



# Uso de la Teledetección de Alta Resolución con Sensores Térmicos para el Manejo del Riego y Variabilidad Espacial Intralote

Dr. Joaquim Bellvert

[joaquim.bellvert@irta.es](mailto:joaquim.bellvert@irta.es)

*Investigador en IRTA (Cataluña, España) - Programa Uso Eficiente del Agua*

*Postdoc en CSTARS. University of California Davis, California*



# Por qué el sector Agrícola está interesado en la Teledetección?



# Detección y Manejo de la Variabilidad Espacial Intralote

➤ Riego de Precisión

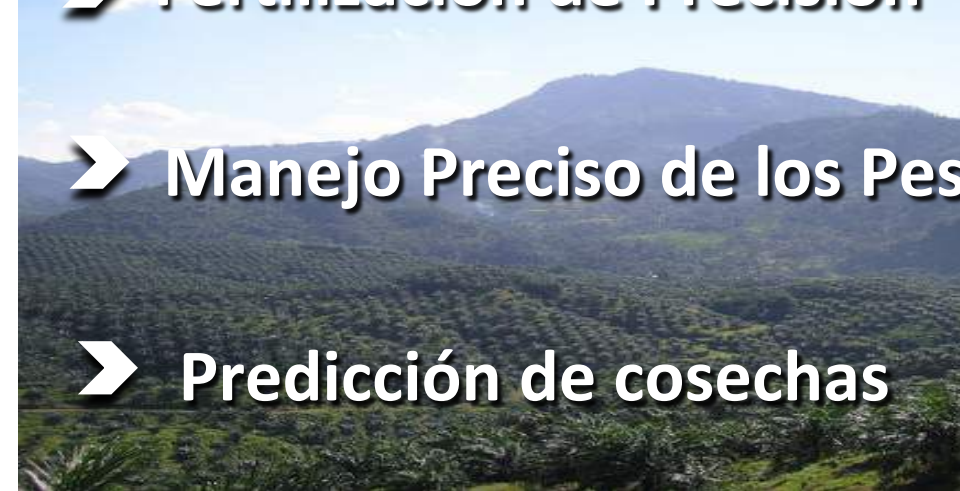


- Re-diseño sectores de riego
- Requerimientos hídricos
- Estado hídrico

➤ Fertilización de Precisión

➤ Manejo Preciso de los Pesticidas

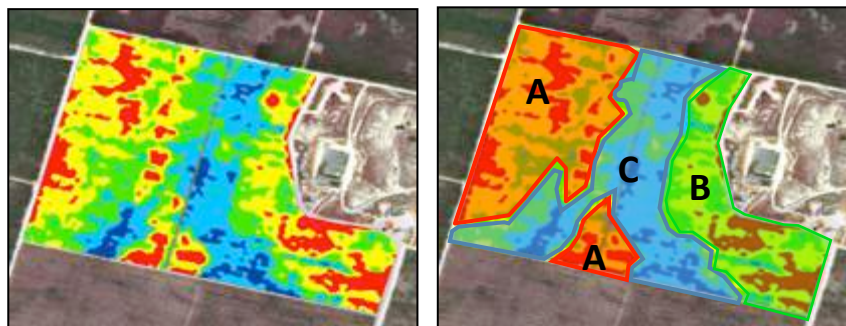
➤ Predicción de cosechas



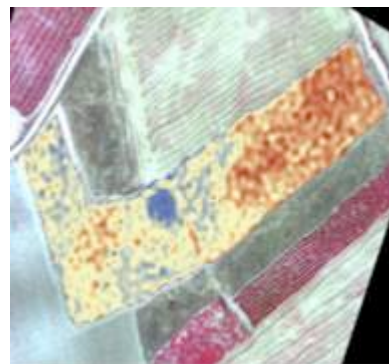
# Teledetección para el Manejo de la Variabilidad Intralote

## ZONIFICACIÓN

Diferencias de vigor vegetativo



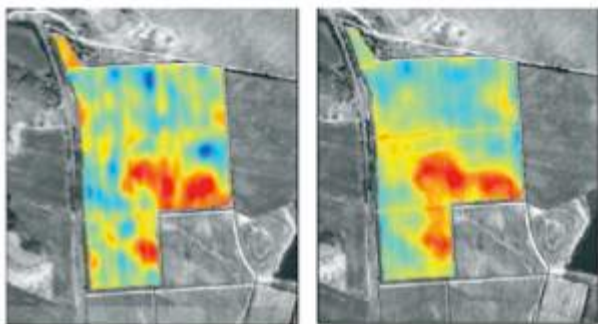
## DETECCION PLAGAS Y DEFICIENCIAS NUTRICIONALES



*Leaf chlorophyll and carotenoid content*

*Zarco-Tejada et al. (2013)*

## PREDICCIÓN DE COSECHAS



Cosecha (t/ha)

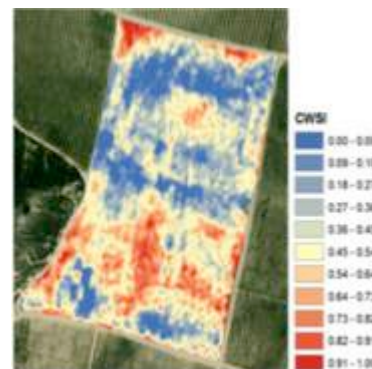


Cosecha Estim. (t/ha)



*Arnó et al. (2009)*

## MANEJO DEL RIEGO



*Bellvert et al. (2012)*

## **Oil palm pest infestation monitoring and evaluation by helicopter-mounted, low altitude remote sensing platform**

American Journal of Applied Sciences 6 (6): 1031-1035, 2009

ISSN 1546-9239

© 2009 Science Publications

### **Hyperspectral Imagery for Mapping Disease Infection in Oil Palm Plantation Using Vegetation Indices and Red Edge Techniques**

## **Estimating primary productivity of tropical oil palm in Malaysia using remote sensing technique and ancillary data**

K.D. Kanniah<sup>\*a</sup>, K.P. Tan<sup>a</sup>, A.P. Cracknell<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Geoinformation, Faculty of Geoinformation and Real Estate, Universiti Teknologi Malaysia, 81310, Skudai, Johor, Malaysia; <sup>b</sup> Division of Electronic Engineering and Physics, University of Dundee, Dundee DDI 4HN, Scotland, UK.

# Que plataforma aérea es la mejor en agricultura?

Satélites



Avionetas Tripuladas



Drones (UAS)



Resolución **ESPACIAL**

Resolución **ESPECTRAL**

Resolución **TEMPORAL**

# Plataformas aéreas



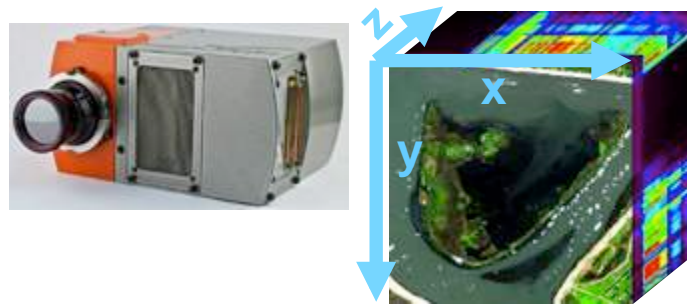


# Sensores

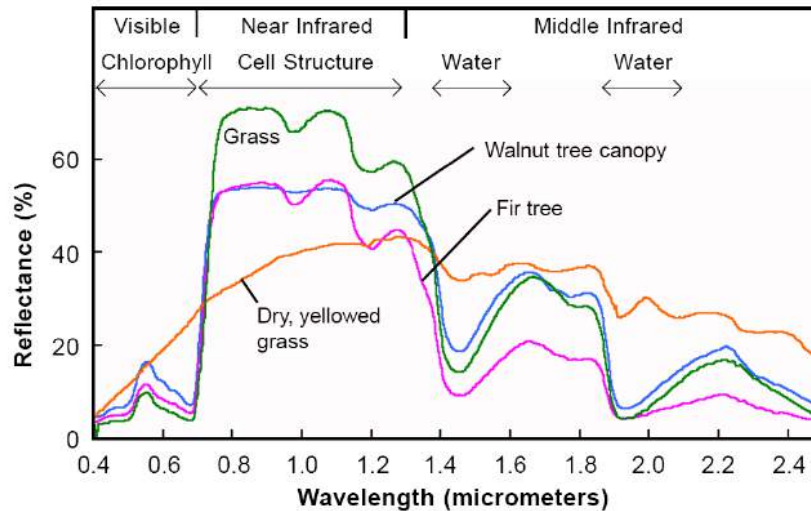
Multiespectral



Hyperspectral



Térmico





# Índices obtenidos con sensores Multi / Hiper-espectrales

**Table 2**  
Narrow-band hyperspectral optical indices used in this study.

Index	Equation	Reference
<b>Chlorophyll indices</b>		
Vogelmann (VOG)	$VOG = R_{740}/R_{720}$	Vogelmann et al. (1993)
Red edge R750/R710	$R_{750}/R_{710}$	Zarco-Tejada et al. (2001)
TCARI	$TCARI = 3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700}/R_{670})]$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	$TCARI/OSAVI = [3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700}/R_{670})]] / [(1 + 0.16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)]$	Haboudane et al. (2002)
TVI	$TVI = 0.5 \cdot [120 \cdot (R_{750} - R_{550}) - 200 \cdot (R_{670} - R_{550})]$	Broge and Leblanc (2000)
<b>Xanthophyll indices</b>		
PRI <sub>570</sub>	$PRI_{570} = (R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$	Gamon et al. (1992)
PRI <sub>515</sub>	$PRI_{515} = (R_{515} - R_{531}) / (R_{515} + R_{531})$	Hernández-Clemente et al. (2011)
<b>Blue/green/red ratio indices</b>		
G	$G = R_{550}/R_{670}$	-
BGI <sub>1</sub>	$BGI_1 = R_{400}/R_{550}$	Zarco-Tejada et al. (2005, 2012)
BGI <sub>2</sub>	$BGI_2 = R_{450}/R_{550}$	
<b>Structural indices</b>		
NDVI	$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Rouse et al. (1974)
RDVI	$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})^{0.5}$	Rougean and Breon (1995)
EVI	$EVI = 2.5 \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + 6 \cdot R_{670} - 7.5 \cdot R_{400} + 1)$	Huete et al. (2002)
MTVI1	$MTVI1 = 1.2 \cdot [1.2 \cdot (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \cdot (R_{670} - R_{550})]$	Based on Broge & Leblanc (2000) and Haboudane et al. (2004)
MCARI2	$MCARI2 = \frac{1.5 \cdot [2.5 \cdot (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \cdot (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \cdot R_{400} + 1)^2 - (6 \cdot R_{400} - 5 \cdot \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al. (2004)
<b>Fluorescence retrieval</b>		
FLD2 (750; 762)	FLD method using 1 reference band	Plascyk and Gabriel (1975),
FLD3 (750; 762; 780)	FLD method using 2 reference bands	Moya et al. (2004)

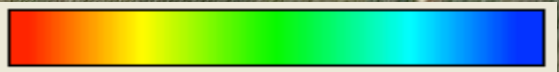


Manejo de la Variabilidad?

Clamor Baixa



*Bajo* NDVI *Alto*

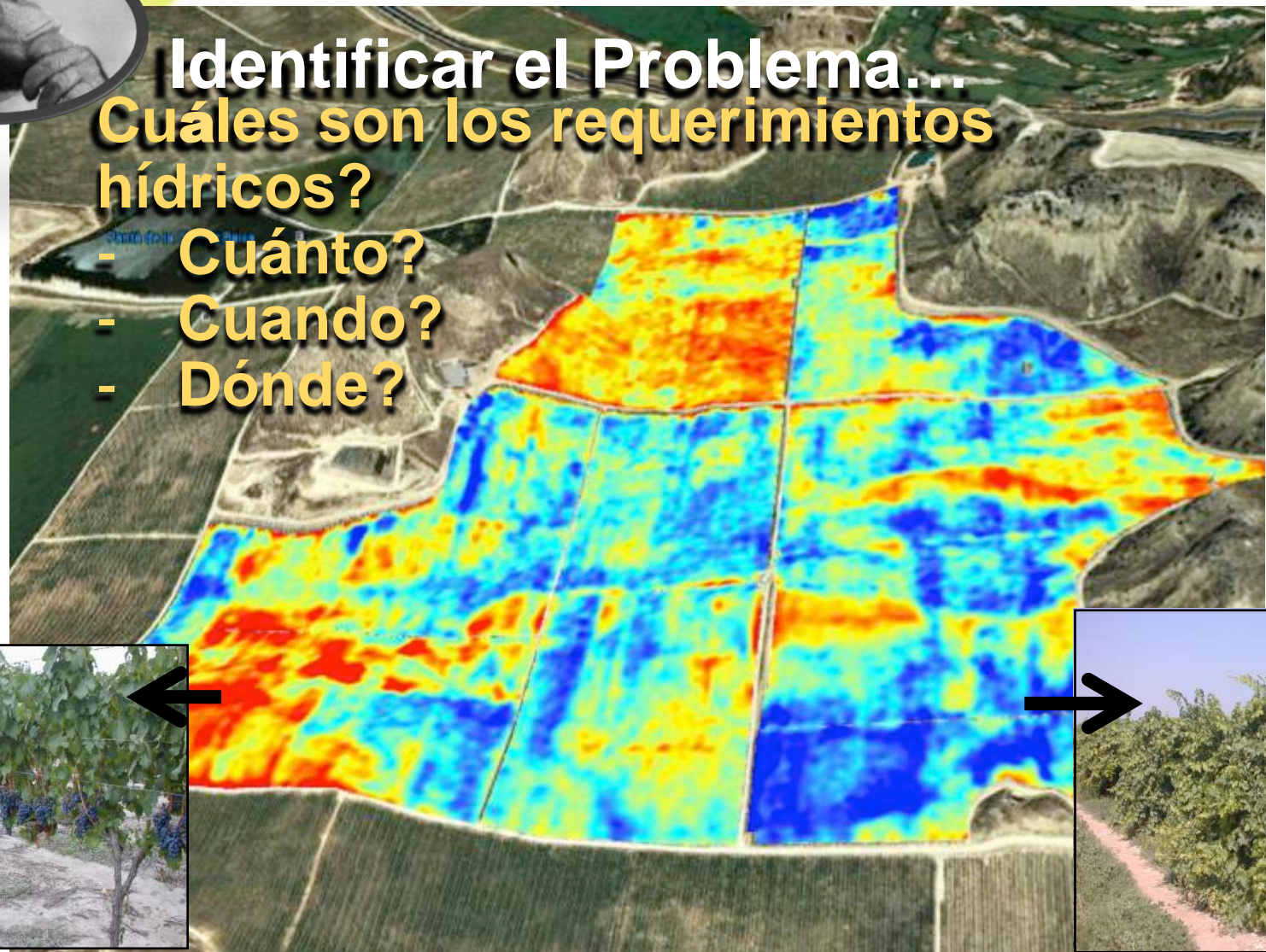




# Identificar el Problema...

## Cuáles son los requerimientos hídricos?

- Cuánto?
- Cuando?
- Dónde?



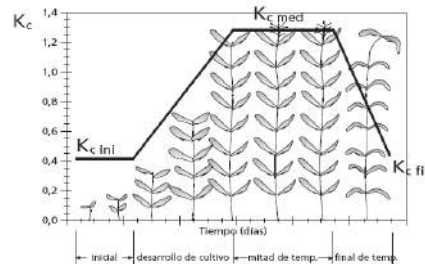
# Cálculo de las Necesidades hídricas del cultivo

$$ET_c = ETo \times K_c$$



**ETo**

Estación meteorológica



**Kc**

Coeficiente de cultivo

*Kc Palma de aceite = 0.9 – 1.0*

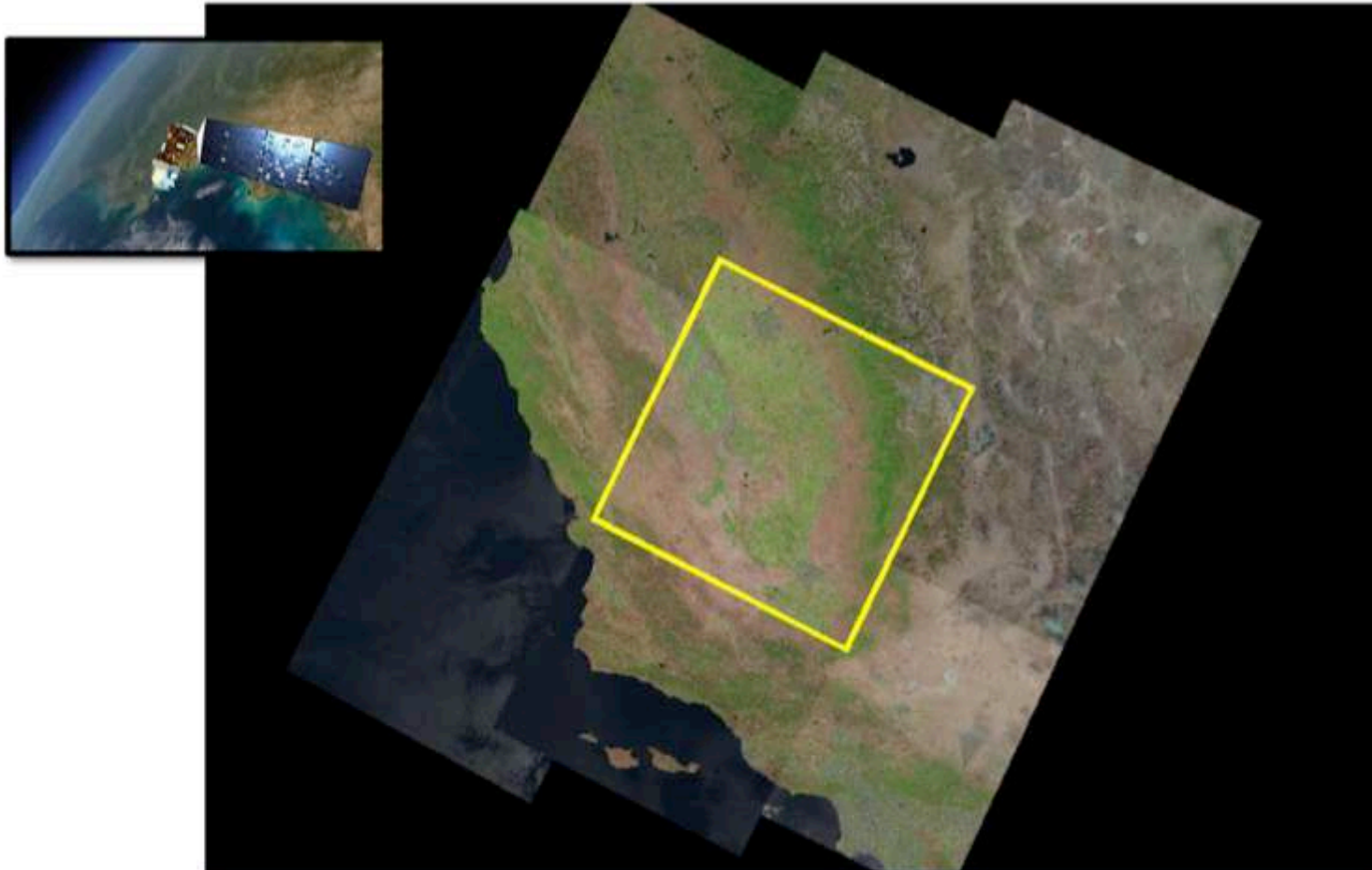
## ***Palma de aceite (Colombia)***

**Zona Norte:** ETo = 7 mm/día  
 7 mm x 0.9 = 6.3 mm/día  
 Precip. Promedio = 2.6 mm/día  
 NR = 6.3 – 2.6 = **3.7 mm/día**

**Zona Tumaco:** ETo = 5 mm/día  
 5 mm x 0.9 = 4.5 mm/día  
 Precip. Promedio = 9.5 mm/día  
 NR = **no riego**

## Adoptar Estrategias de ***Riego Deficitario Controlado (RDC)***

- *Sensibilidad Estacional al Estrés hídrico*
- *Indicadores del Estado Hidrico*



30 m de resolución, adquisición cada 8 días

# NDVI close-up



TOPS Satellite Irrigation Management Support

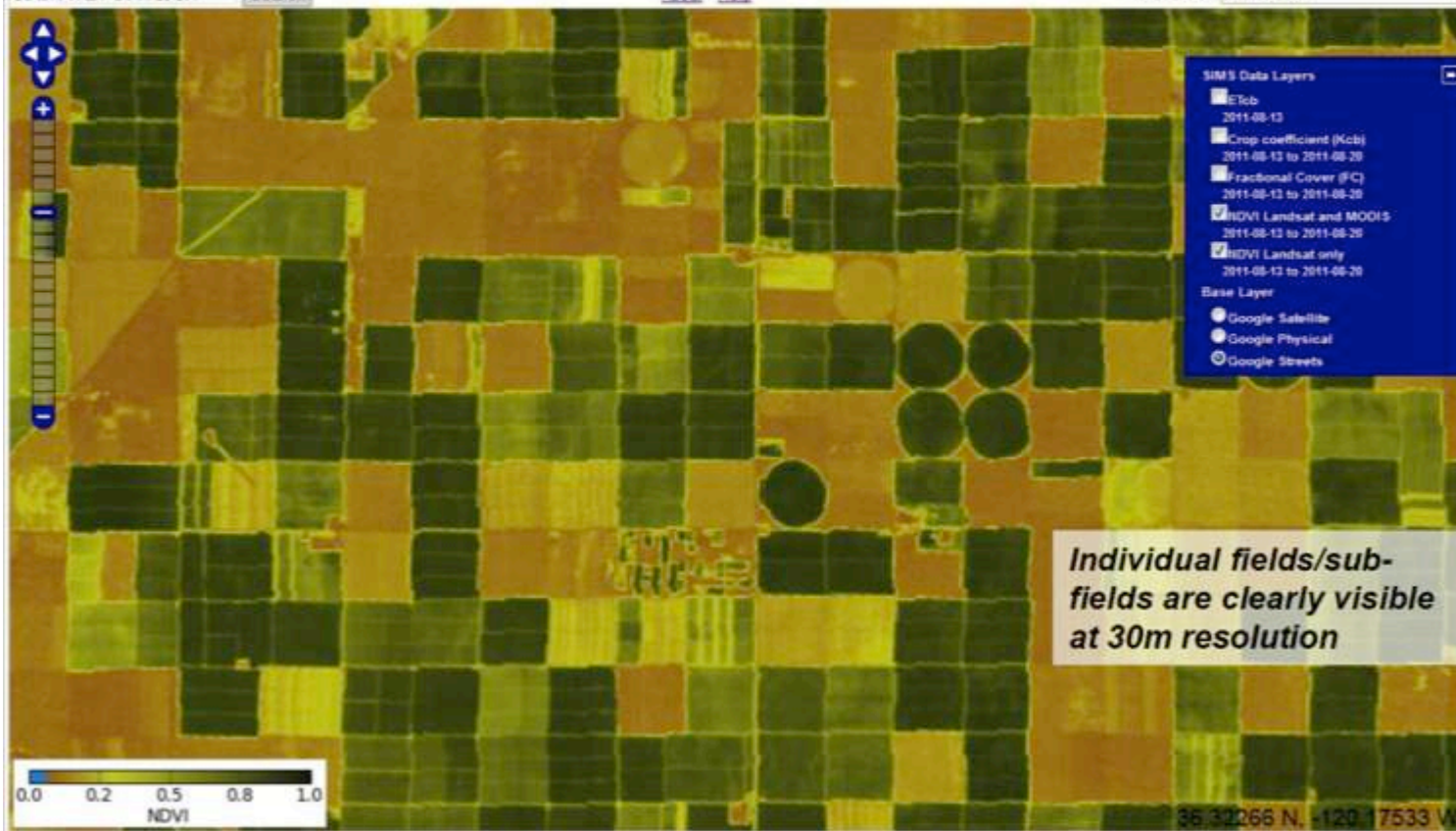
Username: Password: Login

Go to: FIVE POINTS, CA

Search

About Help

Select Date: 2011-08-13



# Crop coefficient (basal)

TOPS Satellite Irrigation Management Support

Username: \_\_\_\_\_ Password: \_\_\_\_\_ Login

Go to: five points, ca Search About Help Selected Date: 2014-08-20

2014-08-20: 36.3606629327, -120.027330271						
	current value	2010 history	2011 history	2012 history	2013 history	2014 history
ndvi	0.758801	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>
ndvi_CF	0.758801	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>
Fc	0.775838	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>
Kcb	1.03416	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>
ETCb	0.259652	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>	<a href="#">graph csv</a>
cropType	cotton					

2014 Crop coefficient (Kcb) - 36.361N, 120.027W

Date Range	Crop coefficient (Kcb)
2014-01-01 to 2014-01-31	0.20
2014-02-01 to 2014-02-28	0.20
2014-03-01 to 2014-03-31	0.20
2014-04-01 to 2014-04-30	0.20
2014-05-01 to 2014-05-31	0.20
2014-06-01 to 2014-06-30	0.20
2014-07-01 to 2014-07-31	0.20
2014-08-01 to 2014-08-31	0.20
2014-09-01 to 2014-09-30	0.20
2014-10-01 to 2014-10-31	0.20
2014-11-01 to 2014-11-30	0.20
2014-12-01 to 2014-12-31	0.20

0.0 0.4 0.8 1.2 Kcb

36.2010 N, -120.0031 W

# Daily crop ET (basal)



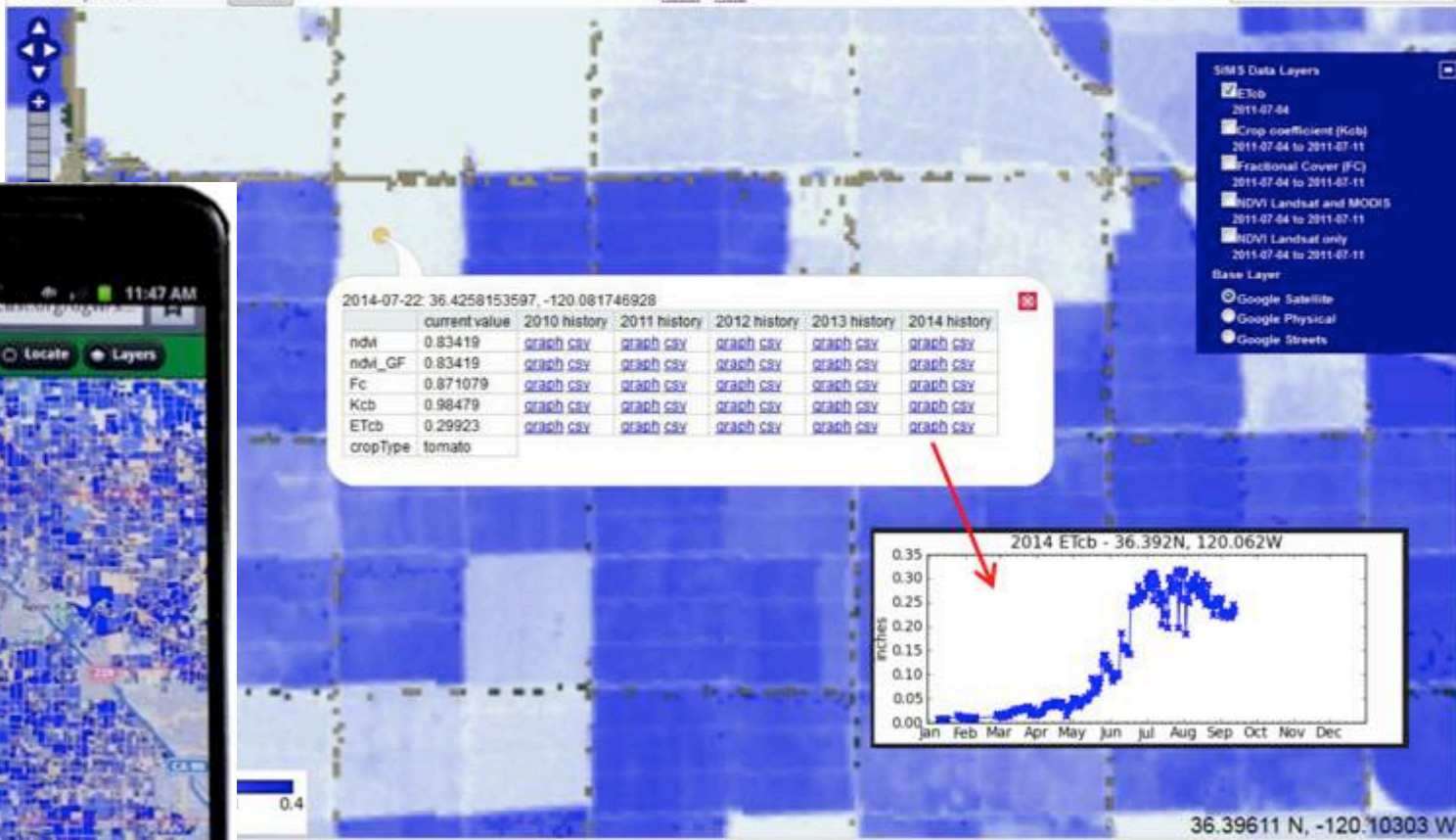
TOPS Satellite Irrigation Management Support

Username:  Password:  Login

Go to: five points, ca

[About](#) [Help](#)

Select Date: 2011-07-04





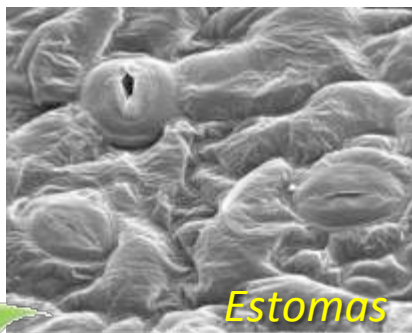
# Indicadores del estado hídrico

Potencial hídrico de hoja / tallo ( $\Psi_{\text{hoja/tallo}}$ )



# Temperatura de la hoja como indicador del estado hídrico

Transpiración



$-\Psi_{\text{hoja}}$



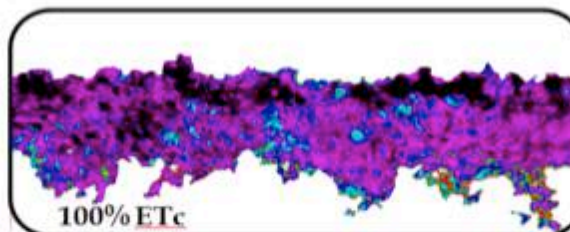
- **Estrés hídrico**
- **Cierre estomático**
- **Disminución Transpiración**
- **Disminución Fotosíntesis**

**Aumento Temperatura hoja**

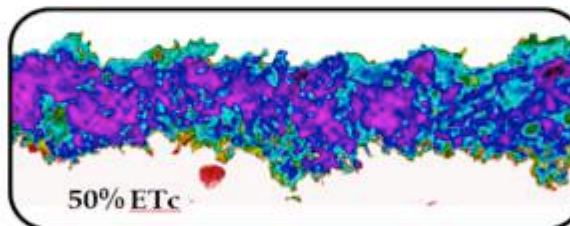
# Nuevas aplicaciones para mejorar el manejo del estrés hídrico a escala de lote



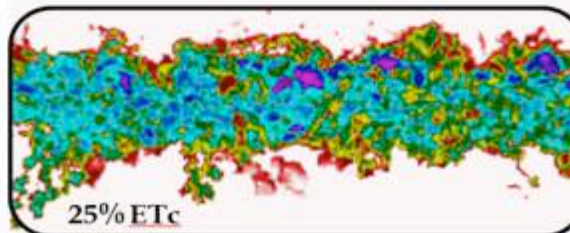
Temp aire:  
25.0 °C



*Avg Temp: 24.3 °C*



*Avg Temp: 27.2 °C*



*Avg Temp: 30.8 °C*

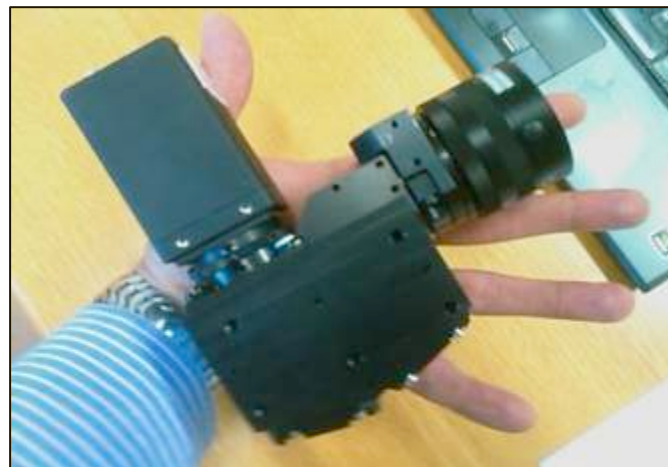


XVIII  
Conferencia  
Internacional sobre

PALMA  
DE ACEITE

22 al 25 de septiembre de 2015

# Vehículos aéreos no tripulados (UAV)



**Quantalab**

IAS-CSIC. Córdoba

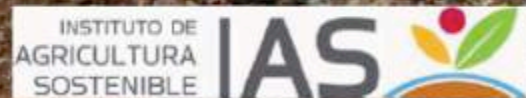
<http://quantalab.ias.csic.es>



XVIII  
Conferencia  
Internacional sobre

**PALMA  
DE ACEITE**

18th International Oil Palm Conference





## ***Sensor Térmico - FLIR SC-655***

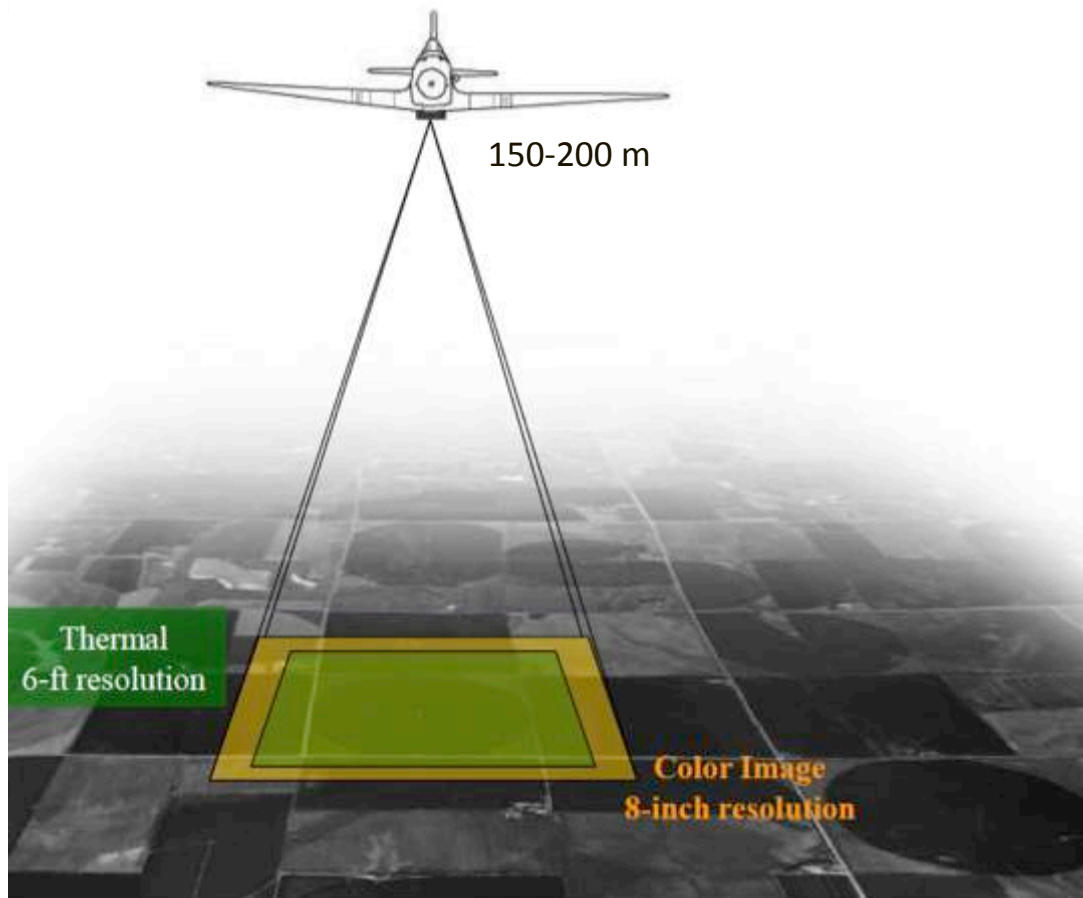
<b>Field of view (FOV)</b>	45º
<b>Spectral range</b>	7.5-13 $\mu\text{m}$
<b>IR resolution</b>	640 x 480 pixels
<b>Detector pitch</b>	17 $\mu\text{m}$



## Planificación de vuelos

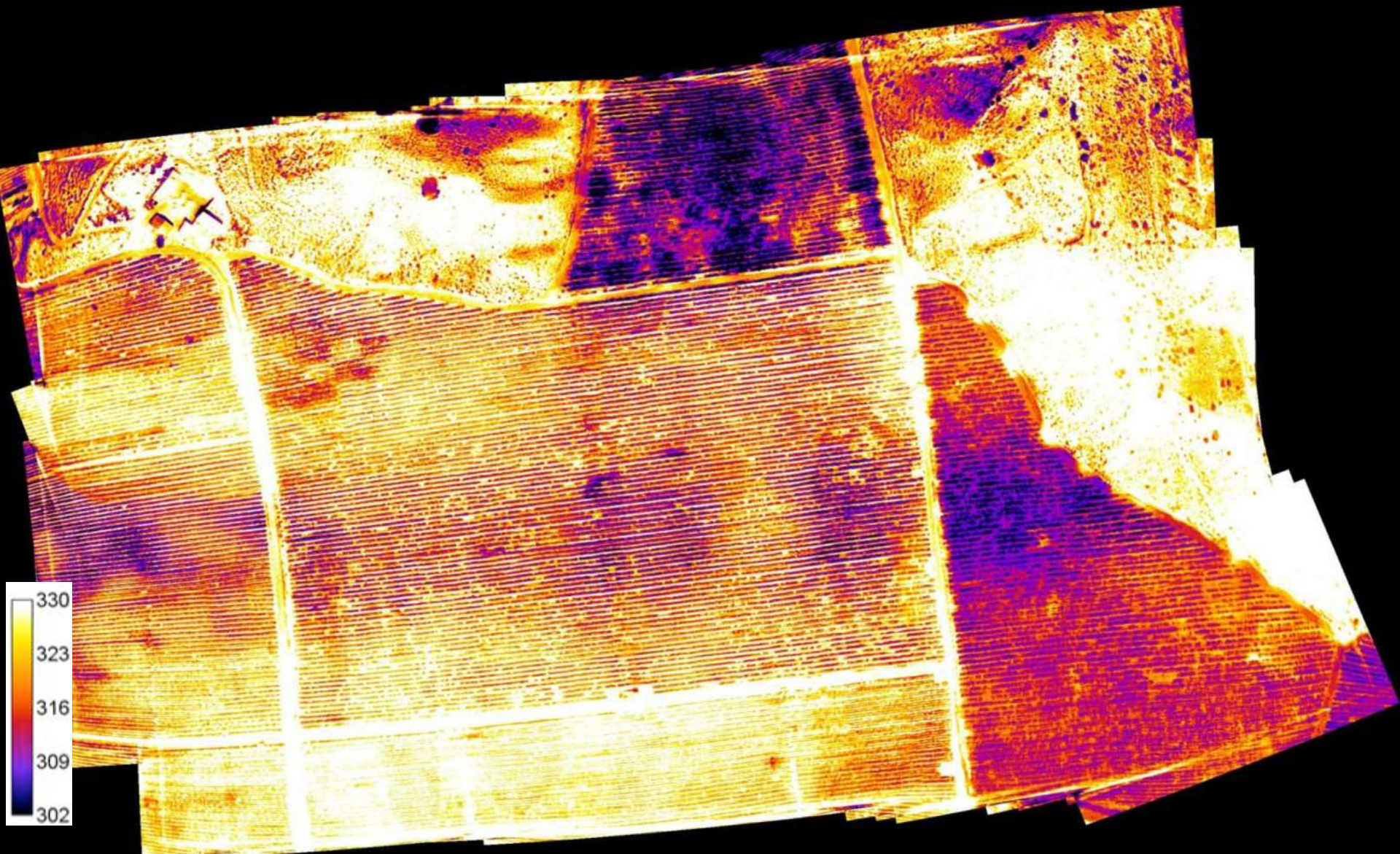


## Adquisición imágenes



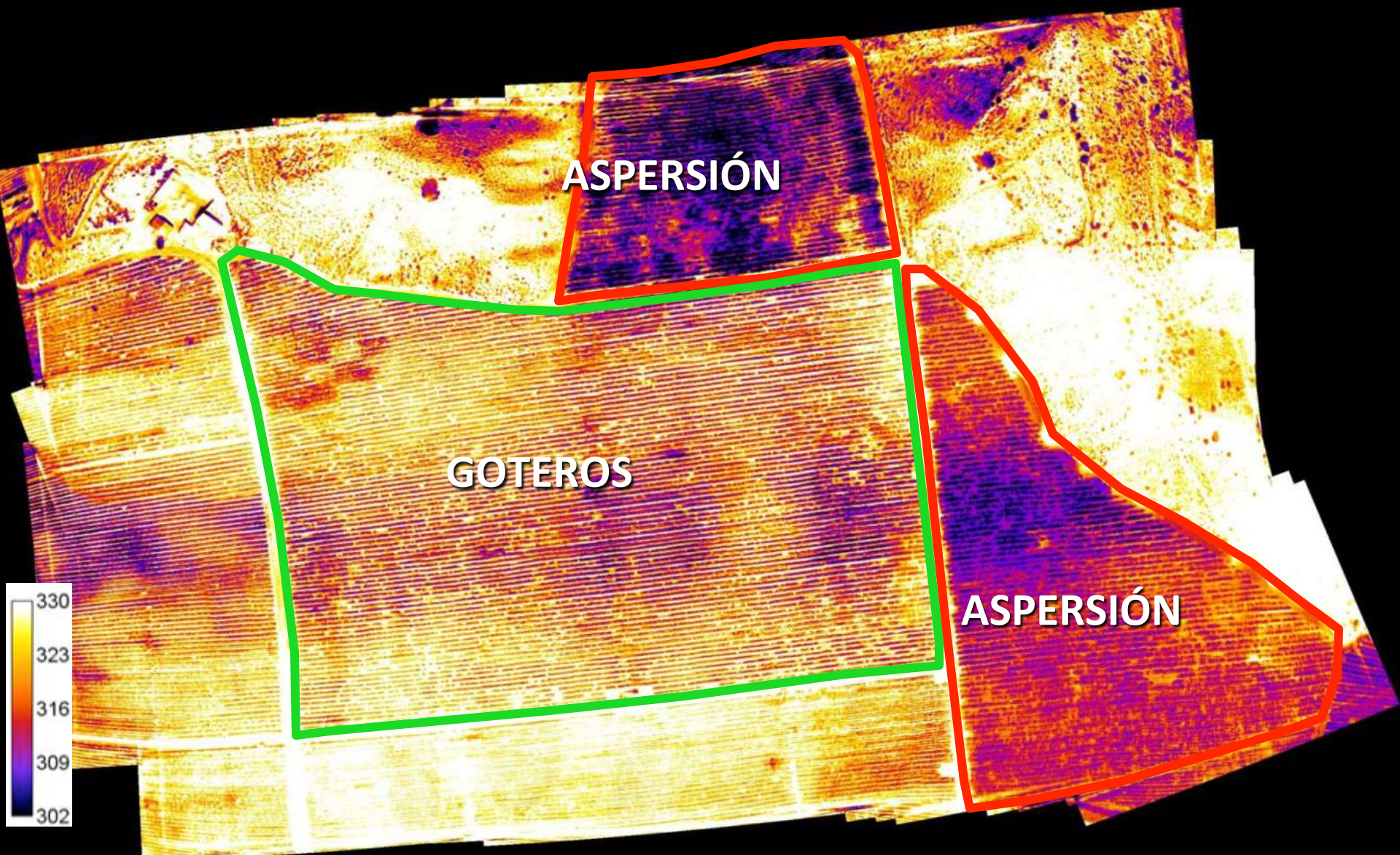
*Diferentes resoluciones espaciales (tamaño de píxel) dependen de la cámara*

**Ejemplo de un mosaico térmico de viña de 25-ha, obtenido con un vehículo aéreo no tripulado. Julio 2009, Raimat (Lleida)**





**Ejemplo de un mosaico térmico de viña de 25-ha, obtenido con un vehículo aéreo no tripulado. Julio 2009, Raimat (Lleida)**

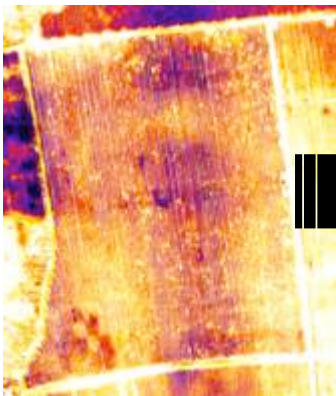


# Crop Water Stress Index

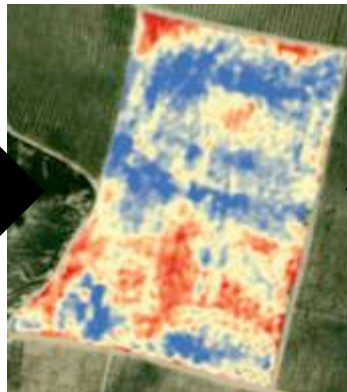
$$CWSI = \frac{(Tc - Ta) - (Tc - Ta)_{LL}}{(Tc - Ta)_{UL} - (Tc - Ta)_{LL}}$$

*Idso et al. (1981)*

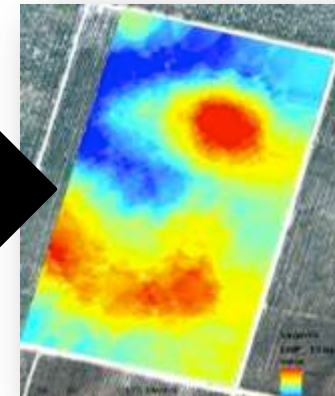
**Mosaicos Térmicos**

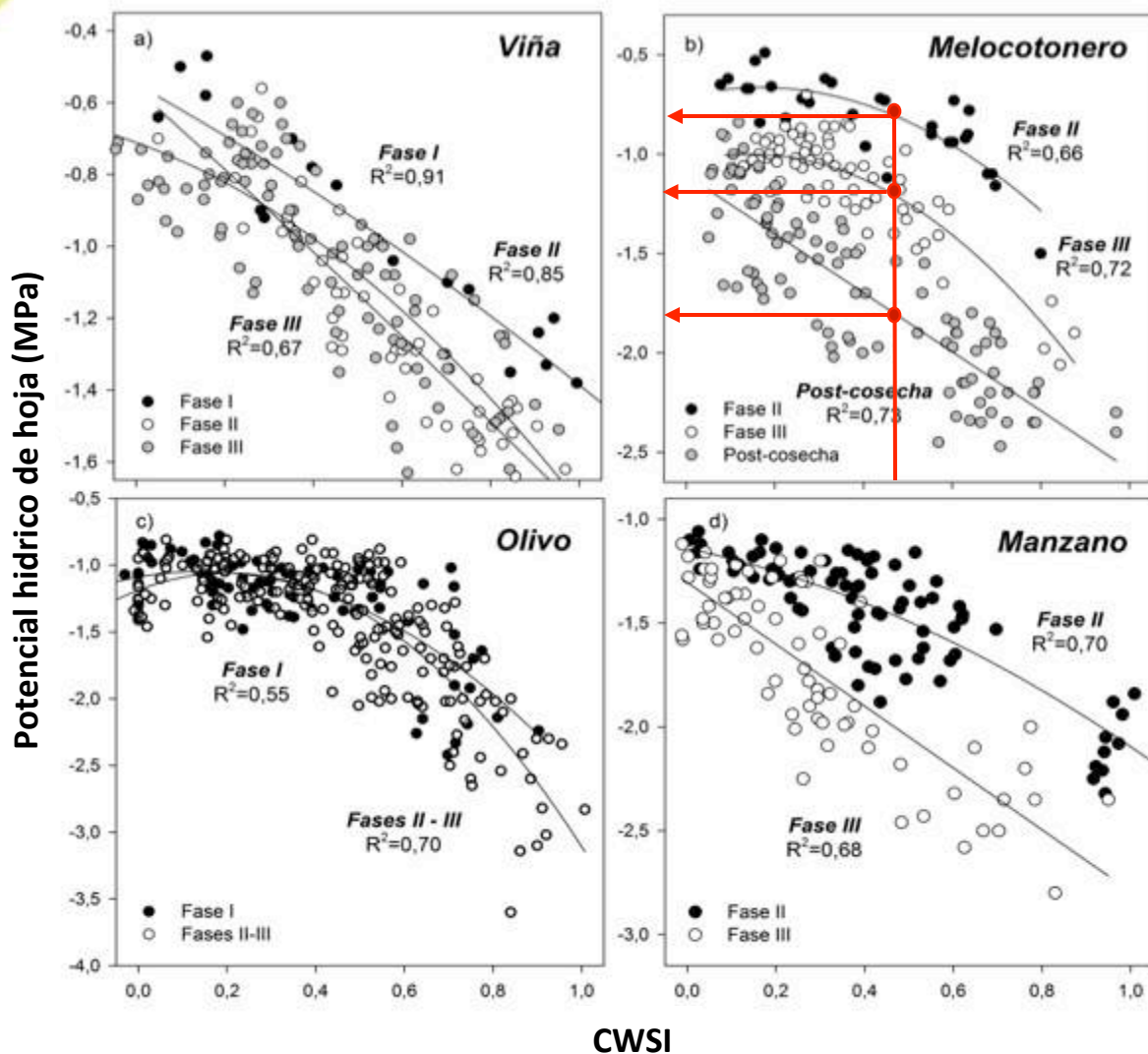


**Mapas de CWSI**

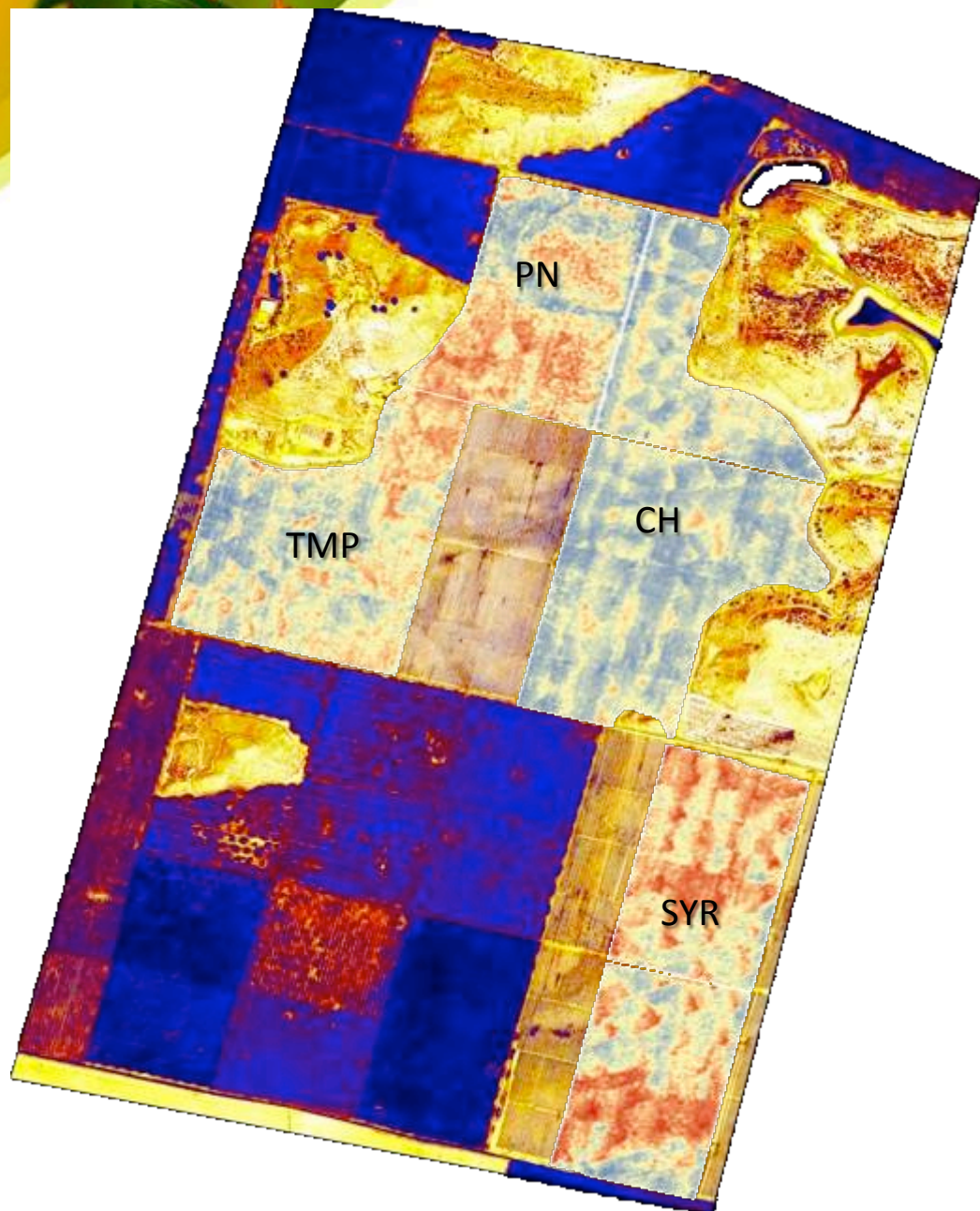


**Mapas de  $\psi_{hoja}$**





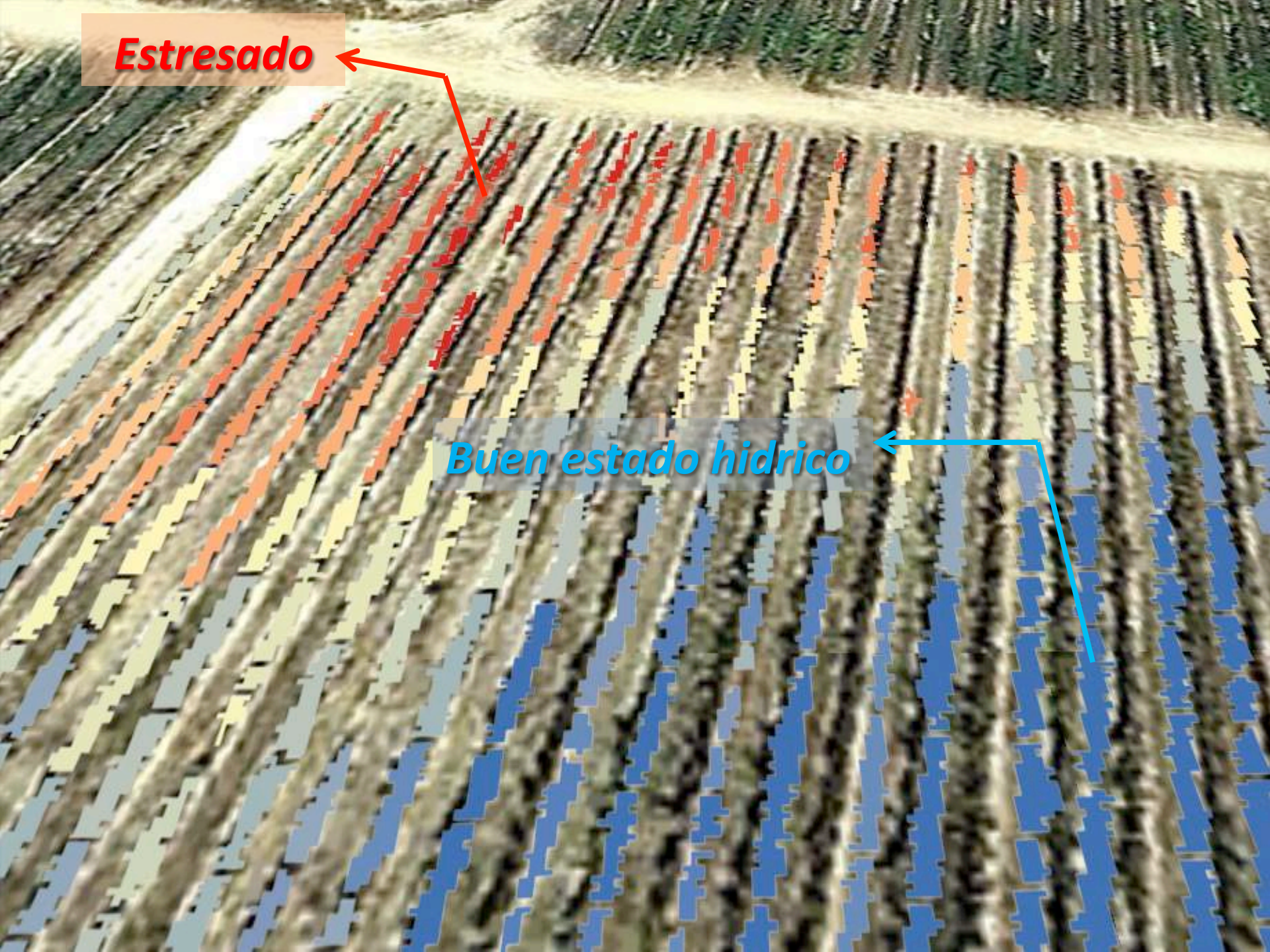
## Conversión De Mapas de CWSI a $\Psi_{hoja}$



CWSI	$\Psi_{hoja}$ (MPa)
0,38	-1,50
0,39 - 0,46	-1,49 - -1,40
0,47 - 0,53	-1,39 - -1,32
0,54 - 0,55	-1,31 - -1,22
0,56 - 0,57	-1,21 - -1,13
0,58 - 0,60	-1,12 - -1,03
0,61 - 0,67	-1,02 - -0,94
0,68 - 0,70	-0,93 - -0,85
0,71 - 0,72	-0,84 - -0,76
0,73 - 0,76	-0,75 - -0,67
0,77 - 0,79	-0,66 - -0,58
0,80 - 0,82	-0,57 - -0,50
0,83 - 0,84	
0,85 - 0,88	
0,89 - 0,91	
0,92 - 0,93	
0,94 - 0,97	
0,98 - 1,00	
1,01 - 1,08	
1,09 - 1,15	

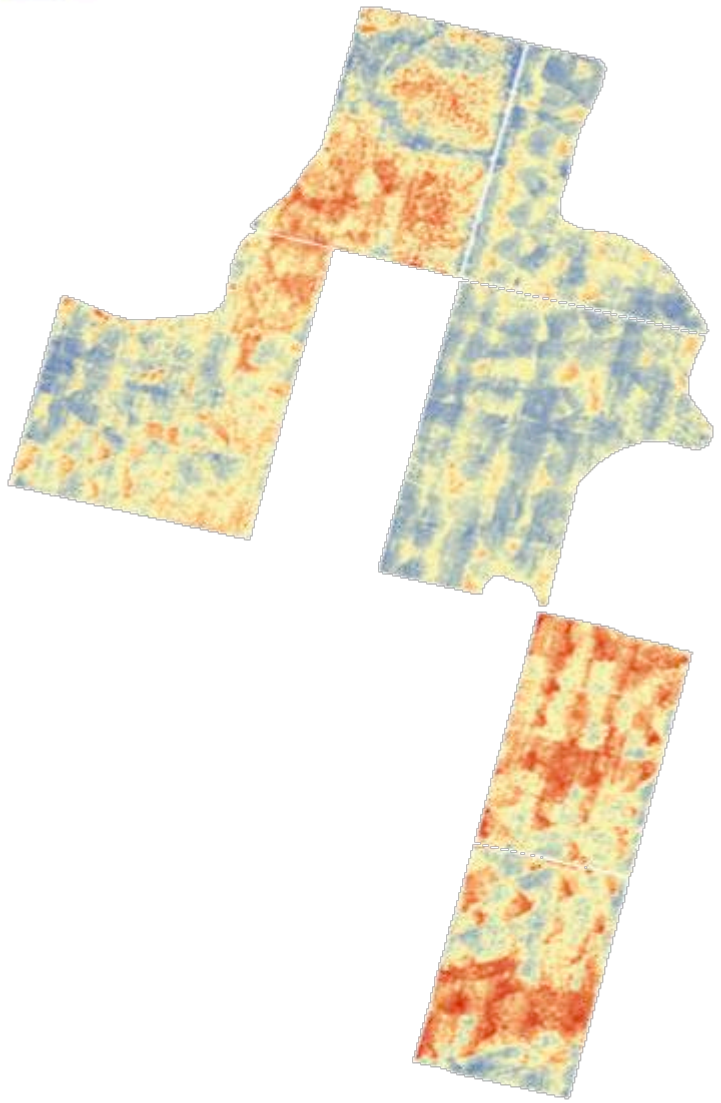
**Estresado**

**Buen estado hidrico**

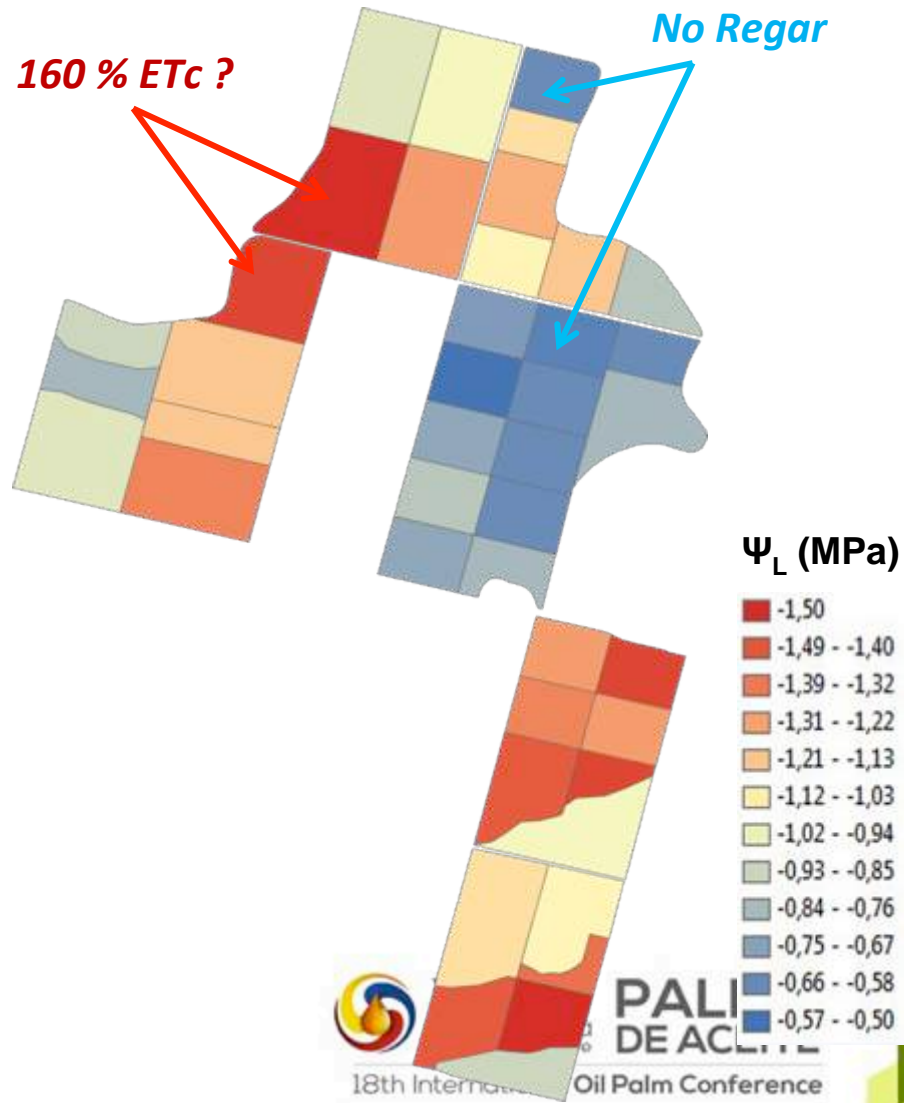




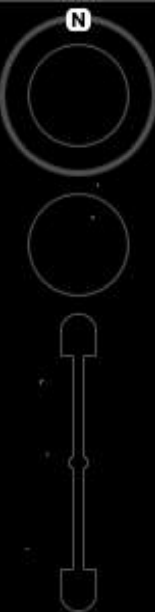
## Mapas de $\psi_{leaf}$ a nivel de arbol



## Mapas de $\psi_{leaf}$ a nivel de sector de riego



22 al 25 de septiembre de 2015



 Capture screen now

© 2010 Google  
© 2010 Tele Atlas  
US Dept of State Geographer  
© 2010 Europa Technologies

©2010 Google

27°48'07.52" N 2°50'43.53" E elev. 397 m

Alt. oio 25245.85 km 





C-2

C-1

Fue

Click here to view full screen now

Image © 2010 DigitalGlobe  
© 2010 Tele Atlas

# BLOQUE

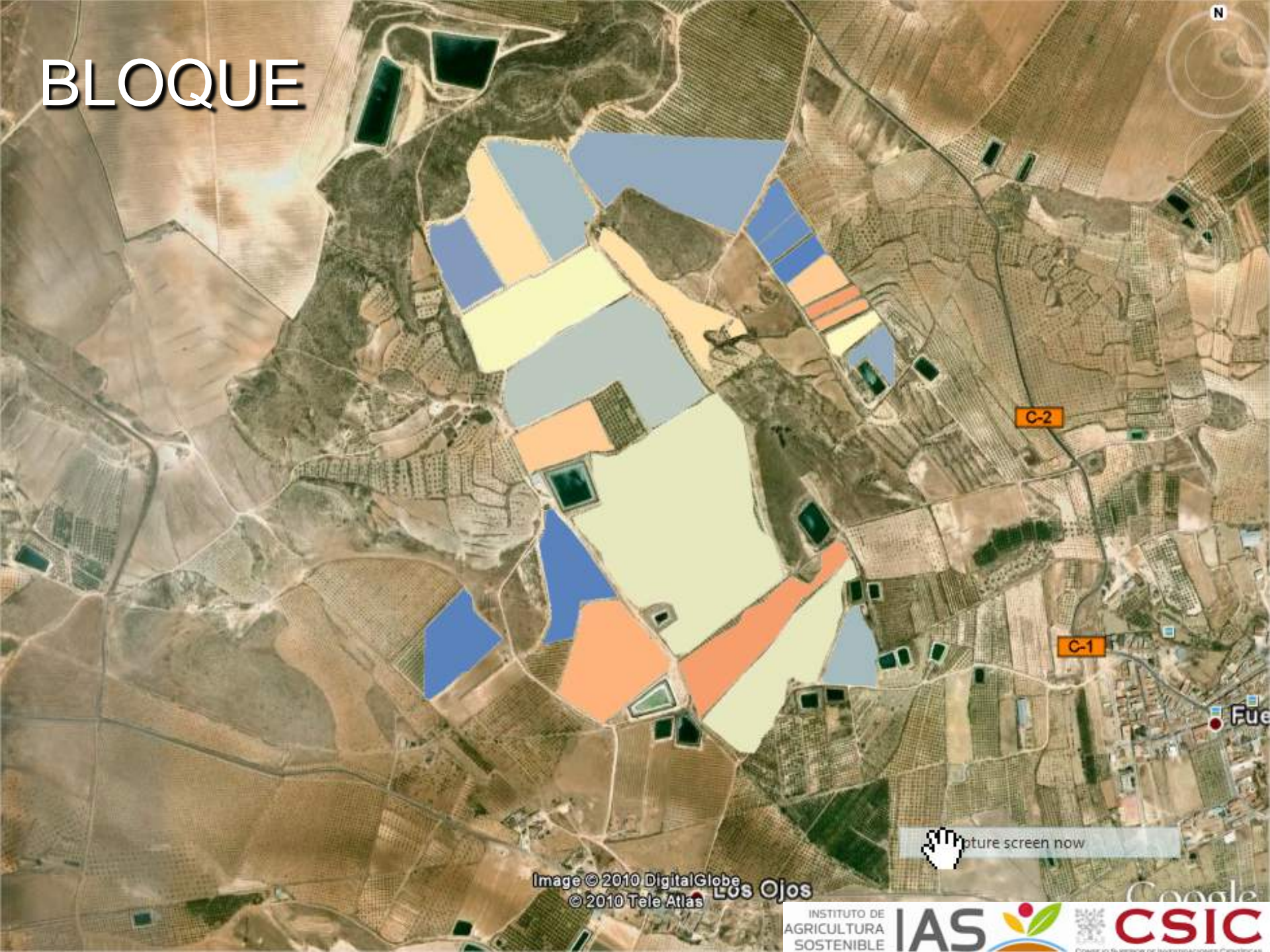


Image © 2010 DigitalGlobe  
© 2010 Tele Atlas

Los Ojos

INSTITUTO DE  
AGRICULTURA  
SOSTENIBLE

IAS



CSIC

Capture screen now

# VARIABILIDAD INTRA-BLOQUE

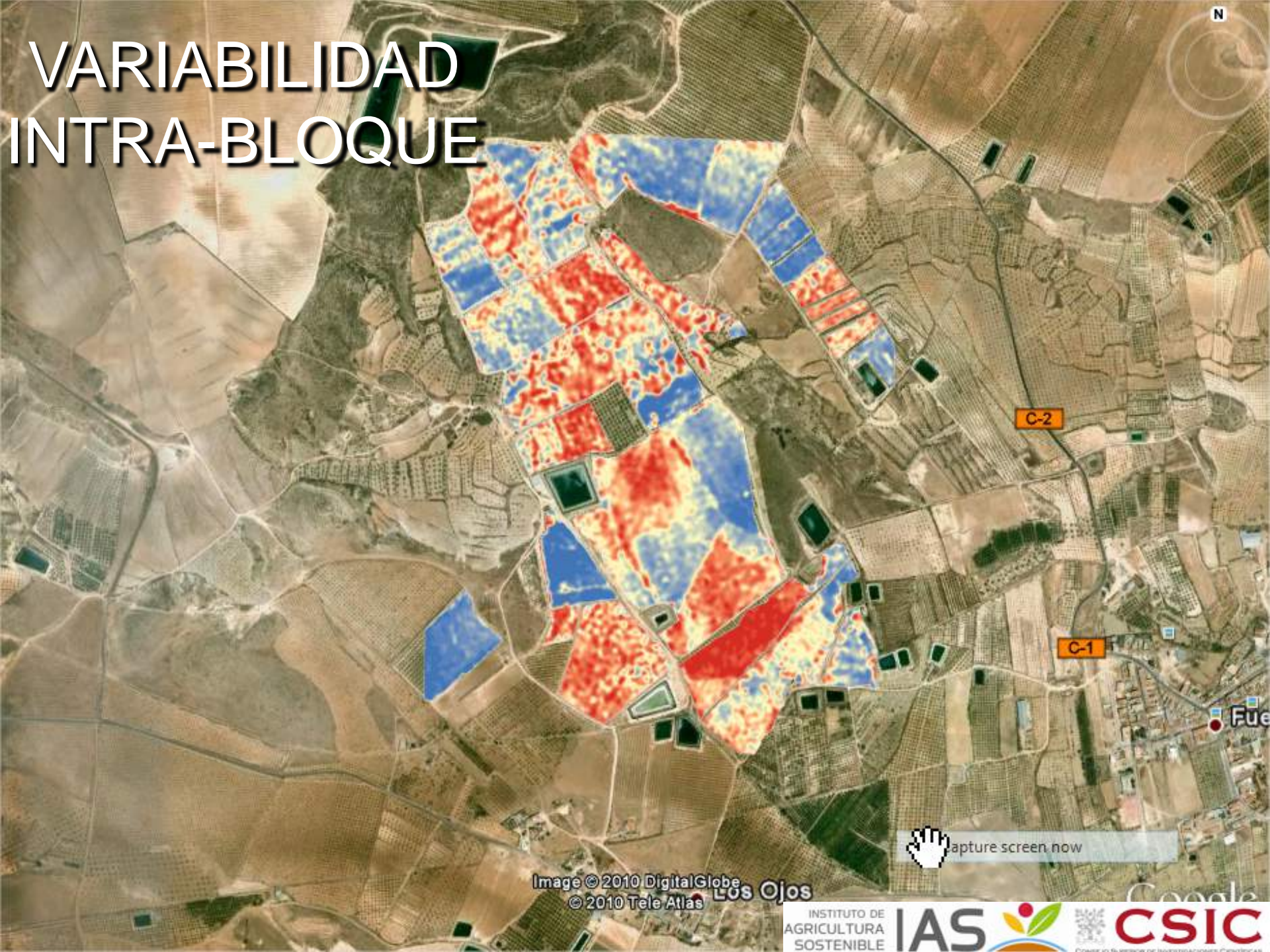
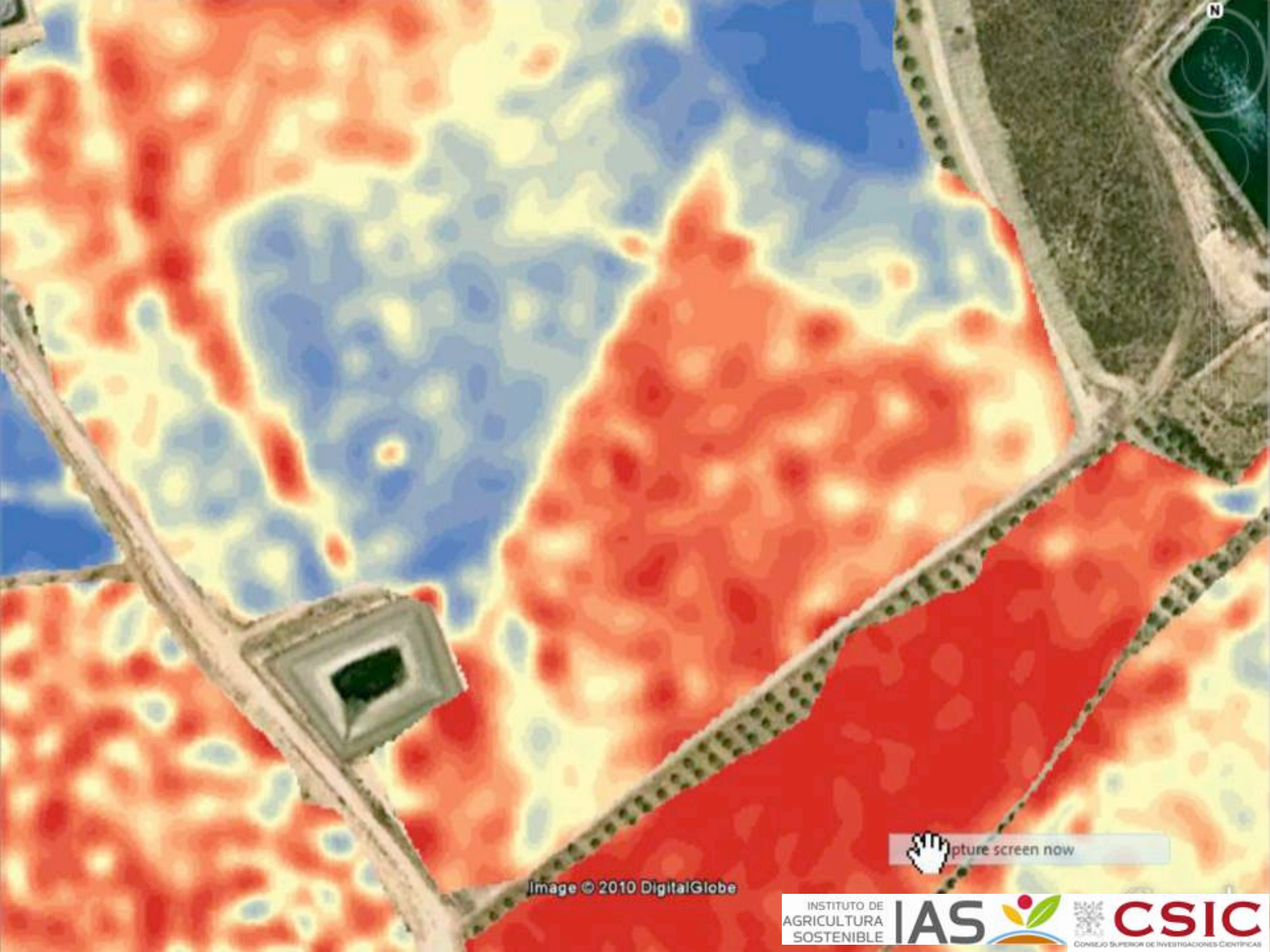


Image © 2010 DigitalGlobe  
© 2010 Tele Atlas Los Ojos

capture screen now


INSTITUTO DE  
AGRICULTURA  
SOSTENIBLE





N

Image © 2010 DigitalGlobe

 [capture screen now](#)


INSTITUTO DE  
AGRICULTURA  
SOSTENIBLE



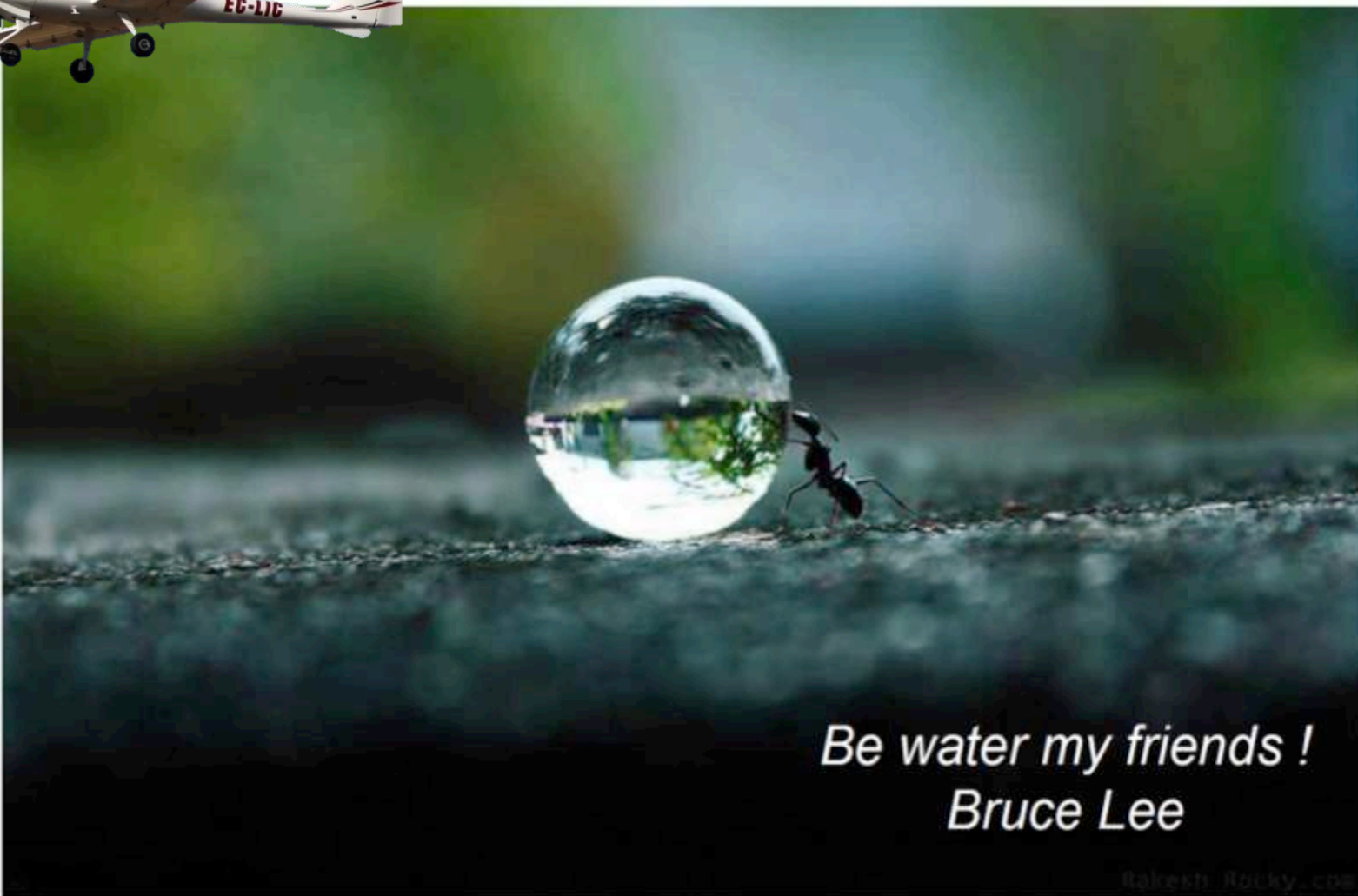
# Mapas de potencial hídrico estimado



Image © 2010 DigitalGlobe

- 
- **Actualmente, en España (zona de Lleida) estamos sobrevolando 1500 ha/día.**
  - **El agricultor dispone de sus mapas de estado hídrico y recomendaciones de riego 48 horas después de adquirir las imágenes.**
  - **Sin embargo, es cierto que hay algunas limitaciones (VPD y radiaciones bajas, resolución espacial ...) y se necesita continuar investigando ...**
  - **Abiertos a colaborar.** Es posible aplicar esta tecnología en Palma de Aceite?

22 al 25 de septiembre de 2015



Dr. Joaquim Bellvert  
[joaquim.bellvert@irta.es](mailto:joaquim.bellvert@irta.es)