

# El papel de los drones en el riego de precisión

Ponente: Manuel Morcillo García

Fecha: Noviembre 2022



**DRONES Y TELEDETECCIÓN APLICADA AL REGADÍO**



# Precisión Agroforestal y Cartográfica

**Aplicación de nuevas tecnologías para dar soluciones innovadoras a problemas del sector agroforestal**

1 Dr, Ingeniero en Geodesia, 3 Dr. Ingenieros Agrónomos, 2 Ingenieros Forestales, 1 Ingeniero Industrial, 2 Ingenieros Informáticos, 4 Ingenieros Agrónomos, 1 Ingeniero Agrícola

## **Trabajos con equipos multidisciplinares**

1. **Teledetección basada en satélites**
2. **Sistemas LIDAR terrestres (TLS y mobile mapping)**
3. **Sensorización de sistemas productivos**
4. **Teledetección de alta resolución con drones**

# ÍNDICE

1. Introducción
2. Equipamiento: Drones y sensores
3. Detección de averías en el sistema de riego
4. Evaluación de sistemas de riego por goteo
5. Cámaras multiespectrales. Índices de Vegetación
6. El térmico en el riego de precisión
7. Diseño y dimensionamiento de un sistema de riego por goteo de dosis variable gestionado mediante teledetección de alta resolución



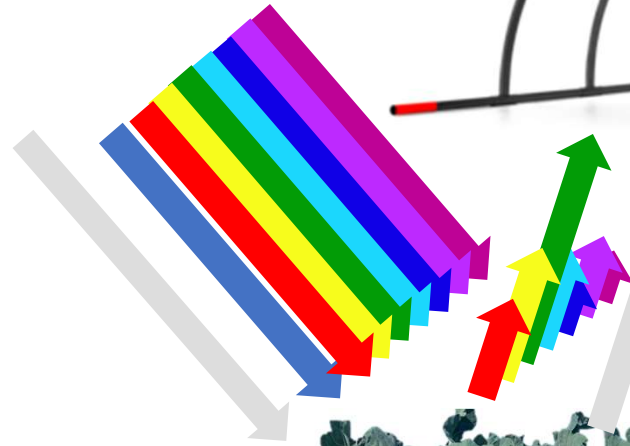
# Introducción





Zhang and Kovacs, 2012

# EQUIPAMIENTO: DRONES Y SENSORES



# Drones



DJI mini 2



IRIS +



Carabo S3



DJI matrice 600 - PRO



DJI phantom 4 rtk



Microdrone MD4- 200



Microdrone MD4-1000

# Sensores

- **Cámaras RGB**

Pentax A40

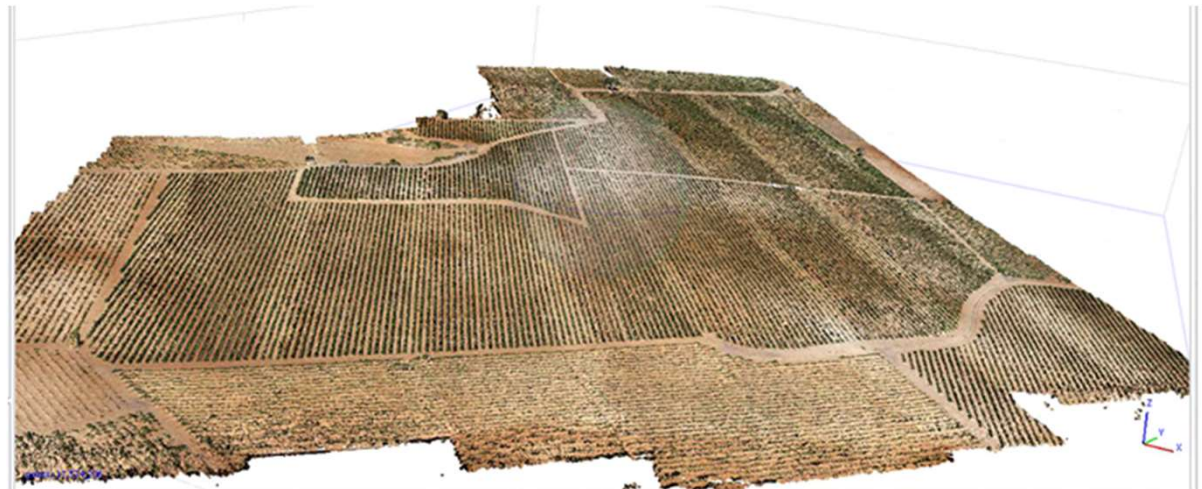
Canon Ixus 115HS

Sony Alfa 5100



Ortoimágenes de muy alta resolución (1 cm)

Fotogrametría





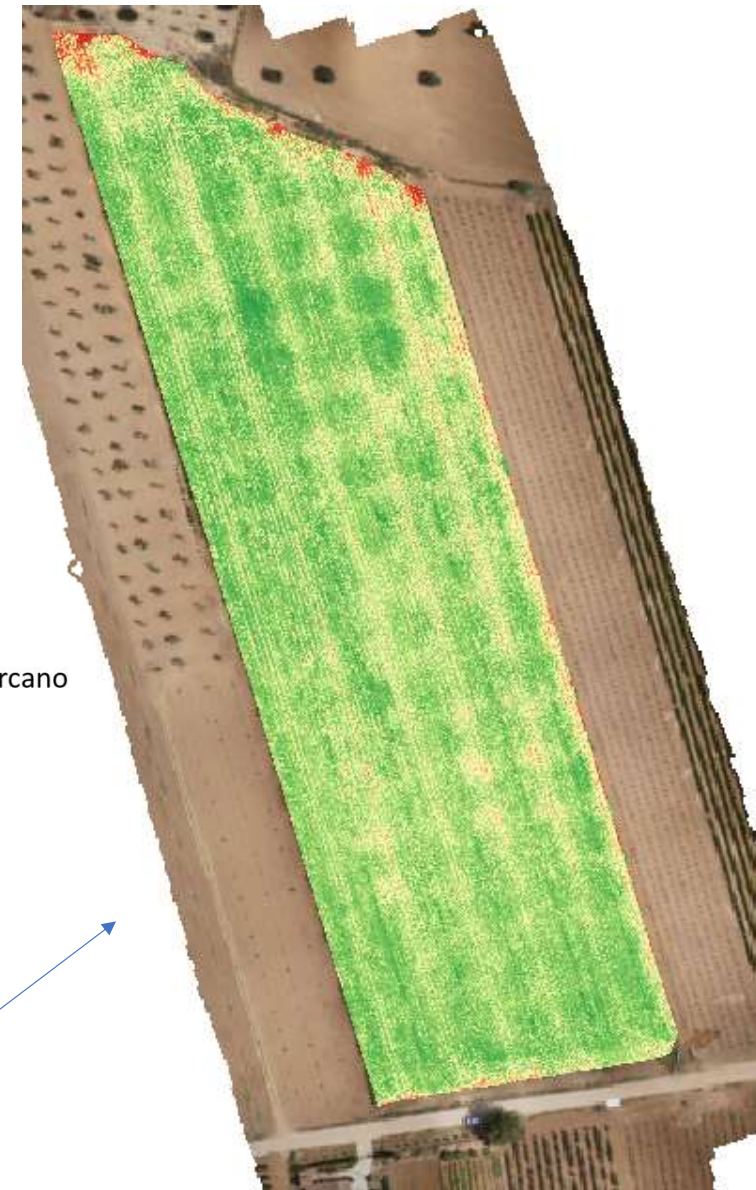
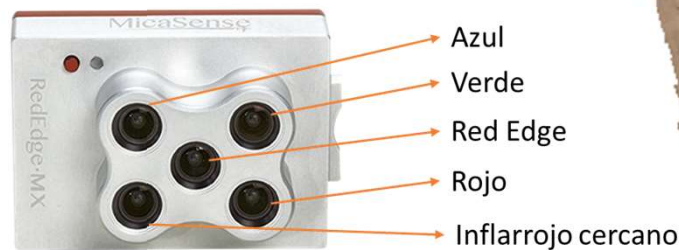
# Sensores

- **Cámaras RGB**

Pentax A40  
Canon Ixus 115HS  
Sony Alfa 5100

- **Cámaras Multiespectrales**

Parrot sequoia  
Micasense rededge  
Micasense rededge MX



Obtención de Índices de Vegetación mediante la combinación de bandas

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

# Sensores

- **Cámaras RGB**

- Pentax A40
  - Canon Ixus 115HS
  - Sony Alfa 5100



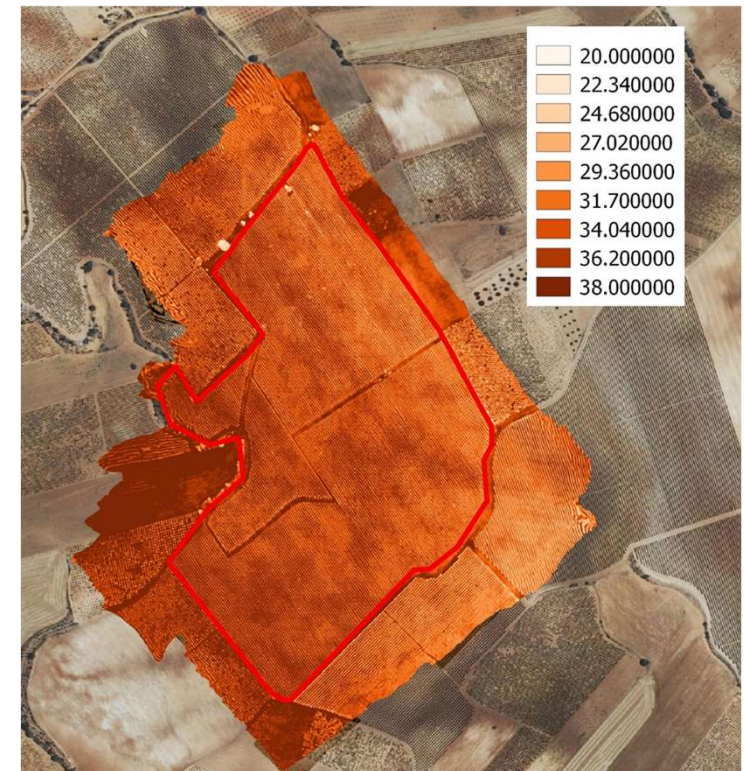
- **Cámaras Multiespectrales**

- Parrot sequoia
  - Micasense rededge
  - Micasense rededge MX

- **Cámaras Térmicas**

- Photon 320
  - FLIR Tau2
  - FLIR A655sc

## Mapas Térmicos

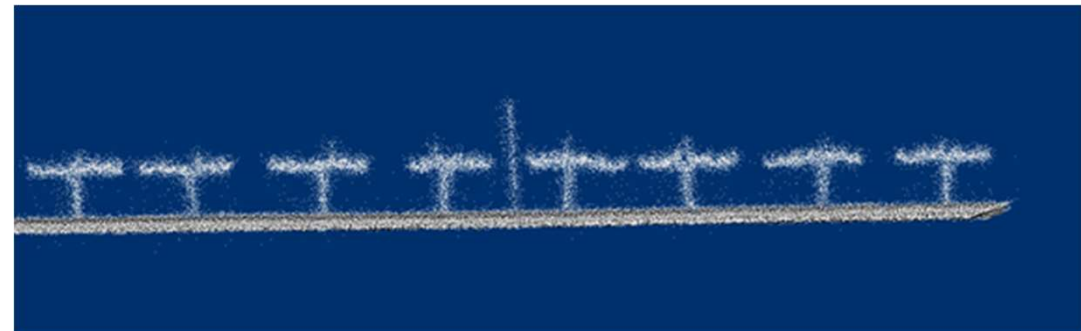


# Sensores

- **Cámaras RGB**
  - Pentax A40
  - Canon Ixus 115HS
  - Sony Alfa 5100
- **Cámaras Multiespectrales**
  - Parrot sequoia
  - Micasense rededge
  - Micasense rededge MX
- **Cámaras Termicas**
  - Photon 320
  - FLIR Tau2
  - Thermal seek
- **Laser Escáner – Tecnología LIDAR**
  - Phoenix LiDAR Scout Ultra



**Modelización en 3D de los cultivos y obtención de Modelos Digitales del Terreno (MDT)**



# Sensores

- **Cámaras RGB**

  - Pentax A40

  - Canon Ixus 115HS

  - Sony Alfa 5100

- **Cámaras Multiespectrales**

  - Parrot sequoia

  - Micasense rededge

  - Micasense rededge MX

- **Cámaras Termicas**

  - Photon 320

  - FLIR Tau2

  - Thermal seek

- **Laser Escáner – Tecnología LIDAR**

  - Phoenix LiDAR Scout Ultra

- **Cámaras Hiperespectrales**

  - Hyperspec VNIR de Headwall, 380-1000 nm



**Permite obtener:**

- **1004 bandas espaciales**

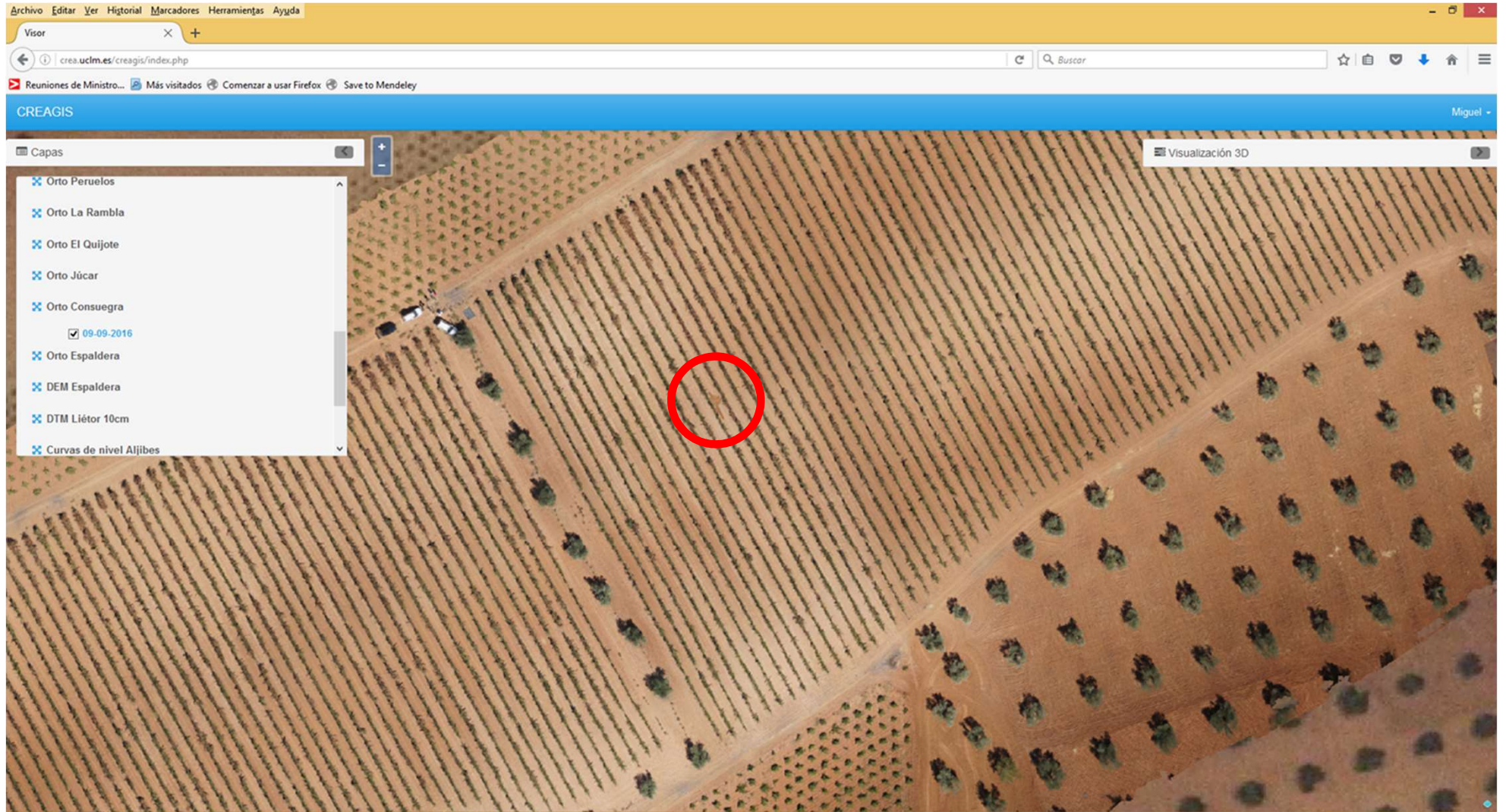
- **775 bandas espectrales**



## DetECCIÓN DE AVERÍAS EN EL SISTEMA DE RIEGO



# Sistemas de riego por goteo

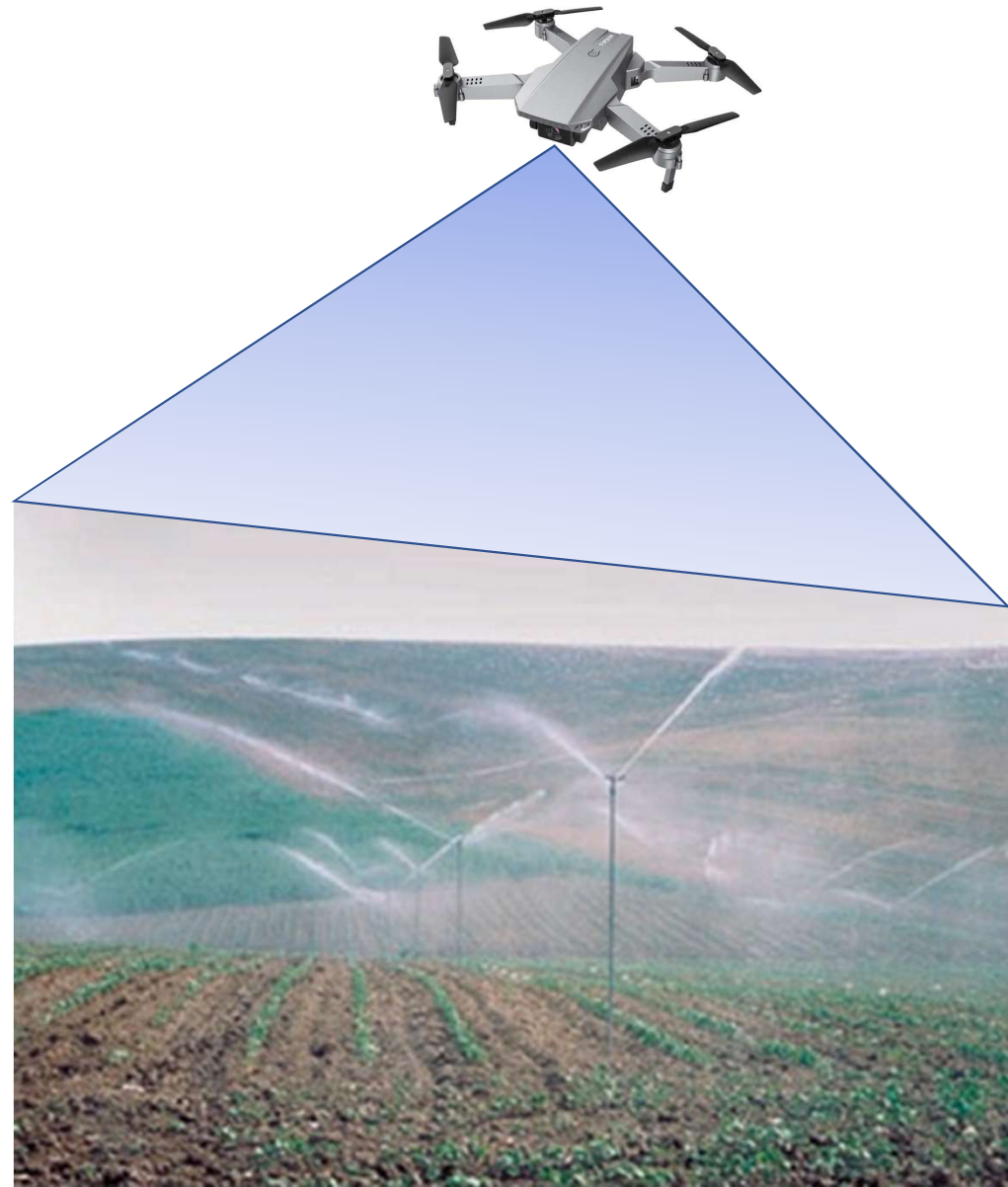


Capas Visualización 3D

- Orto Peruelos
- Orto La Rambla
- Orto El Quijote
- Orto Júcar
- Orto Consuegra
- 09-09-2016
- Orto Espaldera
- DEM Espaldera
- DTM Liétor 10cm
- Curvas de nivel Aljibes

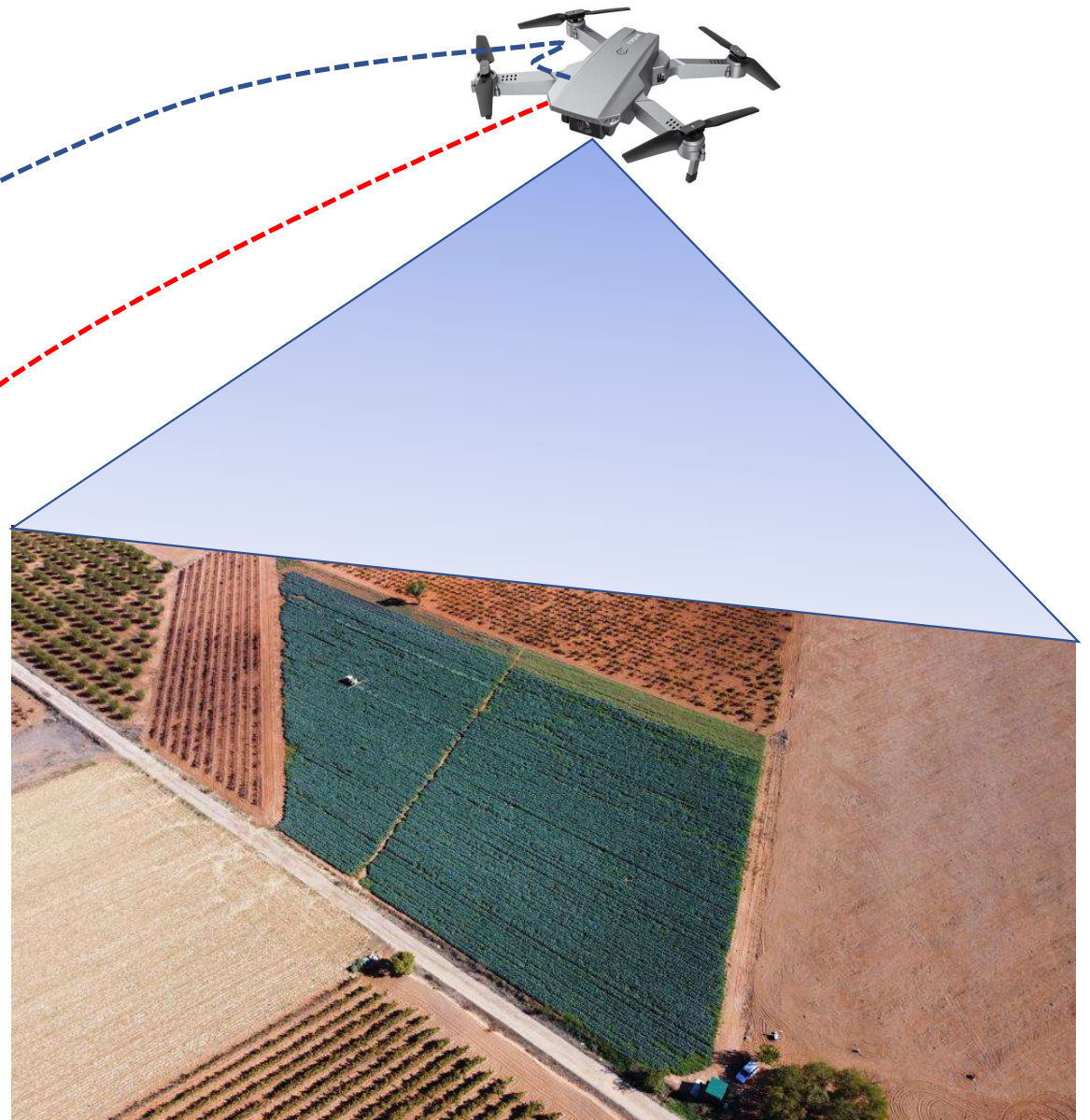


# Sistemas de riego por Aspersión





# Sistemas de riego por Aspersión





Detección de falta de vigor por averías en el sistema de riego

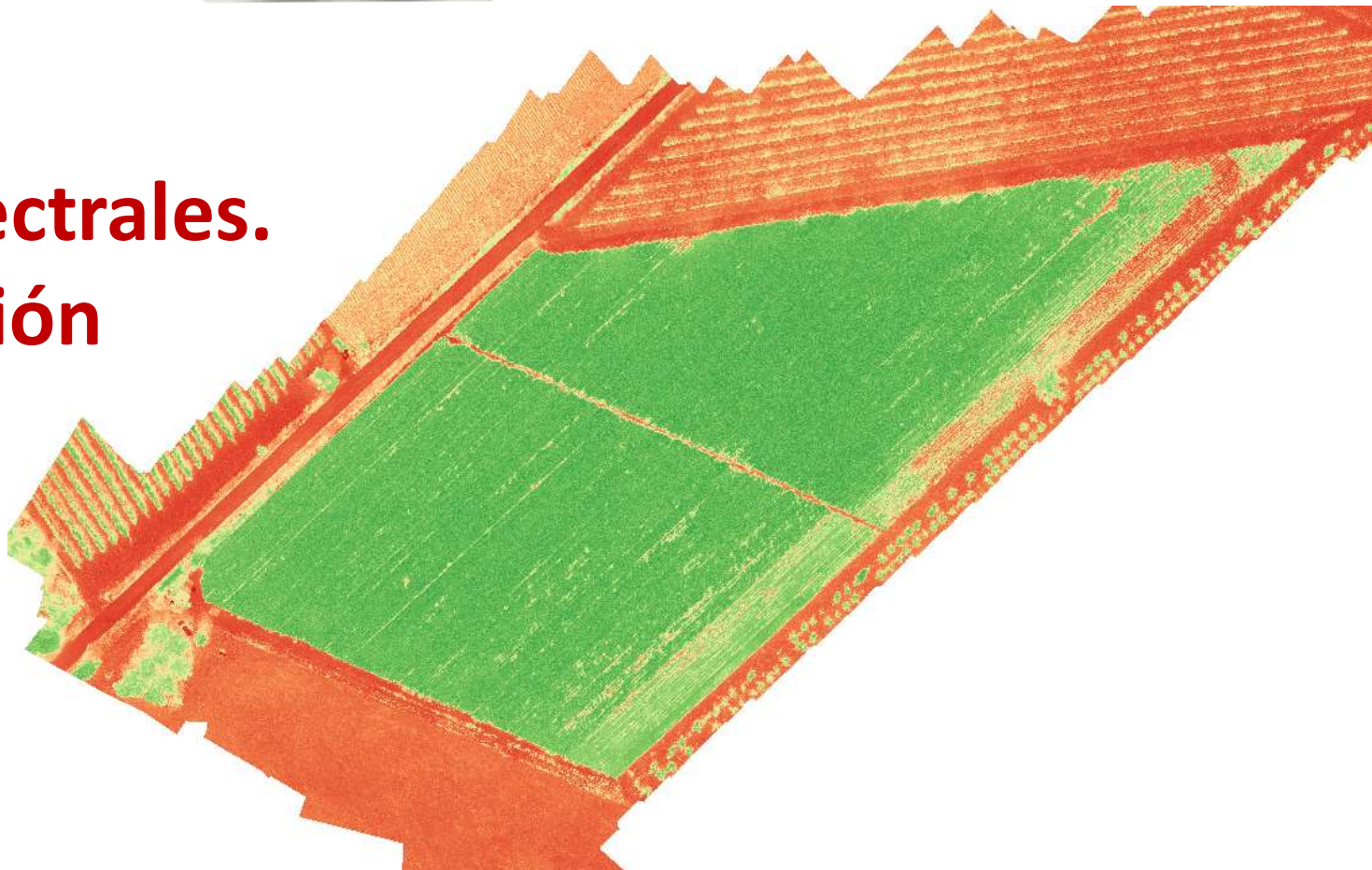
# Evaluación de sistemas de riego por goteo







# Cámaras multispectrales. Índices de Vegetación



# Índices de vegetación

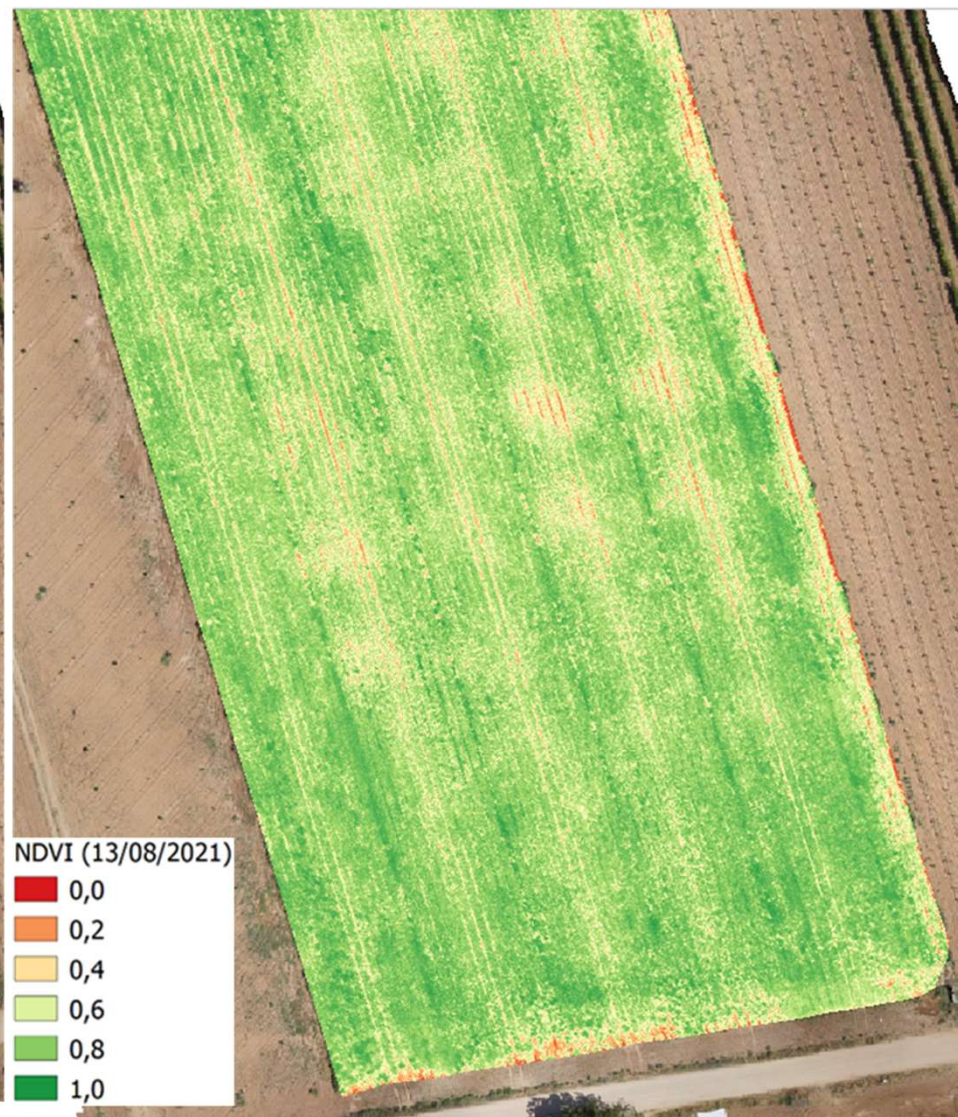
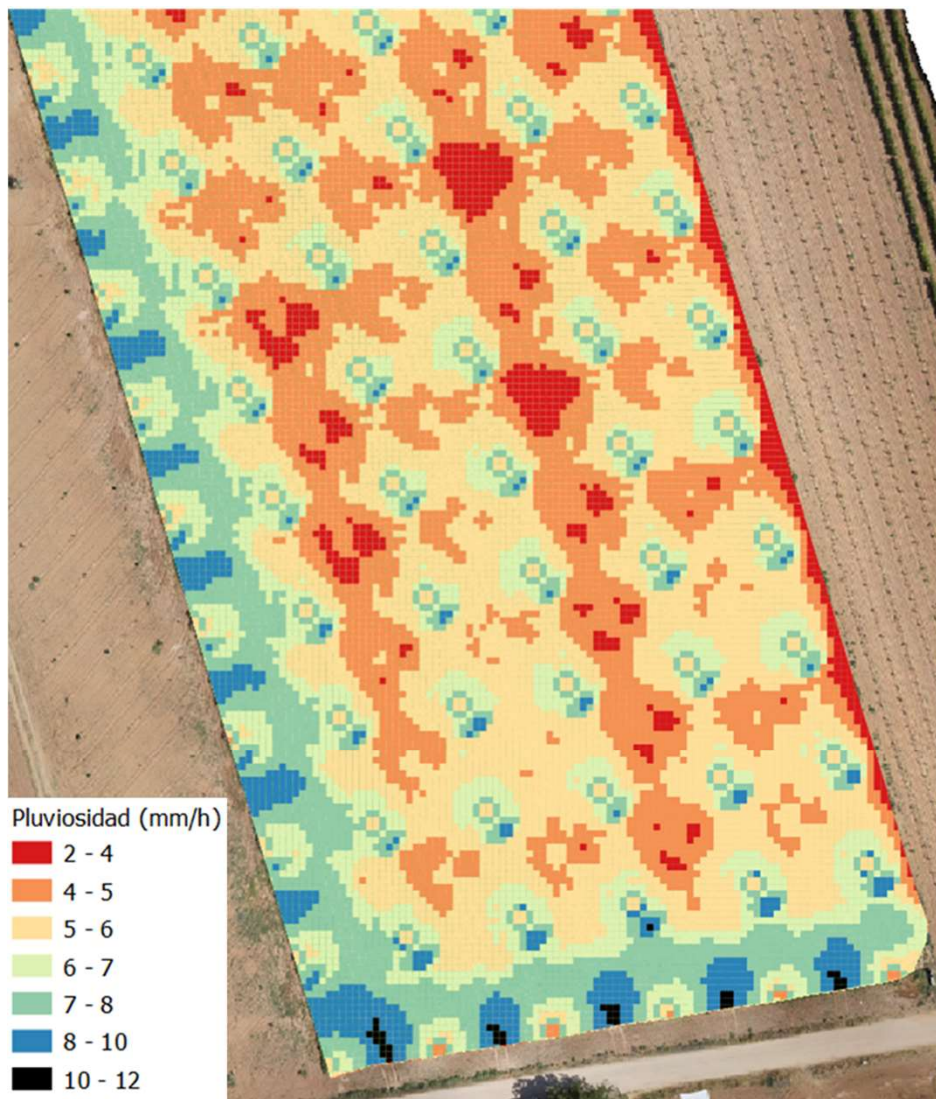
Gracias al uso de cámaras multispectrales, se pueden calcular diferentes índices de vegetación que permiten detectar el estado de los cultivos y tomar decisiones en el manejo de los mismos en función de los valores observados



Índice	Fórmula	Referencias
GI	$R_{550}/R_{670}$	(Zarco-Tejada et al., 2005; Zarco-Tejada, Ustin and Whiting, 2005)
GNDVI	$\frac{R_{800} - R_{550}}{R_{800} + R_{550}}$	(Gitelson and Merzlyak, 1998)
MCARI	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * \left(\frac{R_{700}}{R_{670}}\right)$	(Daughtry et al., 2000)
MCARI1	$1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]$	(Haboudane et al., 2004)
MCARI2	$\frac{.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 6 * (R_{800} - 5 * R_{670}) - 0.5}}$	(Haboudane et al., 2004)
MSAVI	$\frac{R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})}}{2}$	(Qi et al., 1994)
MSR	$\frac{\frac{R_{800} - 1}{R_{670}}}{\sqrt{\frac{R_{800}}{R_{670}} + 1}}$	(Chen, 1996)
MTVI3	$1.2 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * (R_{670} - R_{550})]$	(Rodríguez-Pérez et al., 2007)
NDVI	$\frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$	(Rouse et al., 1974)
TCARI/OSAVI	$\frac{(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (R_{700}/R_{670})}{1 + 0.16 * (R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + 0.16)}$	(Haboudane et al., 2002)
SRI	$\frac{R_{800}}{R_{550}}$	(Jordan, 1969)
RDVI	$\frac{R_{800} - R_{670}}{\sqrt{R_{800} + R_{670}}}$	(Roujean and Breon, 1995)

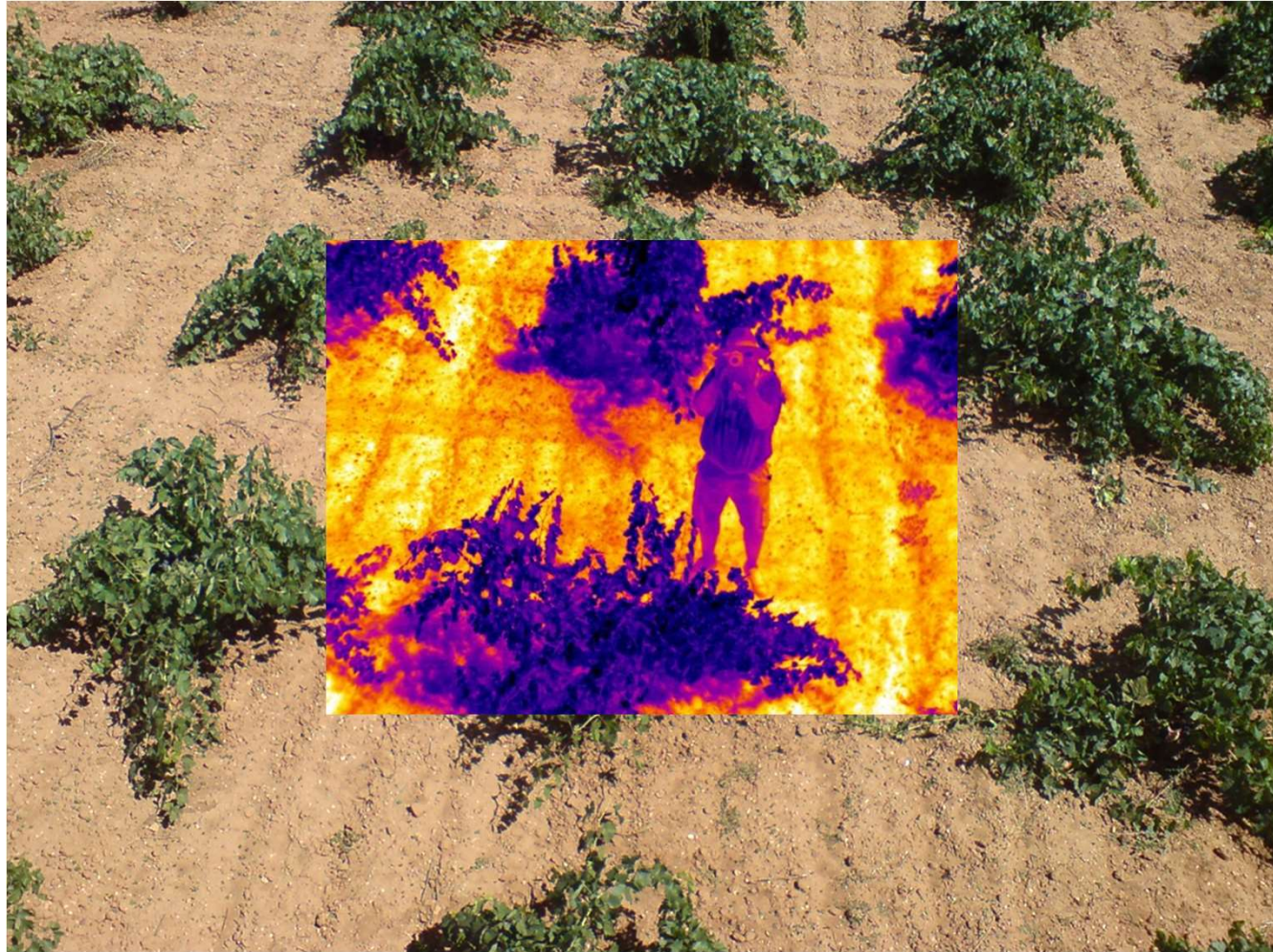


# NDVI

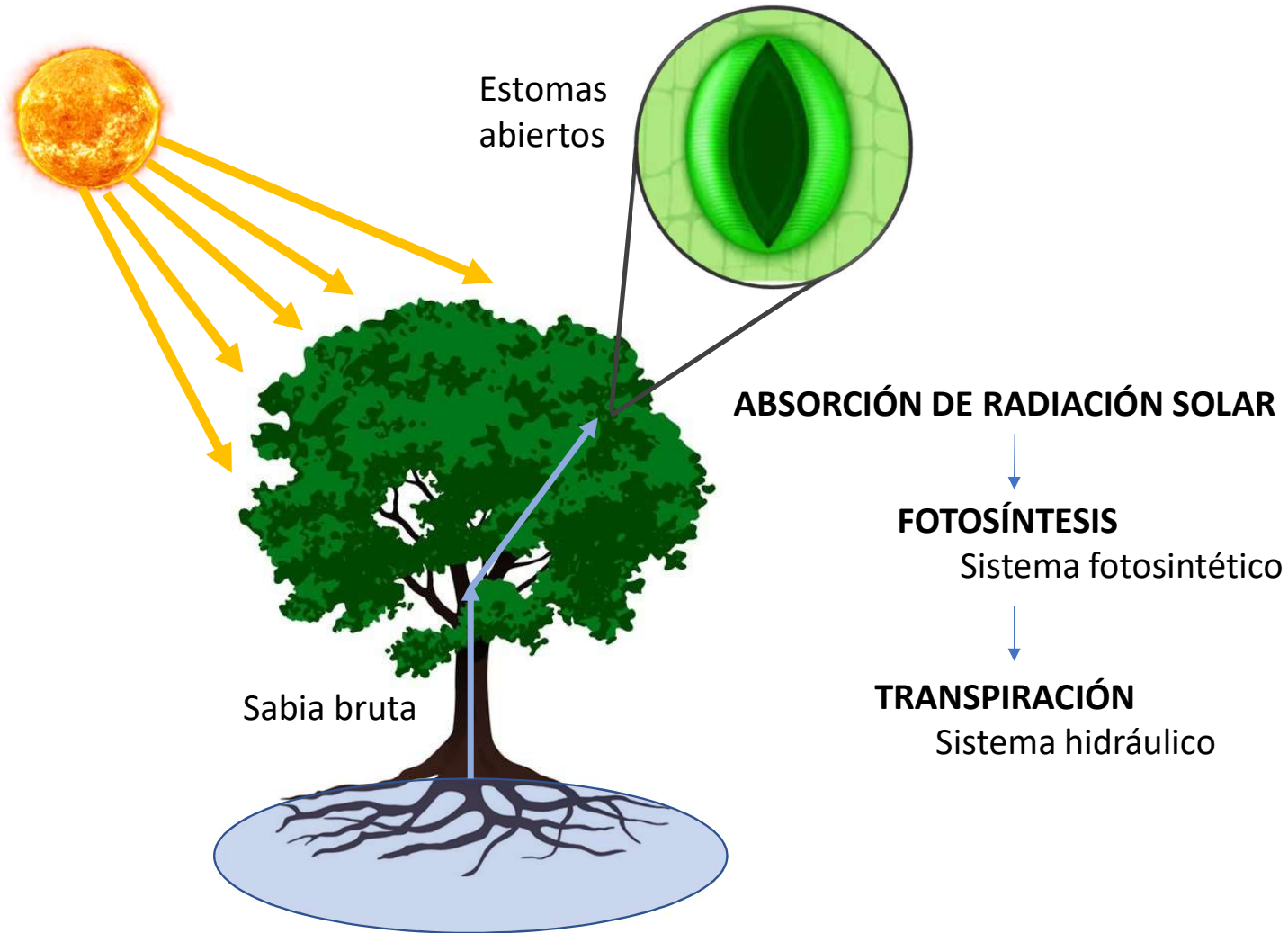




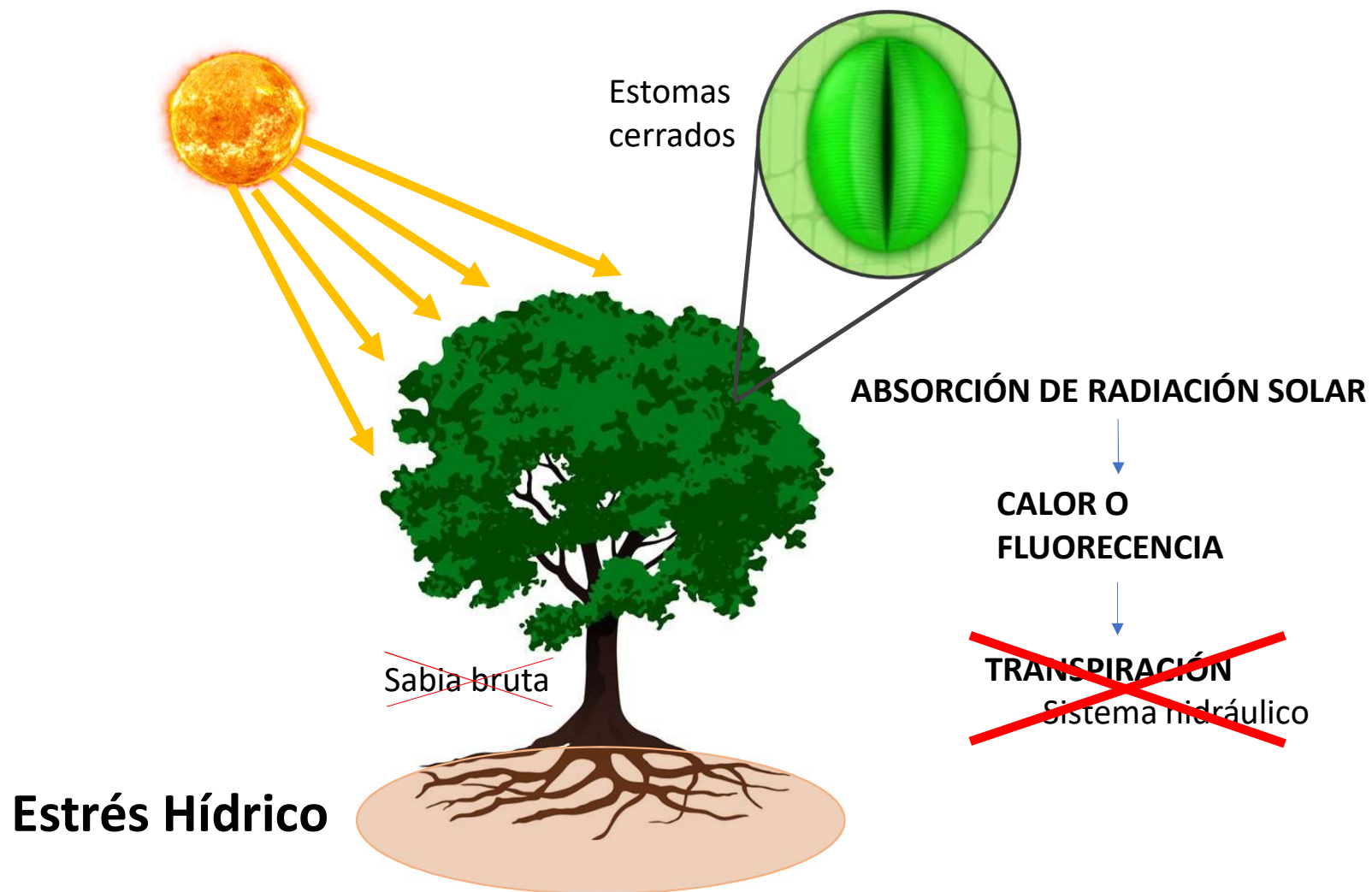
# El térmico en el riego de precisión



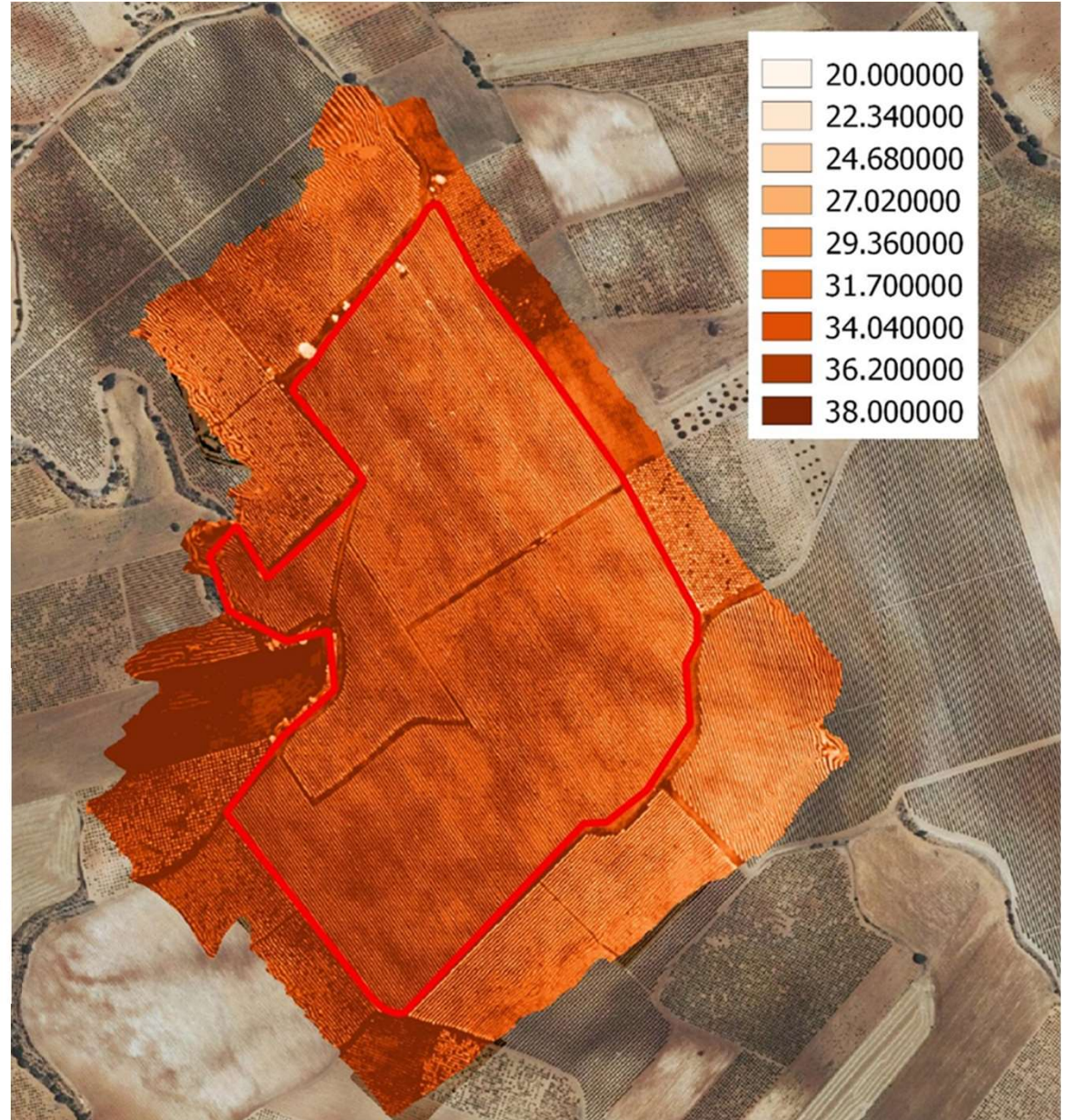
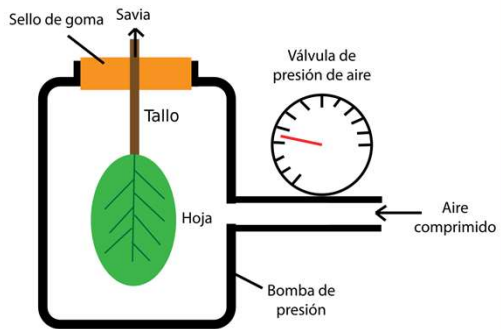
## Detección de estrés hídrico



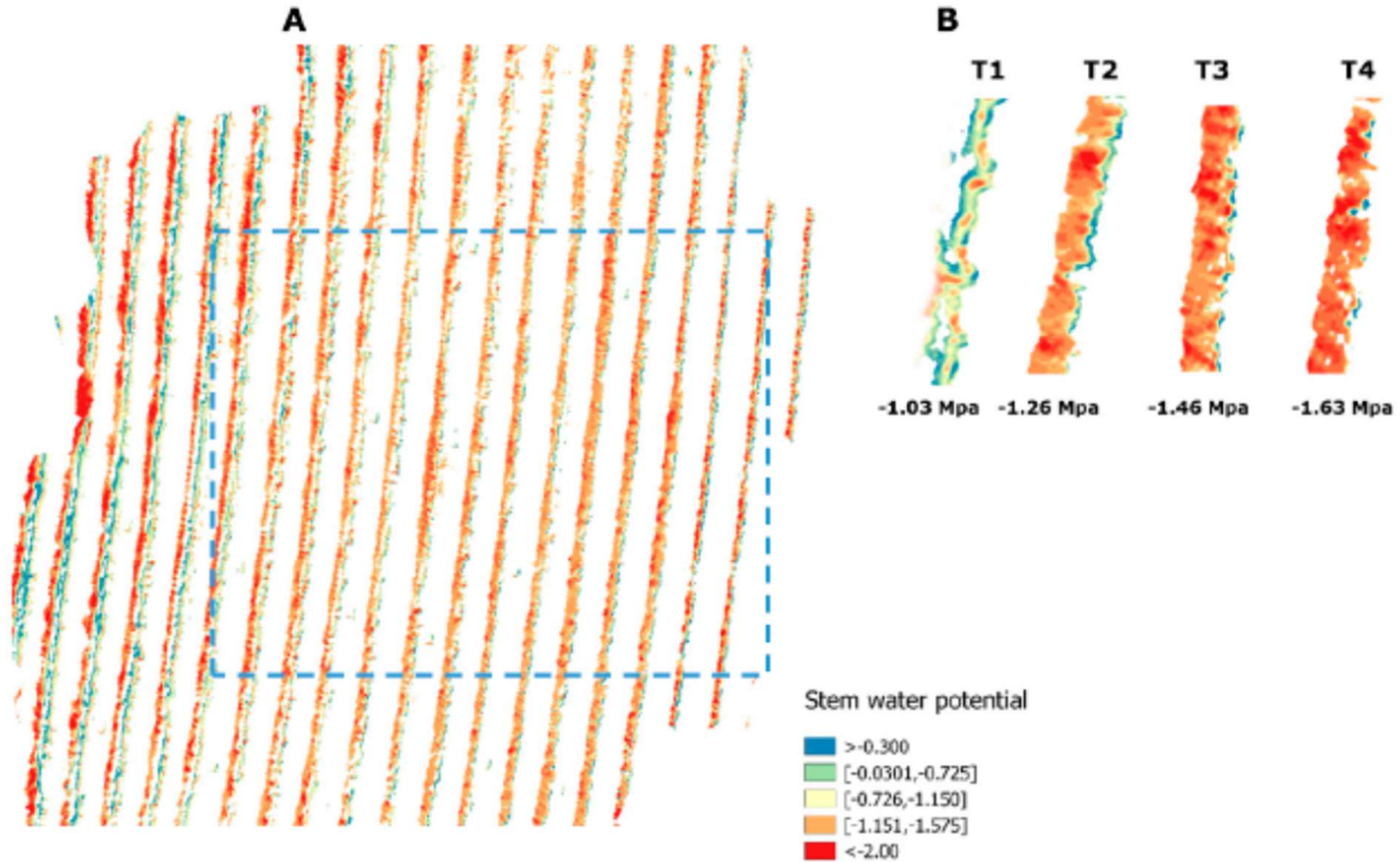
## Detección de estrés hídrico



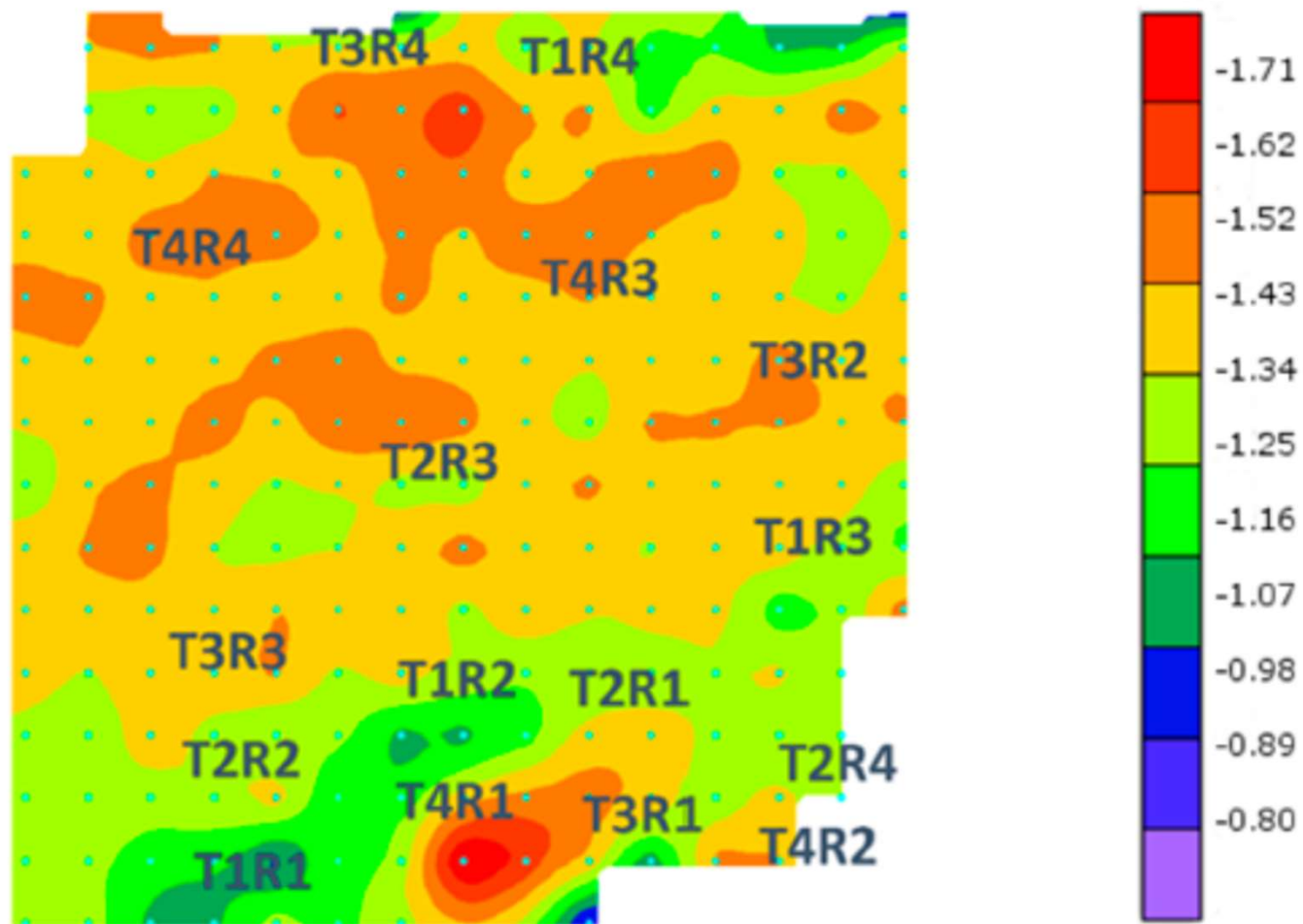
# Detección de estrés hídrico



## Detección de estrés hídrico

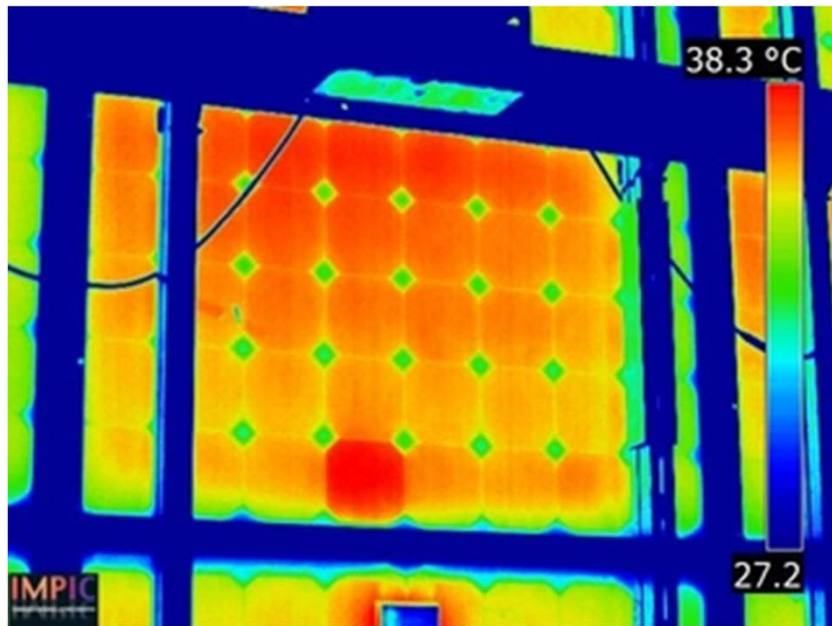


## Detección de estrés hídrico



## Detección de “Hotspots” en paneles solares

Áreas de temperatura elevada que afectan sólo una zona del panel solar y tienen como resultado una disminución localizada de la eficiencia, y por lo tanto, una menor potencia de salida y una aceleración de la degradación





# Diseño y dimensionamiento de un sistema de riego por goteo de dosis variable gestionado mediante teledetección de alta resolución

**CEBAS**  
CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y  
BIOLOGÍA APLICADA DEL SEGURO

**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

**AZUD**

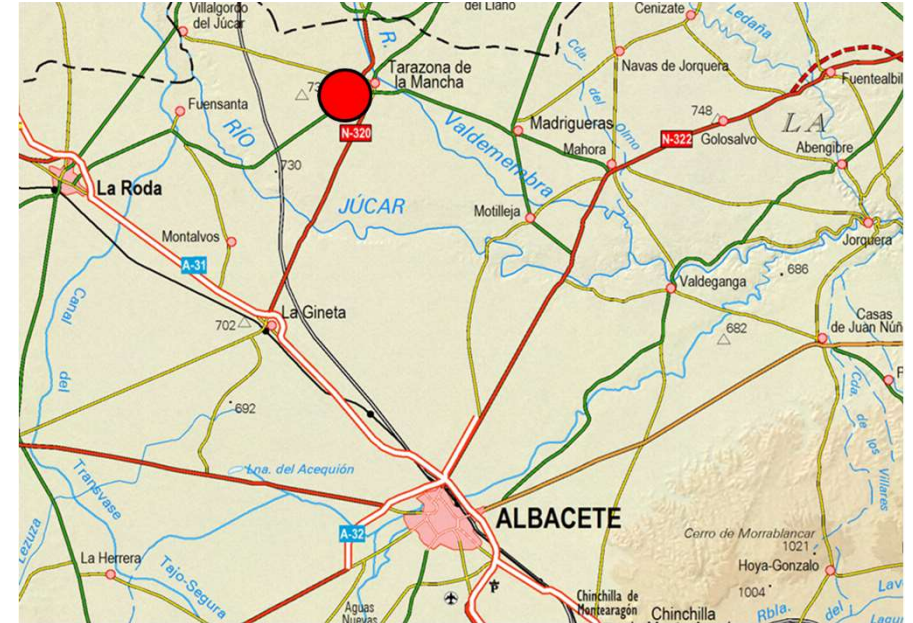


# Parcela de estudio

- Ubicada en Tarazona de la Mancha (Albacete)
- Parcela que carece de sistema de riego
- Tiene un toma de agua de la comunidad de regates SAT "Soreta" (Propietarios)
- Superficie de 1,8 ha aproximadamente

- Plantación de hortícolas – 1º año Brócoli
- Diseñar e instalar un sistema de riego localizado

**Homogeneizar la producción en toda la parcela mediante el riego de precisión**



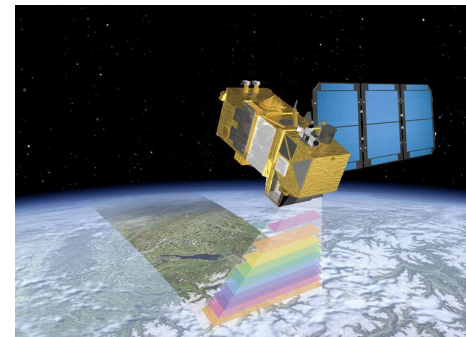
# Desarrollo del estudio

**Zonificación** Variabilidad del suelo a lo largo de la parcela para tratar los datos de manera diferenciada

**¿Cual es el mejor sensor de un suelo?**



Utilización de imágenes de satélite (disponibilidad de una amplia serie temporal y espacial)

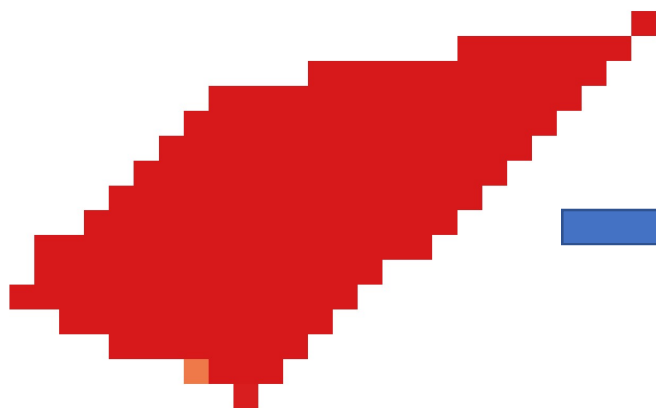


## Zonificación

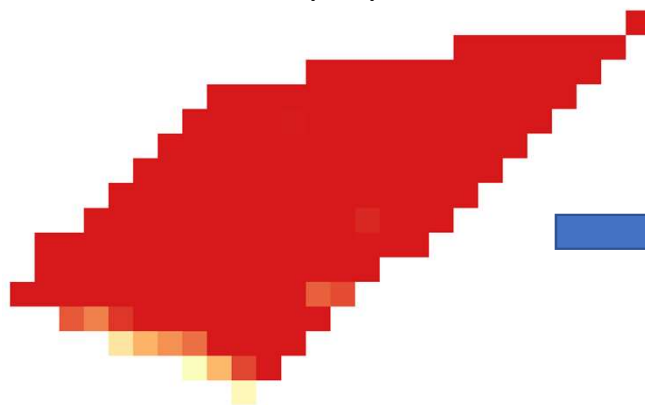
Cultivo de cebada en 2021

- El cultivo no se ha regado
- El manejo ha sido el mismo en toda la parcela

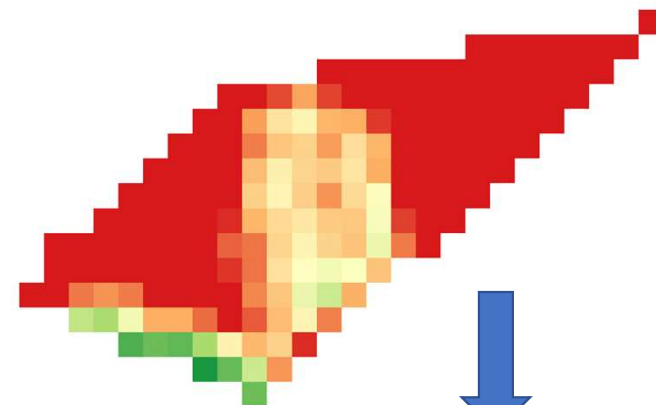
NDVI 16/03/2021



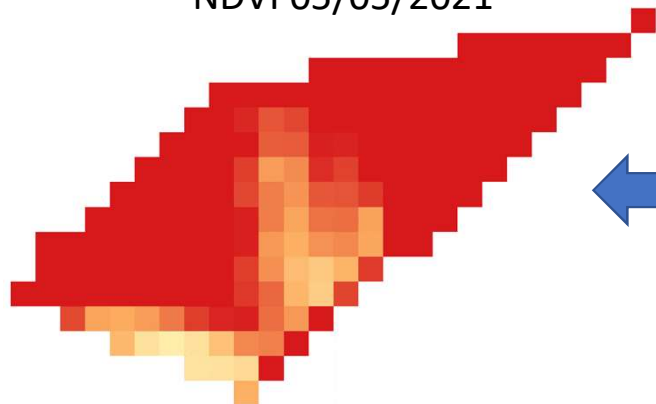
NDVI 26/03/2021



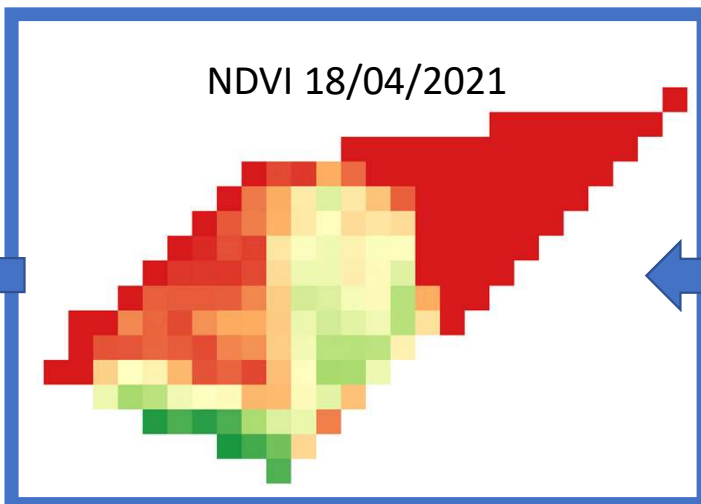
NDVI 05/04/2021



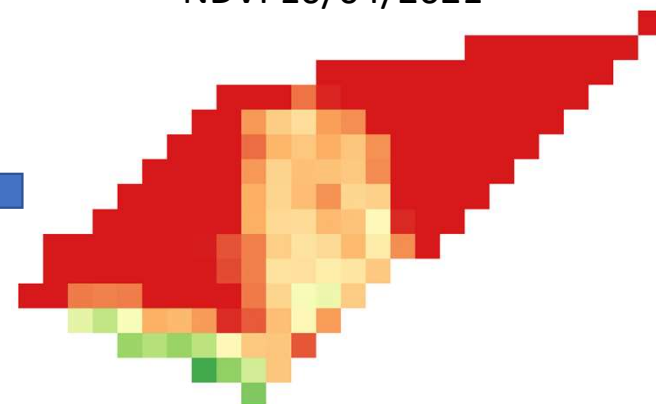
NDVI 05/05/2021



NDVI 18/04/2021

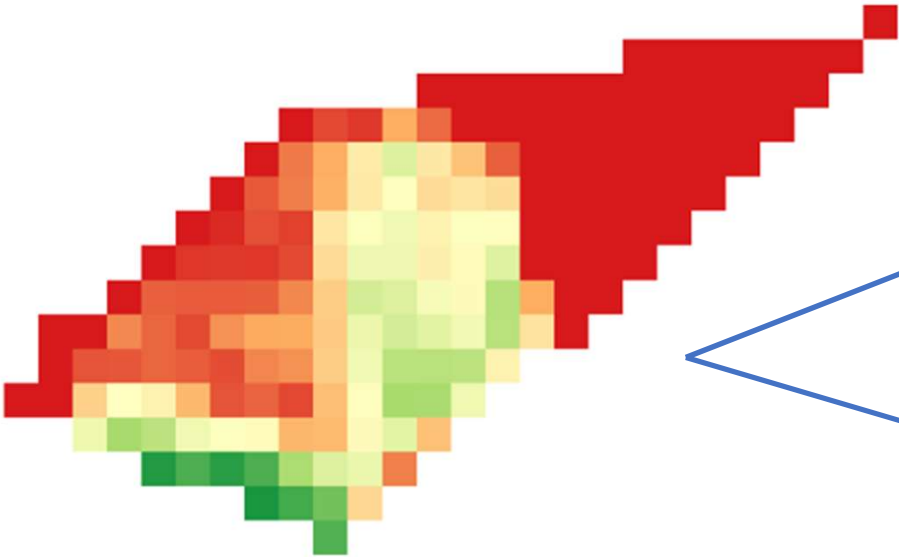


NDVI 10/04/2021

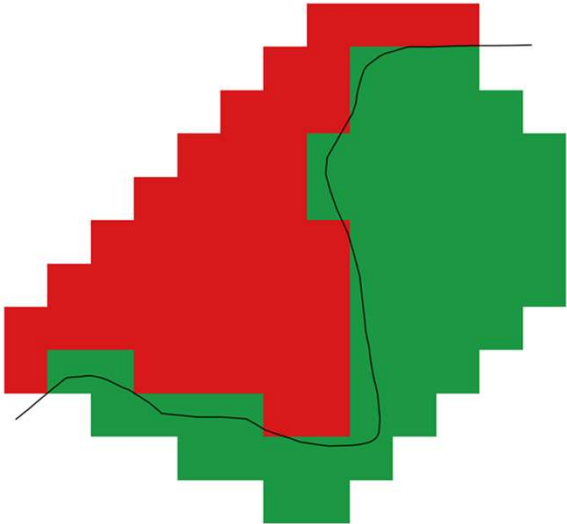


# Zonificación

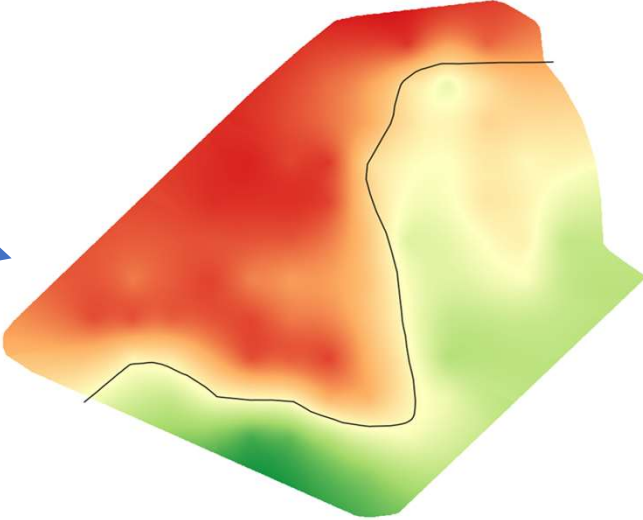
Cereal al máximo desarrollo vegetativo



Clusterización



Krigeado

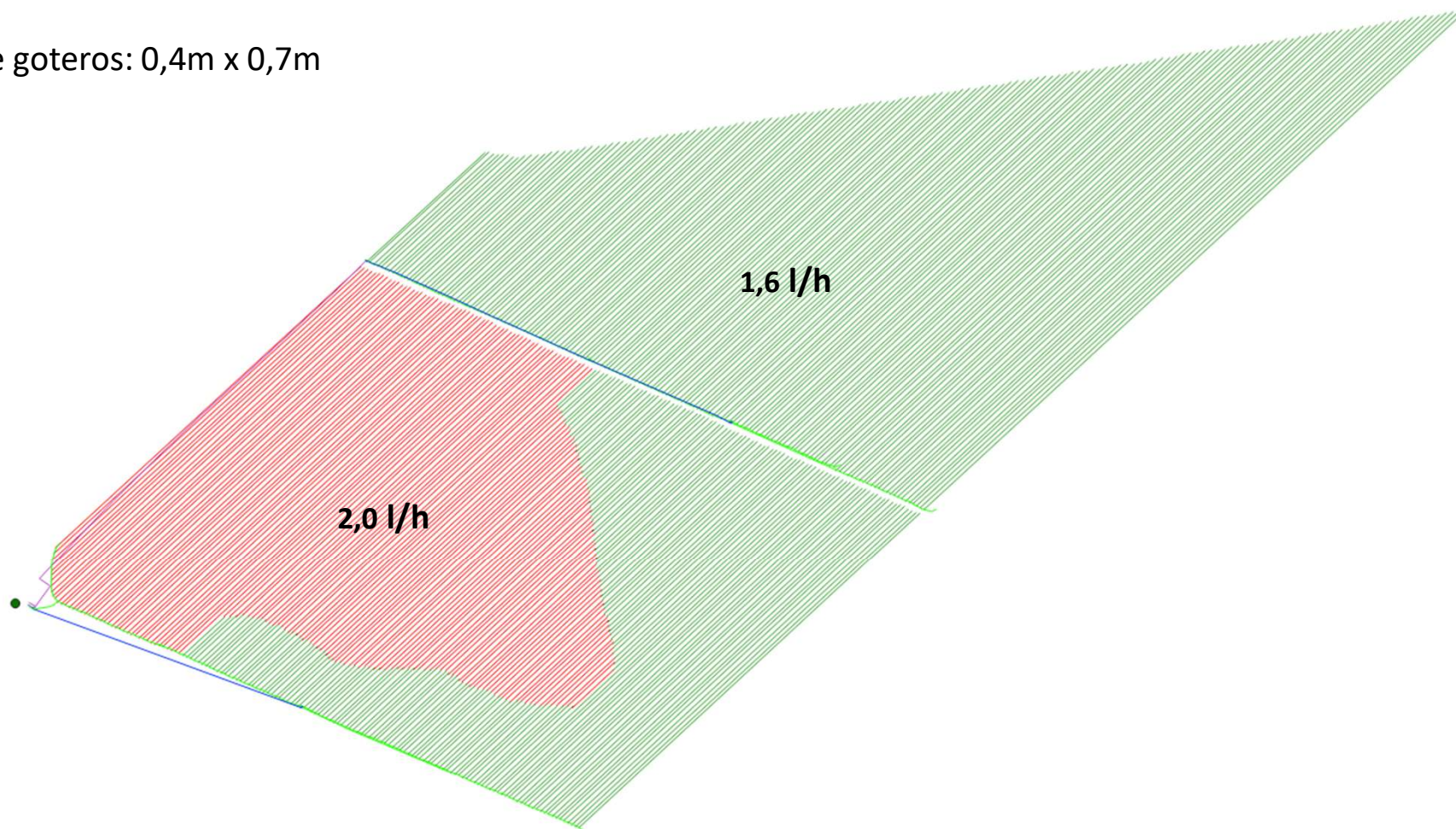


## Diseño del sistema de riego



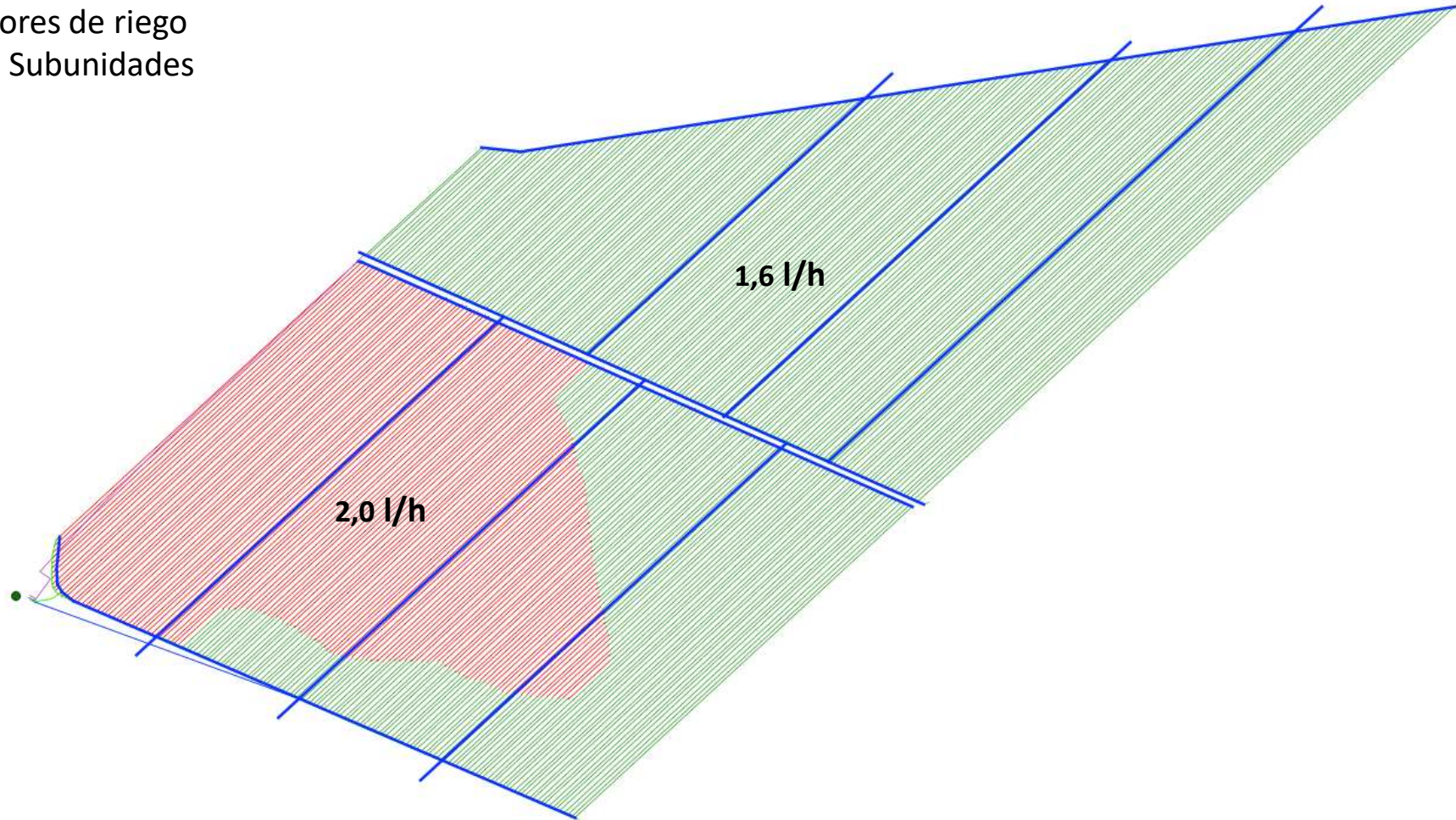
## Diseño del sistema de riego

- Marco de goteros: 0,4m x 0,7m



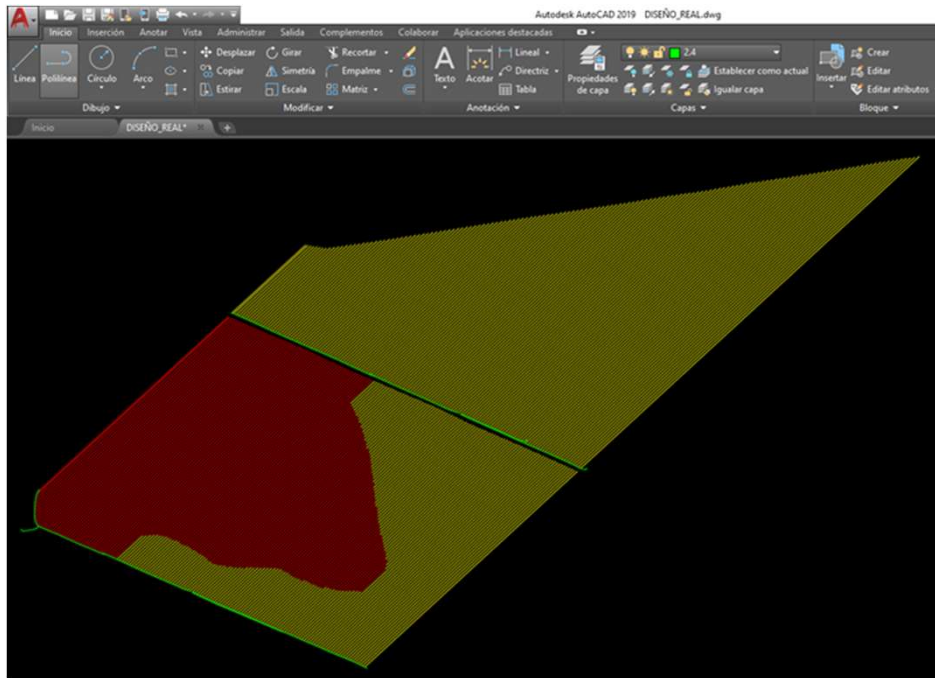
## Diseño del sistema de riego

- 2 Sectores de riego
  - 4 Subunidades

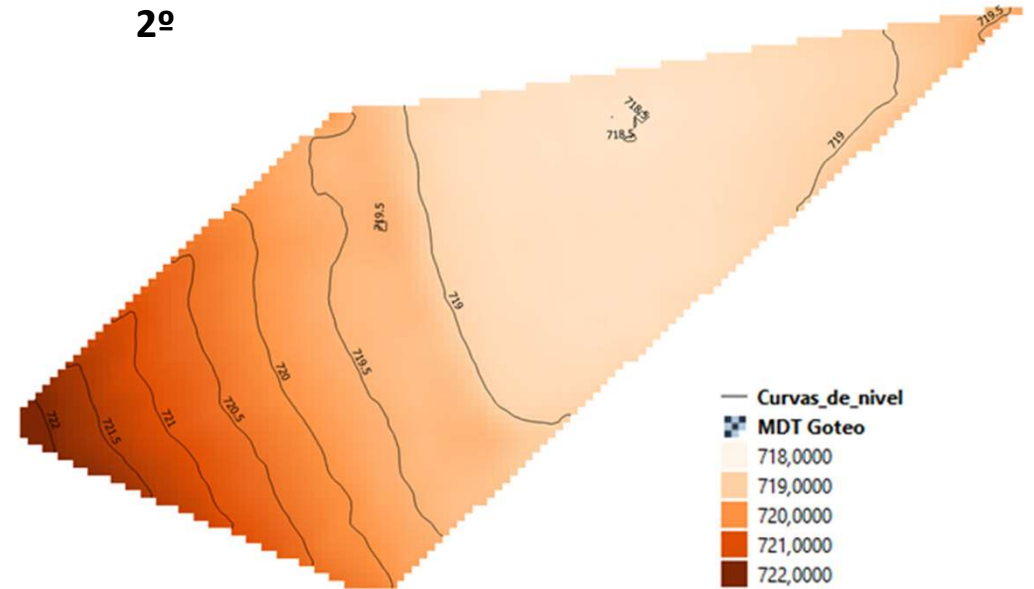


# Diseño del sistema de riego

1º



2º





# Diseño del sistema de riego

3º

Evaluación de Subunidades de Goteo. v5.0

1. Cargar archivo DXF C:\Users\manuel\Desktop\02-Goteo\Diseño Hidraulico\EVALSUB.dxf

2. Seleccionar capa

3. EVALSUB

4. Extraer datos

5. Definir propiedades de las líneas según su nº de color

Color Polilínea: 1

Tubería portaemisores

Tubería predefinida: PE16 (...)

D. interno (mm) 13.6

Presión Nominal (Atm.) 2.5

Rugosidad 0.25

Longitud equivalente (m) 0.3

Precio (€/m) 0.2

Ubicación de emisores en ramal

Separación entre emisores (m): 0.4

Emisores / grupo: 0

Separación entre grupos (m): 0

Elevación de emisores (m): 0

Cargar Emisor

Continuar

Datos de costes y de cultivo

Datos costes

Datos cultivo

Por pendiente

Por MDT

Pendiente eje X (%): 0

Pendiente eje Y (%): 0

Cargar archivo MDT

Generar INP

Calcular Costes

Research Paper

## Optimisation of the design of pressurised irrigation systems for irregular shaped plots



Miguel A. Moreno, Amaro del Castillo, Jesus Montero, Jose M. Tarjuelo, Rocio Ballesteros\*

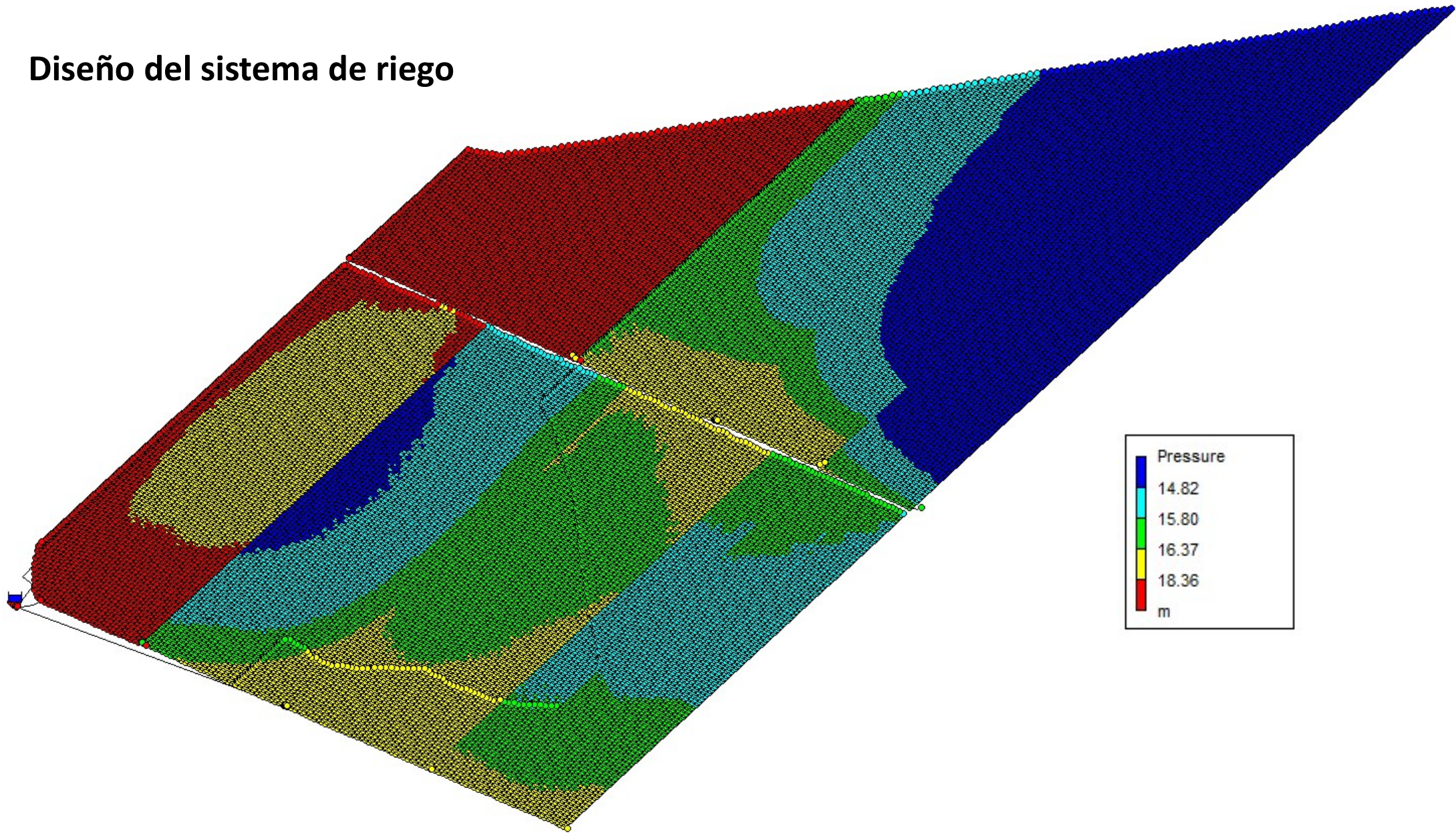
University of Castilla-La Mancha (UCLM), Regional Centre of Water Research (CREA), Campus Universitario s/n, 02071, Albacete, Spain



**EPANET**

Programa informático capaz de realizar una simulación de período prolongado del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua dentro de redes de tuberías presurizadas.

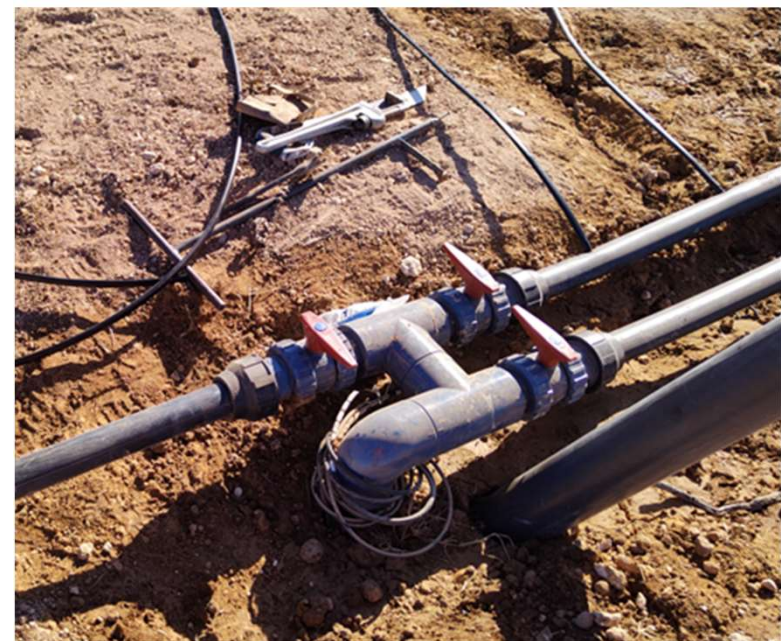
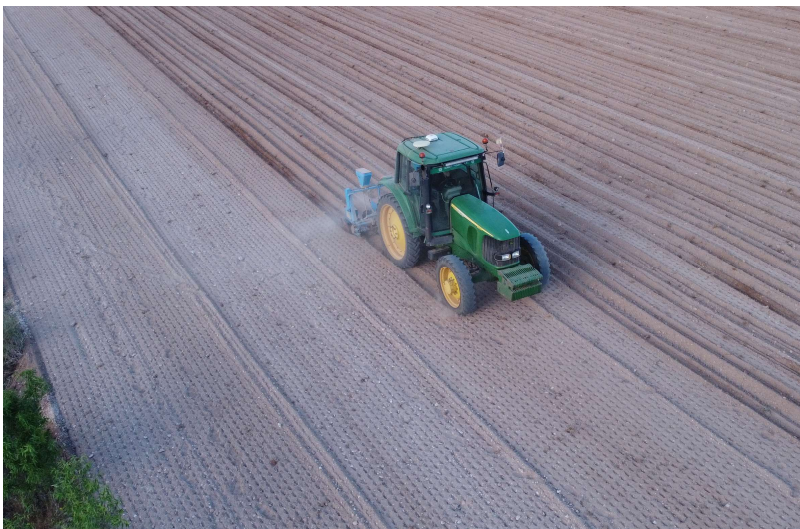
# Diseño del sistema de riego



# Instalación del sistema de riego



# Instalación del sistema de riego



## Instalación del sistema de riego

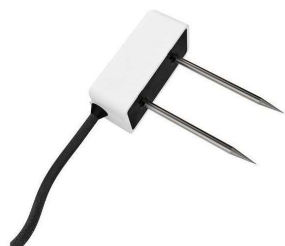




# Monitorización

Colocación de sondas de humedad en 5 puntos de la parcela

8 Sondas TEROS 10



Profundidades:

- 12,5 cm
- 25 cm

1 sonda multinivel  
Drill & Drop



Profundidad:

- 10 cm
- 20 cm
- 30 cm



# Monitorización





# Monitorización

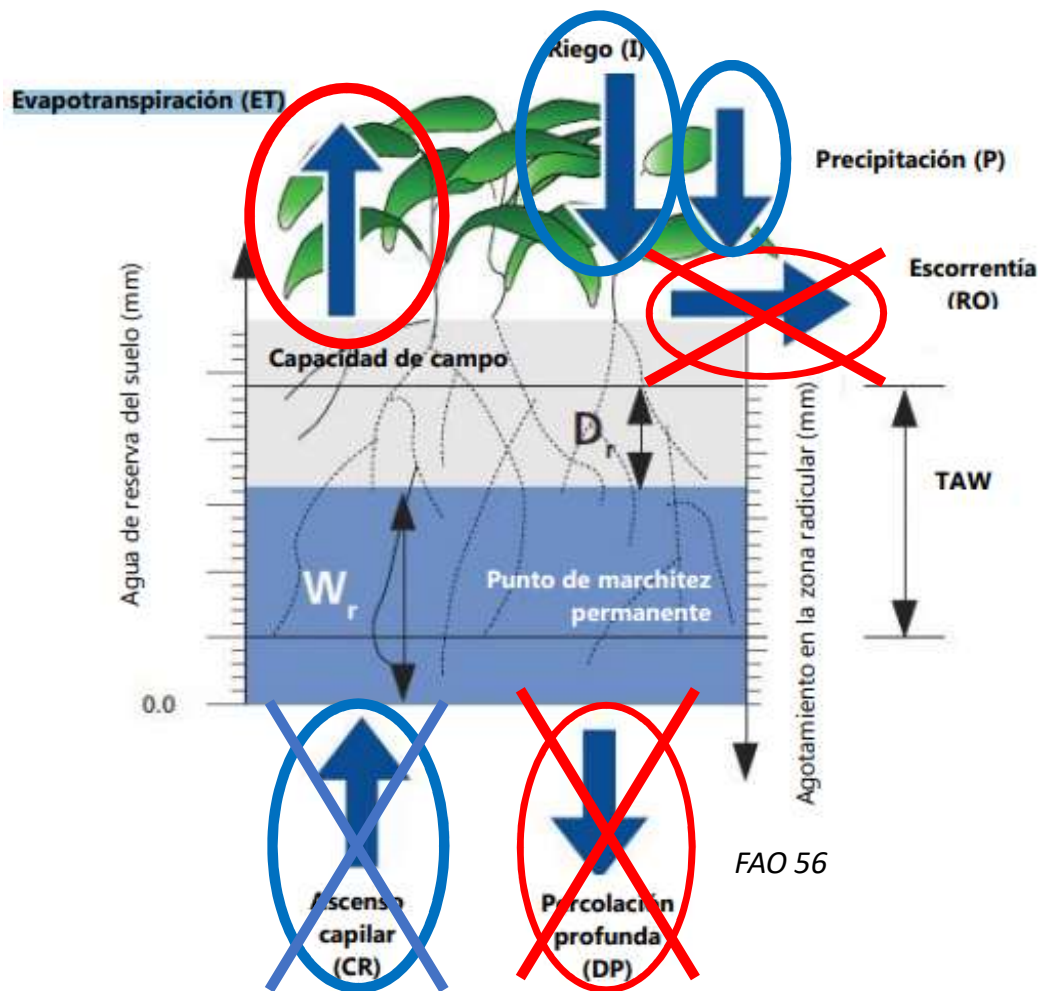


# Monitorización



# Gestión del agua de riego

## Balance hídrico en el suelo



### Entradas:

- Precipitación (P)
- Riego (I)



### Salidas:

- Evapotranspiración (ET)



Evaporación del agua del suelo + Transpiración del cultivo



# Gestión del agua de riego

## Balance hídrico en el suelo

Precipitación (P) ✓

Evapotranspiración (ET) ¿?



FAO 24  
(1977)

FAO 56  
(1998)

FAO 66  
(2012)



$$ET_c = ETo \times (K_{cb} + K_e)$$

Evapotranspiración del cultivo de referencia

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

- $ET_o$  evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)
- $R_n$  radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)
- $R_s$  radiación extraterrestre (mm día<sup>-1</sup>)
- $G$  flujo del calor de suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)
- $T$  temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- $u_2$  velocidad del viento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)
- $e_s$  presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$  presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$  déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$  pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)
- $\gamma$  constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

Seleccionar parámetros de consulta:

Temperatura  Humedad  Vel. Viento  Dir. Viento  Precipitación  Radiación  Temp. Suelo  Eto

Seleccionar todo  Deseleccionar todo

- Temp Media (°C)
- Humedad Media (%)
- Velviento (m/s)
- DirViento (°)
- Precipitación (mm)
- Radiación (MJ/m2)
- Temp Suelo 10 cm (°C)
- Eto (mm)
- Temp Max (°C)
- Humedad Max (%)
- VelVientoMax (m/s)
- Dir viento Vel Max (°)
- P. Efect (mm)
- Temp Suelo 30 cm (°C)
- Hora Temp Max
- Hora Hum Max
- Hora VelMax
- Temp Mínima (°C)
- Humedad Min (%)
- Hora Temp Min
- Hora Hum Min

# Gestión del agua de riego

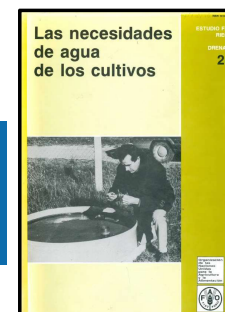
## Balance hídrico en el suelo

Precipitación (P) ✓

Evapotranspiración (ET) ¿?



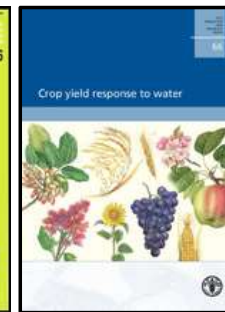
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



FAO 24 (1977)



FAO 56 (1998)



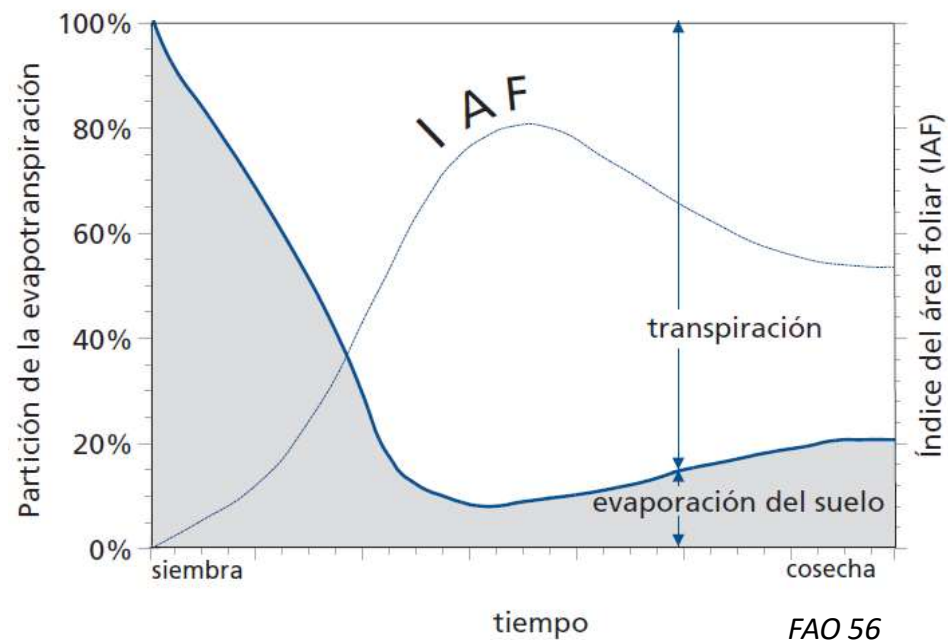
FAO 66 (2012)

$$ET_c = E_{T_o} \times (K_{cb} + K_e)$$

Coeficiente de ajuste de cultivo y de suelo

**Durante el establecimiento del cultivo:** Riego en base a sondas de humedad

**Con el cultivo establecido:** Determinación de  $K_c$



## Gestión del agua de riego

Balance hídrico en el suelo

Precipitación (P) ✓

Evapotranspiración (ET) ✓

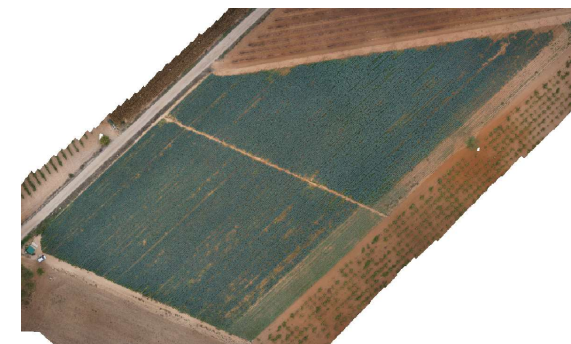
Grado de cobertura vegetal



Vuelo con cámara RGB



Generación de una ortoimagen



$$ET_c = ETo \times (K_c + K_e)$$

### Satellite NDVI Assisted Monitoring of Vegetable Crop Evapotranspiration in California's San Joaquin Valley

Lee F. Johnson<sup>1,2,\*</sup> and Thomas J. Trout<sup>3</sup>

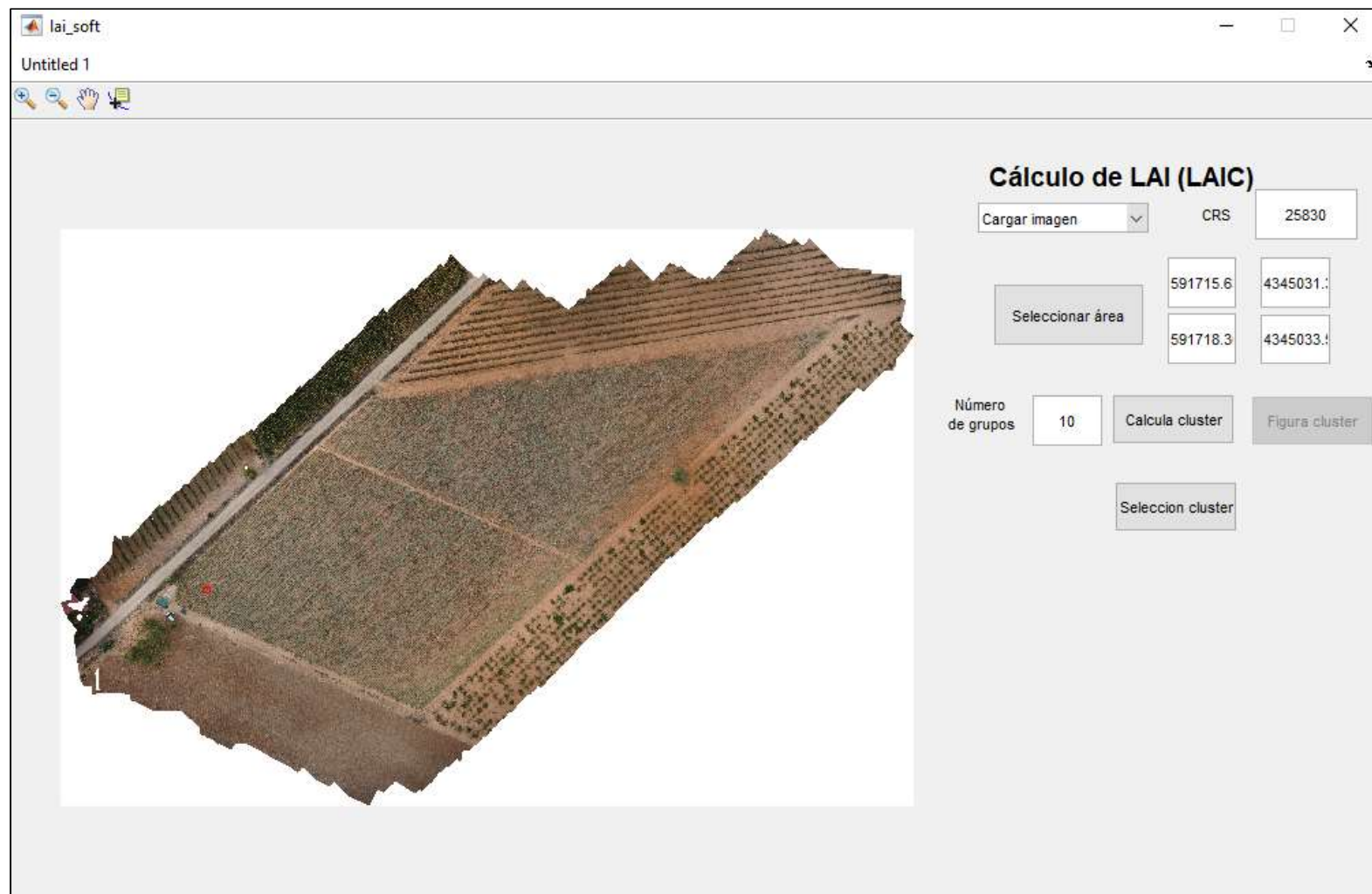
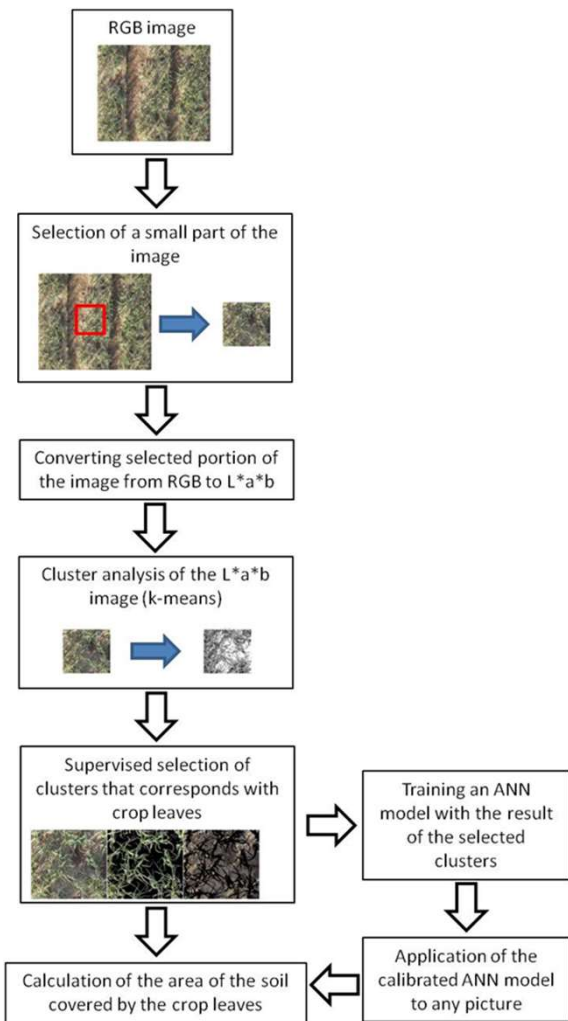
Crop	Conversion Equation	Reported $r^2$
garlic	$K_{cb} = -0.985Fc^2 + 1.759Fc + 0.272$	0.992
bellpepper	$K_{cb} = -0.078Fc^2 + 1.124Fc + 0.142$	0.994
broccoli	$K_{cb} = -0.933Fc^2 + 1.756Fc + 0.181$	0.999
lettuce	$K_{cb} = -0.07Fc^2 + 1.08Fc + 0.209$	0.992

# Gestión del agua de riego

Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing

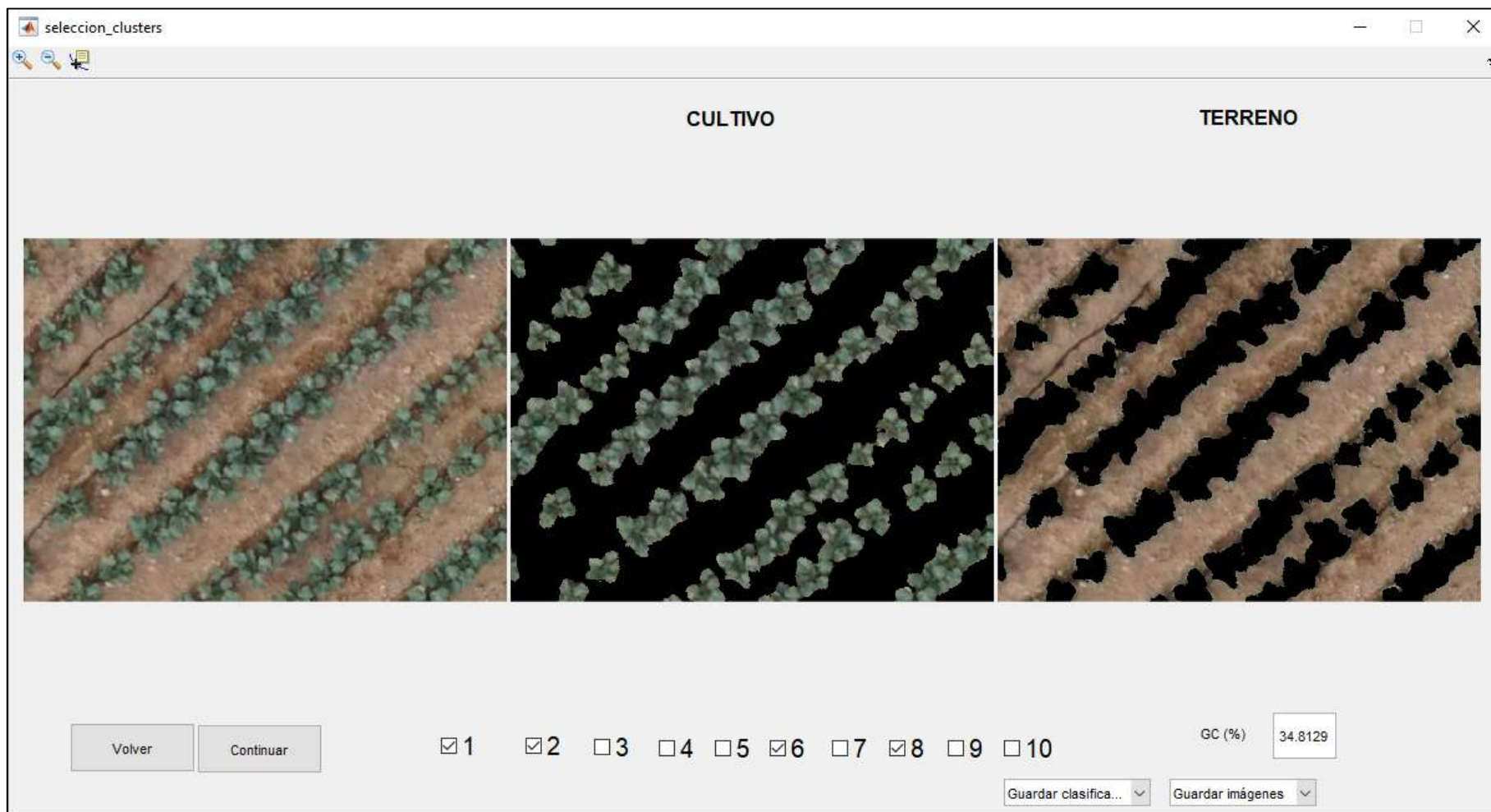
R. Ballesteros, J. F. Ortega, D. Hernández & M. A. Moreno

## LAIC SOFTWARE



# Gestión del agua de riego

## LAIC SOFTWARE






# Gestión del agua de riego

## LAIC SOFTWARE

lai\_ANN  
Untitled 1



**Cálculo de LAI (LAIC)**

Entrenar ANN    Guarda red

Cargar imagen    Cargar red

Seleccionar área    591660.08    4344948.32

Seleccionar toda la imagen    591992.37    4345172.92

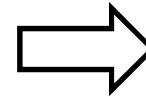
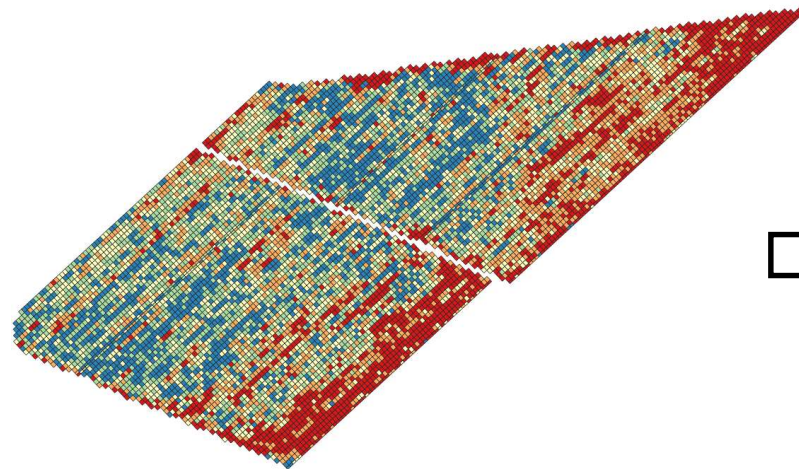
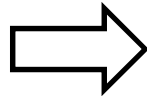
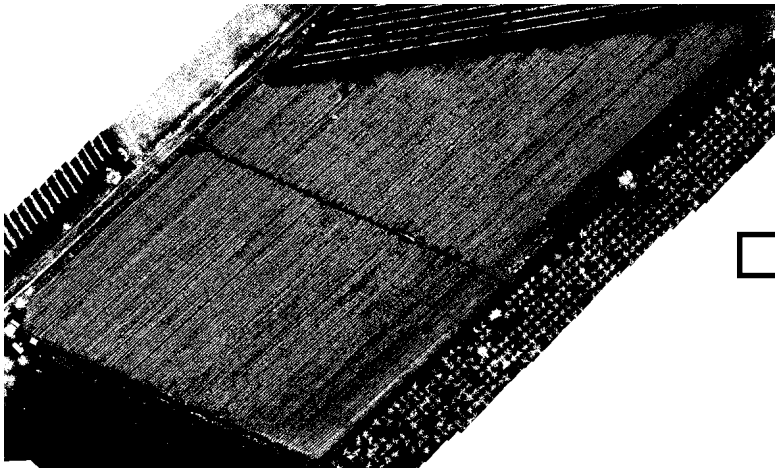
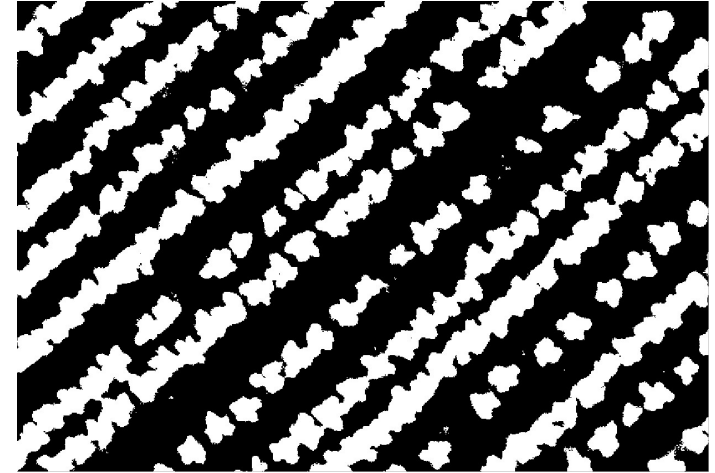
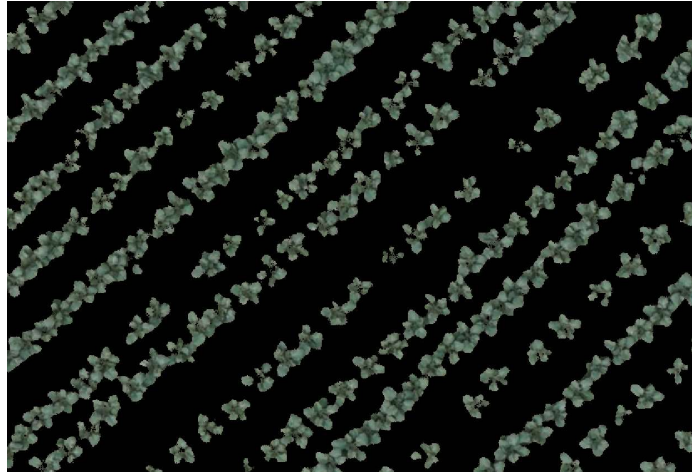
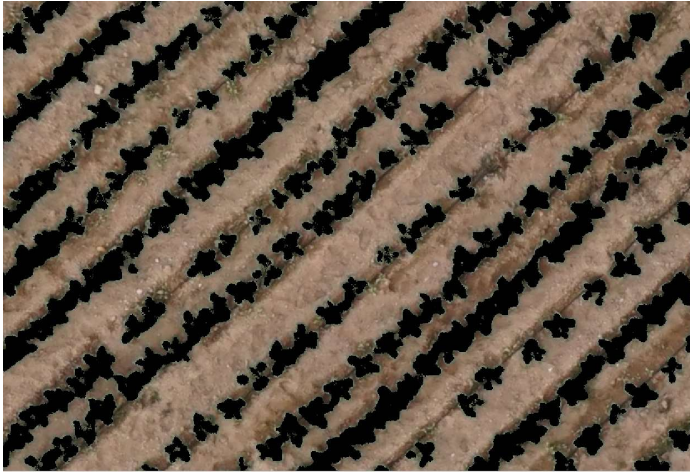
Calcula GCC

GCC (%)   

Guardar imágenes    Guardar datos GCC

# Gestión del agua de riego

LAIC SOFTWARE

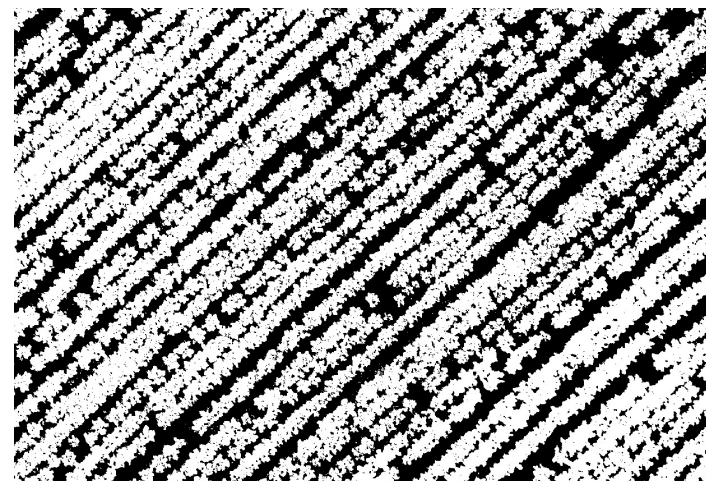
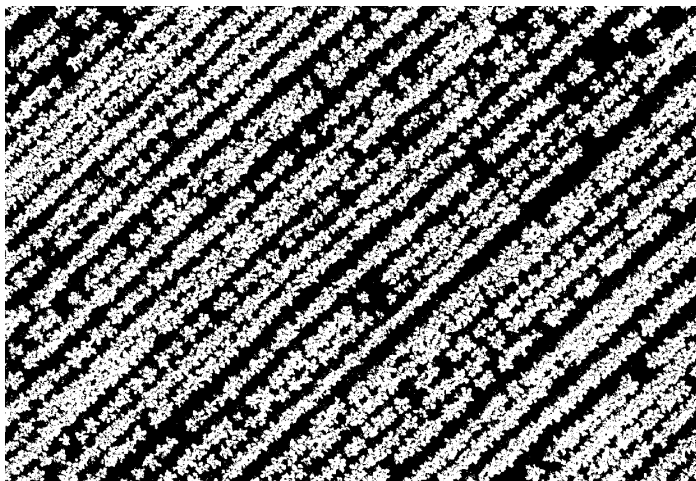
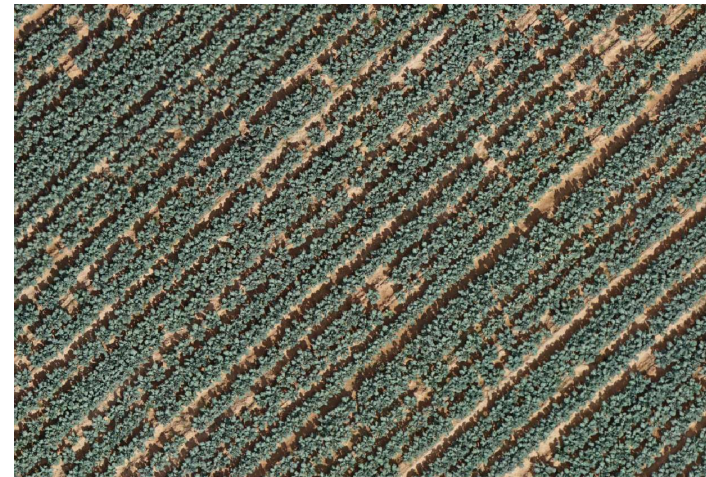
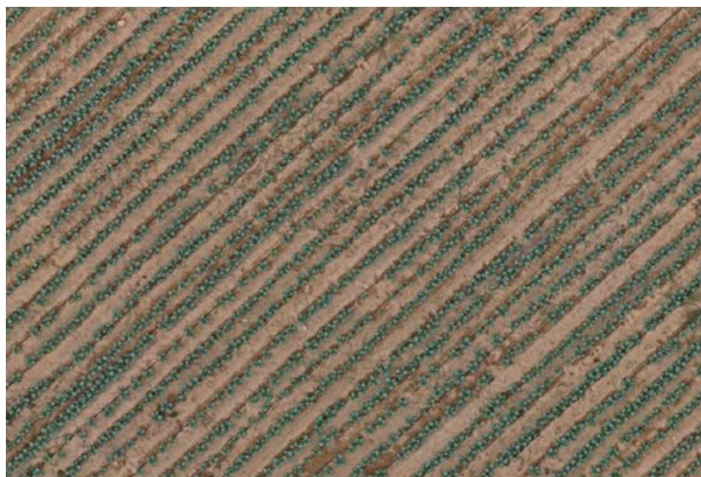


GCV= 26%

22/09/2022

29/09/2022

06/10/2022



**GCV: 27,3%**

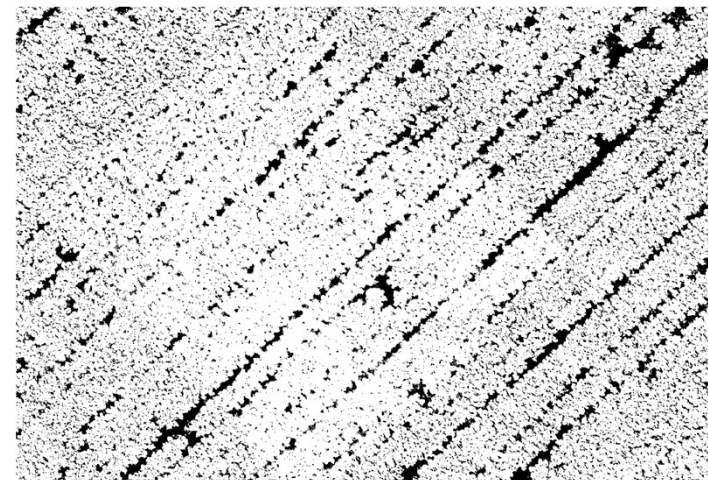
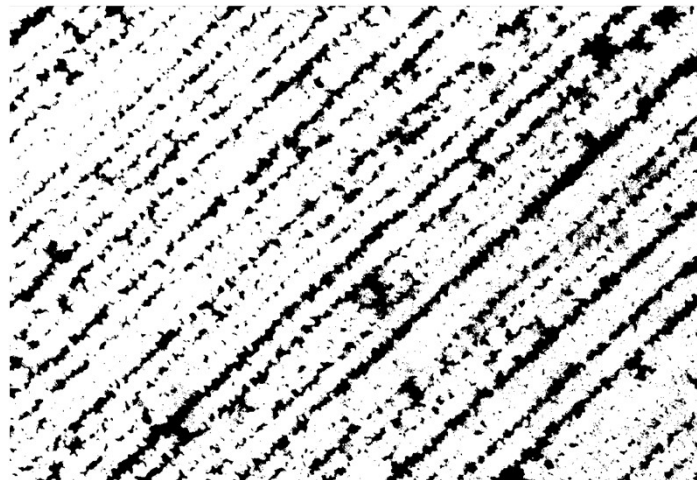
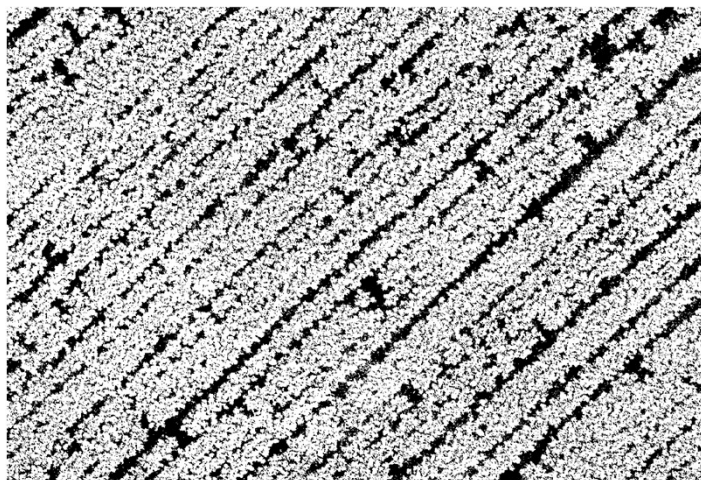
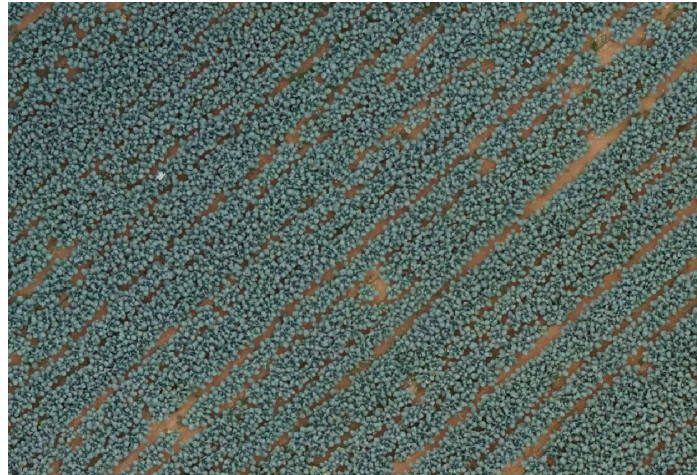
**GCV: 37,6%**

**GCV: 50,0%**

13/10/2022

20/10/2022

27/10/2022



**GCV: 61,0%**

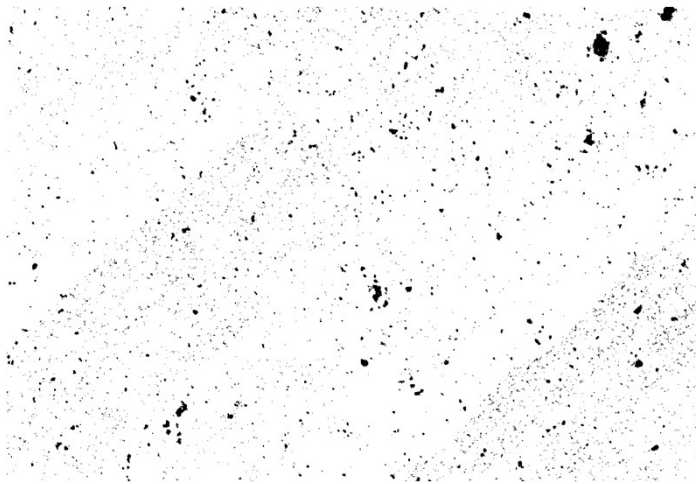
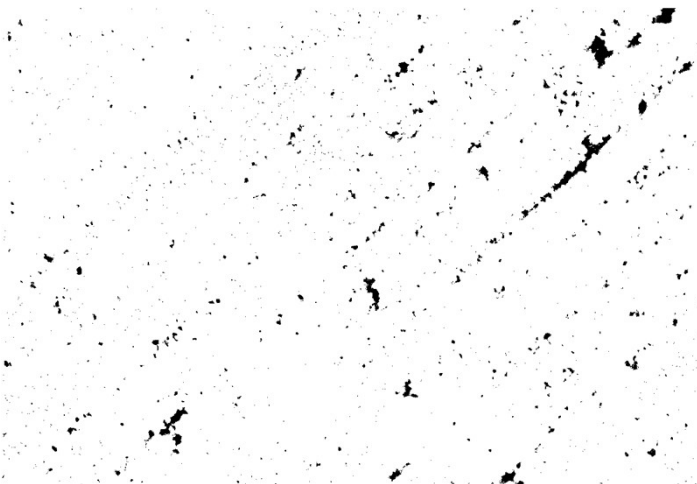
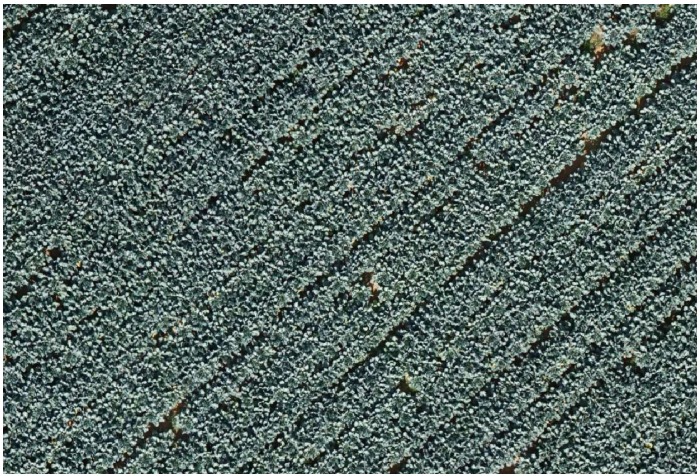
**GCV: 75,1%**

**GCV: 89,0%**

03/11/2022

10/11/2022

17/11/2022



**GCV: 92,7%**

**GCV: 93,6%**

**GCV: ¿?**

## Gestión del agua de riego

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> - Red	E <sub>To</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23



## Gestión del agua de riego

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> Red	ET <sub>o</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

Crop	Conversion Equation
garlic	$K_{cb} = -0.985Fc^2 + 1.759Fc + 0.272$
bellpepper	$K_{cb} = -0.078Fc^2 + 1.124Fc + 0.142$
broccoli	$K_{cb} = -0.933Fc^2 + 1.756Fc + 0.181$
lettuce	$K_{cb} = -0.07Fc^2 + 1.08Fc + 0.209$

## Gestión del agua de riego

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> Red	E <sub>To</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

**10% de K<sub>cb</sub>**



## Gestión del agua de riego

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> Red	E <sub>To</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

$$K_c = K_{cb} + K_e$$

## Gestión del agua de riego

Posibilidad de realizar riegos deficitarios

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> Red	E <sub>To</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

Riego al 100% de necesidades del cultivo

# Gestión del agua de riego

70 % de una precipitación  
semanal superior a 5 mm

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	Cof. Red	ETo (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

Seleccionar estaciones:

Comunidad Autónoma:

Filtrar por provincias  Filtrar por Comunidad de Regantes

Provincia:

Estación:

Estaciones seleccionadas:

Seleccionar el tipo de dato de la consulta:

Tipo de dato:

Seleccionar rango de fechas:

Fecha inicial:

Fecha final:

Seleccionar parámetros de consulta:

Temperatura  Humedad  Vel. Viento  Dir. Viento  Precipitación  Radiación  Temp. Suelo  ETo



## Gestión del agua de riego

Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	COF. Red	ETo (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

### Balance hídrico en el suelo

Eficiencia Sistema de riego por goteo: 95%

$$\text{Riego (mm)} = \underbrace{((\text{ETo} \times \text{Kcb}) - \text{Pe})}_{\text{Salidas}} \times \underbrace{1,05}_{\text{Entradas}} \times \underbrace{\text{COF. Red}}_{\text{Ajustes}}$$

## Gestión del agua de riego

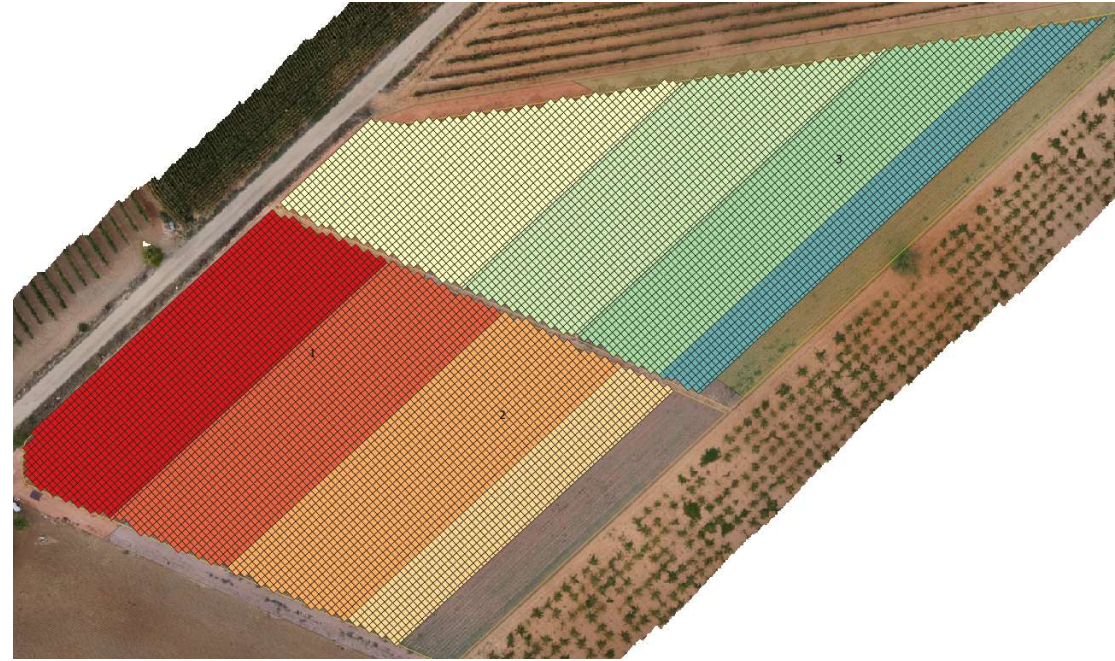
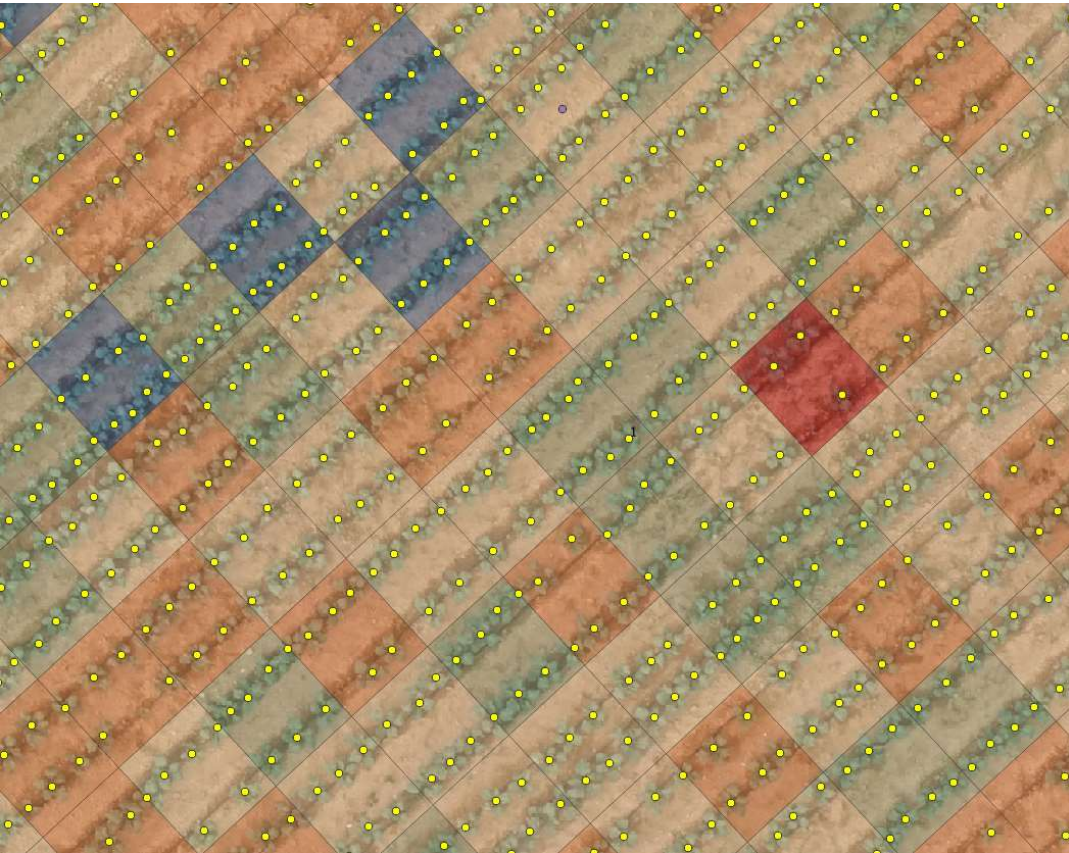
Fecha	GCV	K <sub>cb</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>c2</sub>	C <sub>OF</sub> Red	E <sub>To</sub> (mm)	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Riego (mm/semana)	Duración (horas/semana)	Tiempo de Riego	
											(horas)	(minutos)
22/09/2022	0.27	0.59	0.06	0.65	1.00	24.9	0.00	0.00	16.97	2.97	2	58
29/09/2022	0.38	0.71	0.07	0.78	1.00	20.7	15.08	10.56	5.90	1.03	1	2
06/10/2022	0.50	0.83	0.08	0.91	1.00	21.3	2.52	0.00	20.30	3.55	3	33
13/10/2022	0.61	0.91	0.09	1.00	1.00	15.7	0.4	0.00	16.40	2.87	2	52
20/10/2022	0.75	0.97	0.10	1.07	1.00	19.9	4.02	0.00	22.42	3.92	3	55
27/10/2022	0.89	1.00	0.10	1.11	1.00	15.1	5.63	3.94	13.34	2.33	2	20
03/11/2022	0.93	1.01	0.10	1.11	1.00	13.3	0.8	0.00	15.47	2.71	2	42
10/11/2022	0.94	1.01	0.10	1.11	1.00	10.9	6.43	4.50	7.91	1.38	1	23

$$\text{Duración (h)} = \frac{\text{Riego (mm)}}{\text{Pluviosidad (l/h)}}$$

$$\text{Pluviosidad (l/h)} = \frac{1 \text{ m}^2}{0,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}} \times \text{caudal de los goteros (l/h)}$$

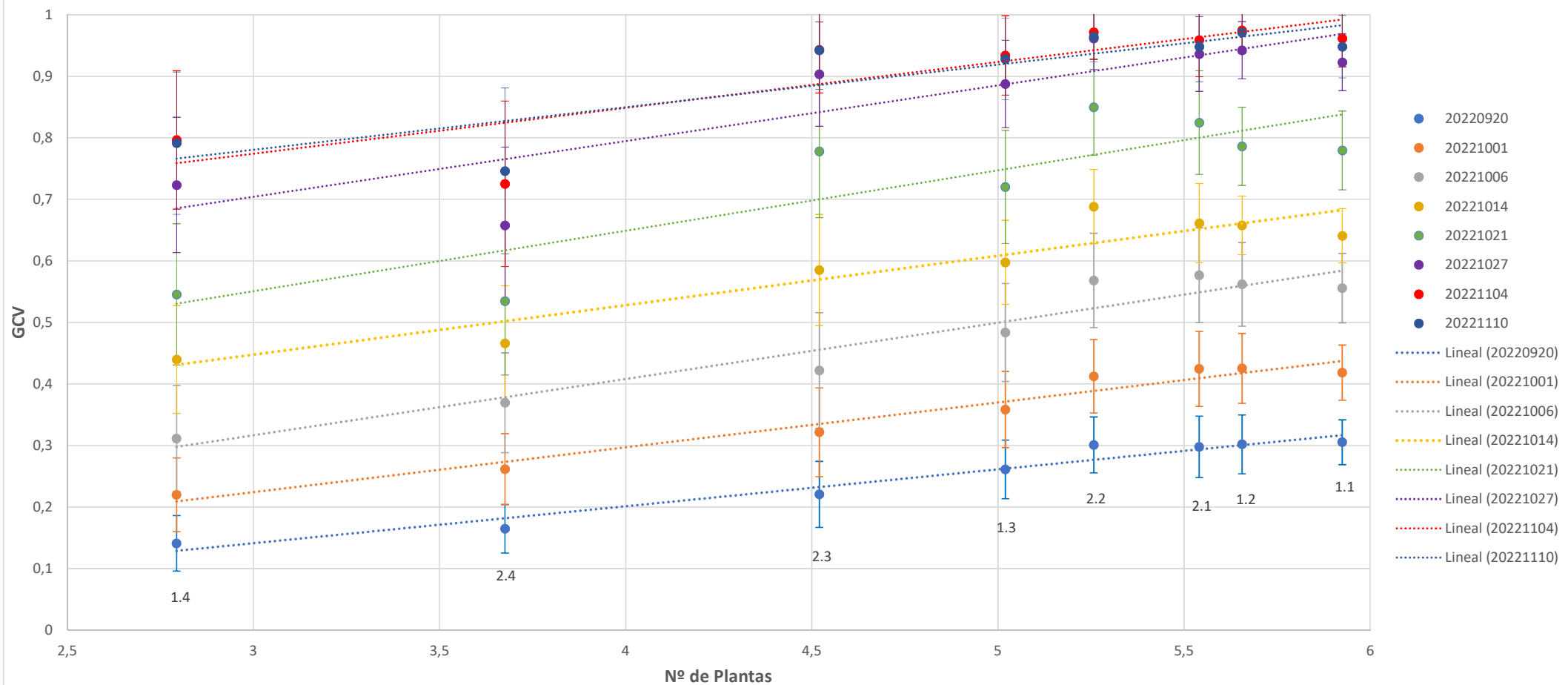
$$\text{Pluviosidad (l/h)} = 3,57 \times 1,6 \text{ (l/h)} = 5,71 \text{ l/h}$$

## Gestión del agua de riego



# Gestión del agua de riego

Relación entre el Nº de plantas y el GCV a lo largo de las semanas





*[manuel.morcillo@uclm.es](mailto:manuel.morcillo@uclm.es)*



# El papel de los drones en el riego de precisión

Ponente: Manuel Morcillo García

Fecha: Noviembre 2022



**DRONES Y TELEDETECCIÓN APLICADA AL REGADÍO**