

EMPLEO DE LA TELEDETECCIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, ÁMBITO NACIONAL Y DE PARCELA

Dr. Alfonso Calera Belmonte.

*Director Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional.
Universidad de Castilla-La Mancha*

Proyecto SPIDER_CENTER



Madrid, 3 de Noviembre de 2016



¿Cómo se desarrolla el cultivo?

¿Cuánta agua necesita?

¿Cuánto fertilizante?

- **Ajustar el suministro de agua** y fertilizantes a las demandas en el espacio y en el tiempo del cultivo.
Agricultura de precisión [“site specific”]
- **VRT: Variable Rate Technology**. La maquinaria que permite aplicar dosis variable, guiada mediante GPS.
- **Teledetección [satélites y drones]: “Inteligencia”** para el uso de la maquinaria VRT
 - Dosis Variable de Riego (VRI)
 - Dosis Variable de Fertilización (VRN)

Teledetección espacial:

[10-30 m] Landsat, Sentinel

[1m] QuickBird, GeoEye,
Worldview [5-10 m]RapidEye,
Formosat, Spot5

Deimos, Spot

[250- m] Modis,...



Imágenes desde
satélite



Imágenes desde sensores
aeroportados a
gran altitud



Teledetección aeroportada:

Vehículos tripulados y no
tripulados

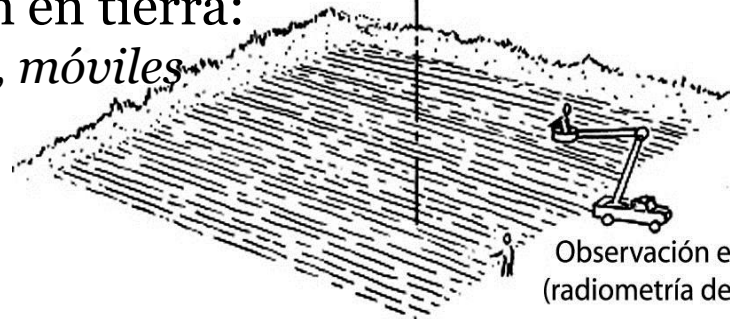
Resolución submétrica



Imágenes desde sensores
aeroportados a
baja altitud

Teledetección en tierra:

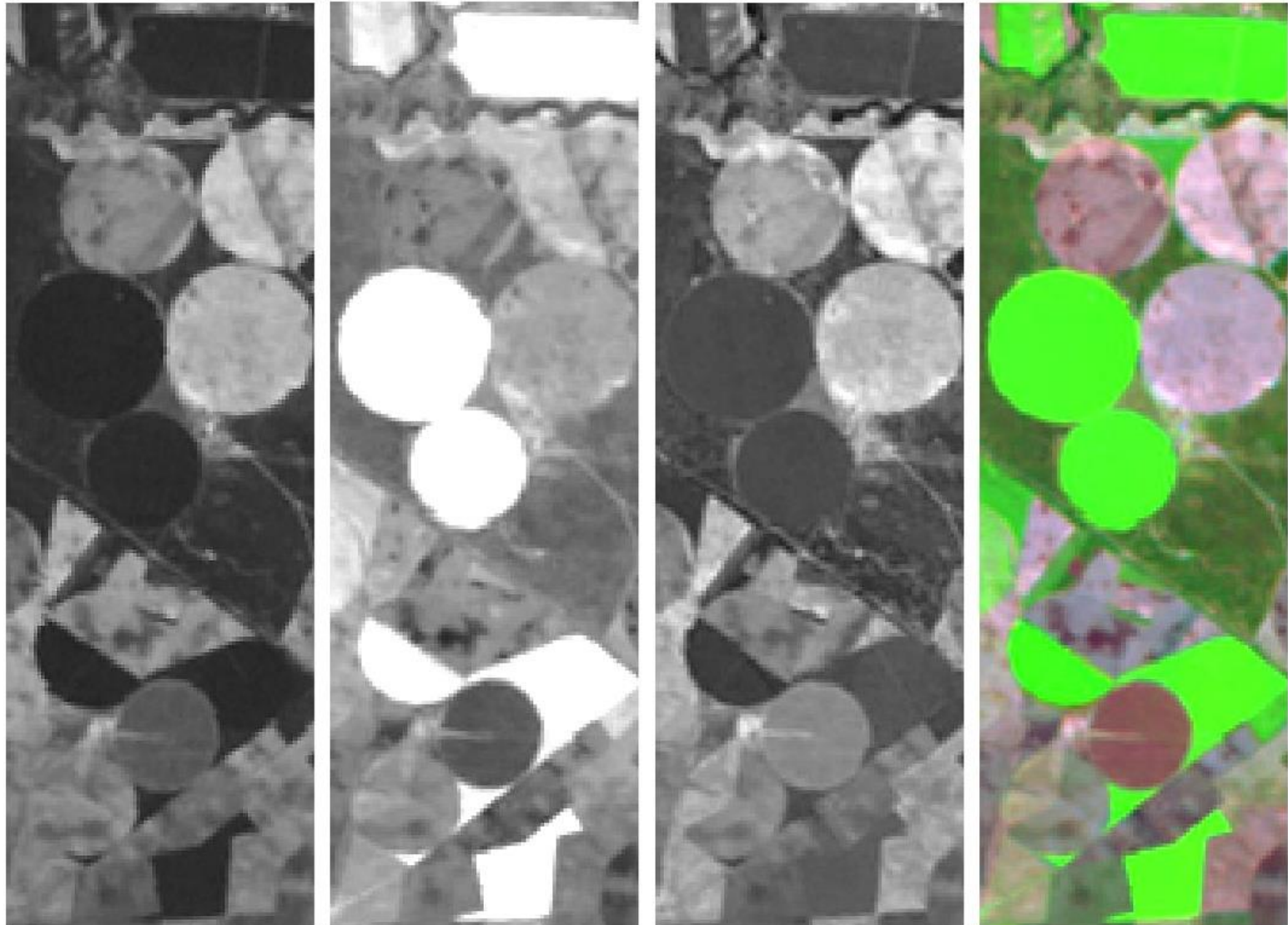
Sensores fijos , móviles



Observación en tierra
(radiometría de campo)



Las combinaciones color RGB. Identificación visual

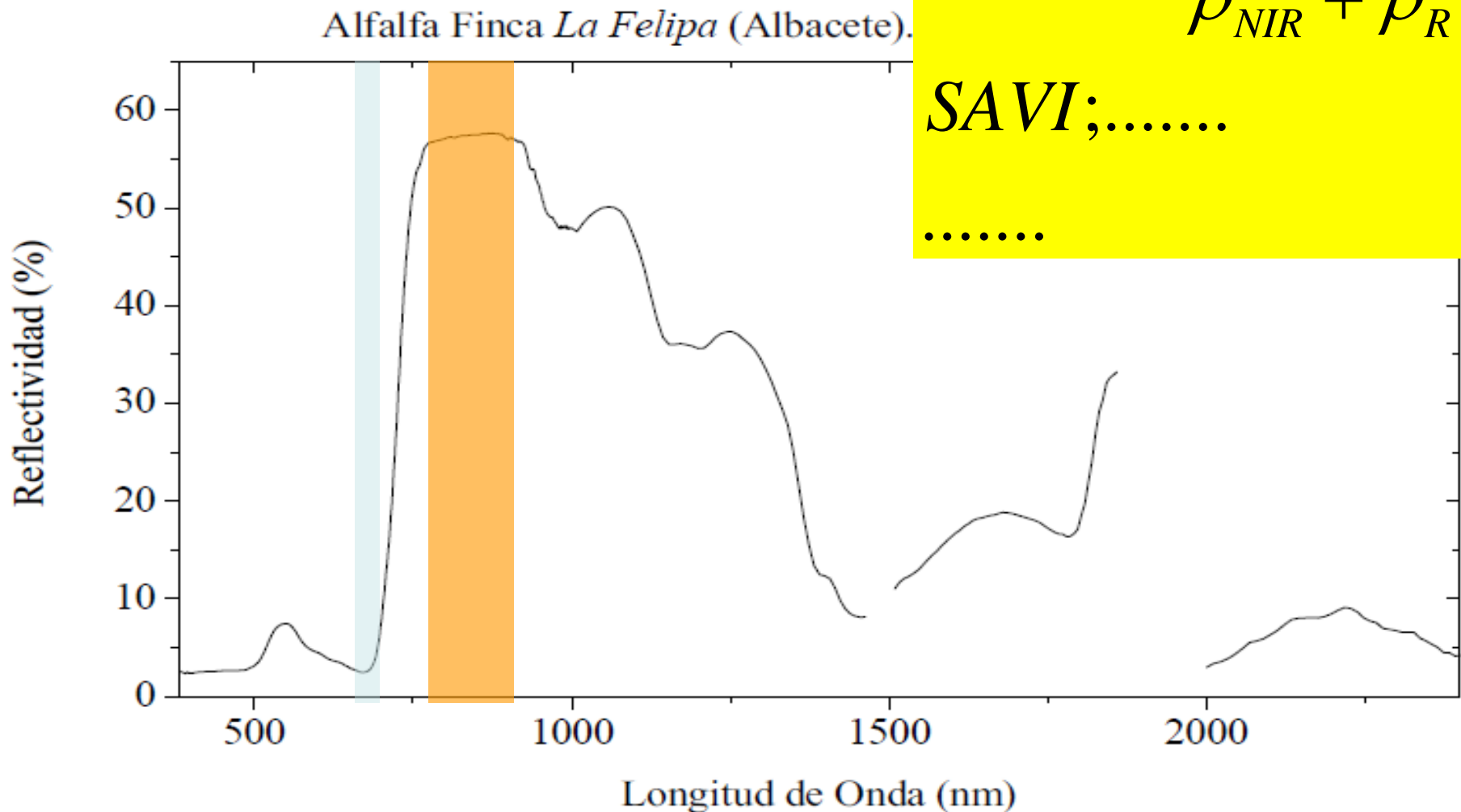


Descripción de la vegetación: Indices de Vegetación, NDVI

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

SAVI;.....

.....



Teledetección para el manejo agronómico y gestión del agua

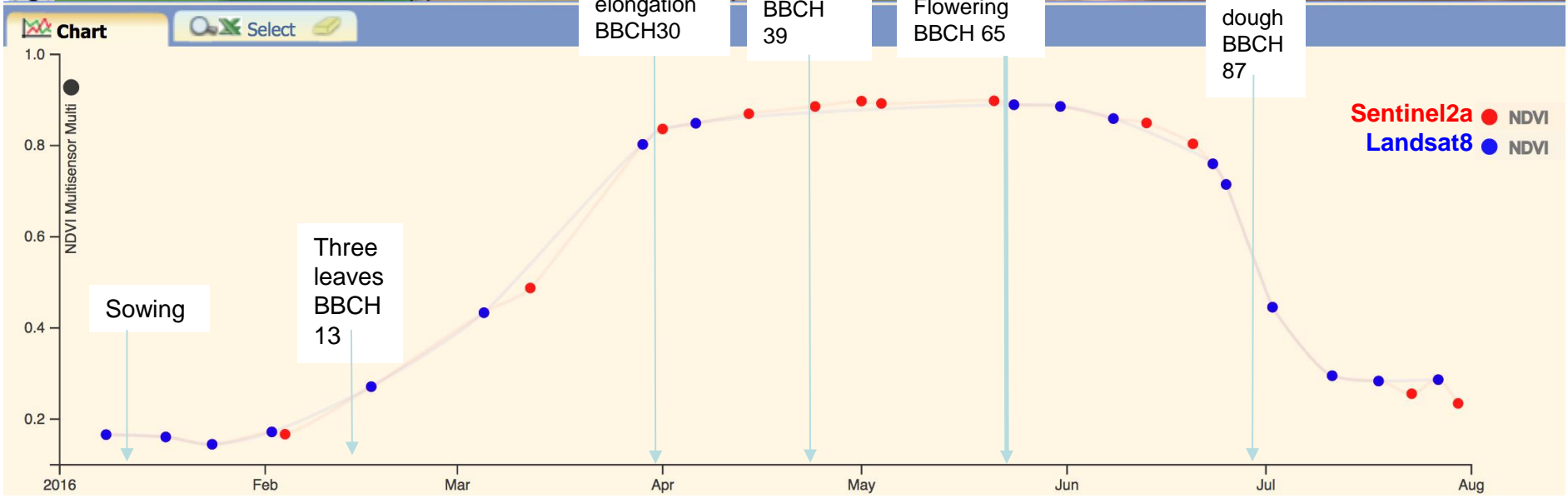
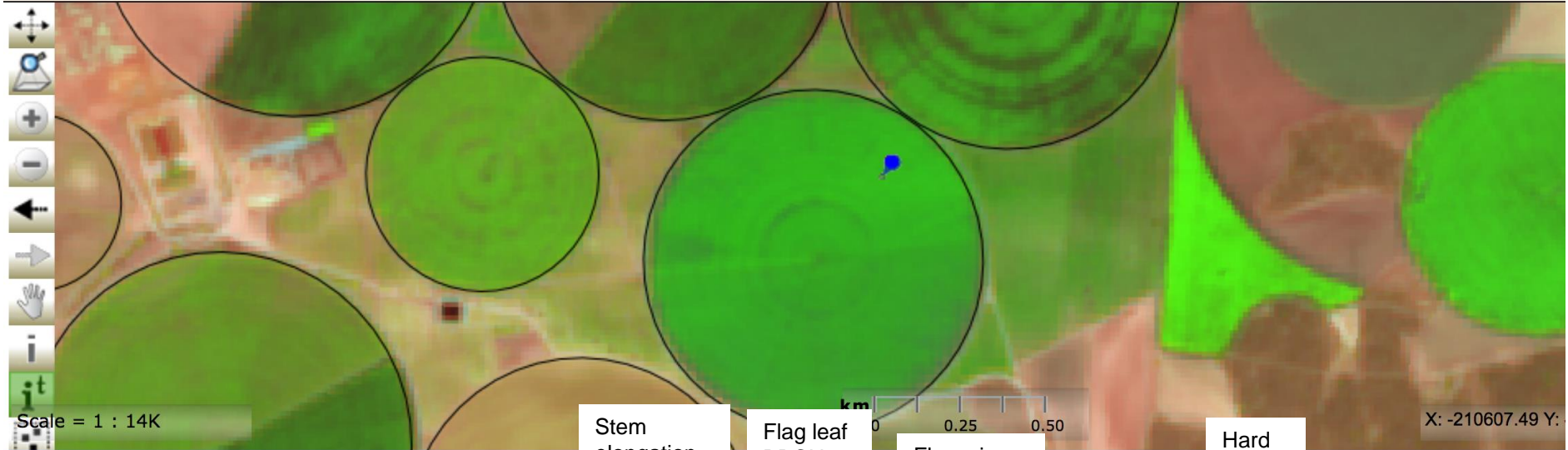
<p>Oportunidad de la imagen: Adquisición y entrega en tiempo real</p>	<p>Glovis (USGS + NASA) ESA webportal Otros operadores.....</p>	<p>ortorectificación + corrección radiométrica y atmosférica</p>
<p>Frecuencia: Hacia una imagen por semana (sin nubes)</p>	<p>Secuencias temporales de imágenes densas: Constelación Multisensor</p>	<p>multisensor normalización</p>
<p>Resolución espacial: Suficiente para identificar variabilidad intraparcalaria</p>	<p>Landsat8 (30 m) Sentinel2a (10 m) WV2 (1 m), RapidEye (5 m) Deimos, DMC (22 m)</p>	<p>Libre, sin coste Comercial</p>
<p>Valor añadido en los productos</p>		<p>Entrega a usuarios finales mediante sistemas webGIS</p>

Estado del cultivo

Productos

Acceso a la información

Date displayed: 20-06-2016 Projection and Datum: Google Spherical Mercator



Metodología basada en teledetección

Imágenes de satélite, aeroportadas,...

Modelos de Balance de Energía en Superficie requieren **temperatura** de la superficie

Kc-ETo FAO56 FAO66
Coeficiente de cultivo basal basado en **reflectividad espectral**

Modelos de resistencias basados en la ec. P-M

**ET, Evapotranspiración Actual:
Consumo de agua de los cultivos**

Precipitación,

Balance de agua en el suelo

Necesidades de agua de riego

Humedad del Suelo, Percolación

Microondas, radar

Evapotranspiración: Kc-ETo metodología

$$\lambda ET = \frac{\Delta (Rn - G) + \rho c \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Ecuación Penman-Monteith

$$ET = K_s K_c ET_o = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o$$

Aplicación en dos pasos
de la ecuación P-M
(Doorembos and Pruitt, 1977)
(Jensen et al., 1990) (Allen et al.,
1998) FAO56, FAO66

ET_o , evapotranspiración de referencia, demanda evaporativa de la atmósfera: [FAO56] *[se calcula desde datos meteorológicos]*
“un cultivo de referencia ideal con una altura de 0.12 m, una resistencia de superficie de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23”

Evapotranspiración: K_c - ETo metodología

$$ET = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o$$

K_{cb} COEFICIENTE DE
CULTIVO BASAL

Valores tabulados adaptados
a las condiciones locales

K_s : COEFICIENTE DE ESTRÉS
HÍDRICO calculado mediante un
balance de agua en el suelo
explorado por las raíces

K_e : COMPONENTE
EVAPORATIVA DEL SUELO
DESNUDO calculado mediante
un balance de agua en la
superficie del suelo

Coefficiente de cultivo basal, K_{cb} , el ratio de la transpiración de un cultivo en ausencia de estrés sobre la evapotranspiración de referencia. Análogo a un coeficiente de transpiración.

$K_{cb} ET_o$ representa la **transpiración máxima** de una cubierta en ausencia de estrés

$K_s K_{cb} ET_o$, representa la **transpiración real** de una cubierta

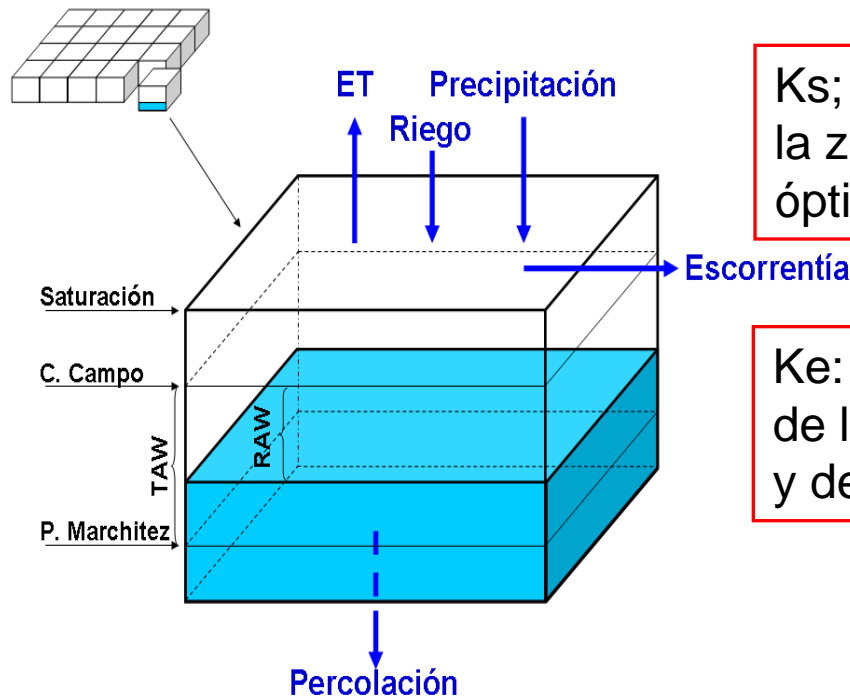
$K_e ET_o$, es la **evaporación** desde la fracción de suelo desnudo.

Integración del coeficiente de cultivo basal derivado de la reflectividad en el procedimiento Kc-ETo (FAO56)

$$ET = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o$$

$$K_{cb}^* = 1.44 \cdot NDVI - 0.1$$

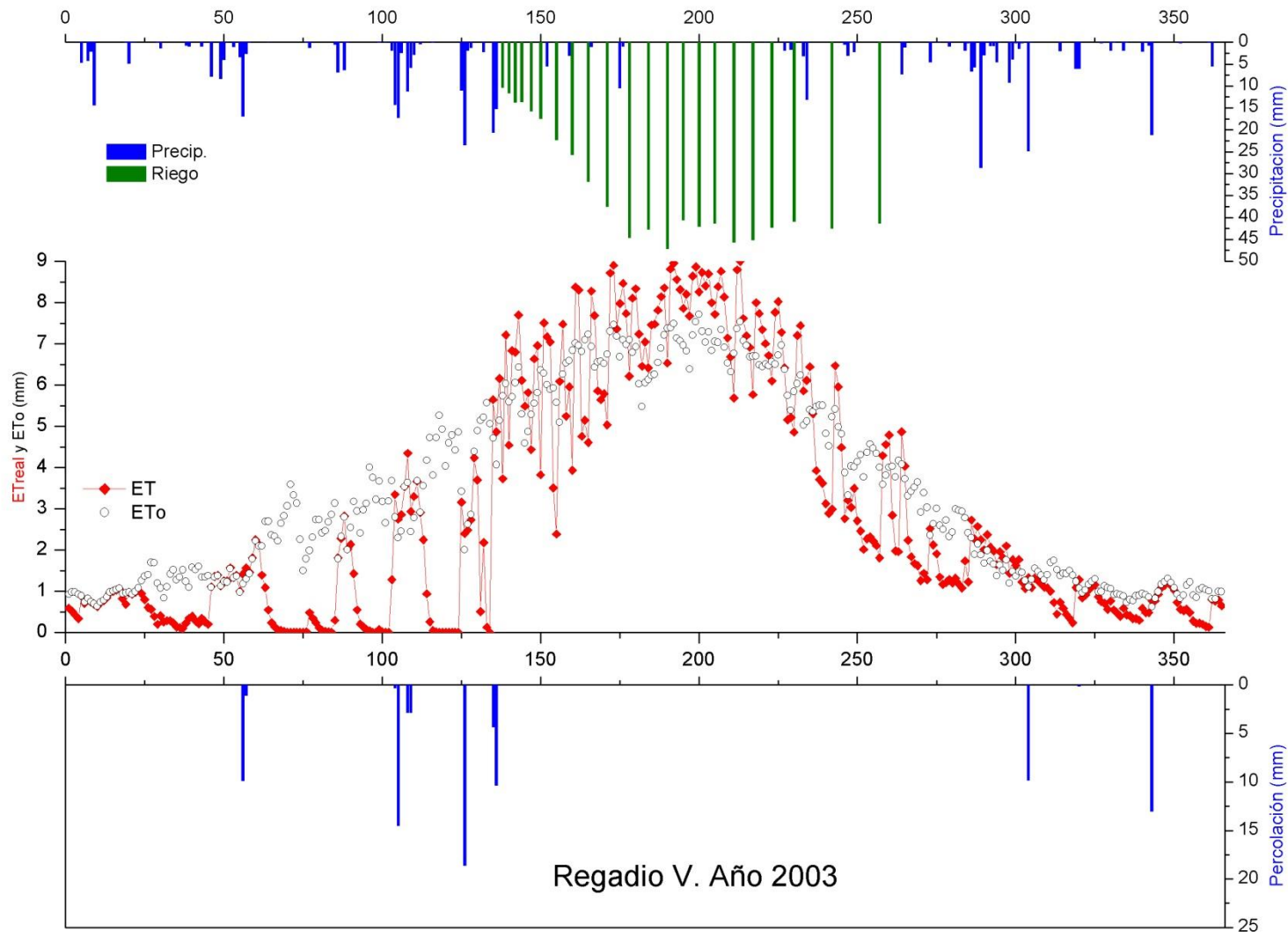
K_{cb}^* “espectral” coeficiente de cultivo basal [0.15 – 1.15],
NDVI, calculado para las bandas TM y ETM+. [Valores típicos: suelo desnudo 0.12-0.16; máximo NDVI para vegetación verde muy densa, 0.91]



K_s ; Depende del contenido de humedad en la zona de raíces; ≤ 1 . En condiciones óptimas, esto es, sin estrés, vale 1

K_e : Depende del contenido en humedad de la capa superior del suelo, ~ 10-15 cm, y de la fase de secado

Balance de agua para un pixel



Precipit	ET actual	ETo	irrigation	Percolation	Moisture
425.11	1036.38	1251.31	715.98	87.74	16.97

MAPAS de Necesidades Hídricas de los Cultivos

Coeficiente de cultivo basado en la reflectividad
+
Evapotranspiración de referencia

Predicción de las necesidades hídricas con una semana de antelación:

Extrapolando la curva de K_c +
Predicción meteorológica

$$ET_{c,prevista} = K_c ETo$$

Ambito Ir a Localizar **SPIDER**

FINCA Parcelas Oran

Visualizar area

- Previsión ETC semanal (21-06-2015)
- Unidades de muestreo parcelas intensivas
- mapa variabilidad parcelas intensivas
- RGB Multisensor (07-06-2015)
- NDVI Multisensor (07-06-2015)

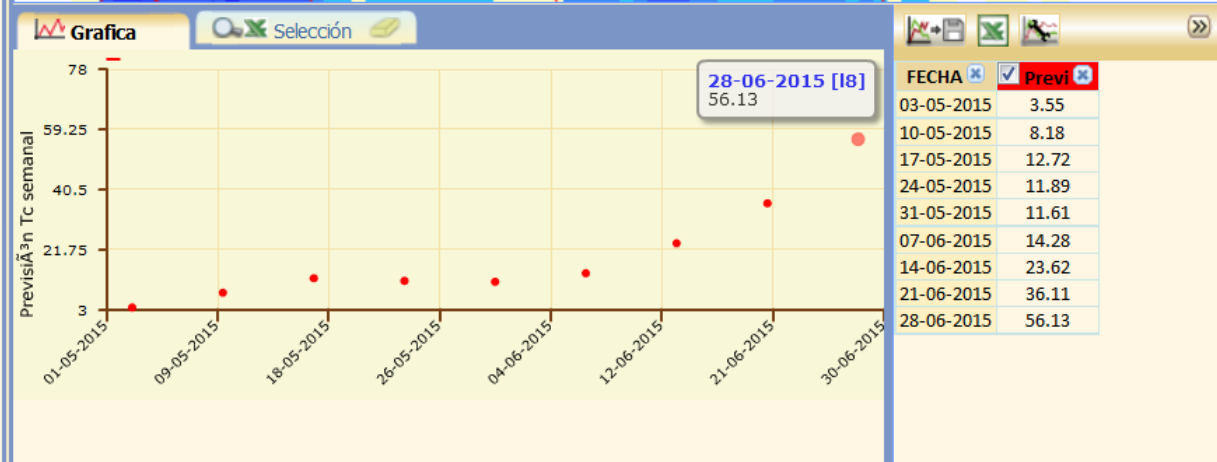
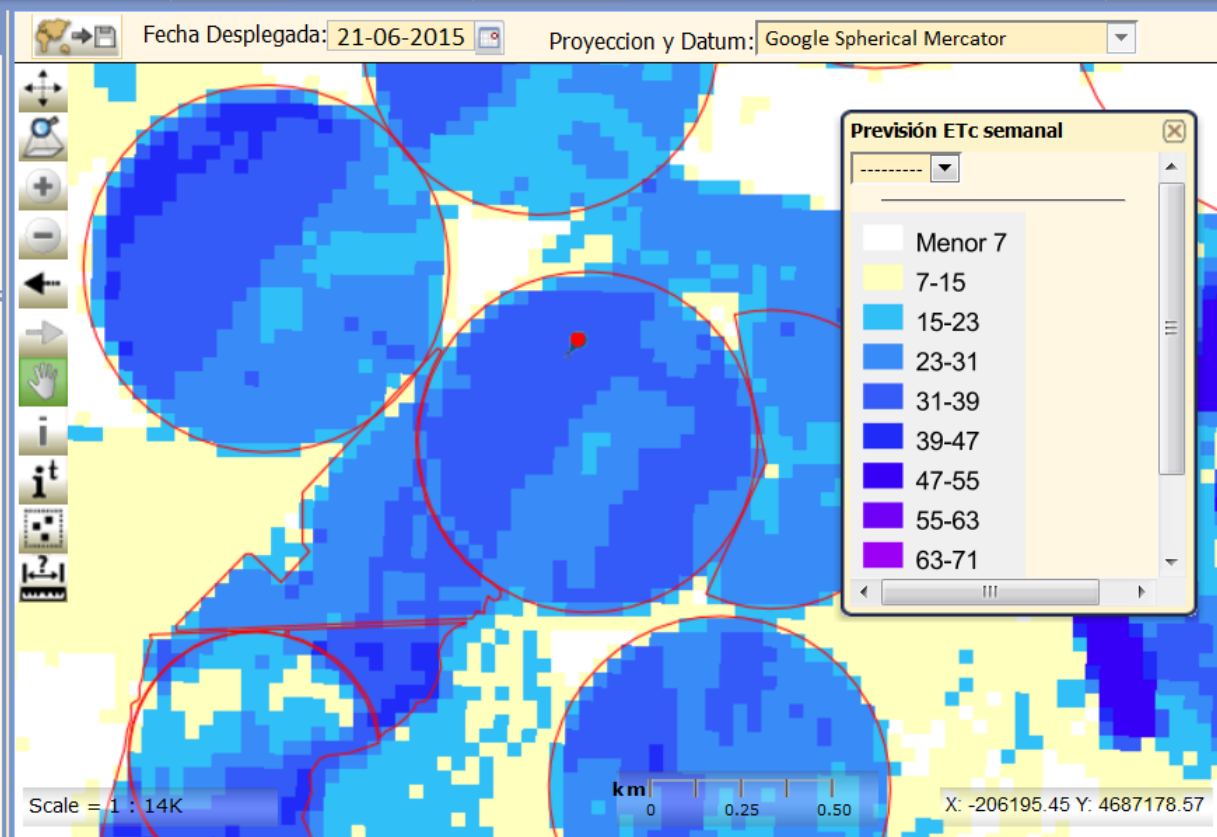
- Google Roadmap
- Google Satellite
- Google Terrain

Rango de Fechas

Fecha Inicio: 01-05-2015

Fecha Final: 30-06-2015

Malla del Pixel: 3x3

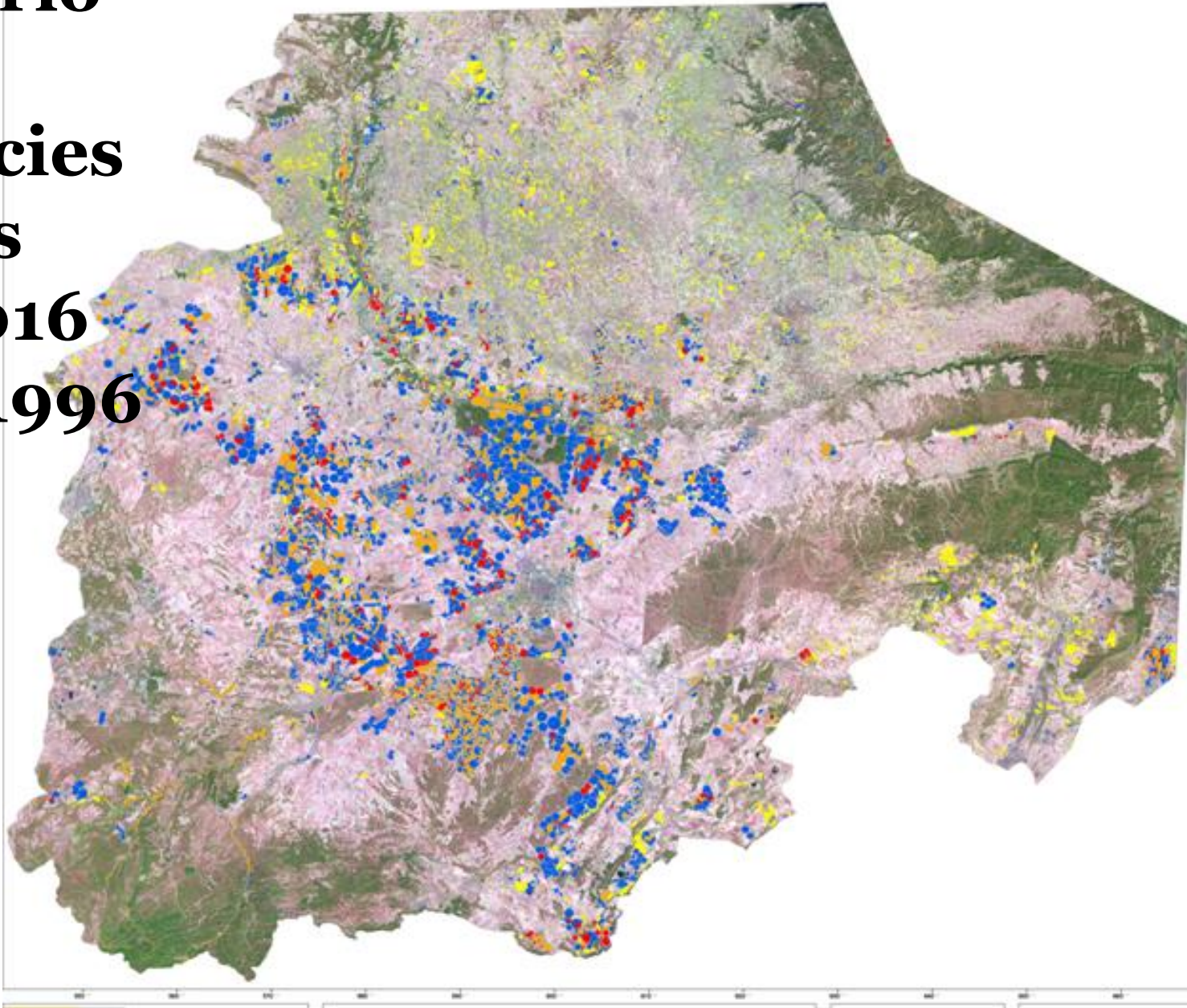


Aplicaciones de las secuencias temporales
y de la contabilidad del agua para la

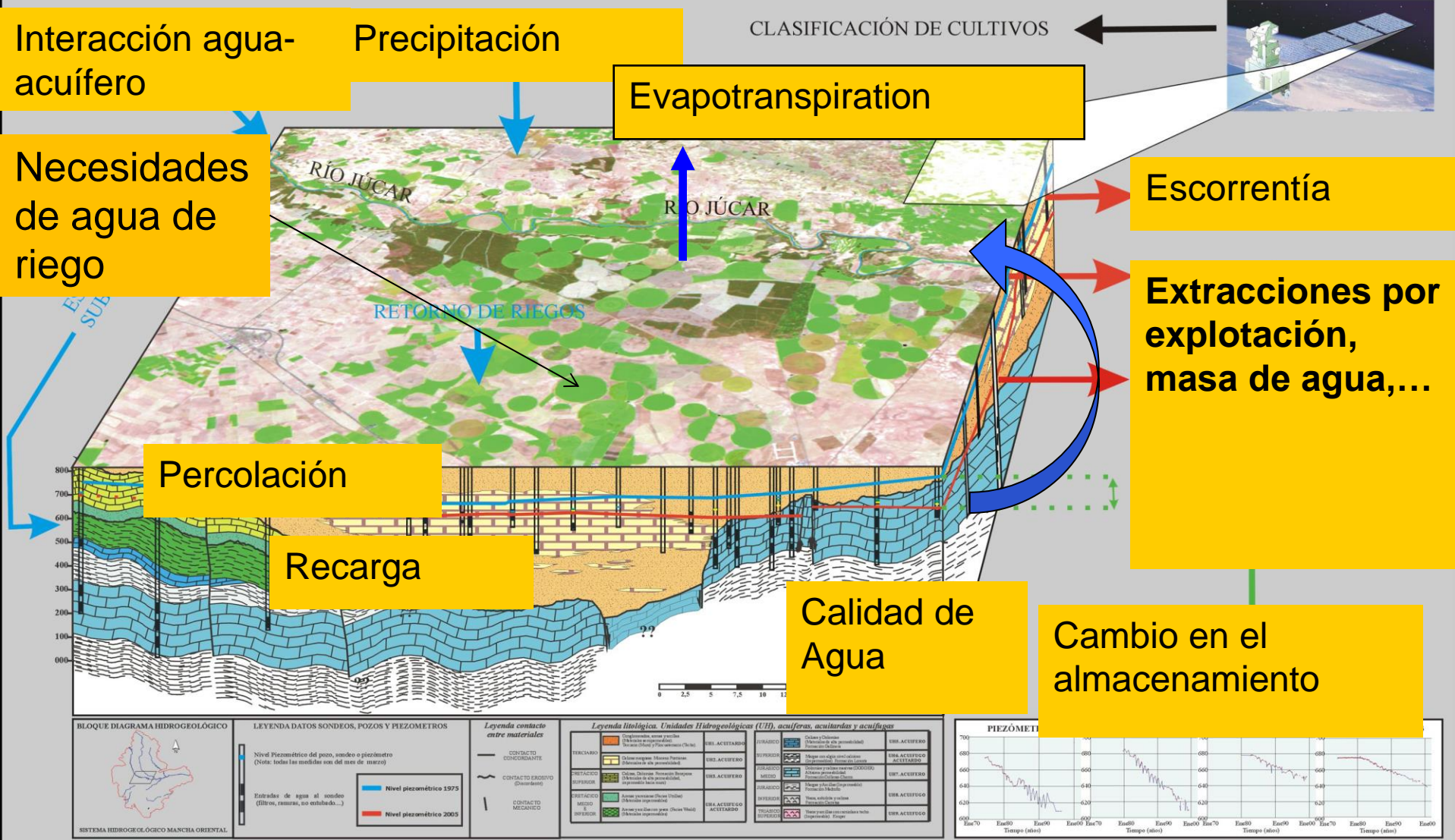
[*Gestión y*
Gobernanza del agua]

- ❖ Mapa de superficies regadas
- ❖ Consumo de agua de las superficies regadas y necesidades de agua de riego
- ❖ Accesibilidad a los usuarios y transparencia

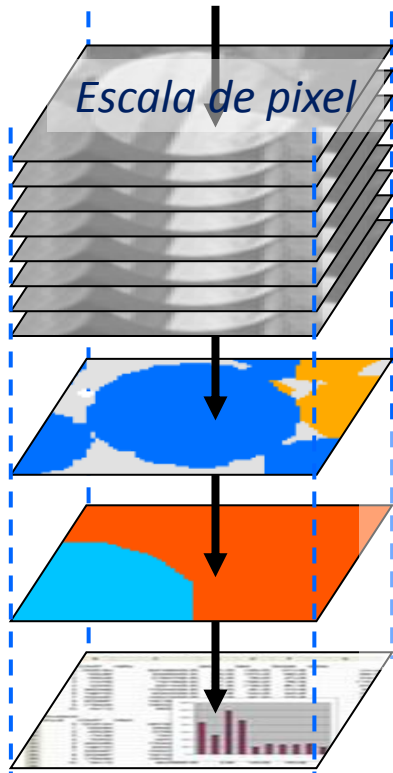
**Inventario
de
Superficies
Regadas
1982-2016
Inicio: 1996
CHJ,
JCRMO,
UCLM
Tragsatec**



Necesidades hídricas a escala de acuífero : Balance de Agua Espacialmente Distribuido Asistido por satélite



ESCALA ESPAÑA PENINSULAR (500.000 km², 3.6 Mha regadas)

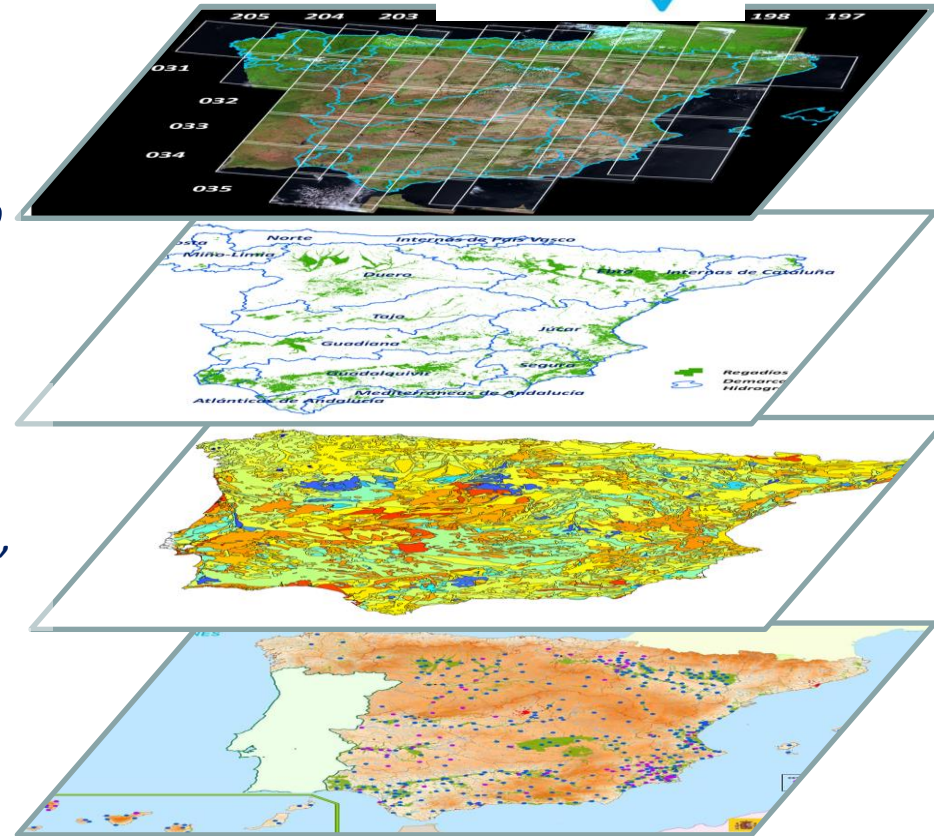


*Series temporales
NDVI L8 + S2*

*Mapa Usos del Suelo
Superficies Regadas*

*Mapa Suelos
European Soil Data Base
EC - Joint Research Centre,
2013*

*Datos Climáticos diarios
Red SIAR (P, ETo)*



MAPAS de necesidades hídricas a escala de pixel y paso de tiempo diario

INTEGRACIÓN DE SERIES TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y RED
AGROCLIMÁTICA SIAR PARA LA MONITORIZACIÓN DE SUPERFICIES DE RIEGO EN
LA PENÍNSULA IBÉRICA



Proyecto SPIDER_CENTER



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



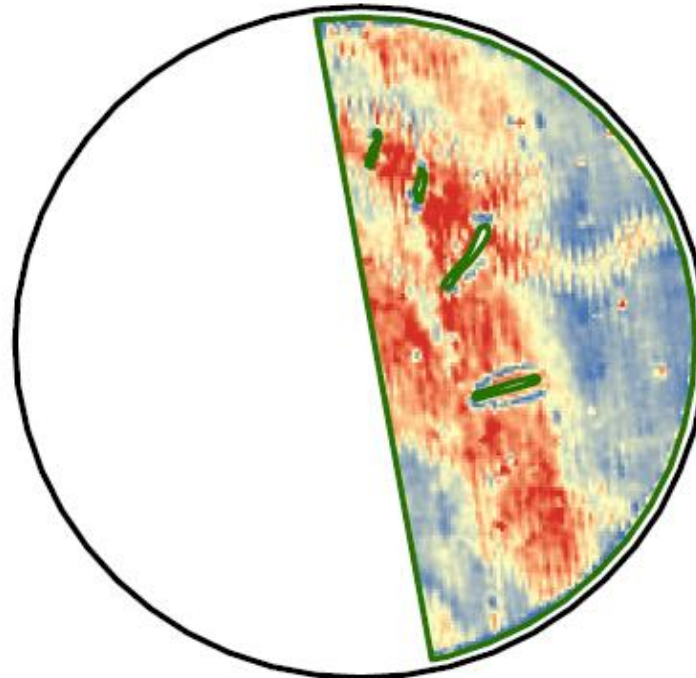


FATIMA

FArming Tools for external nutrient Inputs and water MAnagement

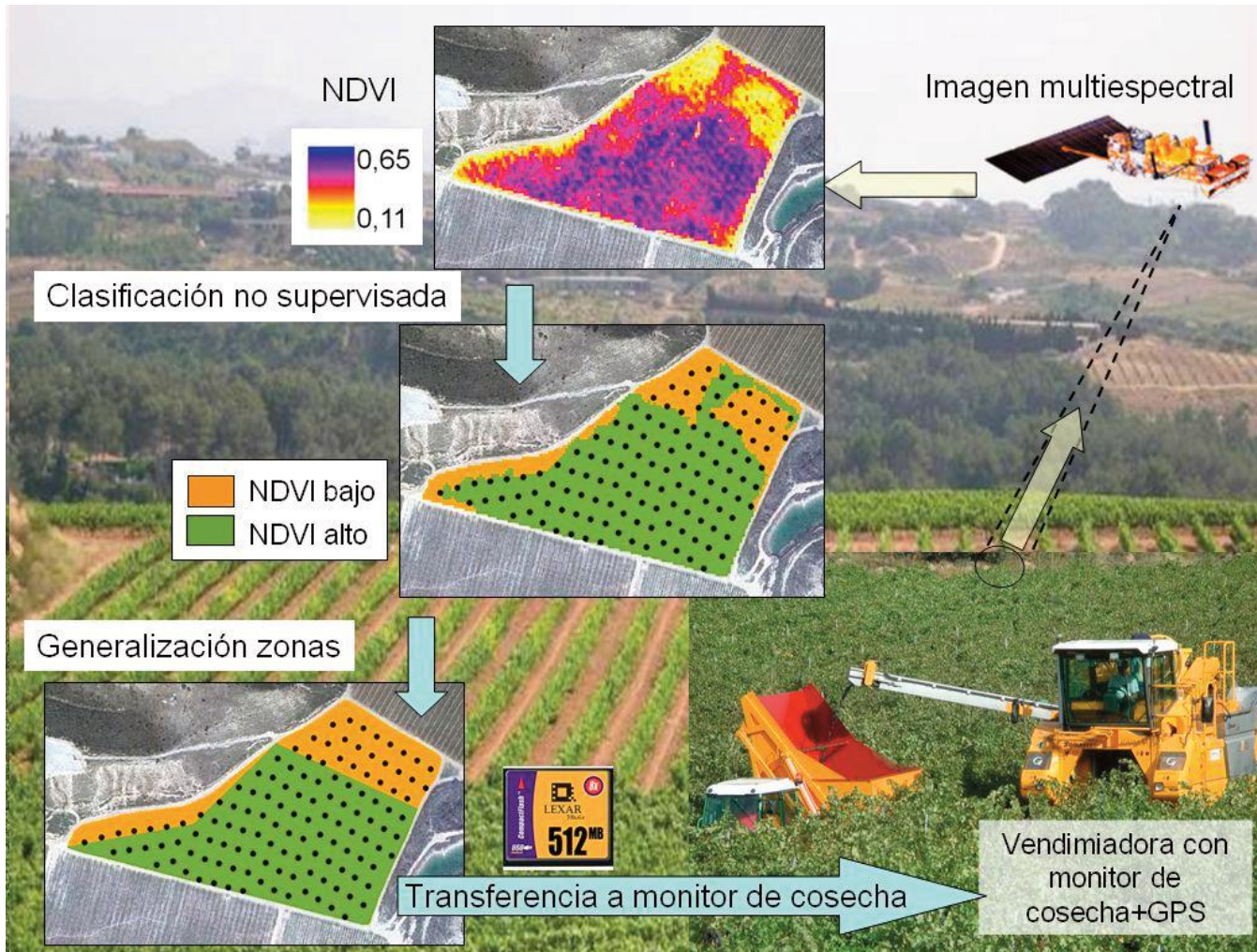
HERMANA

Manejo de la variabilidad Zonificación Fertilización



Teledetección para mapear la variabilidad de la cubierta

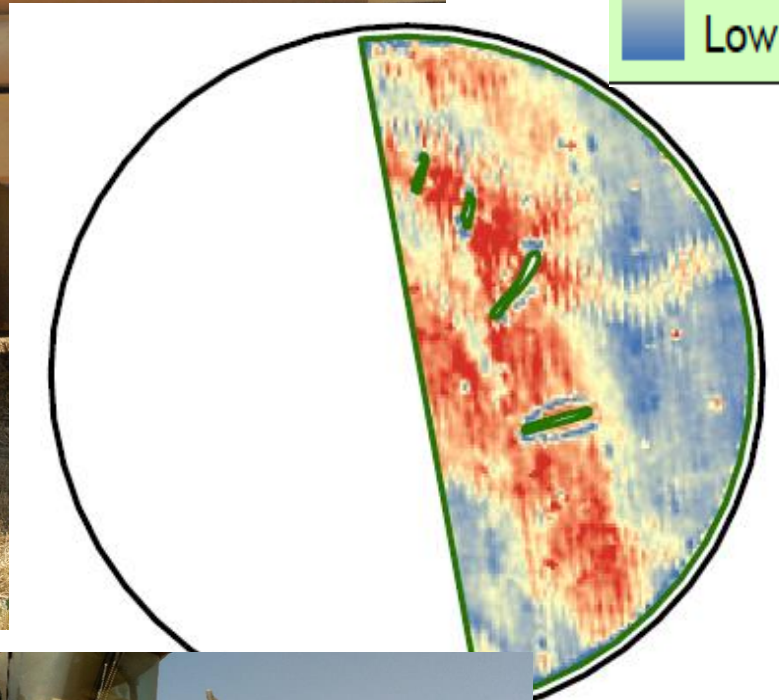
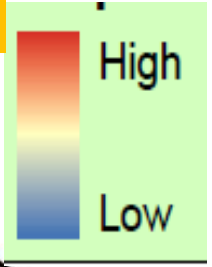
- Usual : Delineación de áreas usando imágenes IV, RGB, ... desde satélites, drones,...



Empíricas
locales
Dependiente del
cultivo
...

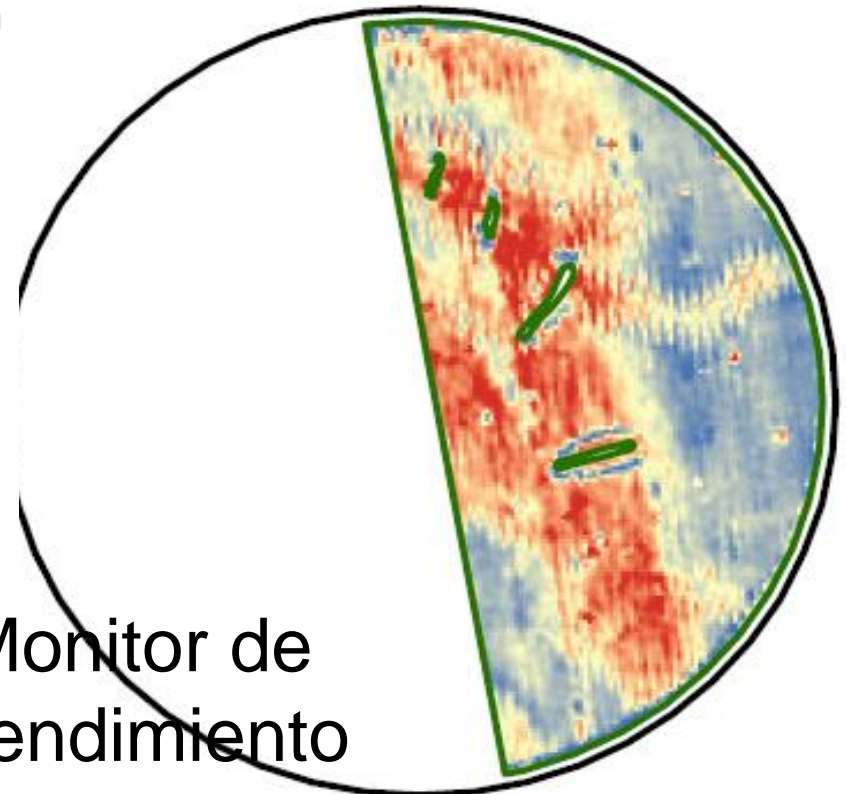
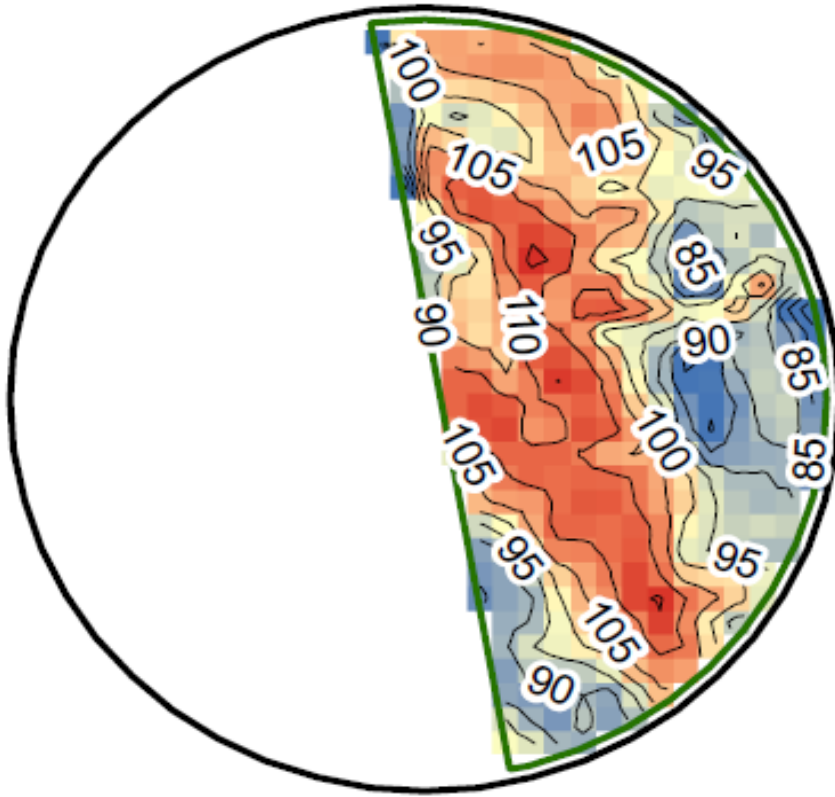
Adaptado de
Martinez
Casesnovas

Monitor de rendimiento



...

Mapas de Biomasa basados en teledetección



Monitor de rendimiento

Manejo de la variabilidad Zonificación

Potencial productivo

Como medir la variabilidad

Mirar la planta:

Rendimiento

Muestreo biomasa

....

Mirar el suelo

Conductividad Electrica

Muestreo del suelo

....

... *mirar la planta* “ la variabilidad que presenta la acumulación de biomasa [el rendimiento] integra la fertilidad del suelo, el clima y el manejo.

¿Las secuencias temporales de imágenes permiten describir el proceso de acumulación de biomasa?

Estimación de biomasa/rendimiento mediante secuencias de imágenes de satélite

**A.- Integración de la serie temporal de
imágenes en modelos de crecimiento de
cultivos.**

STICS, DSSAT, CROPSYST, AQUACROP,...

**B.- Directamente de la secuencia de
imágenes, utilizando los principios en que
se basa el crecimiento de los
cultivos/vegetación**

B.- Metodología directa desde la secuencia de imágenes,

La acumulación de biomasa se relaciona directamente con la

- ❖ **Transpiración, T (Concepto de productividad del agua, WP) FAO33, FAO66**
- ❖ **$B = \int WUE \cdot T \cdot dt = \int WP^* Kcb \, dt$**
- ❖ **Absorción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (Concepto de eficiencia en el uso de la luz, Light Use Efficiency) (Monteith, 1972)**
- ❖ **$B = \int \epsilon \, APAR \, dt$**

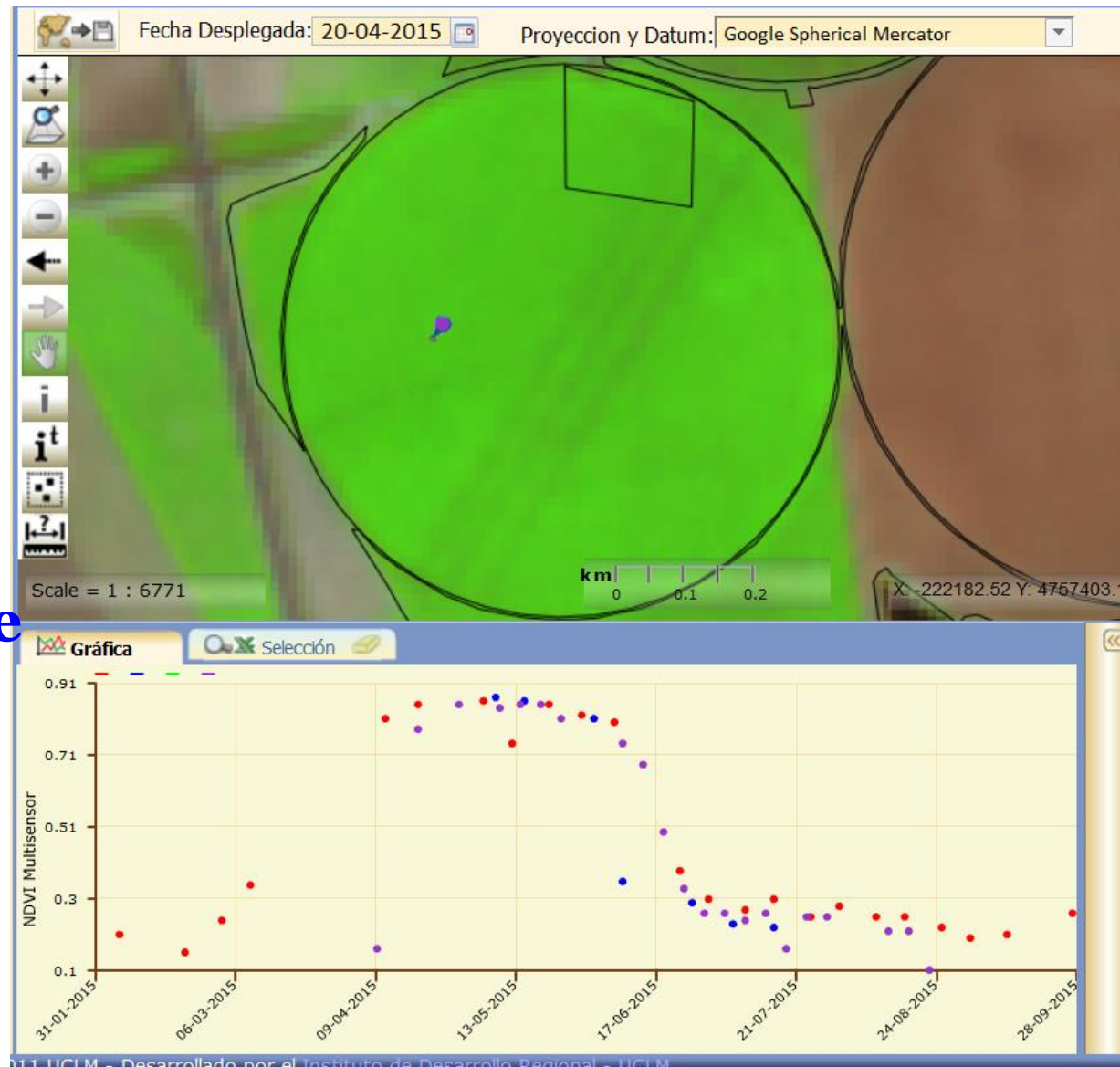
Mapeando la variabilidad espacial de la cubierta

**Transpiración
potencial**

$$T_p = \sum k_{cb} ET_o$$

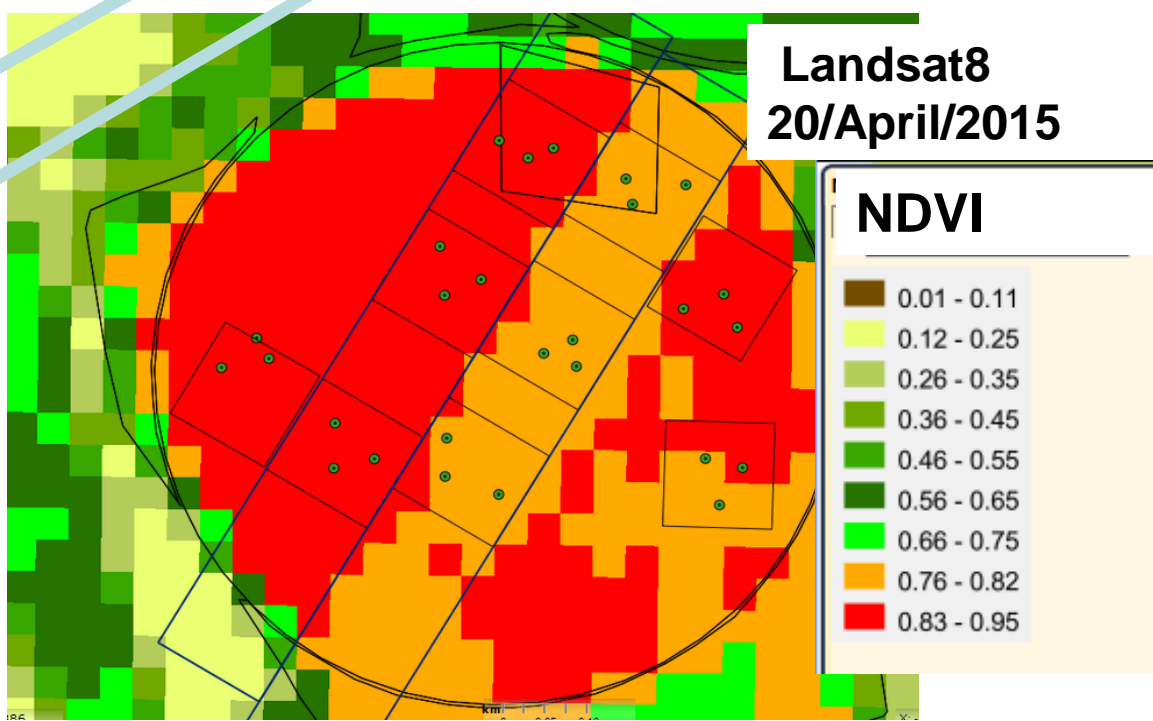
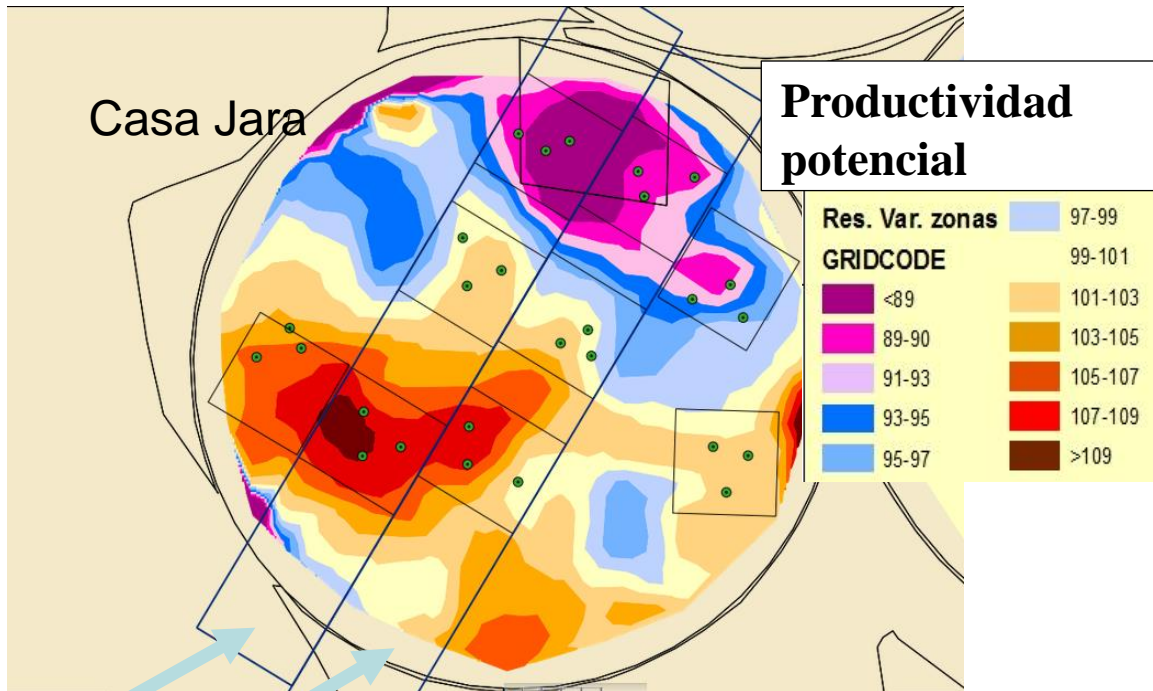
**Absorción de
radiación
fotosintéticamente
activa**

$$APAR_p = \sum f_{APAR} * PAR_i ,$$



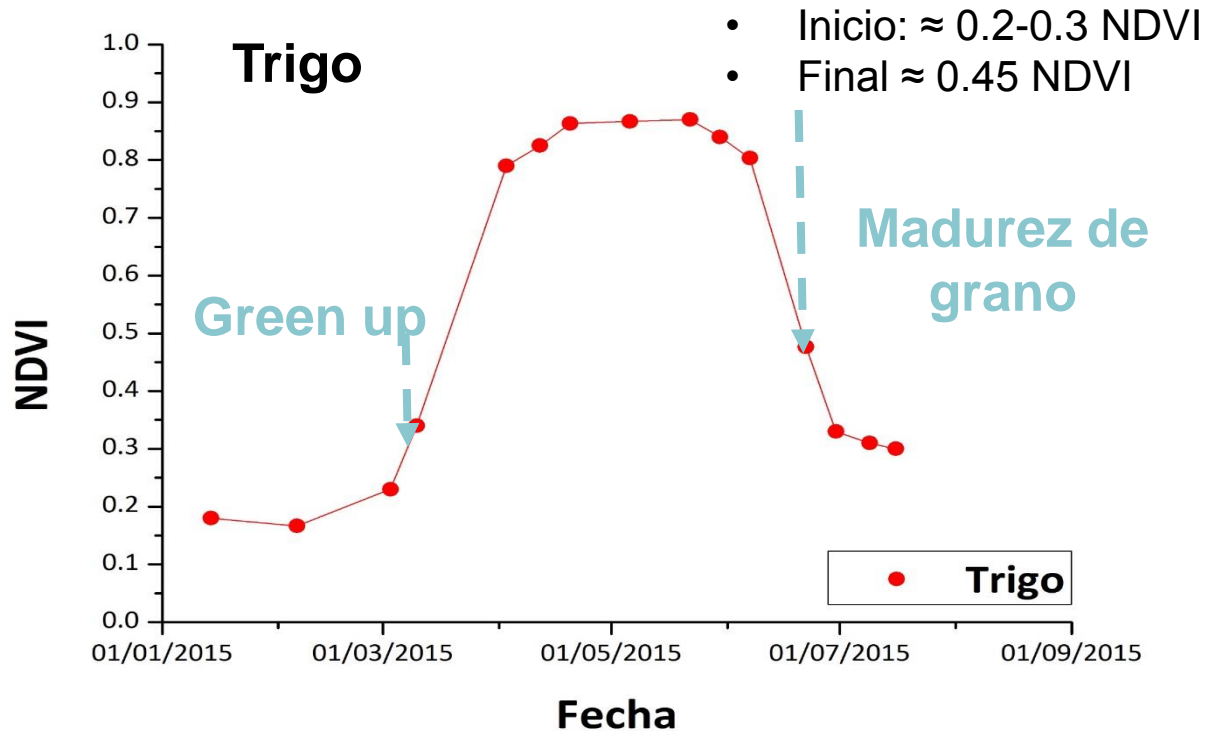
Diseño Experimental 2015

- ✓ Potencial productivo para seleccion de zonas
- ✓ Dosis diferentes de N
 - 270 N kg/ha (+19%)
 - 227 N kg/ha,
 - 192 N kg/ha (-15%)



Definir el inicio y el final del ciclo de crecimiento

Desde emergencia hasta madurez fisiológica del grano

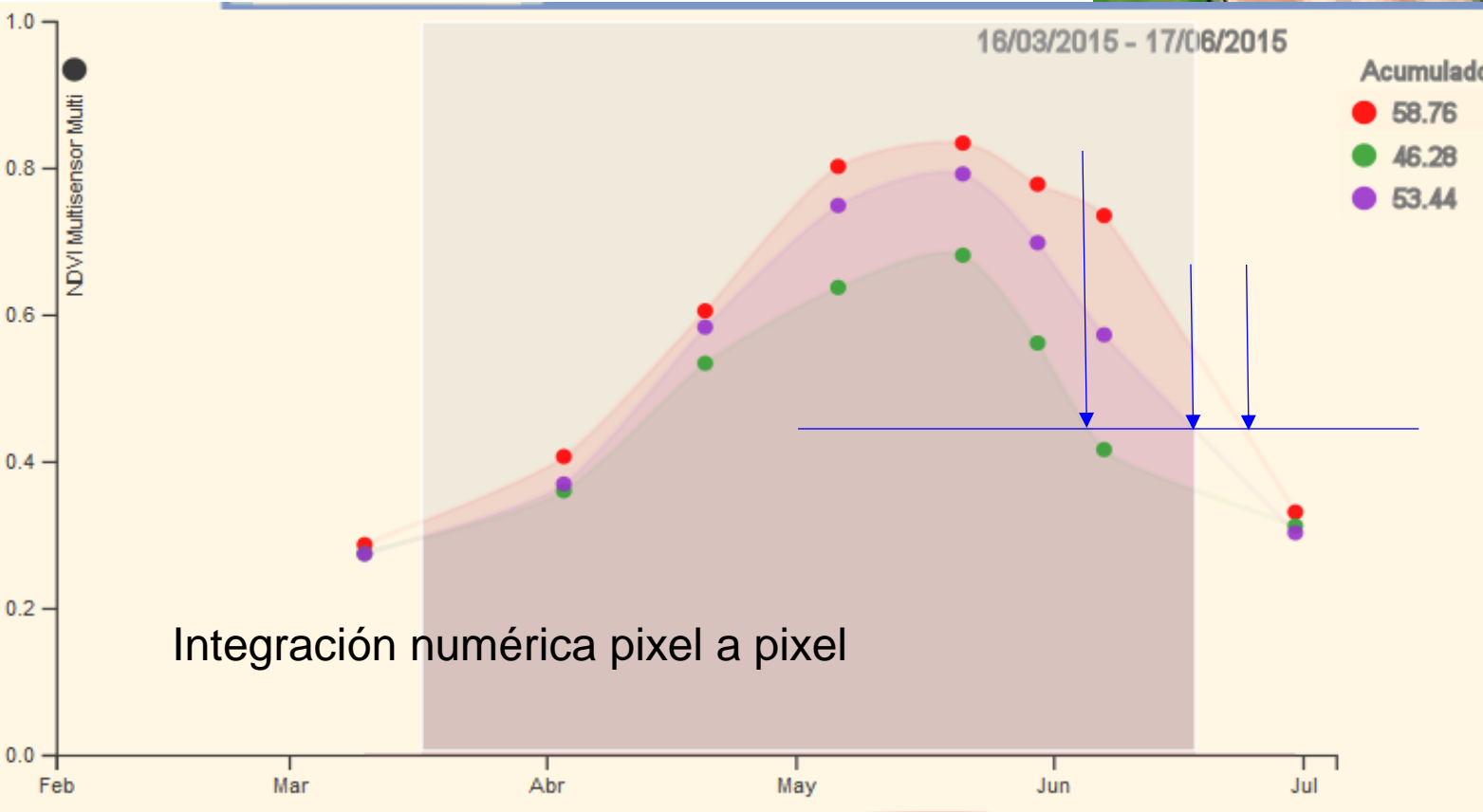
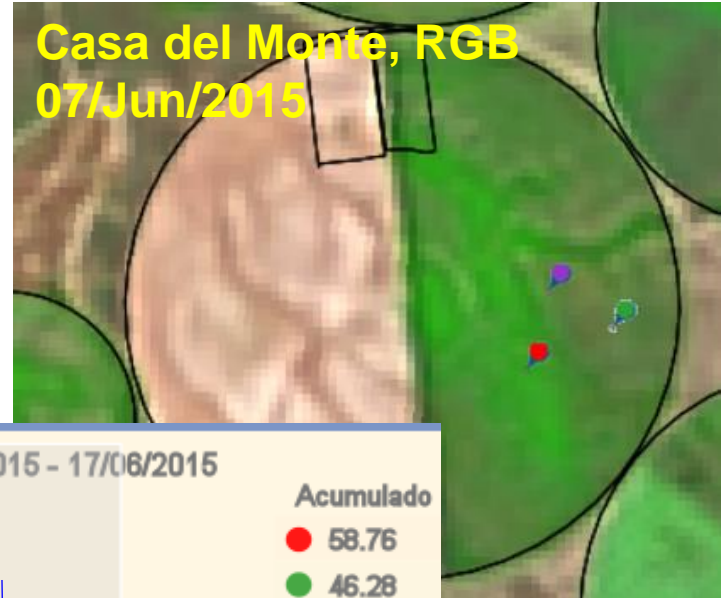


Acumulación de biomasa desde la secuencia de imágenes

Se calcula la **transpiración potencial** desde la secuencia de imágenes a lo largo del ciclo completo

El ciclo de crecimiento

Cada pixel define su propio ciclo

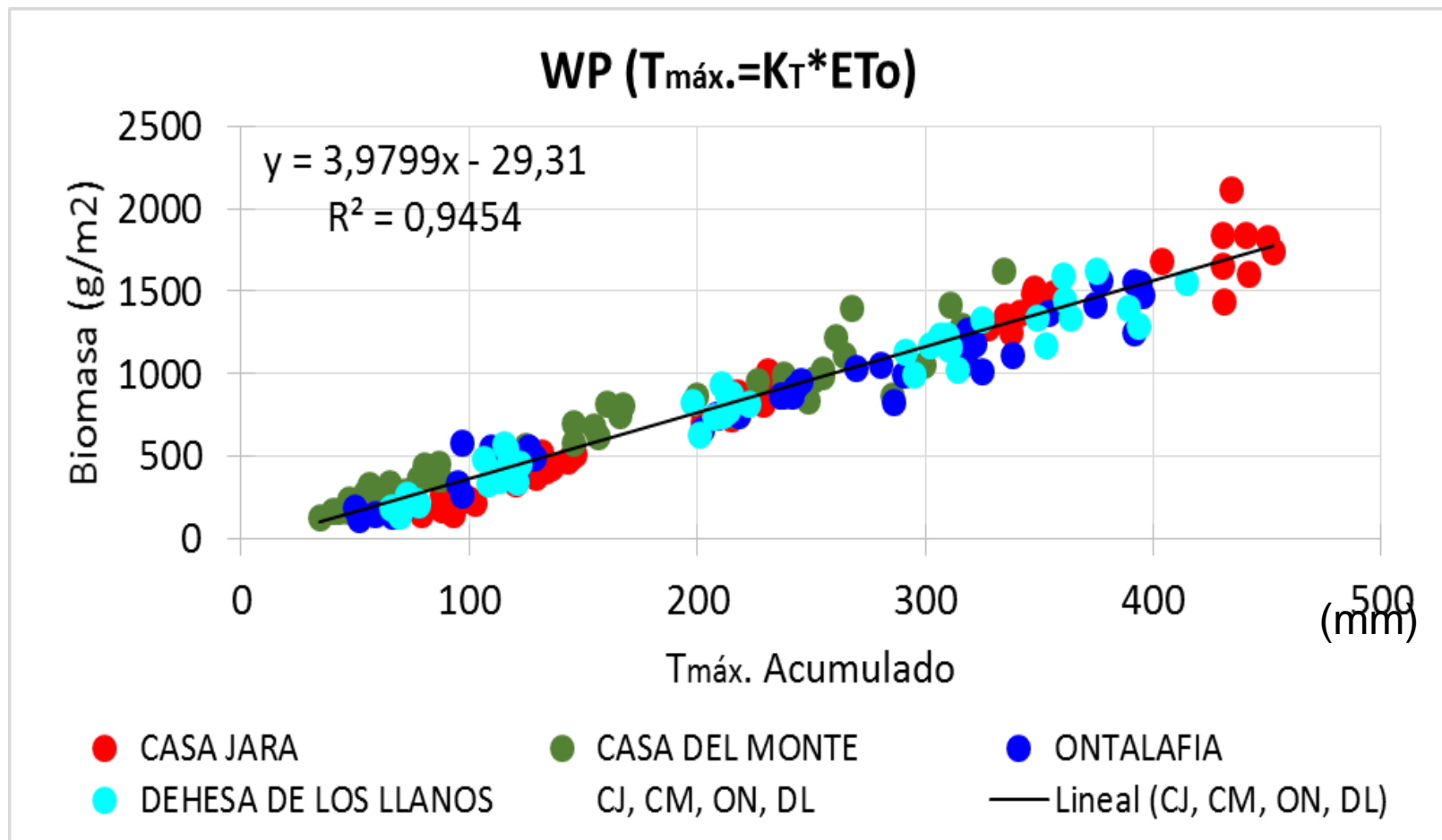


Mapeando la biomasa desde la secuencia temporal de imágenes

Transpiración

Biomasa, muestreo, n= 180 data
Tmax= Transpiración potencial

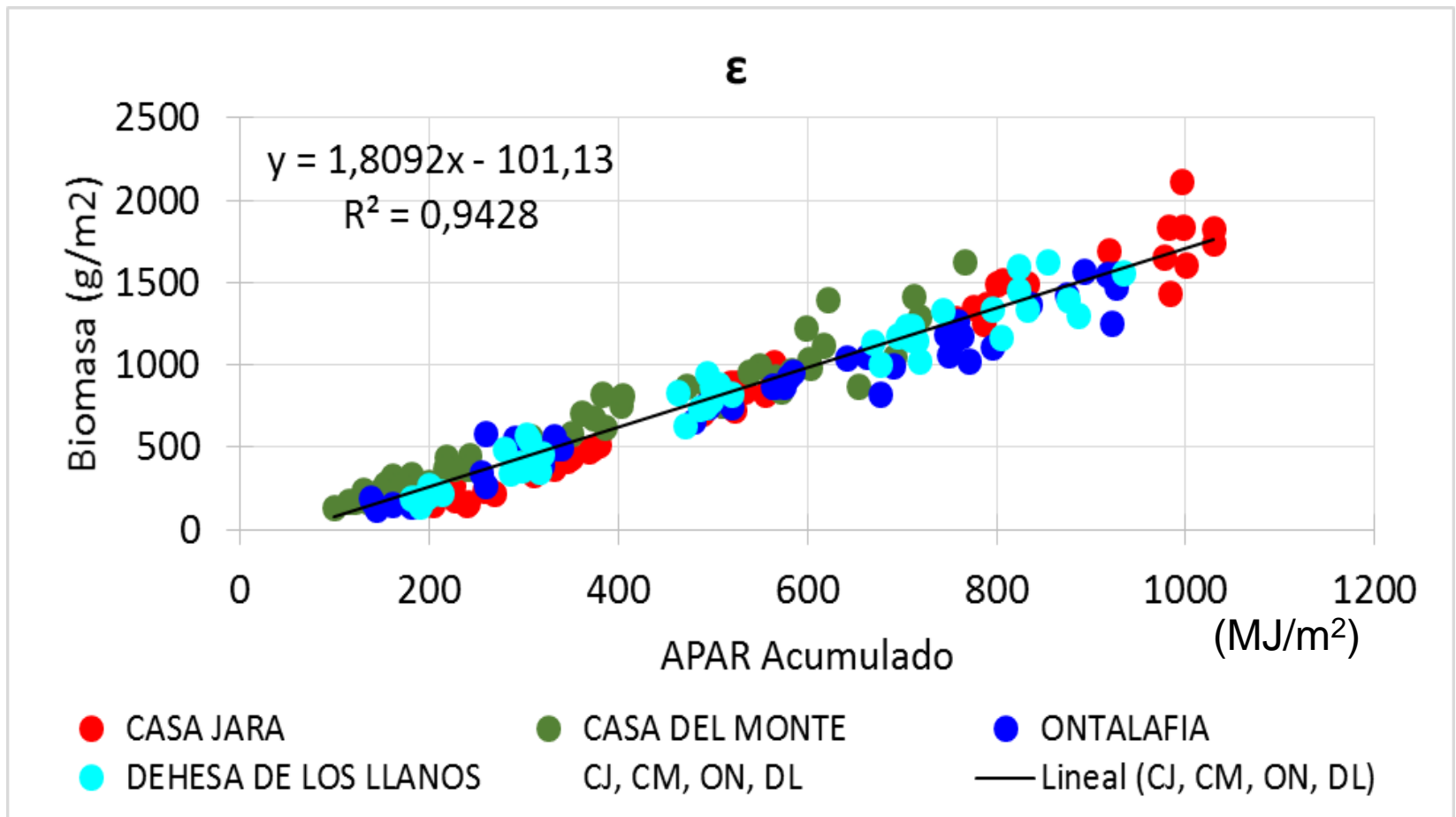
Pendiente: 40 kg/ha/mm



Mapeando la biomasa desde la secuencia temporal de imágenes

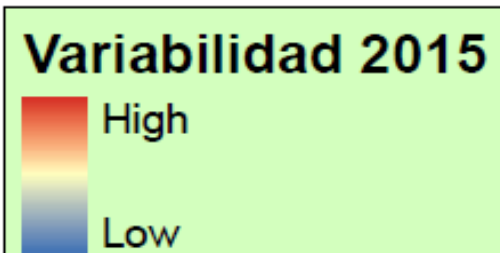
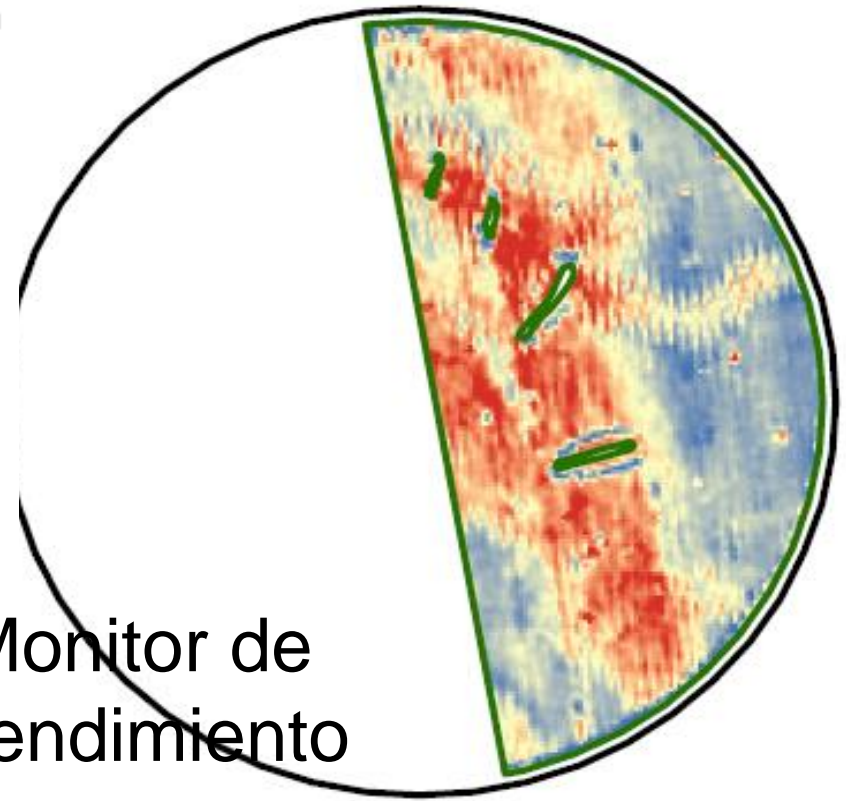
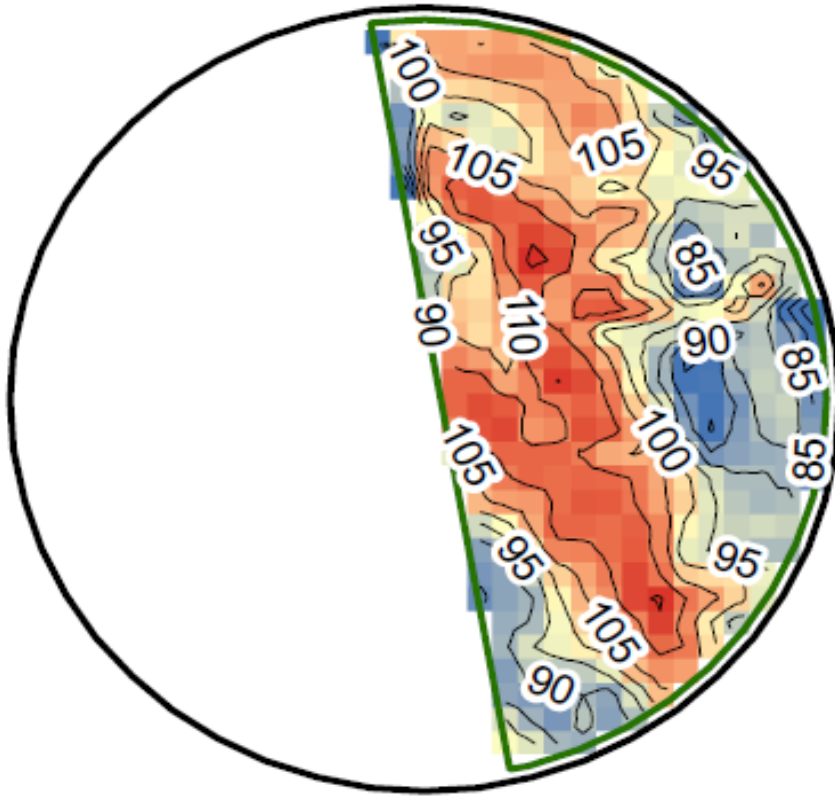
Absorción de la radiación

Biomasa, muestreo, n= 180 data
APAR



...

Mapas de Biomasa basados en teledetección

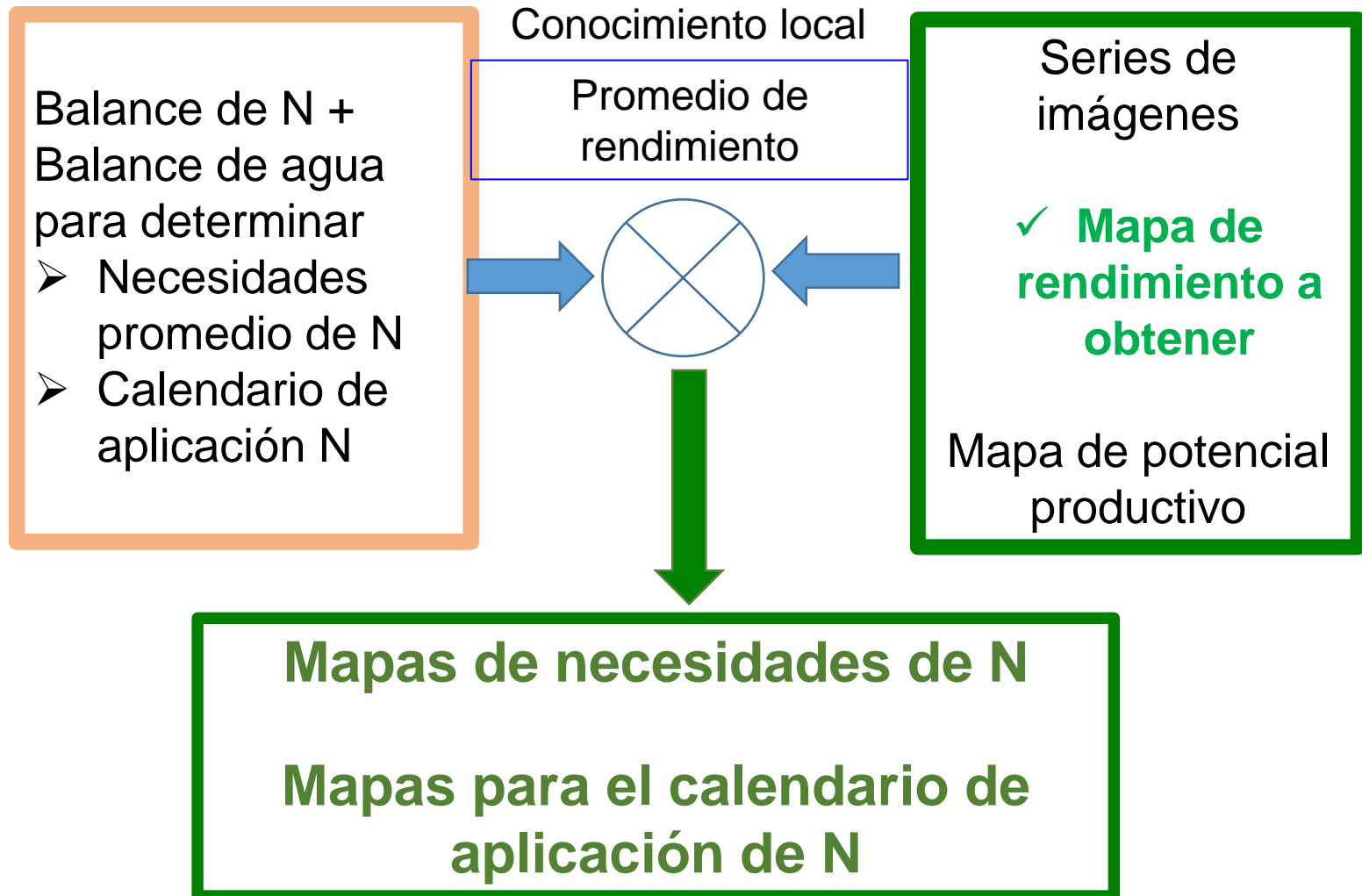


Monitor de rendimiento

Manejo de la variabilidad

Mapas de Fertilización N

Planificación de la Fertilización de N



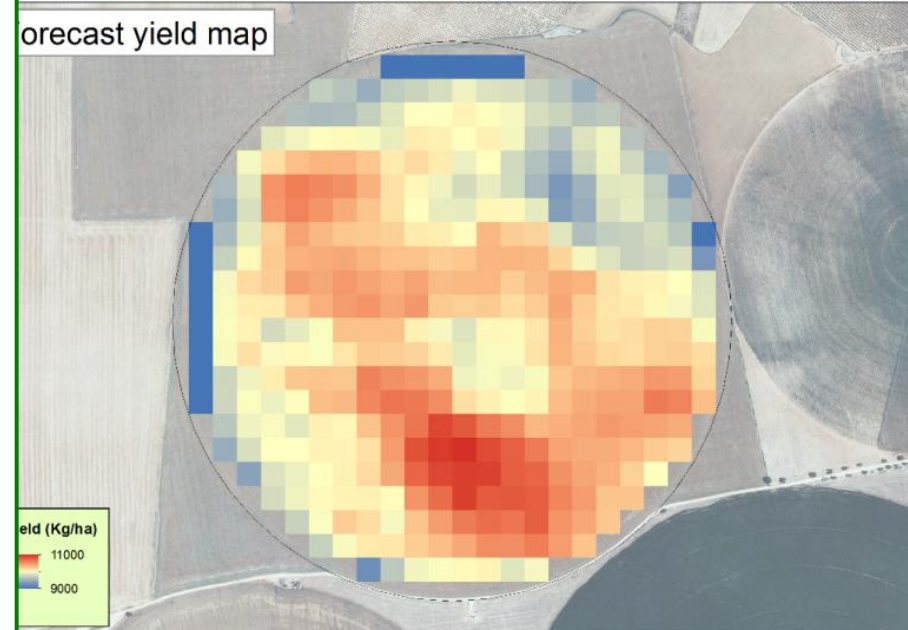
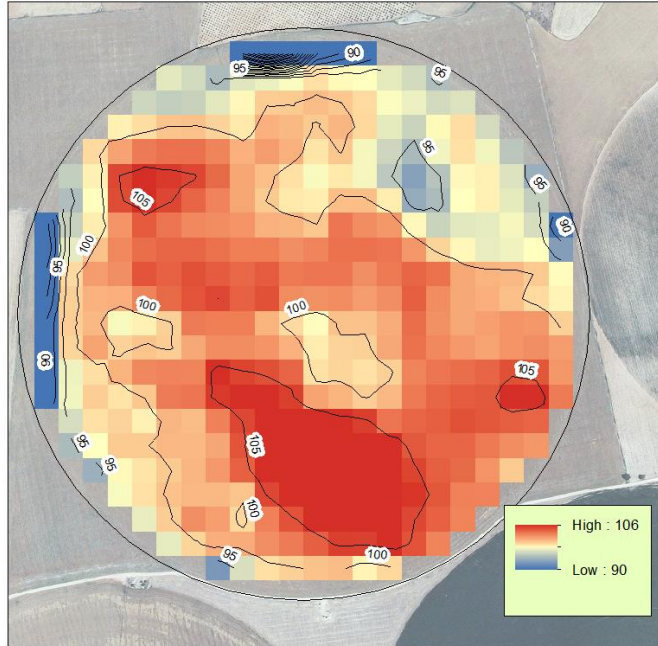
Fertilización de N, Casa Jara, 43 ha, España, 2017

Inputs:

Producción a alcanzar: **10 ton/ha**

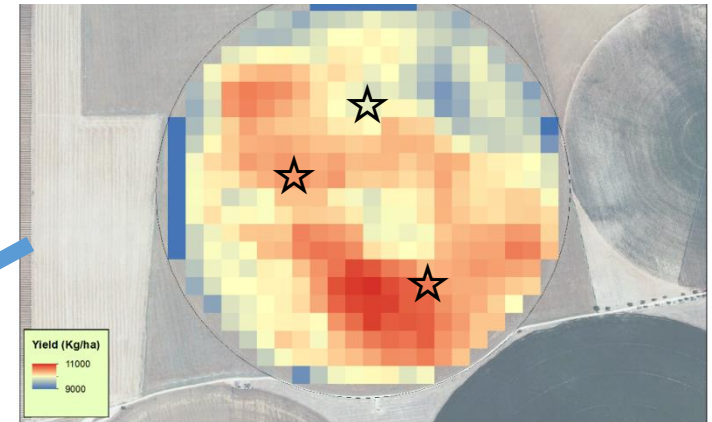
Mapa de potencial productivo

Mapa de rendimiento a alcanzar

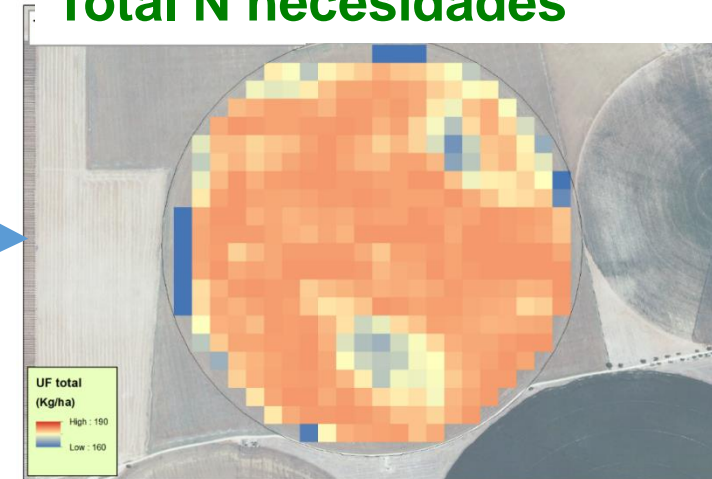


Fertilización de N, Casa Jara, España, 2017

Mapa de rendimiento a alcanzar

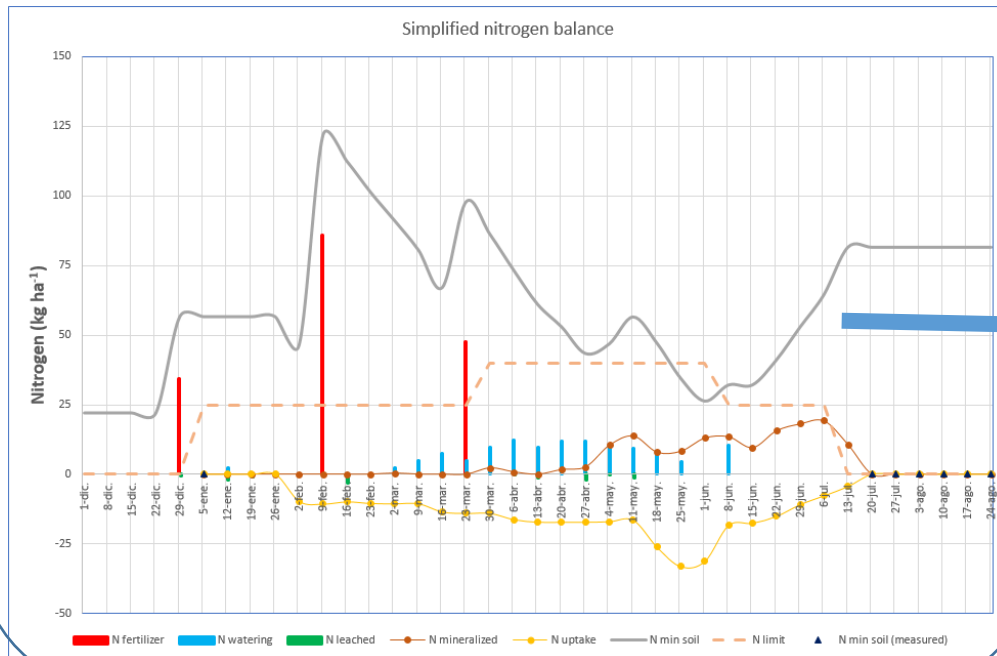


Total N necesidades

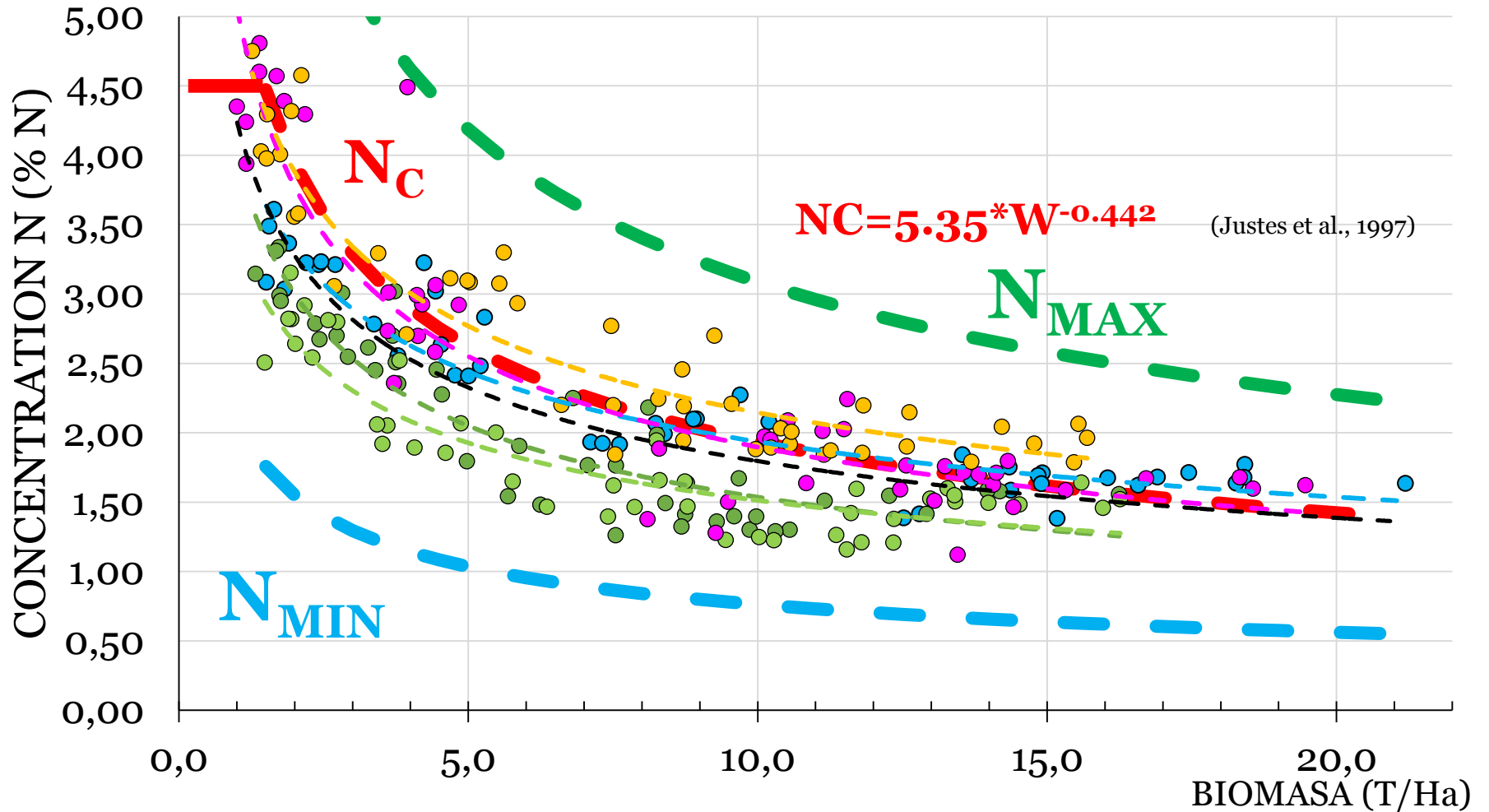


☆ **Materia orgánica en suelo y contenido en N,**

Balance simplificado de Agua y Nitrógeno

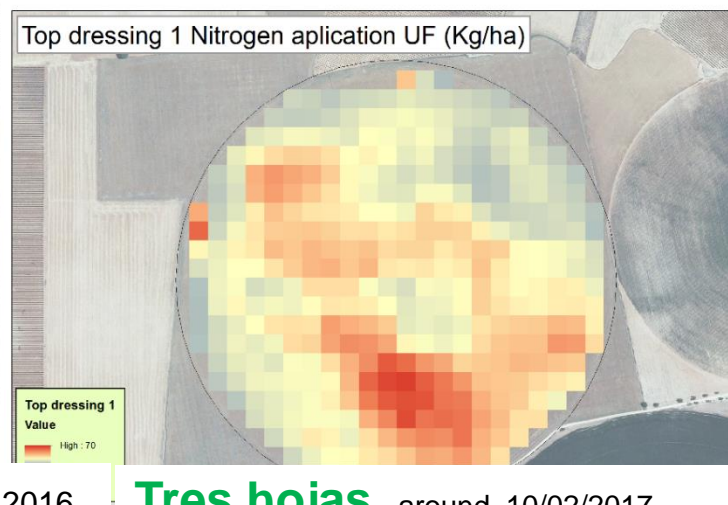
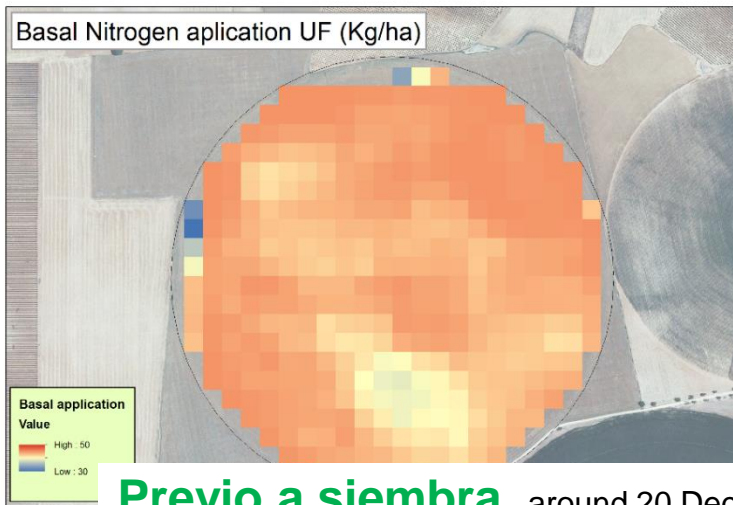
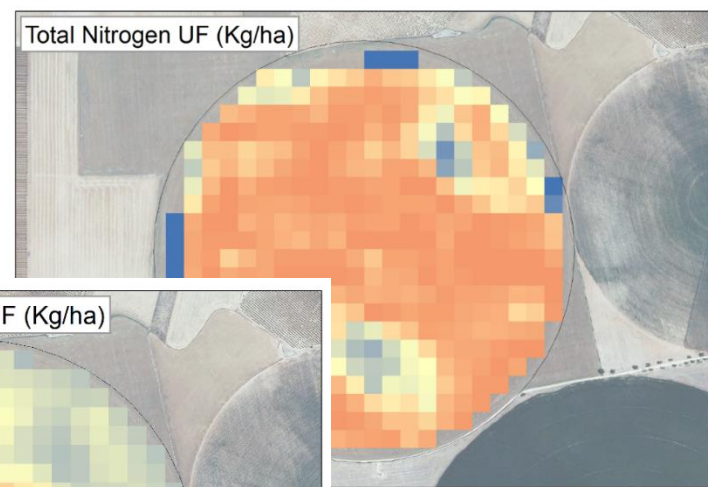


%N vs. Biomass

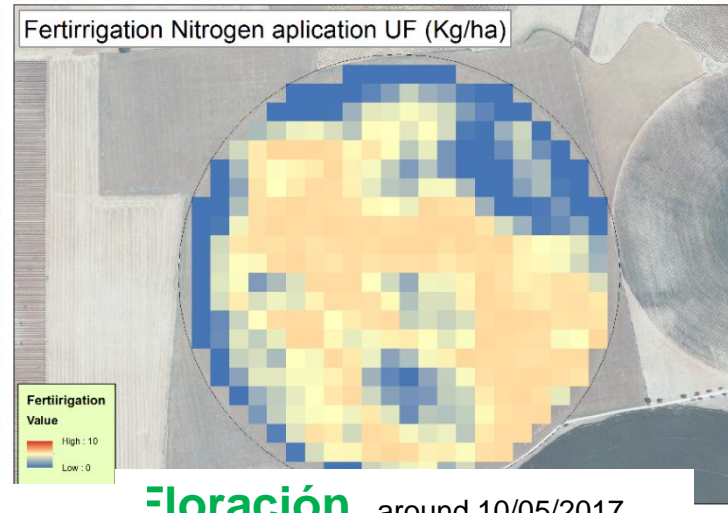
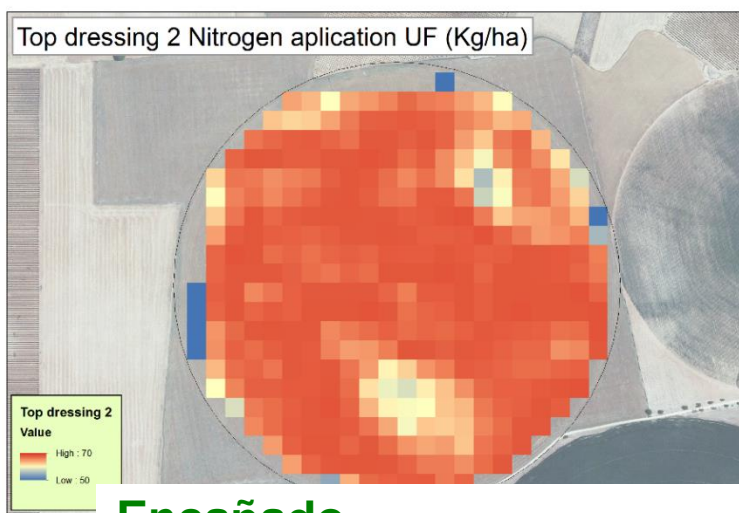


- | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| ● CJ | ● CM | ● DL |
| ● LT | ● OF | ● N_c |
| — N_{min} | — N_{max} | — todos |
| - - - Potencial (CJ) | - - - Potencial (CM) | - - - Potencial (DL) |

Mapas y Calendario de aplicaciones de N



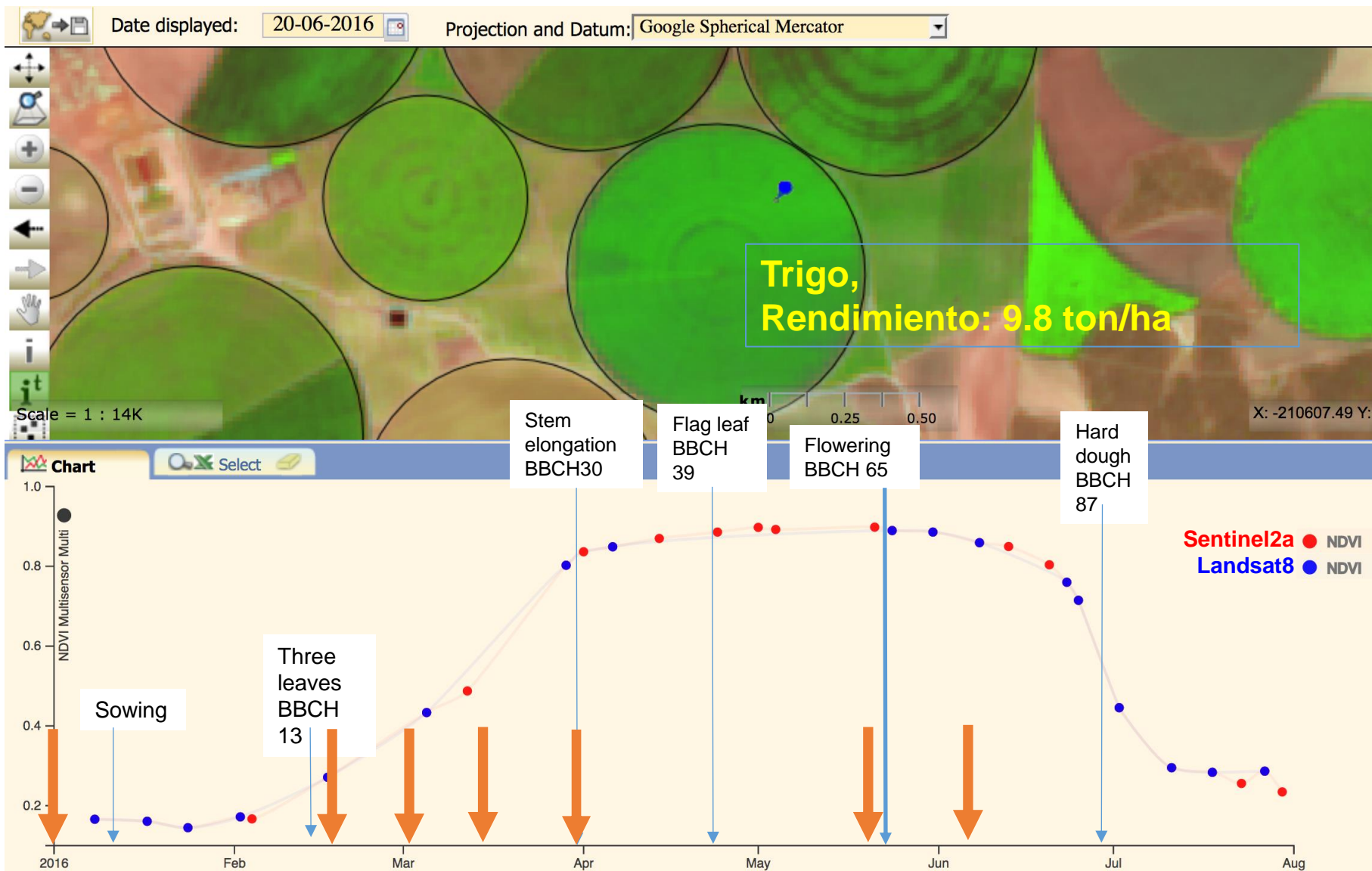
Previo a siembra, around 20 Dec 2016 **Tres hojas**, around 10/02/2017



Encañado, around 25/03/2017 **Floración**, around 10/05/2017

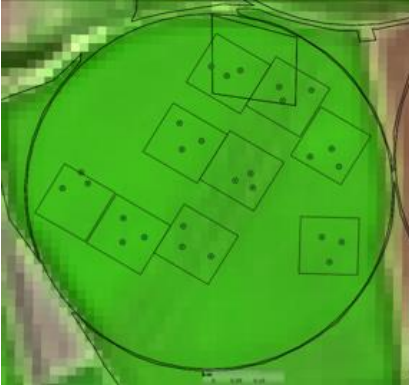
Fertilización N

Aplicación N



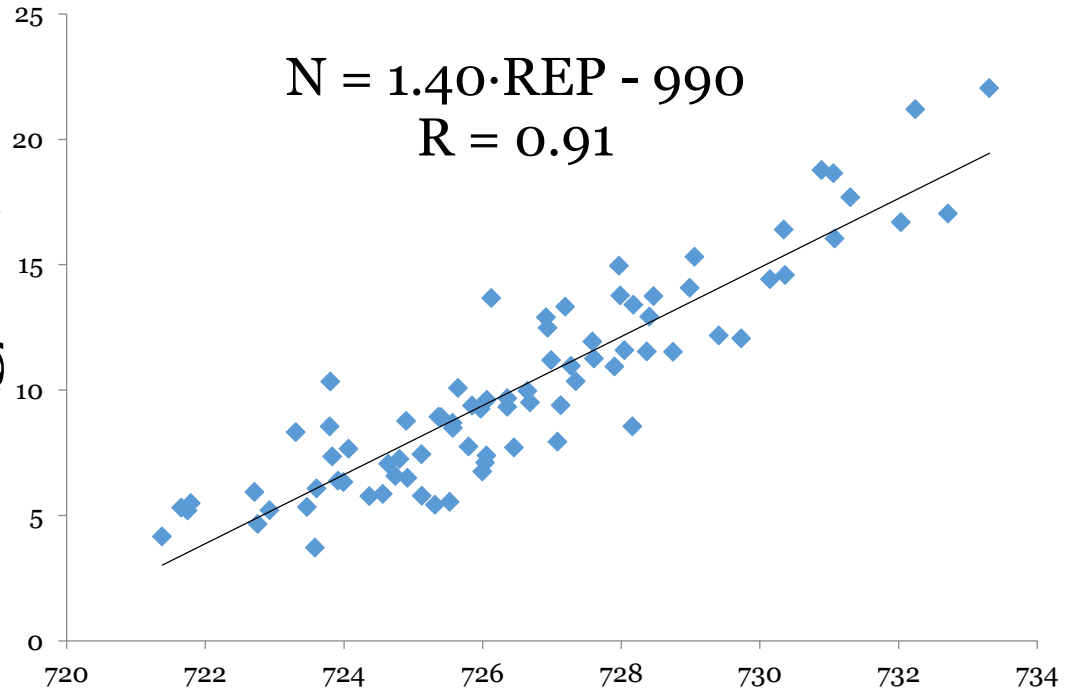
Herramientas de diagnostico para determinar el estado del cultivo en N

Campaña 2015



Total contenido en Nitrogeno medido

$N(g/m^2)$



REP (Red Edge Position Index)

Reflectividades medidas en campo (ASD fieldSpec Hi Res)



Conseguir un mayor rendimiento con el menor uso de recursos, de forma duradera y con el mejor conocimiento disponible

