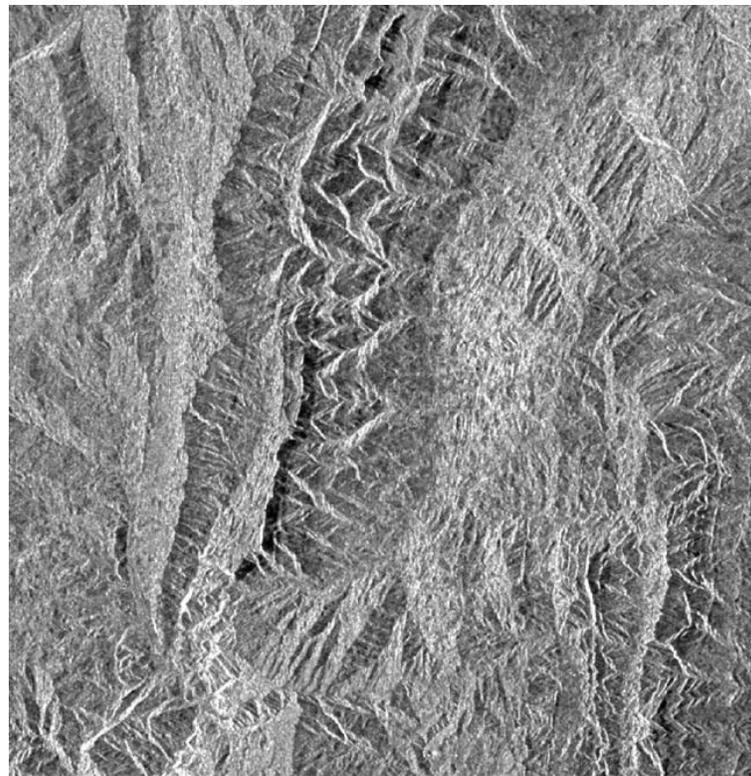
**beta nought  $\beta_0$**

(  slant range geometry)



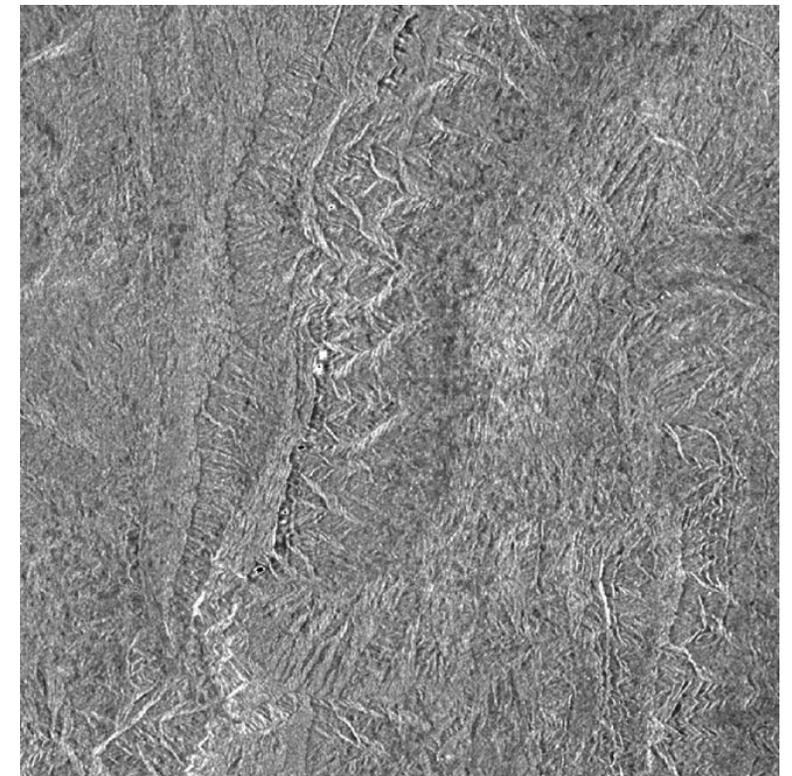
**sigma nought  $\sigma_0$**

(  corrected for local inc. angle)



**gamma nought  $\gamma_0$**

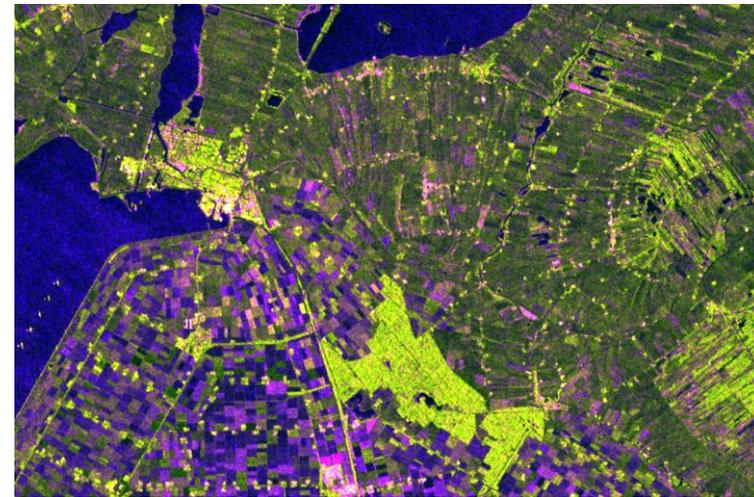
(  flattened corrected using DEM)





- **Random Forest como clasificador por defecto** (alternative de deep learning: Neural Net (Transformer))
- **Control de calidad específico del conjunto de datos in situ para equilibrar el conjunto de datos de calibración**
- **Amplio conjunto de características utilizadas por el modelo Random Forest que incluye:**
  - Series temp. de refl. superf. de S2 & L8
  - Índices NDVI, NDWI, Red Edge, brillo
  - Métricas temporales de las series mencionadas

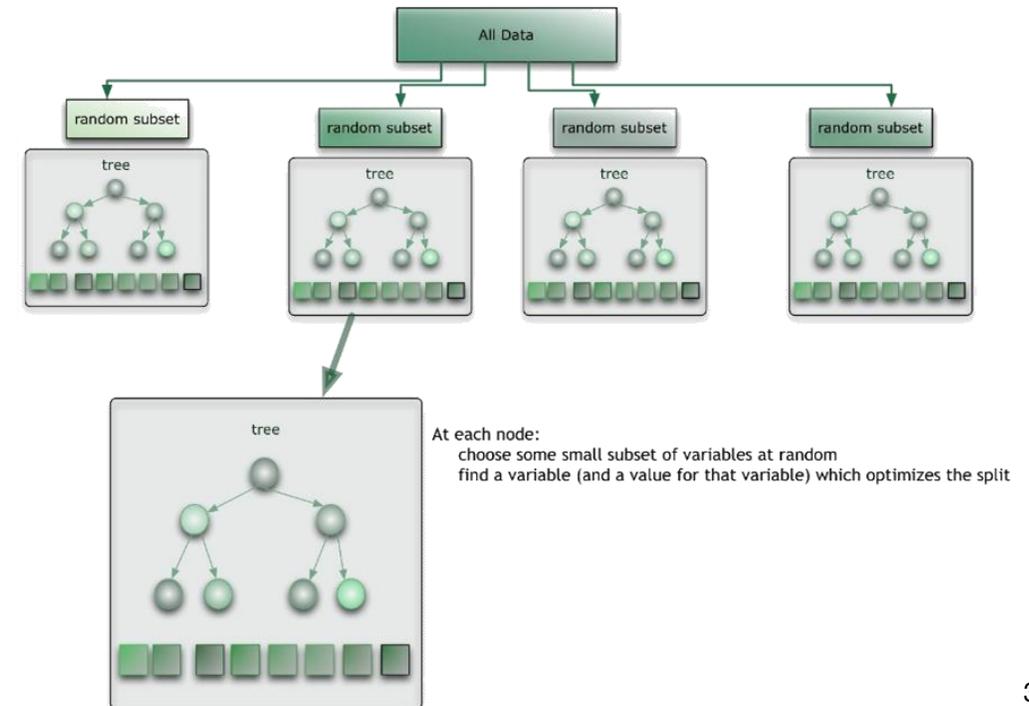
y series temporales de amplitud y coherencia de S1  
y serie temporal del ratio de polarización de S1  
y métricas temporales de S1 a partir de series temporales del SAR





# Random Forest (RF)

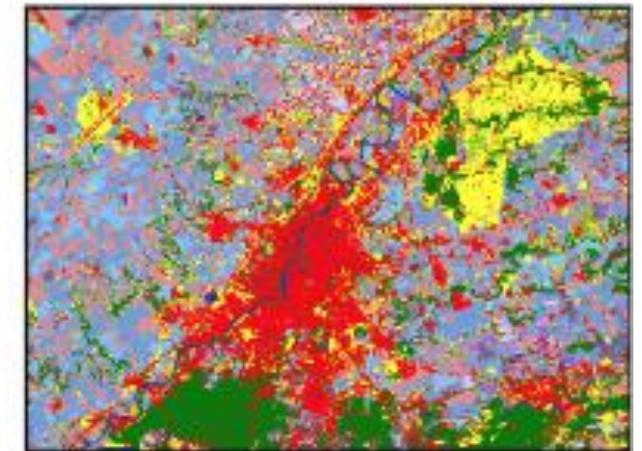
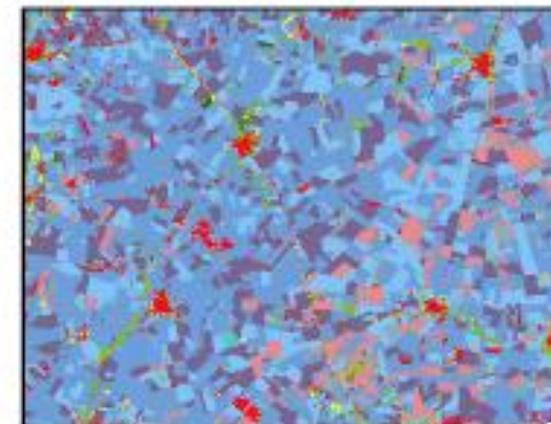
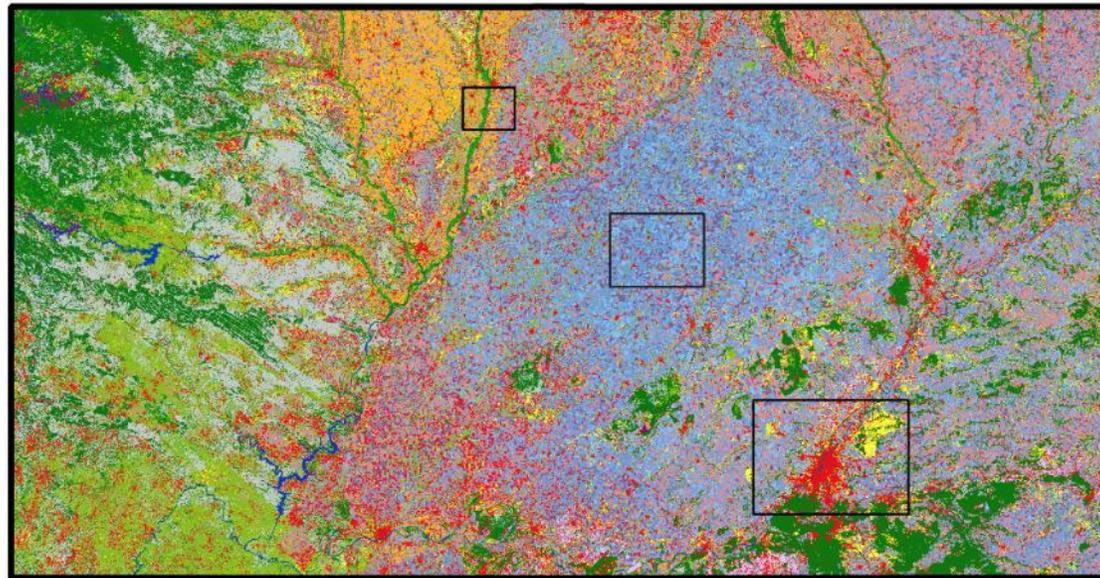
- Árboles de decisión ~ particiones recursivas calibradas en el conjunto de entrenamiento para obtener regiones (nodos) cada vez más homogéneas con respecto a su variable de clase
- Random Forest ~ algoritmo de aprendizaje de conjunto que combina múltiples clasificaciones de los mismos datos para producir mayores precisiones de clasificación
- Secuencia:
  - **Bagging**: los árboles individuales se desarrollan a partir de diferentes subconjuntos de datos de entrenamiento (submuestreo aleatorio de los datos originales para desarrollar cada árbol)
  - **Voto mayoritario único** para identificar la clase más frecuente a partir de todos los árboles



# Mapa de cultivos de la zona de España (35 tipos de cultivos)

Precisiones muy similares para Random Forest y Neural Net (Transformer)

Precisión global(OA): 80% (tipo de cultivo) & 88% grupo de cultivo



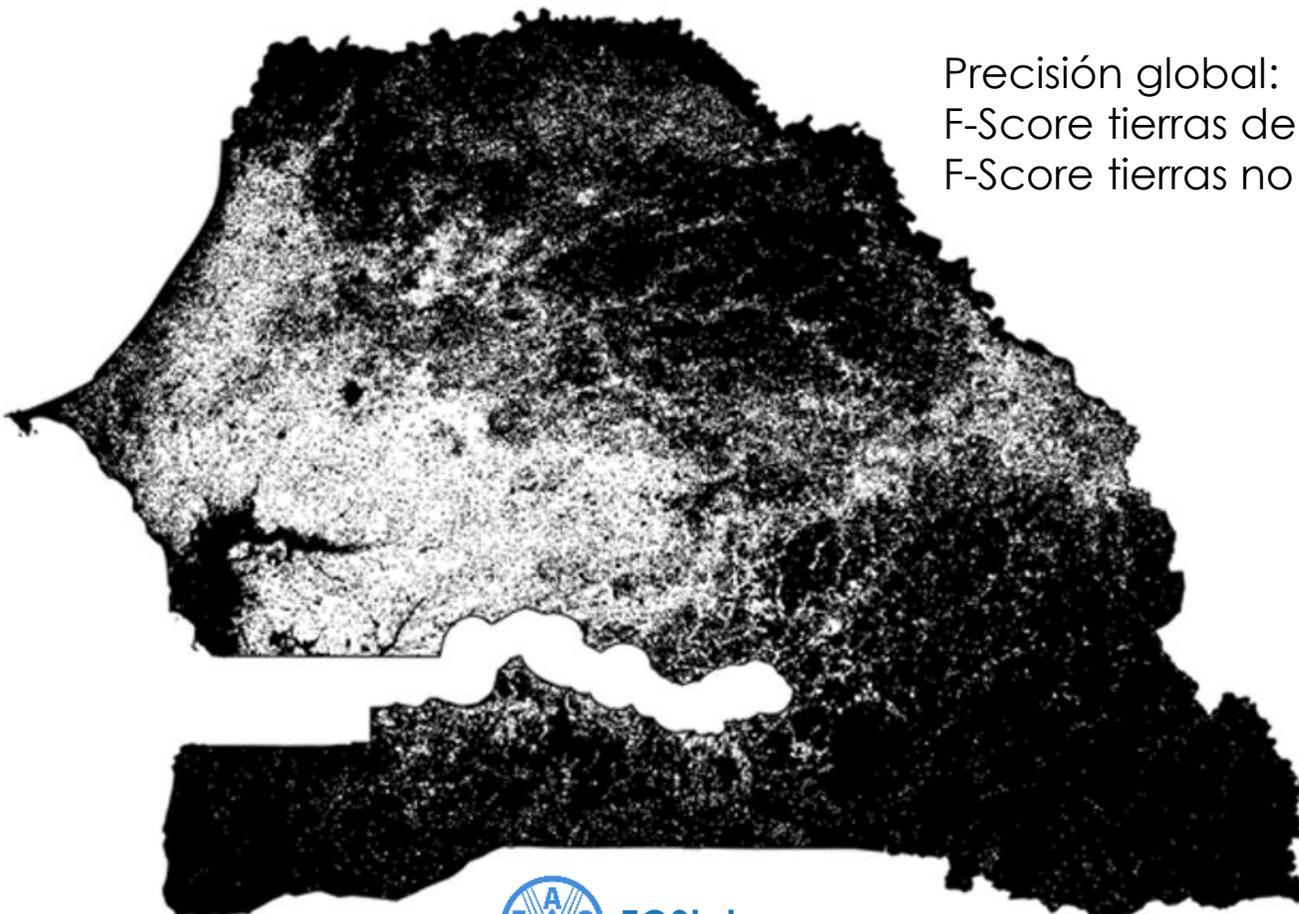
Crop Type			
Wheat	Leafy or stem vegetables	Spice crops	Vineyards
Maize	Fruit-bearing vegetables	Hops	Olive groves
Rice	Root bulb or tuberous vegetables	Leguminous crops	Trees
Sorghum	Mushrooms and truffles	Sugar beet	Succulent plant
Barley	Soya beans	Sugar cane	Shrub land
Rye	Groundnuts	Grassland and meadows	Forest
Oats	Other oilseed crops	Fibre crops	Bare soil
Millets	Potatoes	Medicinal aromatic pesticidal or similar crops	Build-up surface
Quinoa	Sweet potatoes	Flowers crops	Water bodies
	Cassava	Tobacco	
	Yams	Fruits trees	



# Mapa nacional de tierras de cultivo con resolución a 10 m (Senegal, 2020)

Clasificación Random Forest basada únicamente en las series temporales S2 y L8

Precisión global: 96%  
F-Score tierras de cultivo: 0,97  
F-Score tierras no de cultivo: 0,88

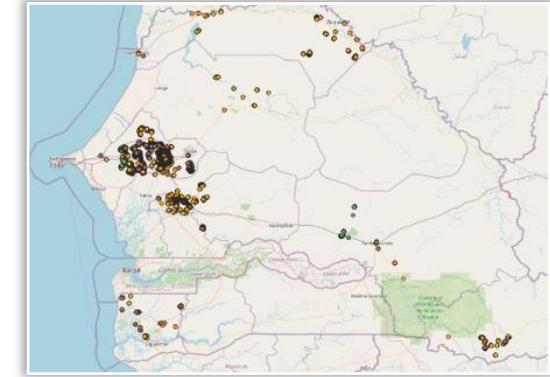
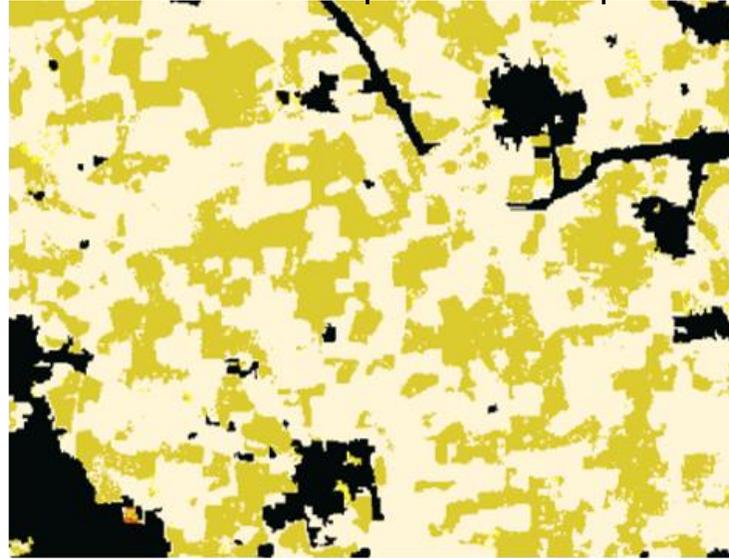


2000 rastros de GPS para explotaciones seleccionadas mediante un muestreo estratificado de las 526.000 explotaciones de Senegal (~ 0,4%)

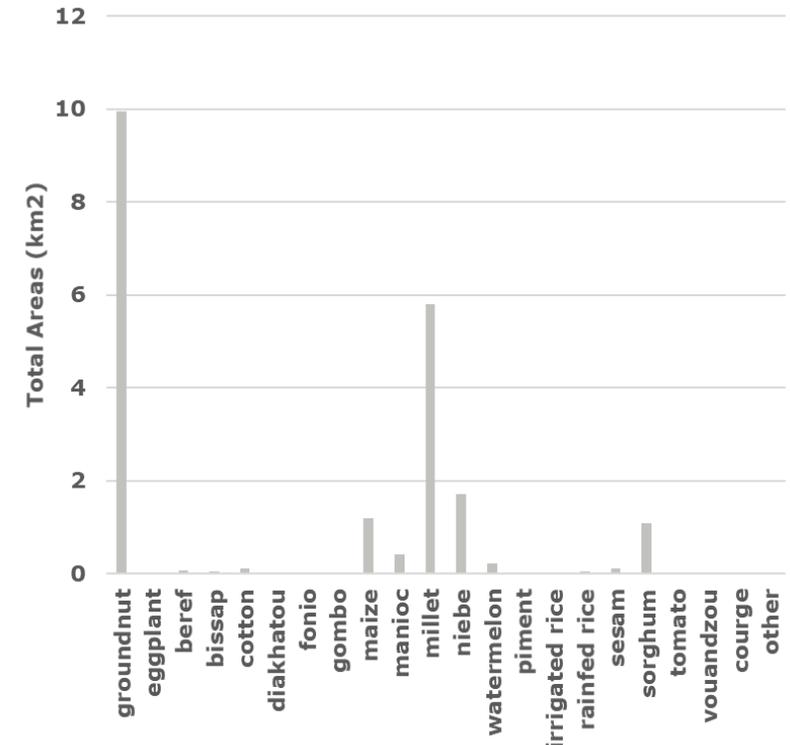




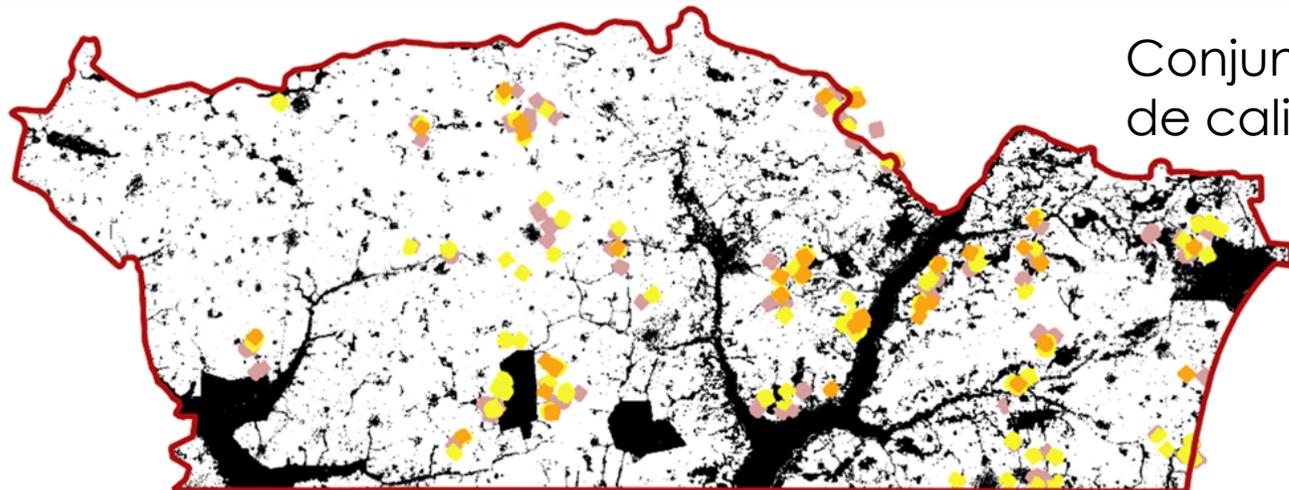
Poca precisión del mapa de tipos de cultivos debido a un conjunto de datos de observación en campo desequilibrado



	Arachide	Maïs	Millet	Niébé	Sorgho	Autres	
Arachide	23296	0	6	1101	158	1184	90 %
Maïs	1	0	0	0	0	6	0 %
Millet	178	0	918	93	0	5	77 %
Niébé	3445	0	0	11318	158	1068	71 %
Sorgho	1996	0	0	1200	443	270	11 %
Autres	5037	0	84	2610	191	4256	35 %
	69 %	N/A	91 %	69 %	47 %	63 %	68 %

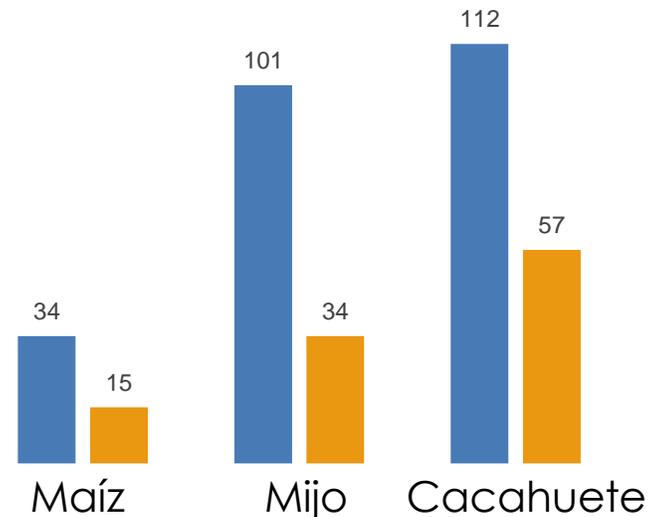


# Recogida de datos específicos in situ para el departamento de Nioro (Senegal, 2021)



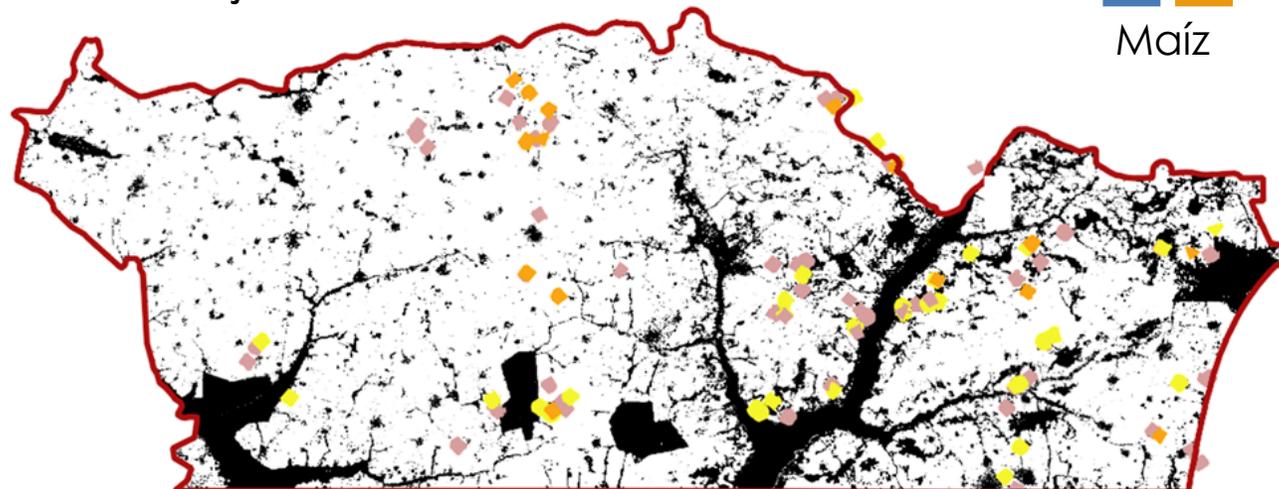
Conjunto de datos de calibración

Polígonos de calibración  
Polígonos de validación



Conjunto de datos de validación

-  Maíz
-  Mijo
-  Cacahuete



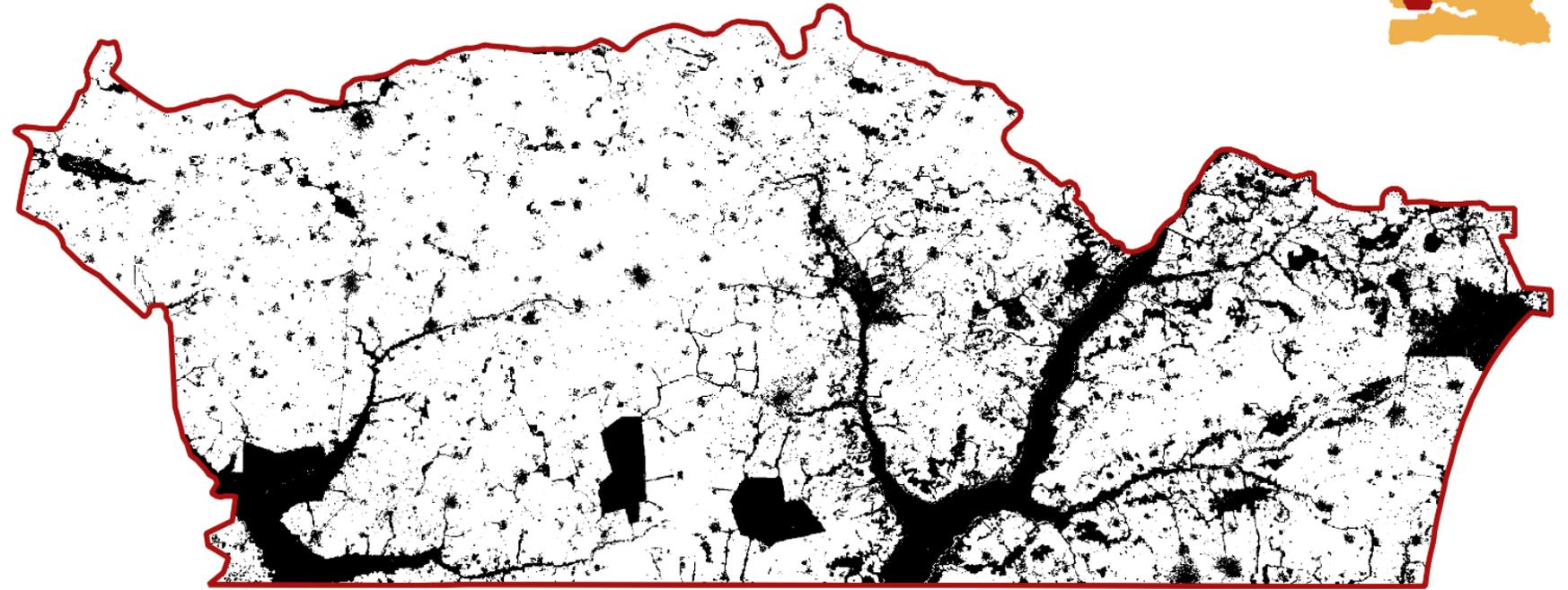
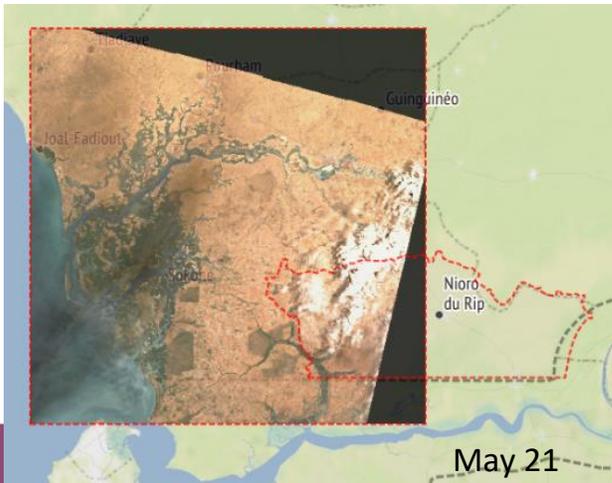
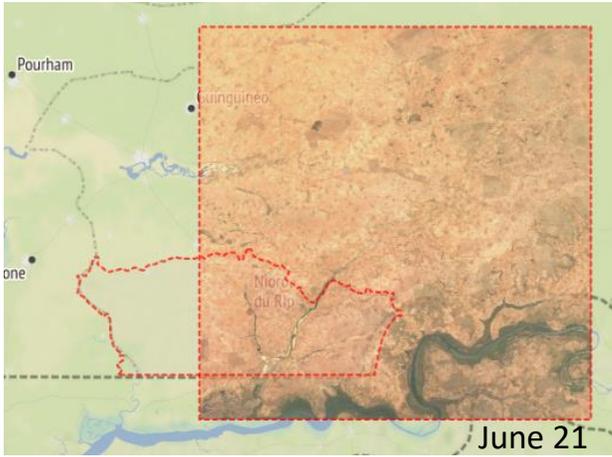
0 10 km



# Mapa de tierras de cultivo de 10 m con datos in situ equilibrados, para el Departamento de Nioro (Senegal)

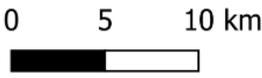


Cada imagen S2 cubre sólo una parte del departamento



Precisión global: 97,4 %  
 F-Score tierras de cultivo: 0,98  
 F-Score tierras no de cultivo: 0,95

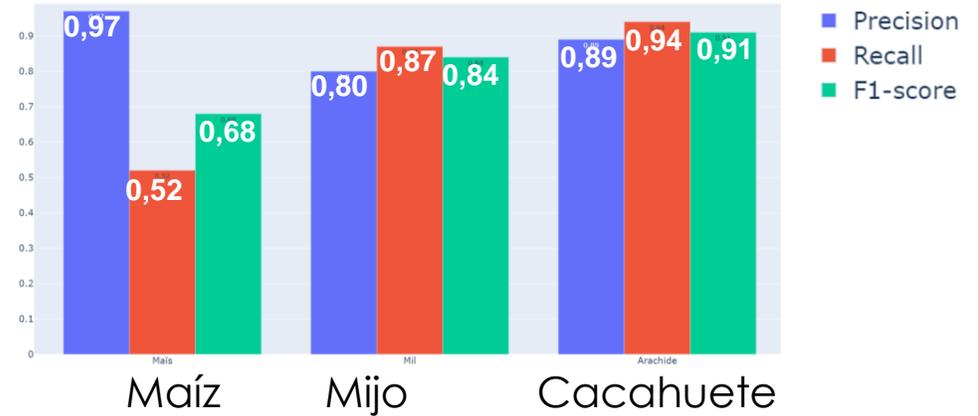
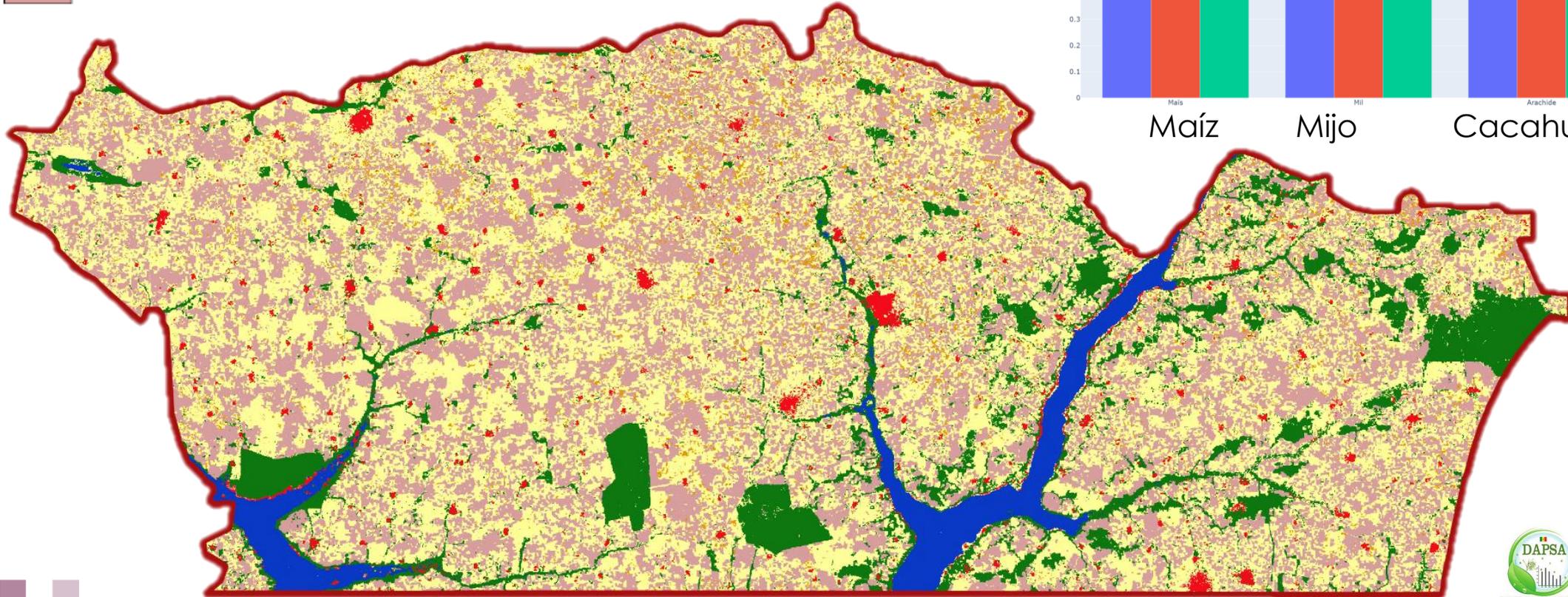
 Tierra de cultivo  
 Tierra no de cultivo



# Mapa de tipo de cultivo a 10m desde series temp. de S-1 y S-2 adquiridas durante la temporada y con datos in situ equilibrados

- Maíz
- Mijo
- Cacahuete

Temporada de 01-05-2021 al 31-12-2021  
 Precisión global: 84,8 %

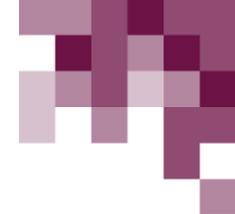


0 5 10 km





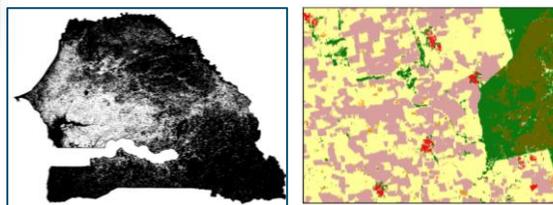
# Explotación operativa de misiones por satelitales para mejorar información oportuna áreas de cultivo, rendimientos y producción



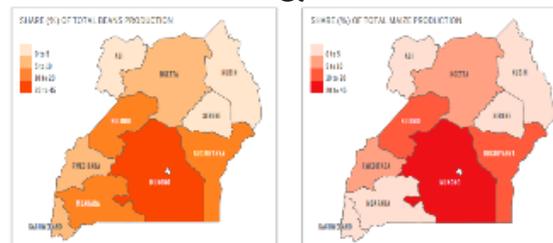
Datos multisensor de Obs. de la Tierra



Producción de mapas de tipo de cultivo



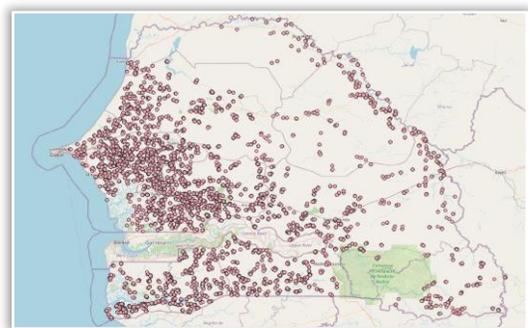
&



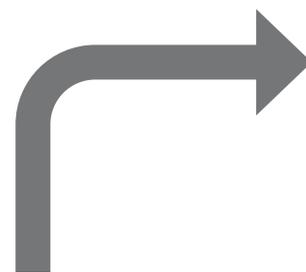
Mejora de estadísticas agrícolas



Información clave para procesos de toma de decisión



Marco de muestreo por áreas

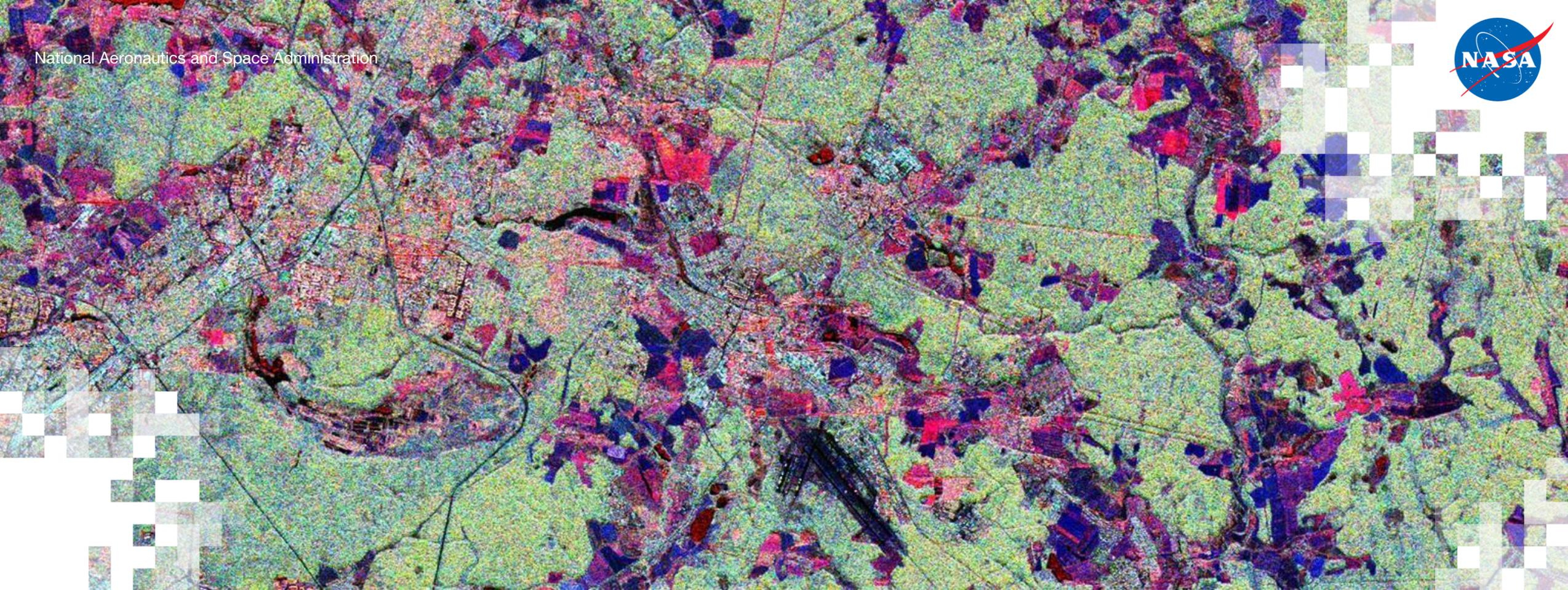


Estudios de campo



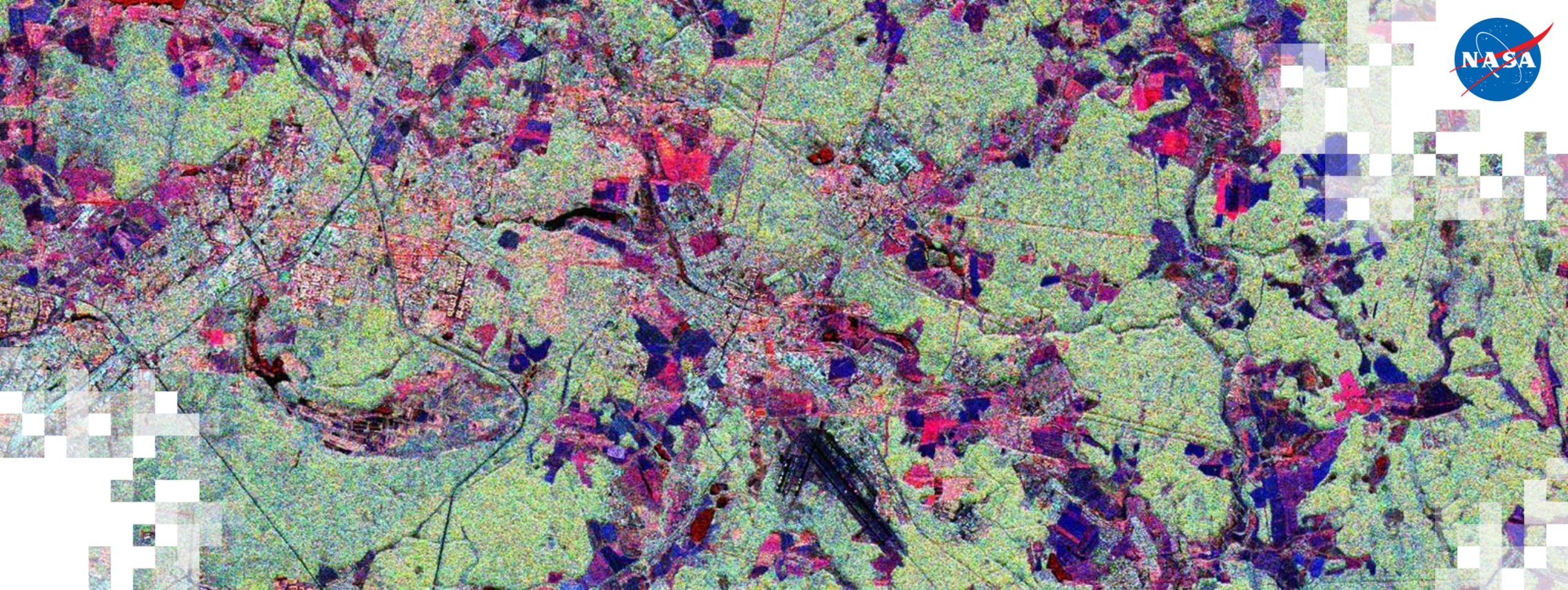
Control de calidad de datos de campo





## Sección 3: Uso práctico de la caja de herramientas Sen4Stat para el mapeo de tipos de cultivos





## Sección 4: Preguntas y respuestas

Introduzca sus preguntas en el cuadro de preguntas y respuestas.

Las responderemos en el orden en que se hayan recibido.

Publicaremos las preguntas y respuestas en el sitio web de formación una vez concluido el seminario web.

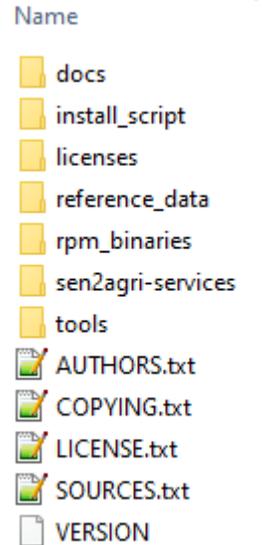
# Mas información

- Sen4Stat <https://esa-sen4stat.org/>
- Sen2Agri <https://github.com/Sen2Agri/Sen2Agri-System/>
- Descarga de SNAP <http://step.esa.int/main/download/snap-download/>
- Copernicus Open Access Hub (descarga de datos de Sentinel) <https://scihub.copernicus.eu/>
- NASA ARSET Clasificación de Cultivos Agrícolas con Radar de Apertura Sintética y Teledetección Óptica, Sesión 5: Obtención de Variables Biofísicas Usando Imágenes Ópticas para Apoyar Prácticas de Monitoreo Agrícola <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-clasificacion-de-cultivos-agricolas-con-radar-de-apertura>
- ‘Advanced training course on Land remote sensing with the focus on Agriculture’ que tuvo lugar en Louvain-la-Neuve, Belgica, del 16-20 September 2019  
<https://eo4society.esa.int/resources/advanced-training-course-on-land-remote-sensing-with-the-focus-on-agriculture/>



# Paquete de instalación de Sen4Stat (disponible en junio de 2022)

- Un único archivo de instalación que contiene todos los archivos necesarios
  - Documentación (docs)
  - Scripts de instalación
  - Archivos rpm de Sen4Stat
  - Servicios de Sen4Stat
  - Otras herramientas y archivos de configuración
- Se requiere CentOS 7 para la instalación del sistema
- Instalación realizada a través de un único script
  - `sudo ./install.sh`
- Se necesitan dos directorios con permisos de escritura para todos los usuarios:
  - `/mnt/archive`
  - `/mnt/upload`
- Durante la instalación, todos los paquetes de terceros necesarios se instalan a través de yum. Se instalan las imágenes Docker necesarias
- La base de datos PostgreSQL se utiliza para almacenar la configuración del sistema, la información de los productos, etc.
- El usuario normal `sen2agri-service` se crea durante la instalación
- Los servicios Systemd se crean y se lanzan en el momento de la instalación:
  - `sen4stat-executor sen4stat-orchestrator sen4stat-http-listener sen4stat-demmaccs sen4stat-demmaccs.timer sen4stat-monitor-agent sen4stat-scheduler sen4stat-services`



# Contactos

- Instructores:
  - Pr. Pierre Defourny [pierre.defourny@uclouvain.be](mailto:pierre.defourny@uclouvain.be)
  - Amalia Castro Gómez [Amalia.castro.Gomez@esa.int](mailto:Amalia.castro.Gomez@esa.int) (para consultas en Español)
- Web del curso: [https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-mapping-crops-and-their-biophysical-characteristics?utm\\_source=announcement&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=CropMapping-II-22](https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-mapping-crops-and-their-biophysical-characteristics?utm_source=announcement&utm_medium=email&utm_campaign=CropMapping-II-22)
- Web de la ESA (EO4Society): <https://eo4society.esa.int/training-education/>
- Twitter: [@EOOpenScience](https://twitter.com/EOOpenScience)



**Gracias!**

