

Agricultura de precisió amb els sensors de l'ICC

Luca Pípia - luca.pipia@icc.cat



Agricultura de Precisió

- Introducció
- Sensors Hiperespectrals ICC
- Mapes Tèrmics de conreus(TASI)
- Mapes Tèrmics d'alta resolució (TASI+DMC)
- Evapotranspiració i Estrés Hídric (TASI+CASI)
- Fertilització de conreus(CASI)
- Conclusions

Introducció

Agricultura de Precisió

Analitza la *variabilitat espacial* de parcel·les agrícoles amb tecnologies de posicionament global, sensors, imatges satel·litals o aerees i Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) i dona informació útil sobre la sembra i la fertilitació òptimes i la producció esperada.

Consell de Reg

Caracteritza l'estat hídric dels conreus i hi detecta possibles condicions d'estrès a solucionar per optimitzar-ne la productivitat (quantitat i qualitat).

Fertilització

Satisfà les necessitats nutricionals dels conreus mitjançant aportacions orgàniques/minerals que complementen el que el sòl pot subministrar gracies a la seva fertilitat.

Sensors Hiperespectrals ICC

CASI 550



Característiques del Sensor CASI 550

Interval espectral (nm)	408 - 956 nm
Interval del mostreig (nm)	1,9 nm
Resolució espectral (FWHM, nm)	2,2 nm
FOV	40.4°
Número de bandes espectrals	288
Detectors del CCD	550
Relació senyal-soroll	600:1 (pic)
Rang dinàmic	14 bits

Avions ICC



Partenavia P68

C
T



Cessna Caravan

C
T

TASI 600



Característiques del Sensor TASI 600

Interval espectral (μm)	8.0 - 11.5 μm
Interval del mostreig (nm)	110 nm
Resolució espectral (FWHM, nm)	110 nm
FOV	40°
Número de bandes espectrals	32
Detectors del CCD	640
Rang dinàmic	14 bits



Beechcraft B200GT

C

Sensors

Hiperespectrals ICC

CASI 550



Paràmetres de vol segons el sensor CASI					
Avions ICC	Resolució espacial (m)	Amplada passada (m)	Altura del vol (m)	Bandes contigües	Bandes seleccionables
Partenavia P-68 i Cessna Caravan	0.5	275	378	16	12
	1	550	756	16	12
	1.5	825	1133	32	22
	2	1100	1511	36	27
Cessna Caravan i Beechcraft	5	2750	3778	96	30
	6	3300	4533	144	30
Beechcraft	7	3850	5289	144	30
	10	5500	7556	144	30
	12	6600	9067	144	30
	14	7700	10578	288	30

TASI 600



Avions ICC	Resolució espacial (m)	Amplada passada (m)	Altura del vol (m)
Partenavia/ Cessna Caravan	0.5	300	412
	1	600	824
	1.5	900	1236
	2	1200	1648
	3	1800	2473
	4	2400	3297
Cessna Caravan	5	3000	4121

Avions ICC



Partenavia P68

C
T



Cessna Caravan

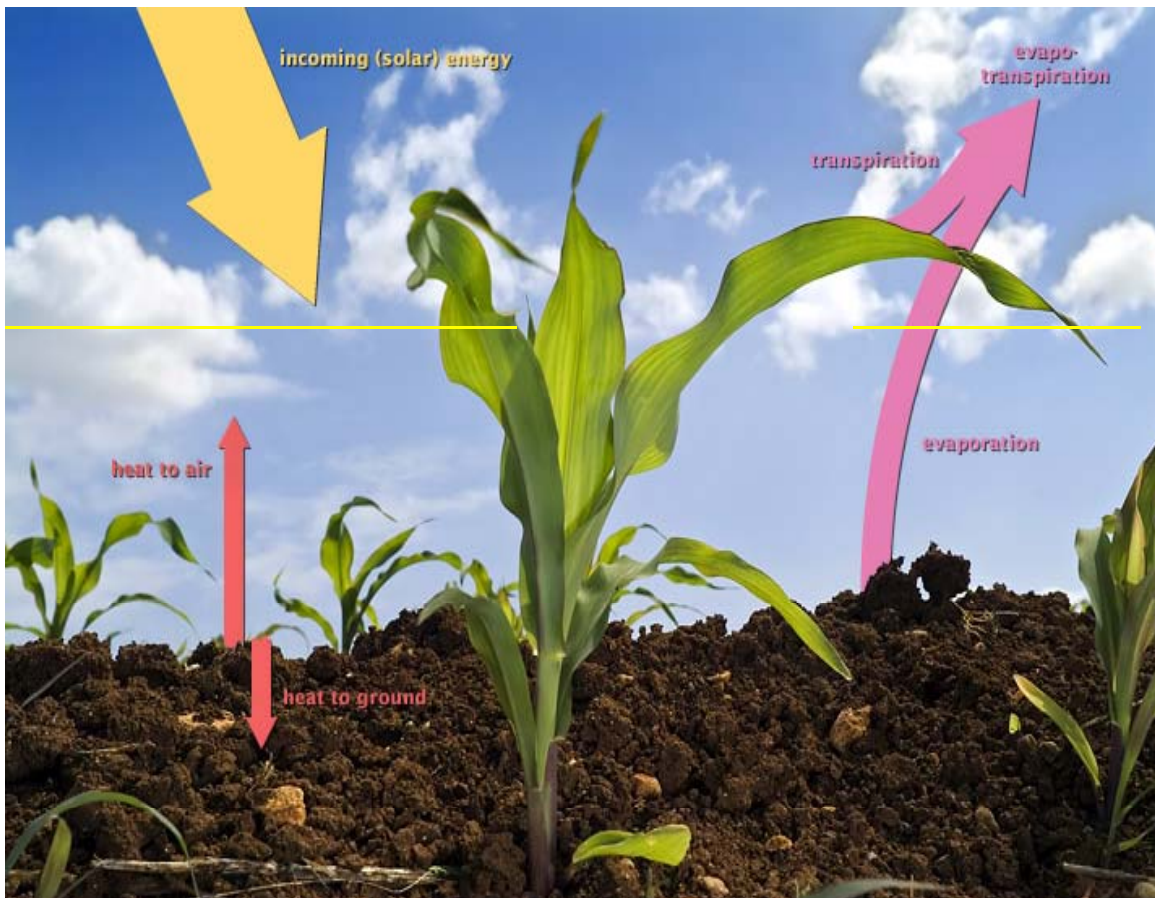
C
T



Beechcraft B200GT

C

Mapes Tèrmics de conreus (TASI)



Radiació Entrant

=

Fotosíntesi (F) $\approx 1\%$

+

Flux de calor sensible (H) : taxa de calor cedida a l'aire per convecció i conducció deguda a la diferència de temperatura

+

Flux de calor de sòl (G_0) : taxa de calor emmagatzemat al sòl i a la vegetació per conducció ($T, NDVI, R_n$)

+

Flux de calor latent (λE) : taxa de calor que la superfície perd per evaporació d'humitat del sòl i transpiració de la vegetació (Evapotranspiració)

Model Físic $R_n = H - G_0 + \lambda E + F$

Mapes Tèrmics de conreus (TASI)

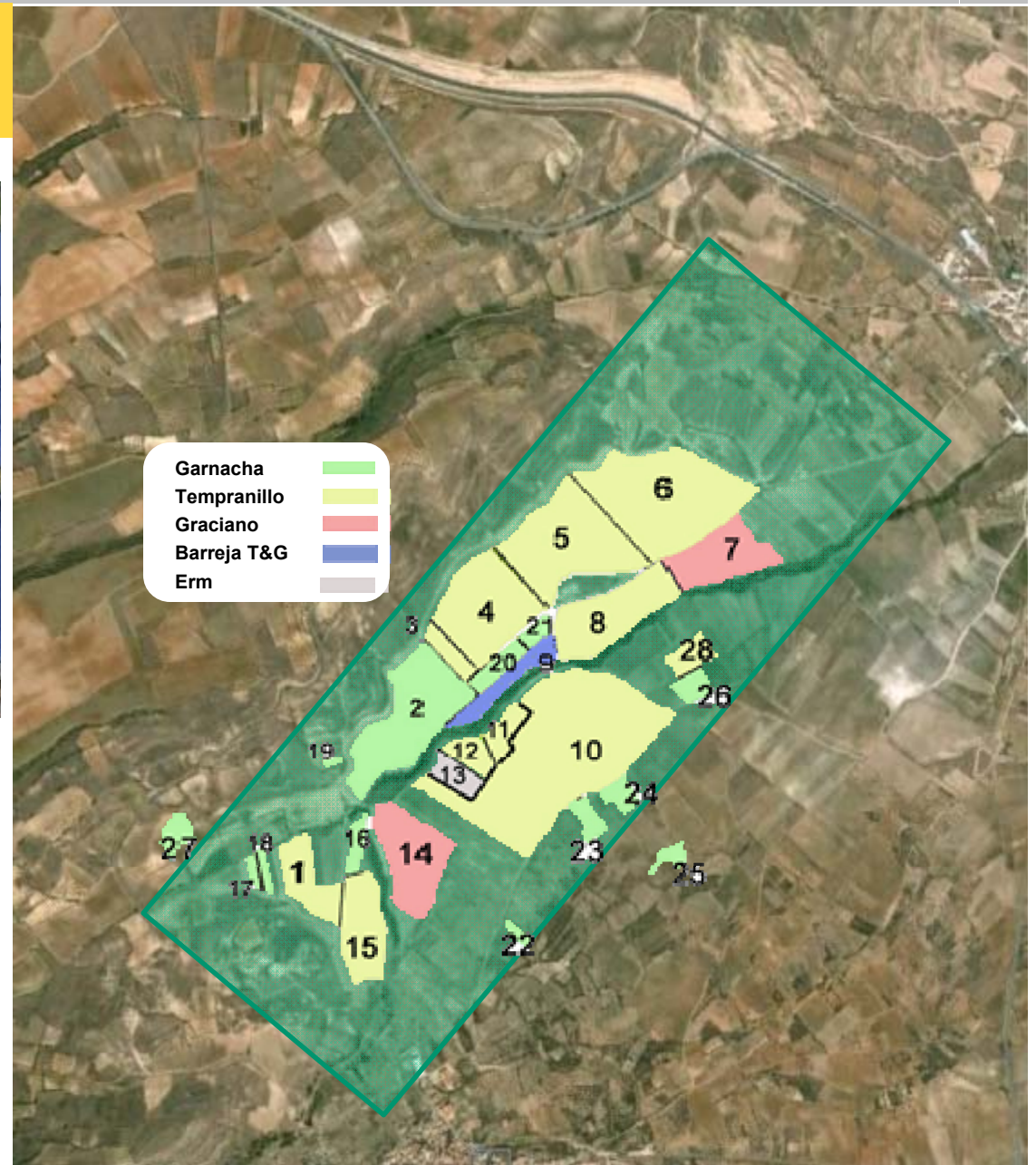


Tudelilla (Rioja)

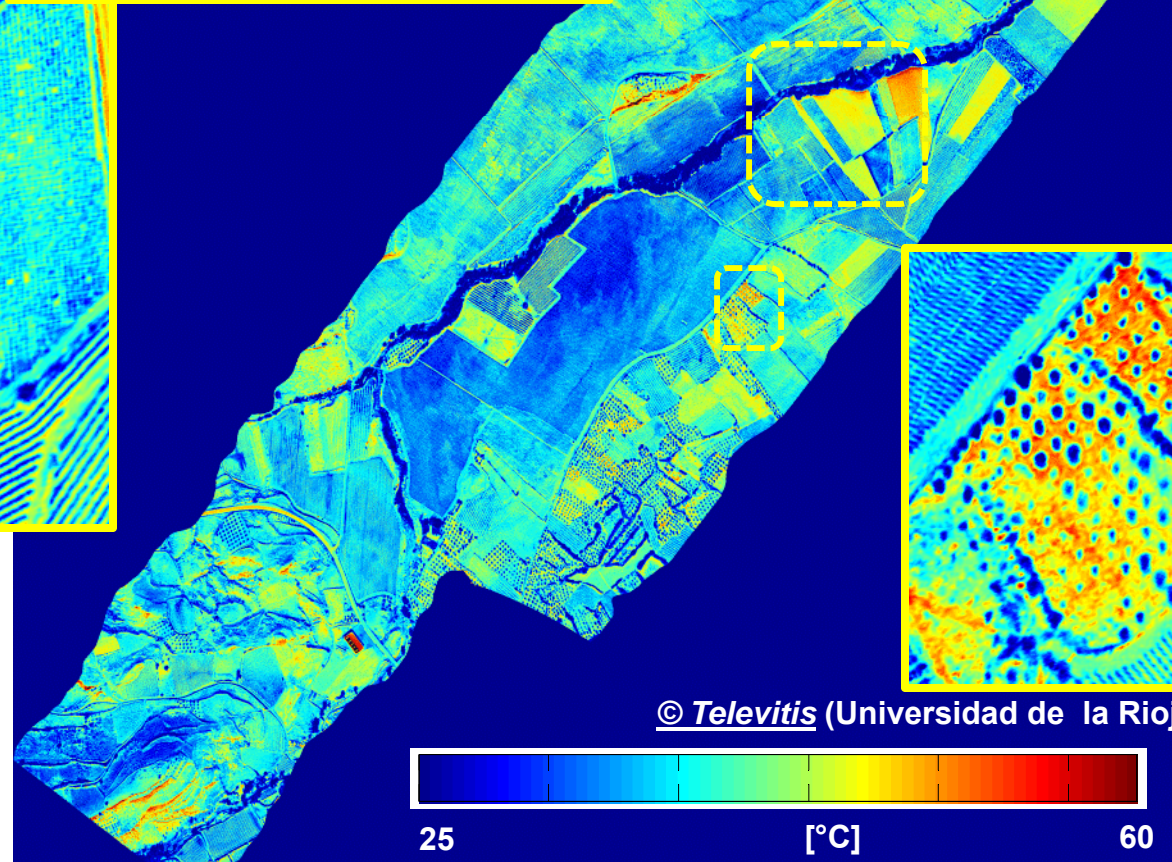
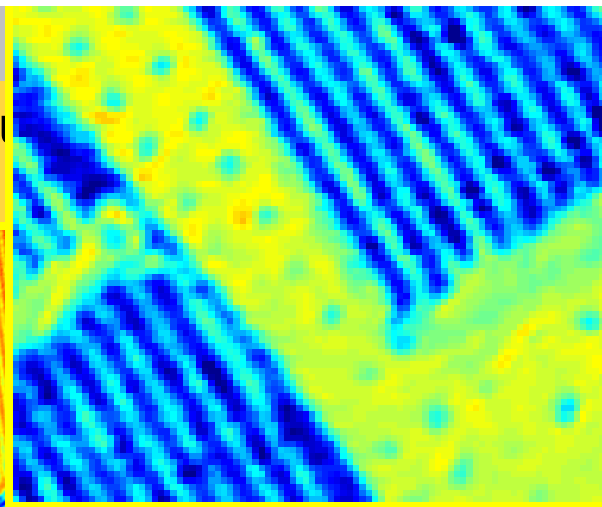
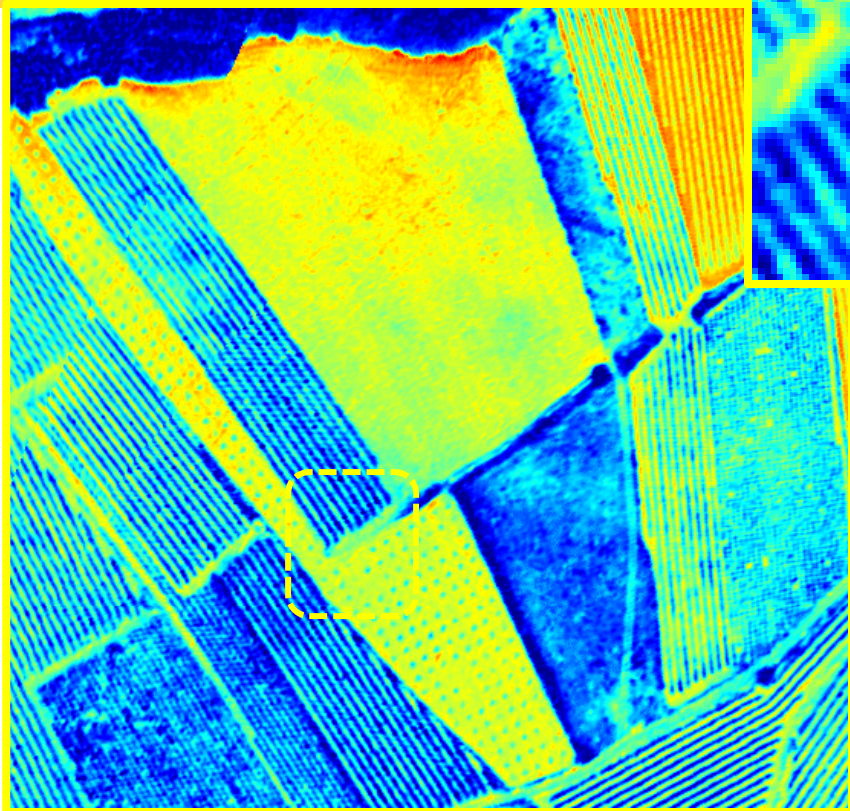
Adquisicions Simultànies CASI-TASI

Day	Acquisitions	Time	Pixel Res	IT
10/09/2010	A-CASI	14:34	1m × 1m	19 ms
10/09/2010	B-CASI	14:39	1m × 1m	19 ms
10/09/2010	C-CASI	14:43	1m × 1m	19 ms

Day	Acquisitions	Time	Pixel Res	IT
10/09/2010	A-TASI	13:35	1m × 1m	0.30 ms
10/09/2010	B-TASI	13:39	1m × 1m	0.30 ms
10/09/2010	C-TASI	13:44	1m × 1m	0.30 ms



Mapes Tèrmics de conreus (TASI)



Temperatura (TASI)

(Estimació TES – NCEP ATM Prof)

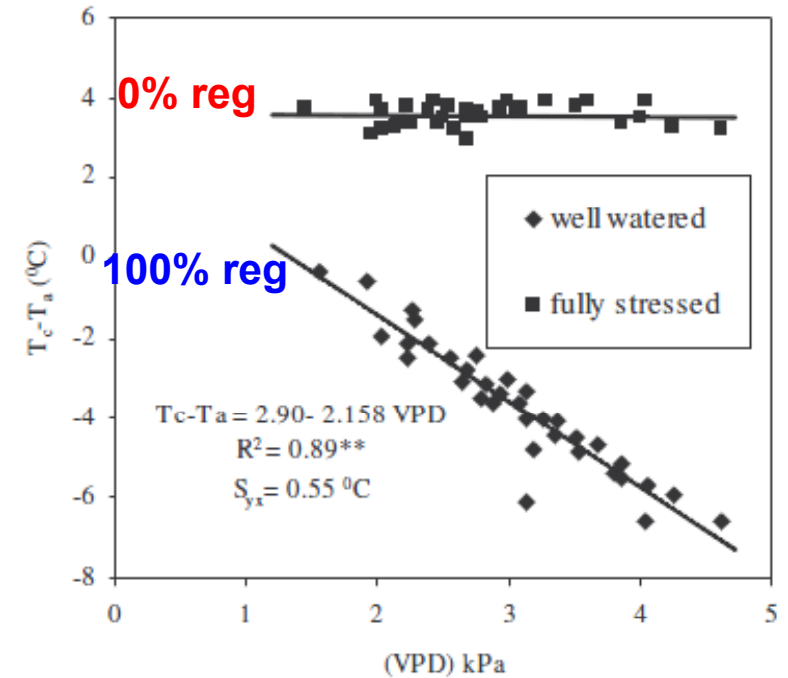
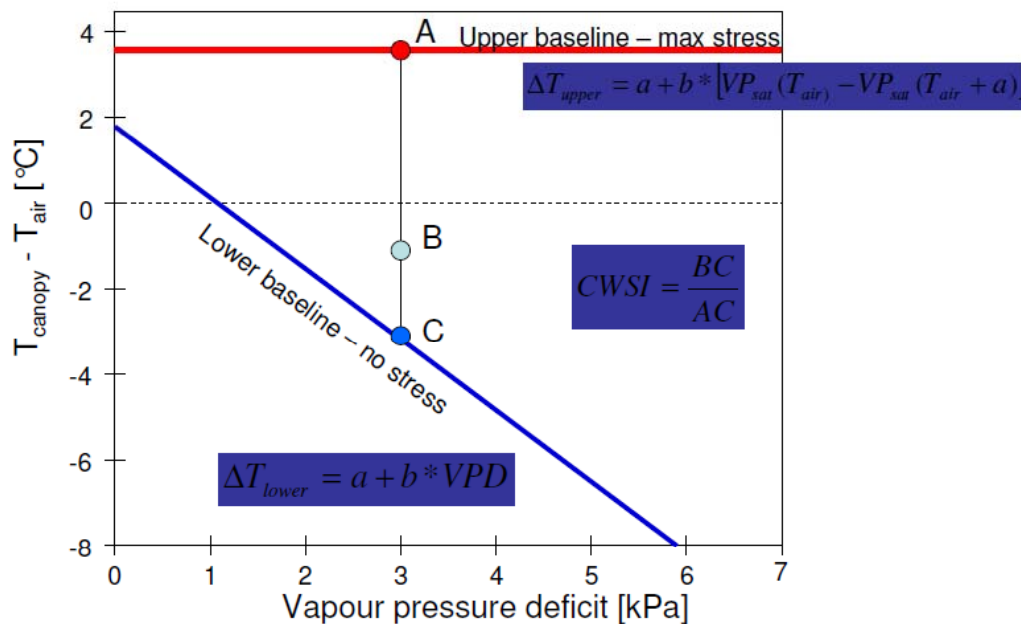
25 [°C] 60

Estès Hídrid I

CROP WATER STRESS INDEX

$$CWSI = \frac{dT - dT_l}{dT_u - dT_l}$$

dT : $T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$
 dT_u : upper ($T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$) = plantes amb 0% transpiració
 dT_l : lower ($T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$) = plantes amb 100% transpiració



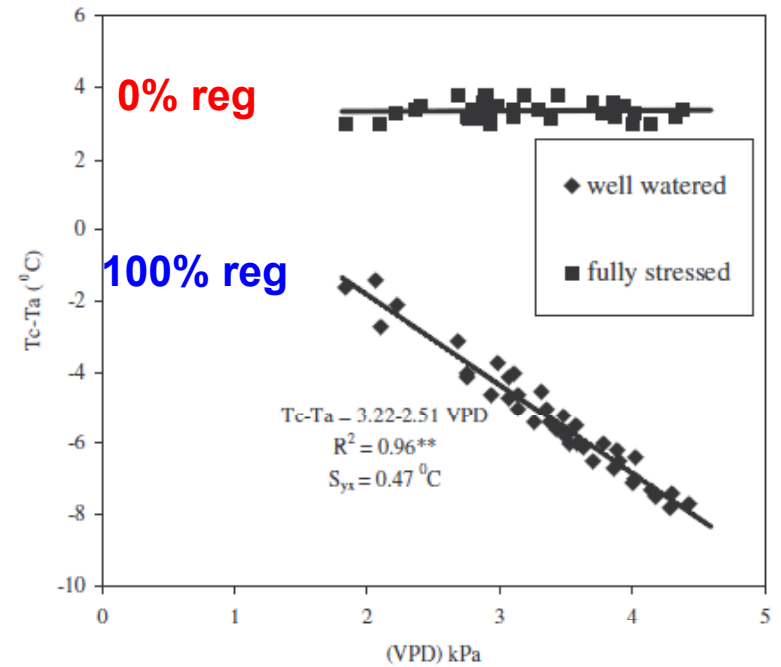
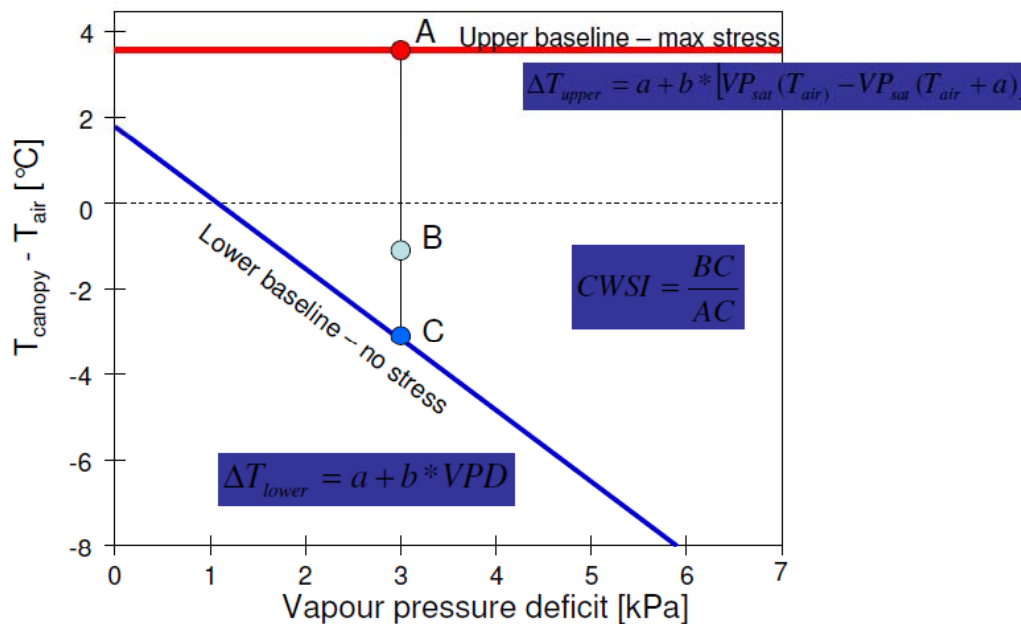
Dagdelen 2008 -Aydın- Turkey, Trigo (2003-2004)

Estès Hídrid I

CROP WATER STRESS INDEX

$$CWSI = \frac{dT - dT_l}{dT_u - dT_l}$$

dT : $T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$
 dT_u : upper ($T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$) = plantes amb 0% transpiració
 dT_l : lower ($T_{\text{fulles}} - T_{\text{aire}}$) = plantes amb 100% transpiració



Dagdelen 2008 -Aydın- Turkey, Trigo (2003-2004)

Mapes Tèrmics de alta resolució (TASI+DMC)

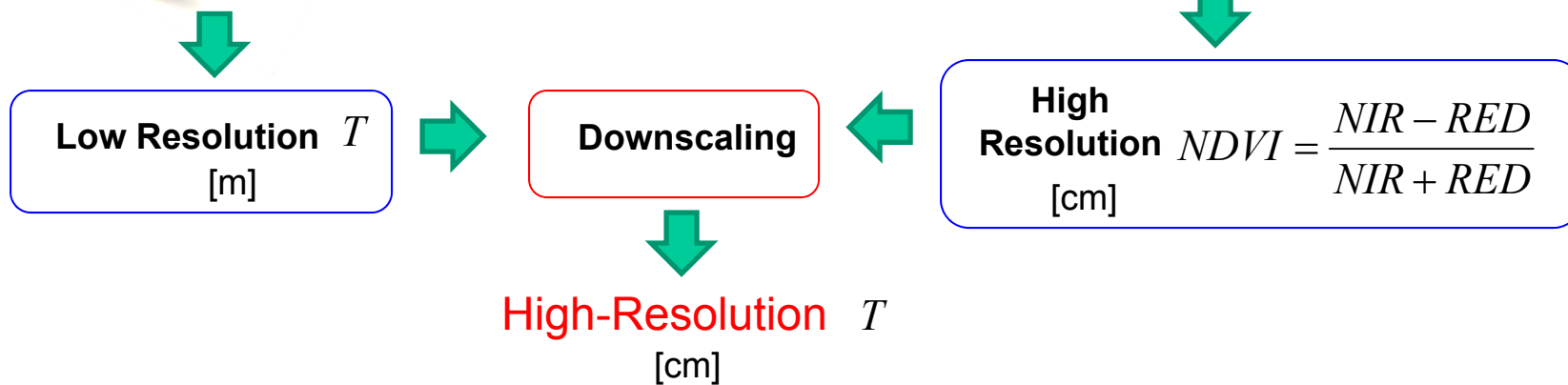


TASI

Càmera digital aerotransportada



Pancromàtic:
13.500 x 8.000 px,
 RGB + IR:
3.000 x 2.000 px
 FOV: **74° x 44°**
 Resolució radiomètrica:
12 bits



Mapes Tèrmics de alta resolució (TASI+DMC)



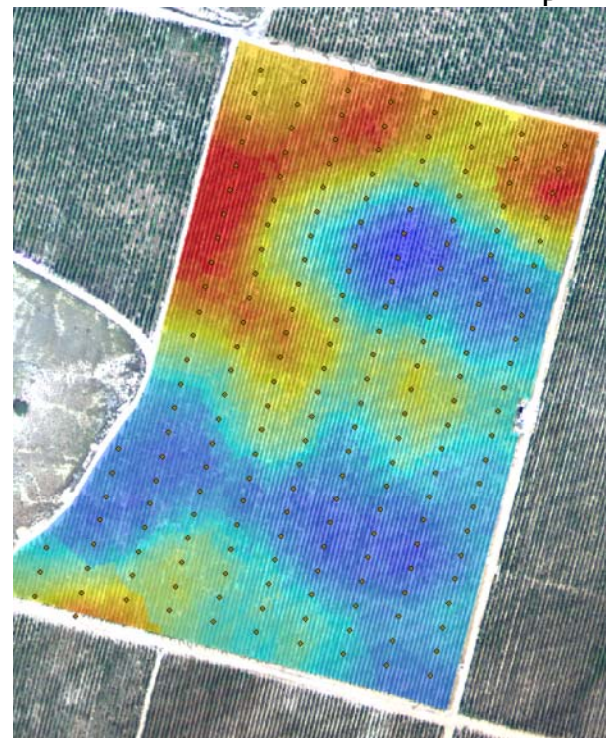
Vinya
Experimental de
"Tempranillo"
(*Vitis vinifera*)



Raïmat, Spain
(Lat: 41°39'58")
(Lon: 0°30'10")

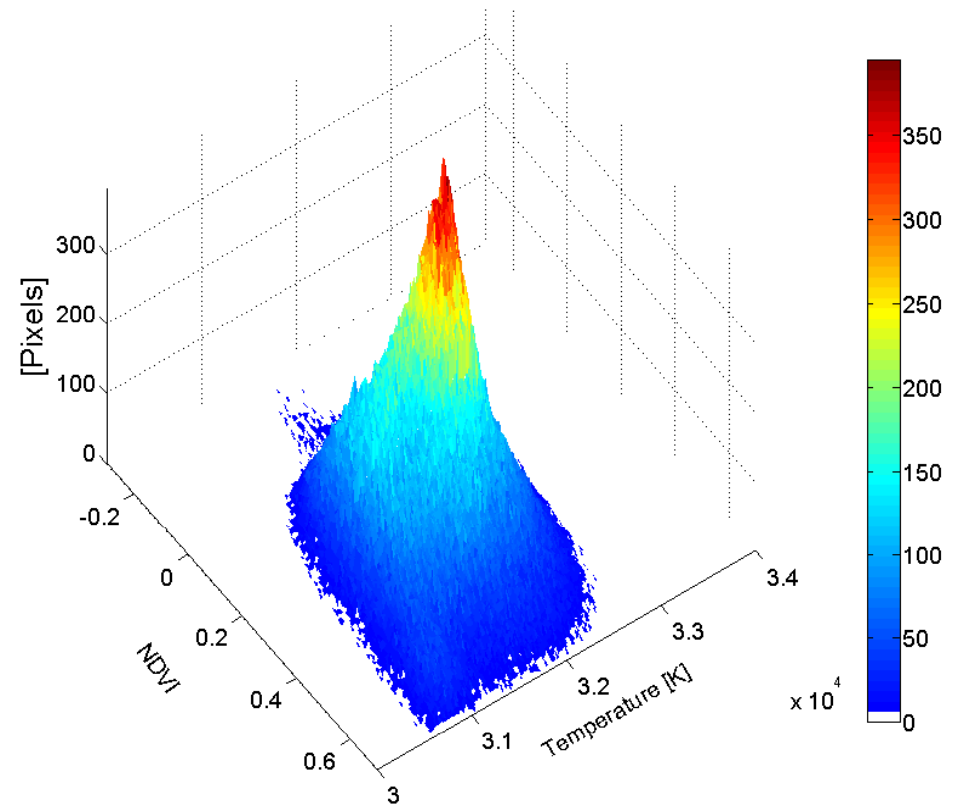
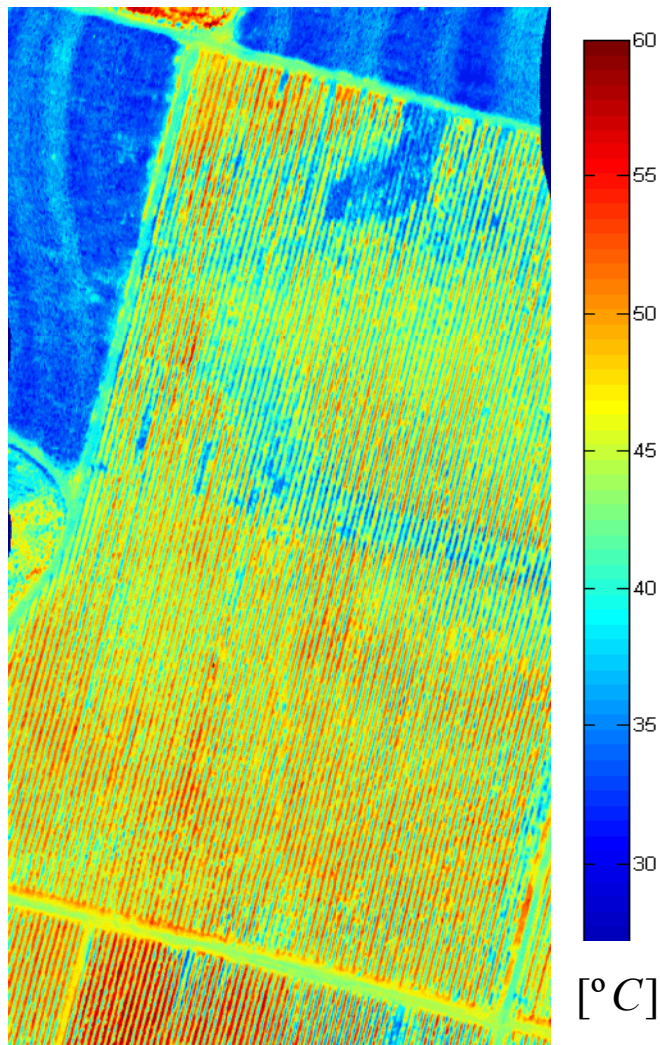
FLIGHT	TASI (HIGH/LOW)	CASI (HIGH/LOW)
INTEG. TIME	14 ms	14 ms
PIXEL SIZE	0.4m/1m	0.5m/1m
HEIGHT (ft)	1000/2460	1000/2460
# BANDS	32	5
SPECTRAL WINDOW	[8 μ m:11.5 μ m]	Ch:452,542,633, 724,816 [nm]

Potencial Hídric de fulla Ψ_p



Kriging (IRTA Lleida©)

Mapes Tèrmics de alta resolució(TASI)



$$\hat{T}_R(NDVI_{low}) = f(NDVI_{low})$$

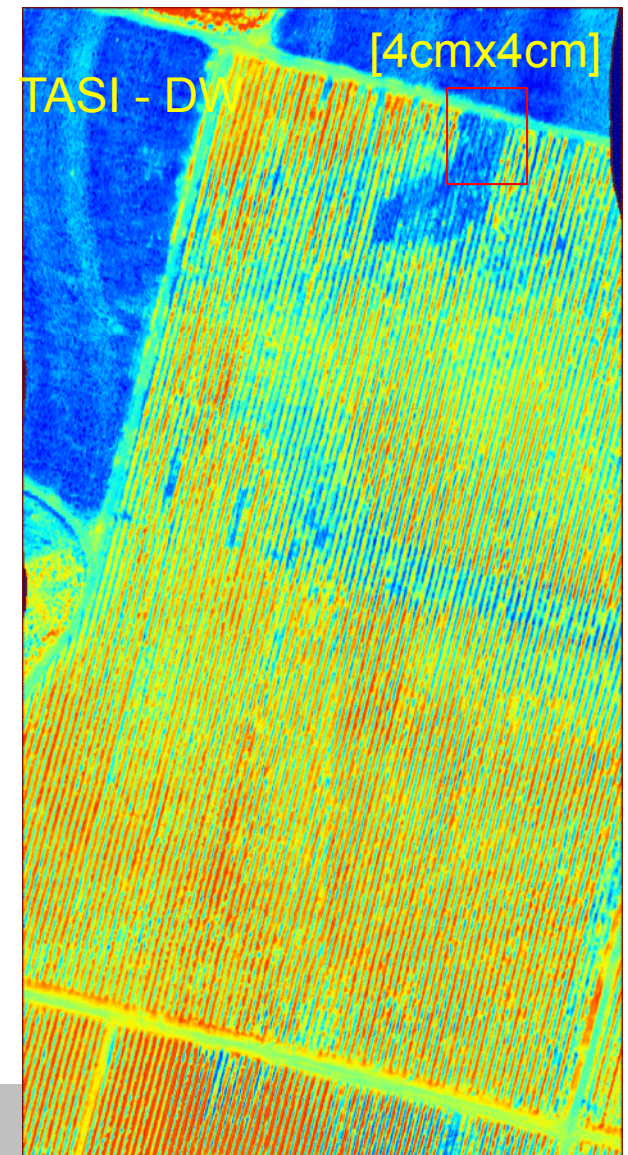
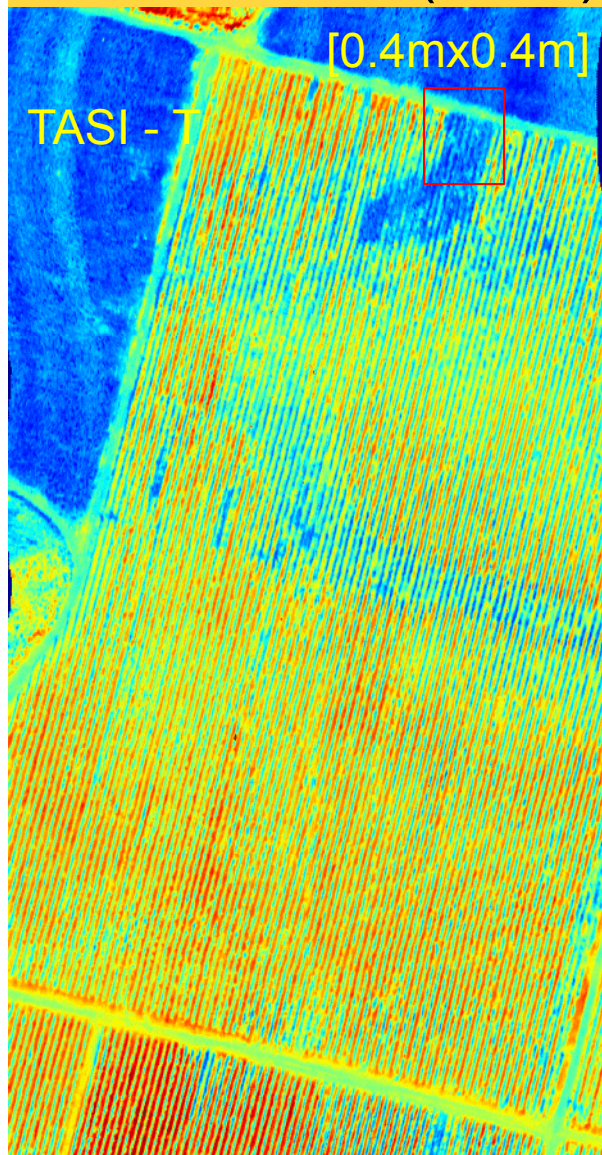
f : Ajusts *Linear*, *Quadràtic*, *Cúbic*

$$\Delta\hat{T}_{Rlow} = \hat{T}_{Rlow} - \hat{T}_R(NDVI_{low})$$

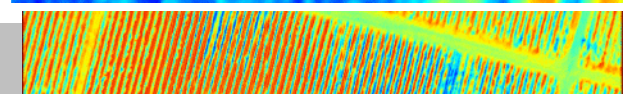
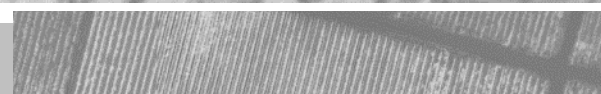
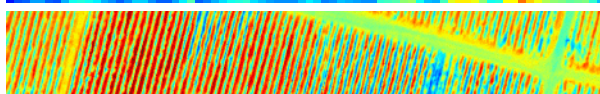
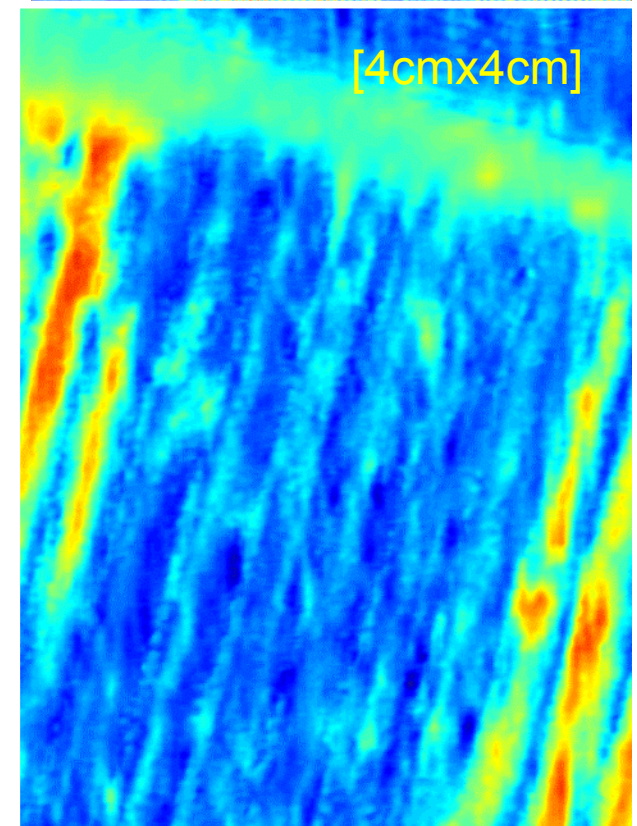
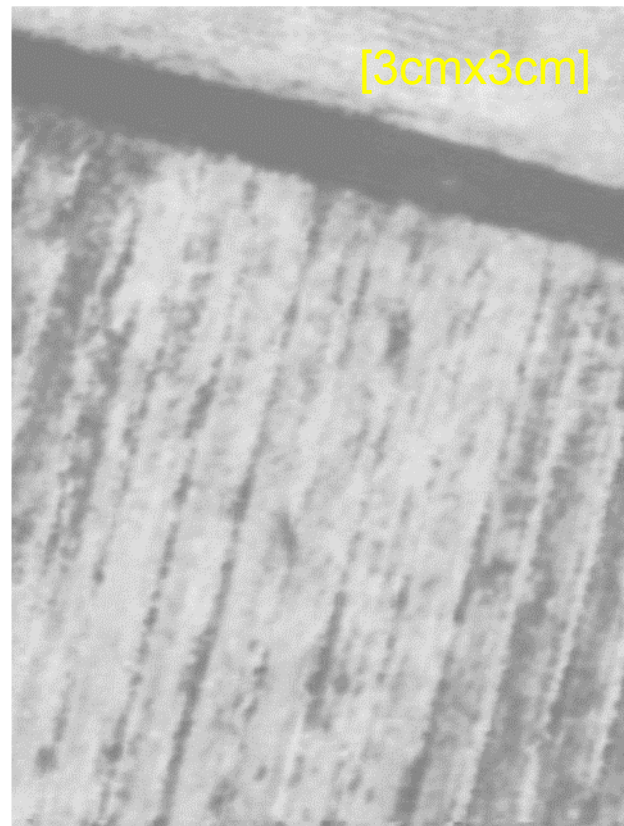
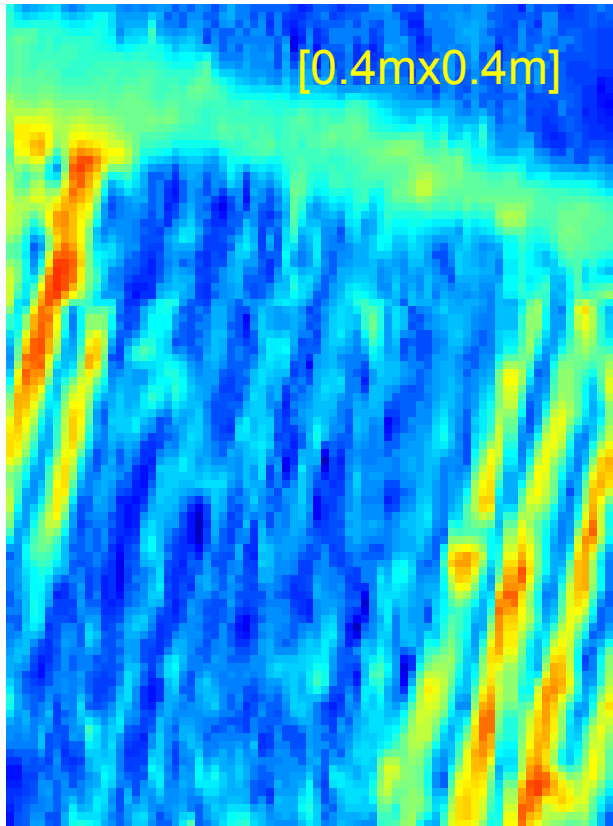
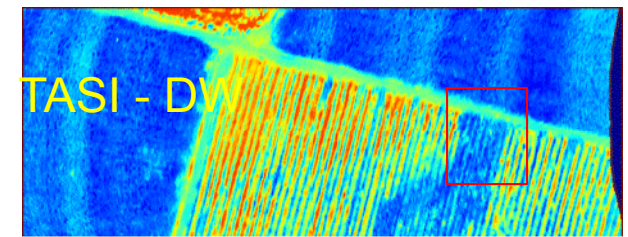
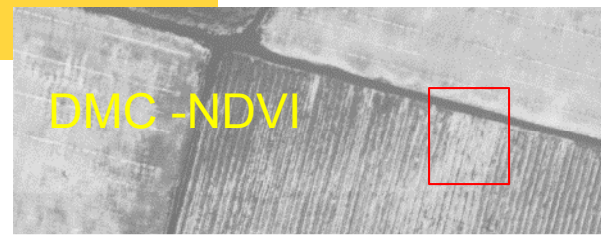
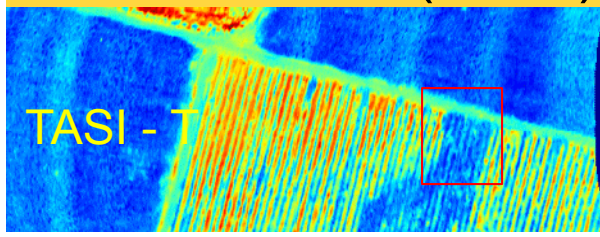
Estimació Offsets

$$\hat{T}_{Rhigh} = \hat{T}_R(NDVI_{high}) + \Delta\hat{T}_{Rlow}$$

Mapes Tèrmics de alta resolució(TASI)

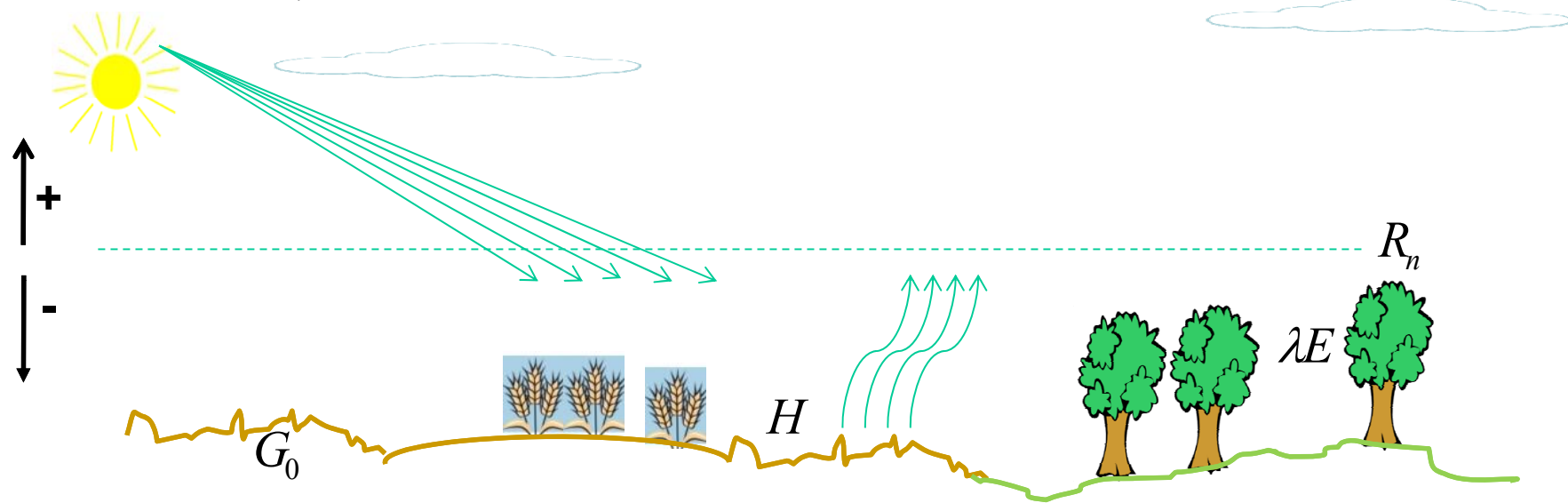


Mapes Tèrmics de alta resolució(TASI)



Evapotranspiració ET_d

Radiació Neta R_n : energia radiant a nivell de coberta com resultat dels fluxos entrants i sortints



Model Físic $R_n = H - G_0 + \lambda E + \dots$

... es poden menysprear els termes addicionals de fotosíntesi

Flux de calor sensible (H) : taxa de calor cedida a l'aire per convecció i conducció deguda a la diferència de temperatura

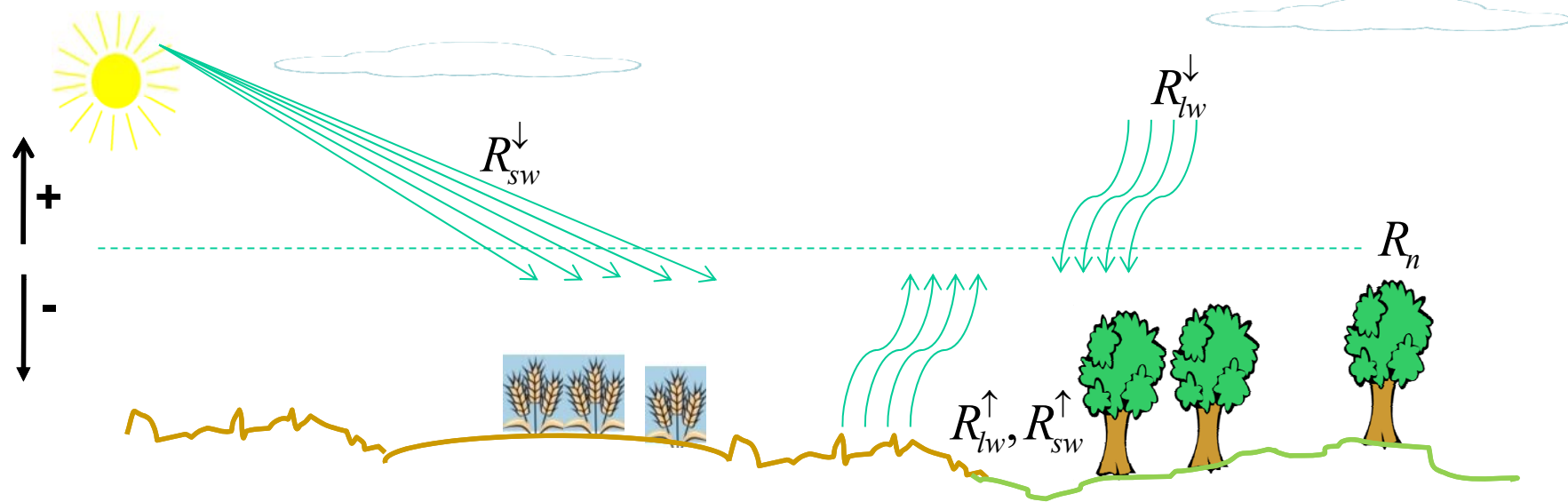
Flux de calor de sòl (G_0) : taxa de calor emmagatzemat al sòl i a la vegetació per conducció ($T, NDVI, R_n$)



Flux de calor latent (λE) : taxa de calor que la superfície perd per evaporació d'humitat del sòl i transpiració de la vegetació (Evapotranspiració)

Evapotranspiració ET_d

Radiació Neta R_n : energia radiant a nivell de coberta com resultat dels fluxos entrants i sortints



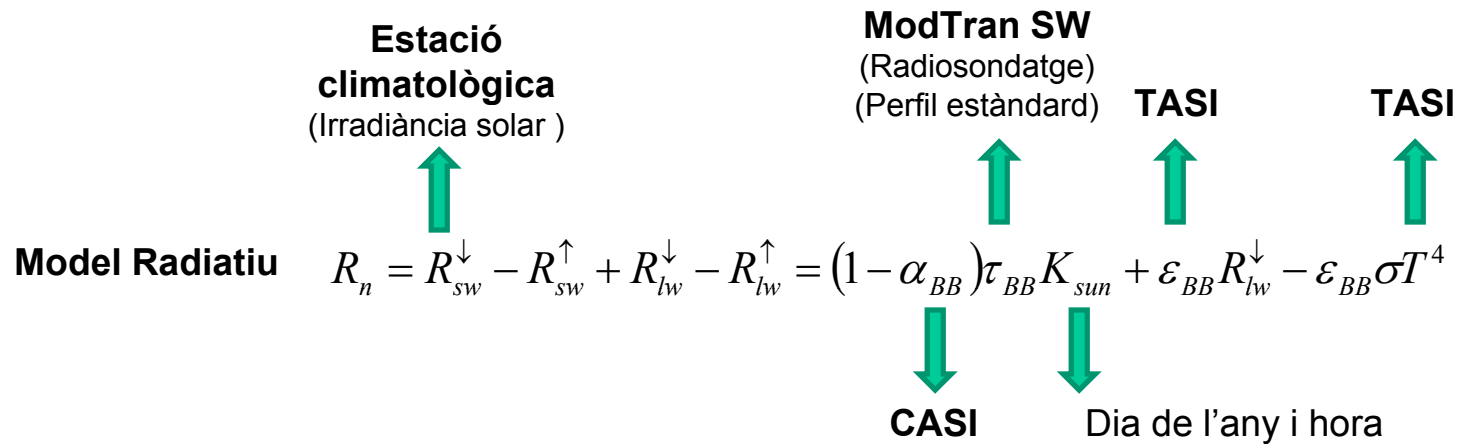
Model Radiatiu

$$R_n = R_{sw}^{\downarrow} - R_{sw}^{\uparrow} + R_{lw}^{\downarrow} - R_{lw}^{\uparrow}$$

(VIS - SWIR - MWIR) : $[0.3 \mu m, 3 \mu m]$
 (MWIR - LWIR) : $[3 \mu m, 100 \mu m]$

Estimacions de teledetecció

Evapotranspiració ET_d



Solar Irradiance [Wm^{-2}]

$$K_{sun} = I_{sc}(r_0/r, \theta_{el}, \theta_{az})$$

Broadband Transmissivity

$$\tau_{BB} = \frac{\int_{0.3\mu m}^{4\mu m} \tau(\lambda) I_{TOA}(\lambda) d\lambda}{\int_{0.3\mu m}^{4\mu m} I_{TOA}(\lambda) d\lambda}$$

TOA = Top-Of-Atmosphere

Broadband Albedo

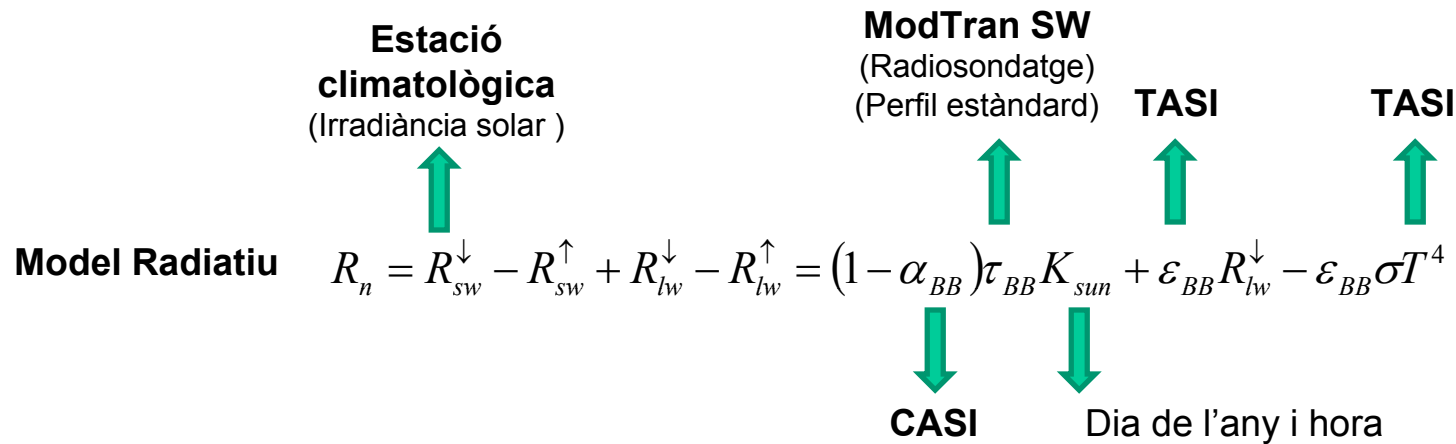
$$\alpha_{BB} = \frac{\int_{0.3\mu m}^{4\mu m} \alpha(\lambda) I_{BOA}(\lambda) d\lambda}{\int_{0.3\mu m}^{4\mu m} I_{BOA}(\lambda) d\lambda}$$

BOA = Bottom-Of-Atmosphere

Broadband Emissivity

$$\epsilon_{BB} = \frac{\int_{3\mu m}^{100\mu m} \epsilon(\lambda) B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{3\mu m}^{100\mu m} B(\lambda, T) d\lambda}$$

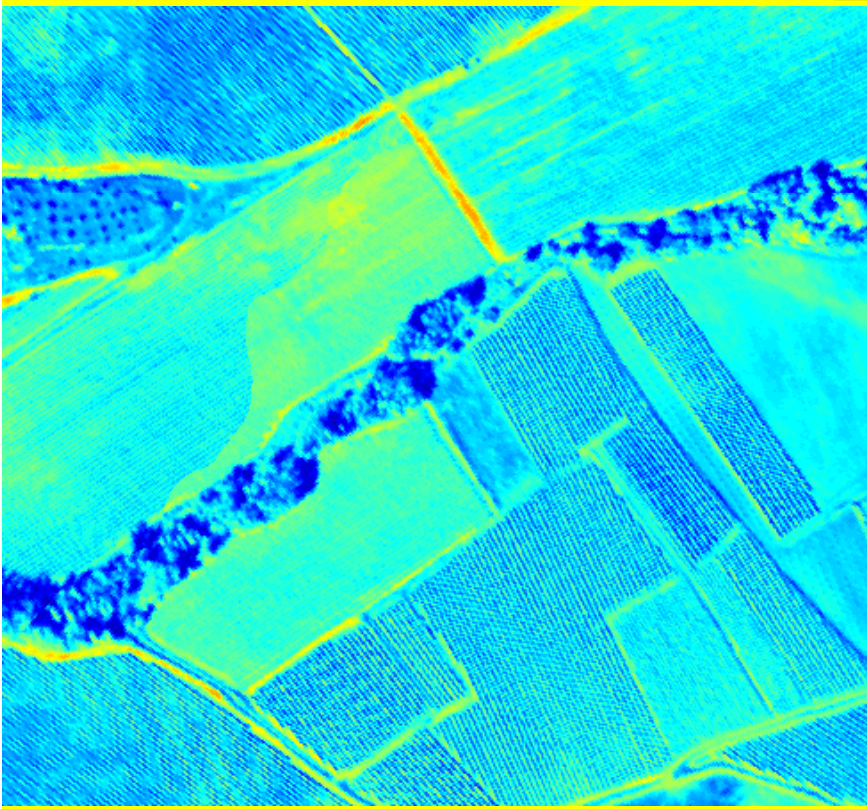
Evapotranspiració ET_d



Model Físic $R_n = H - G_0 + \lambda E \Rightarrow \lambda E = R_n \Lambda (1 - \Gamma)$ \Rightarrow **S-SEBI** $\left\{ \begin{array}{l} \Lambda : \text{Fracció Evaporativa } (\alpha_{BB} \text{ vs } T) \\ \Gamma : \text{Ratio } R_n/G_0 \text{ (NDVI, } T, \alpha_{BB}) \end{array} \right.$

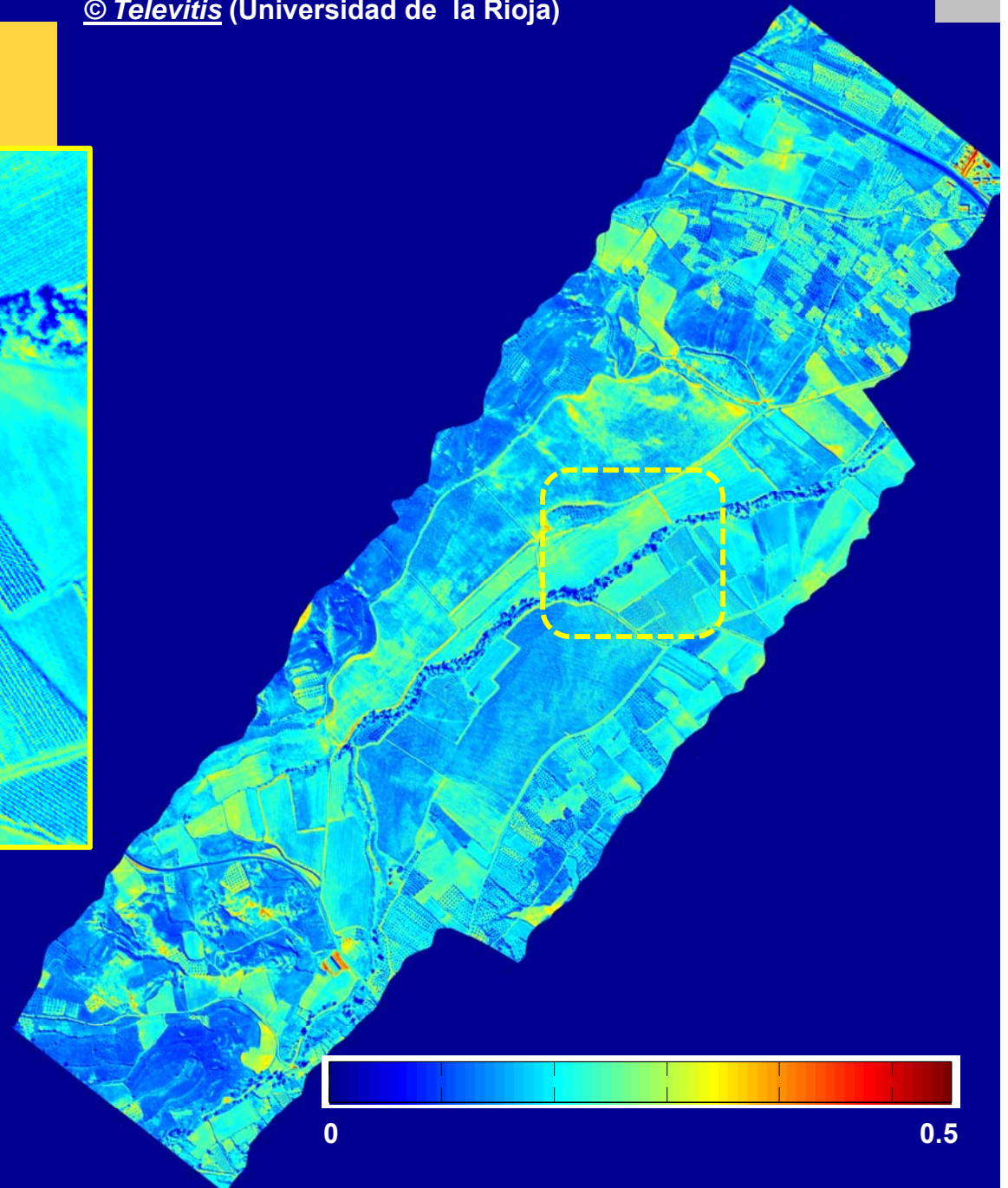
Evapotranspiració Diària: $\underline{ET_d = C_{di} \lambda E / L}$ $\left\{ \begin{array}{l} C_{di} : \text{Ratio } R_n/R_{nd} \\ L : \text{Calor latent de vaporització } (= 2.45 \text{ MJ Kg}^{-1}) \end{array} \right.$

Evapotranspiració ET_d



Broadband Albedo α_{BB}
(CASI)

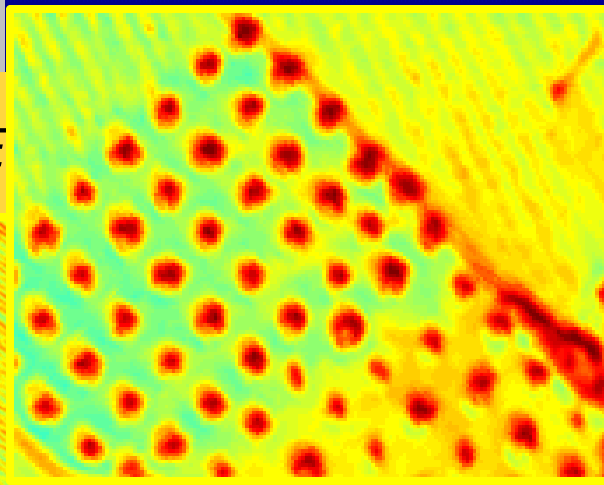
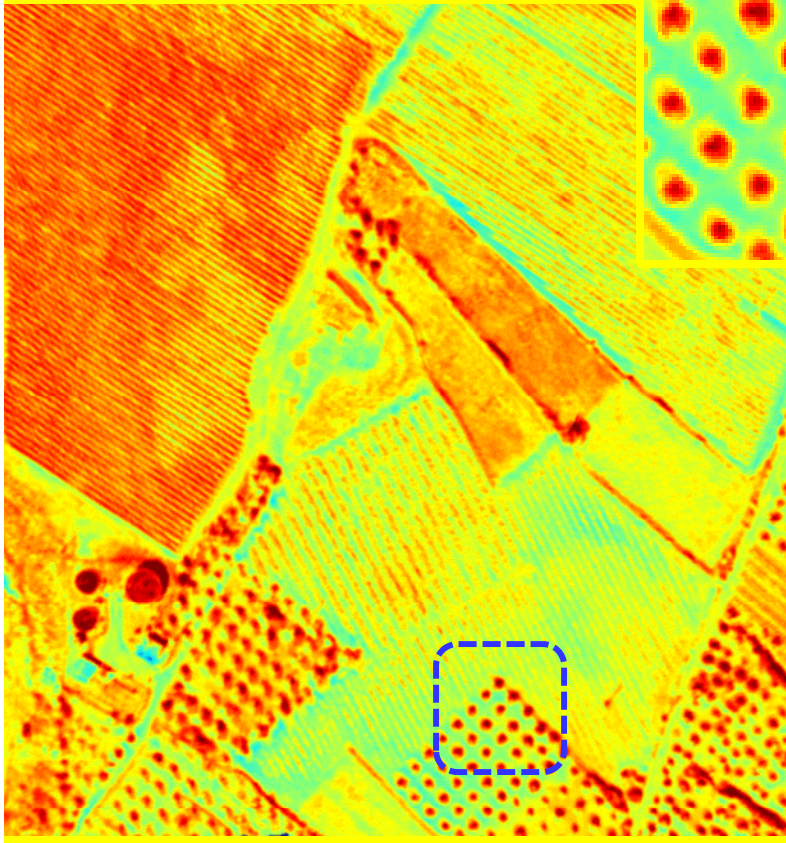
(Solar-Spectrum weighted AVG)



0

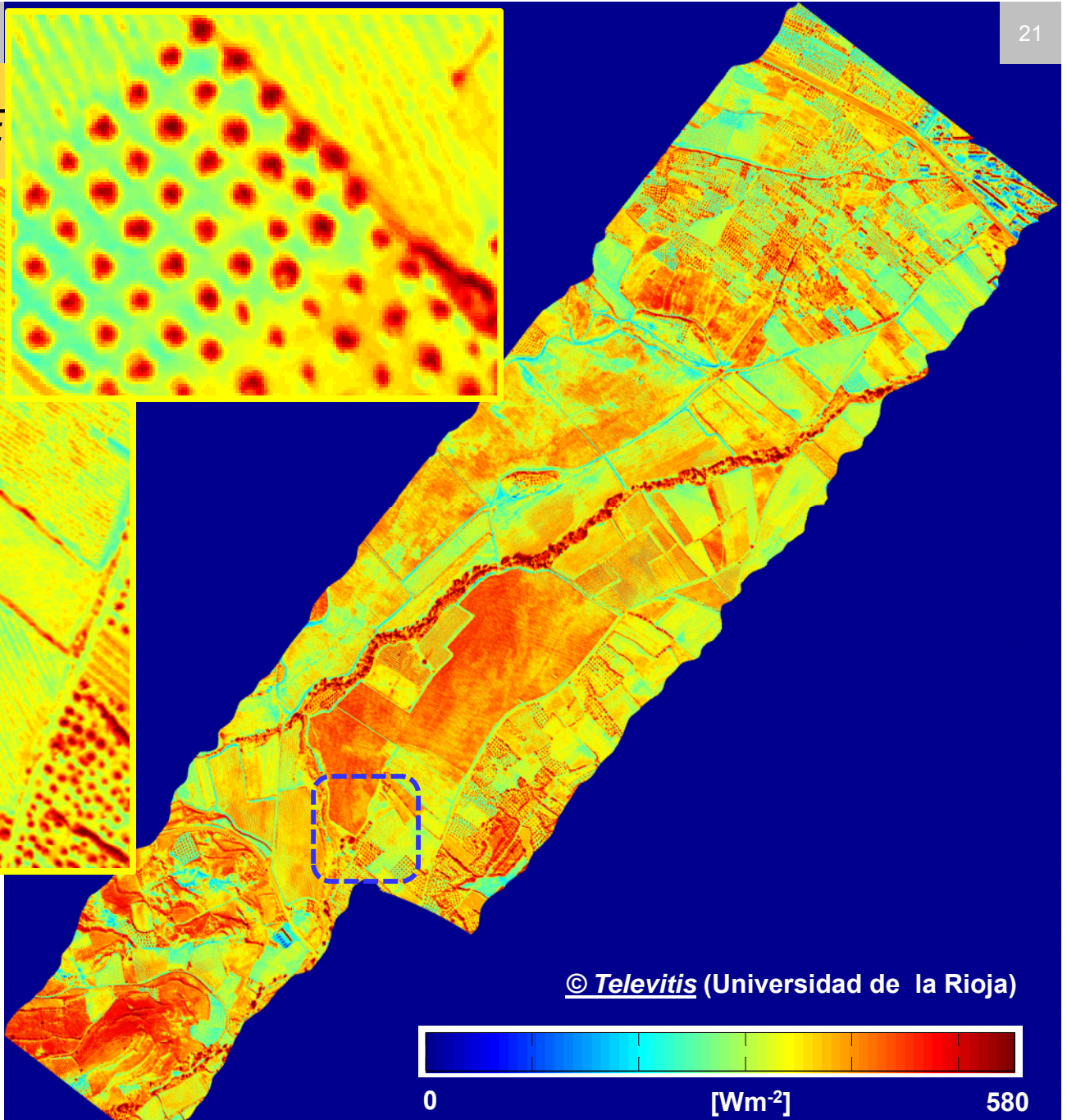
0.5

Evapotranspiració E

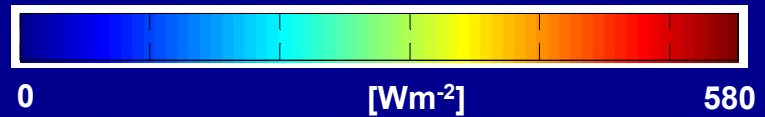


Radiació Neta R_n
(CASI+TASI)

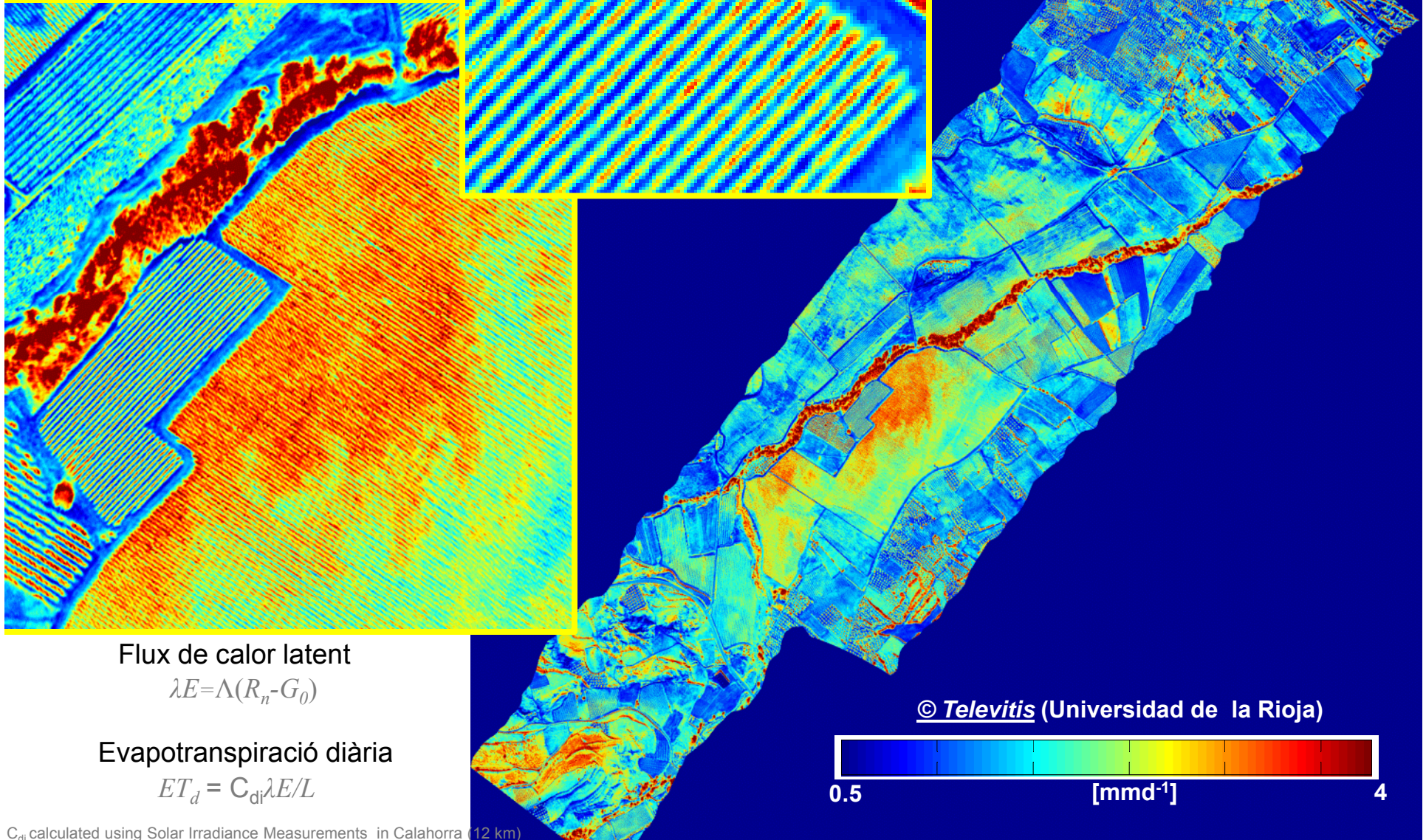
$$R_n = (1 - \alpha_{BB}) \tau_{BB} K_{sun} + \varepsilon_{BB} R_{lw} - \varepsilon_{BB} \sigma T^4$$



© *Televitis* (Universidad de la Rioja)



Evapotranspiració E



C_{di} calculated using Solar Irradiance Measurements in Calahorra (12 km)

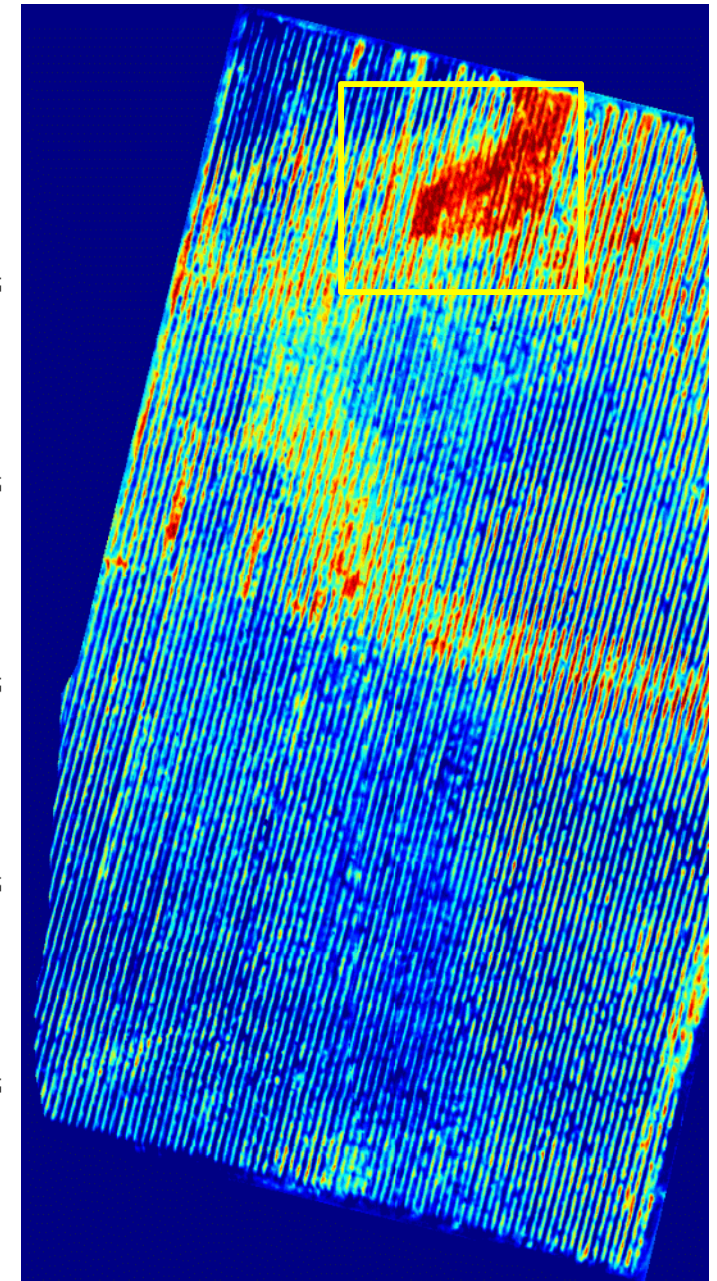
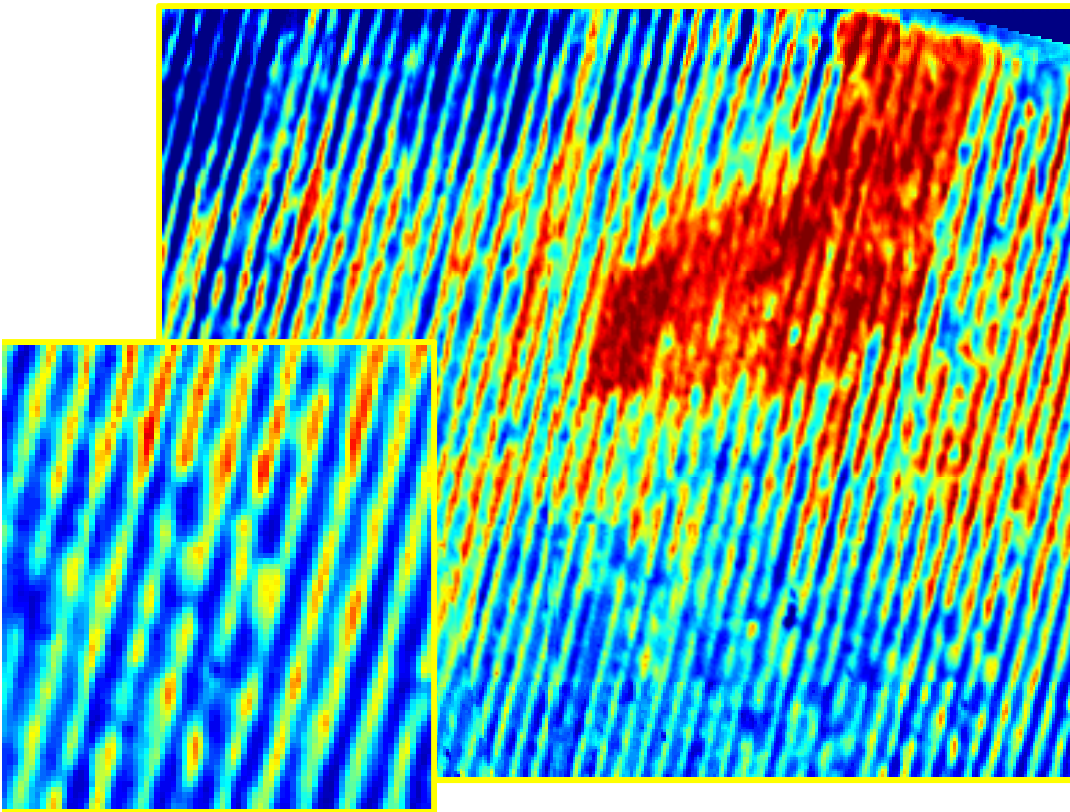
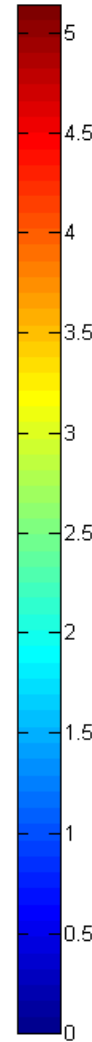
Evapotranspiració ET_d

Vinya
Experimental de
"Tempranillo"
(*Vitis vinifera*)



Raïmat, Spain
(Lat: 41°39'58")
(Lon: 0°30'10")

[mm day⁻¹]



Estès Hídric II

Índex d'Estrès Hídric del Cultiu (CWSI)

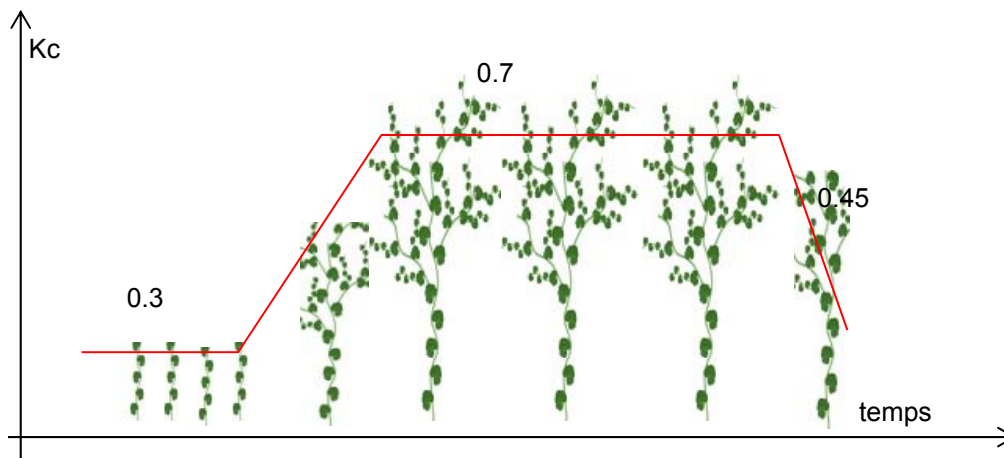
$$CWSI = 1 - \frac{\lambda E_d}{\lambda E_0} = 1 - \frac{ET_d}{ET_{0,d}} = 1 - \frac{ET_d}{K_c ET_{REF,d}}$$

$ET_{REF,d}$: ET Potencial diària de referència (FAO1998)

$ET_{0,d}$: ET Potencial diària del Cultiu

K_c : Factor de Cultiu

K_c : Valor tabulat (FAO 1998) o determinat *In-Scene* amb INFO a priori sobre plantes no subjectes a estrès hídric



Equació de Penman-Monteith (FAO)

$$ET_{REF,d} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273.15} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

C
E
l
i
t
m
à
c
t
i
i
c
ó
c
a



u_2 = velocitat del vent a 2m [m/s]

e_s = Pressió de vapor de saturació [kPa]

e_a = Pressió de vapor real [kPa]

$e_s - e_a$ = dèficit de pressió de vapor [kPa]

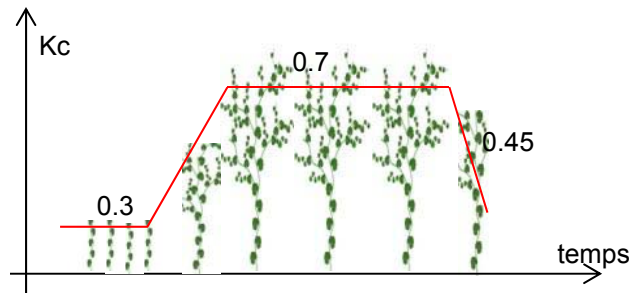
Δ = pendent corba de pressió de vapor [kPa °C⁻¹]

γ = constant psicomètrica [kPa °C⁻¹]

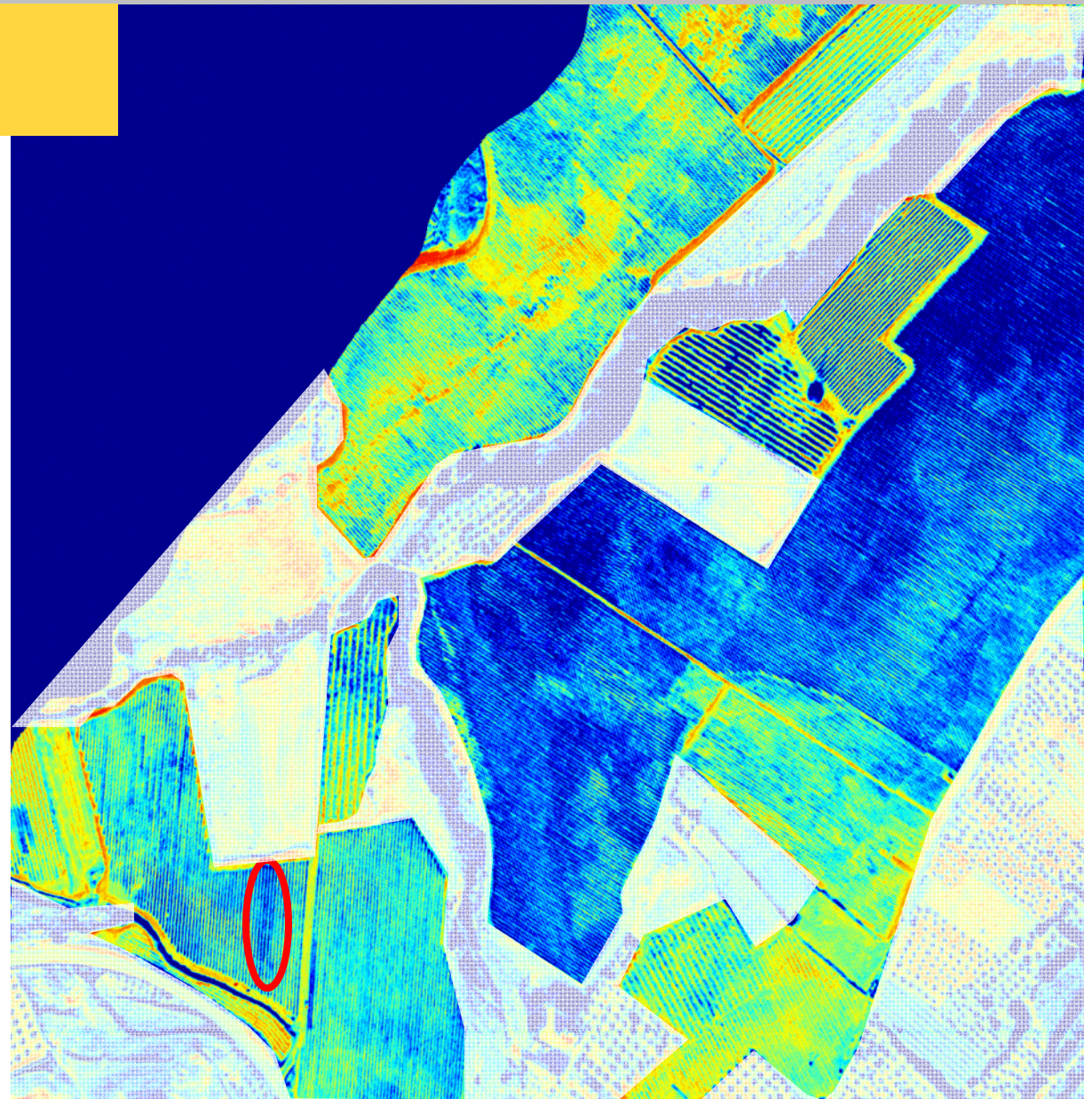
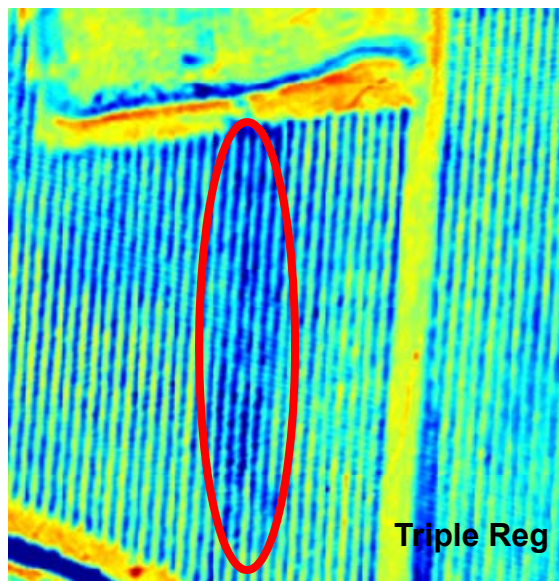
Conreu de referència (superfície extensa de pastura verda) de 0.12m, una resistència de 70 sm⁻¹ i un albedo de 0.23

Estès Hídric II

Valor Tabulat FAO $K_c = 0.45$



Valor Estimad *In-Scene* $K_c = 0.69$
(Triple Reg => CWSI=0)



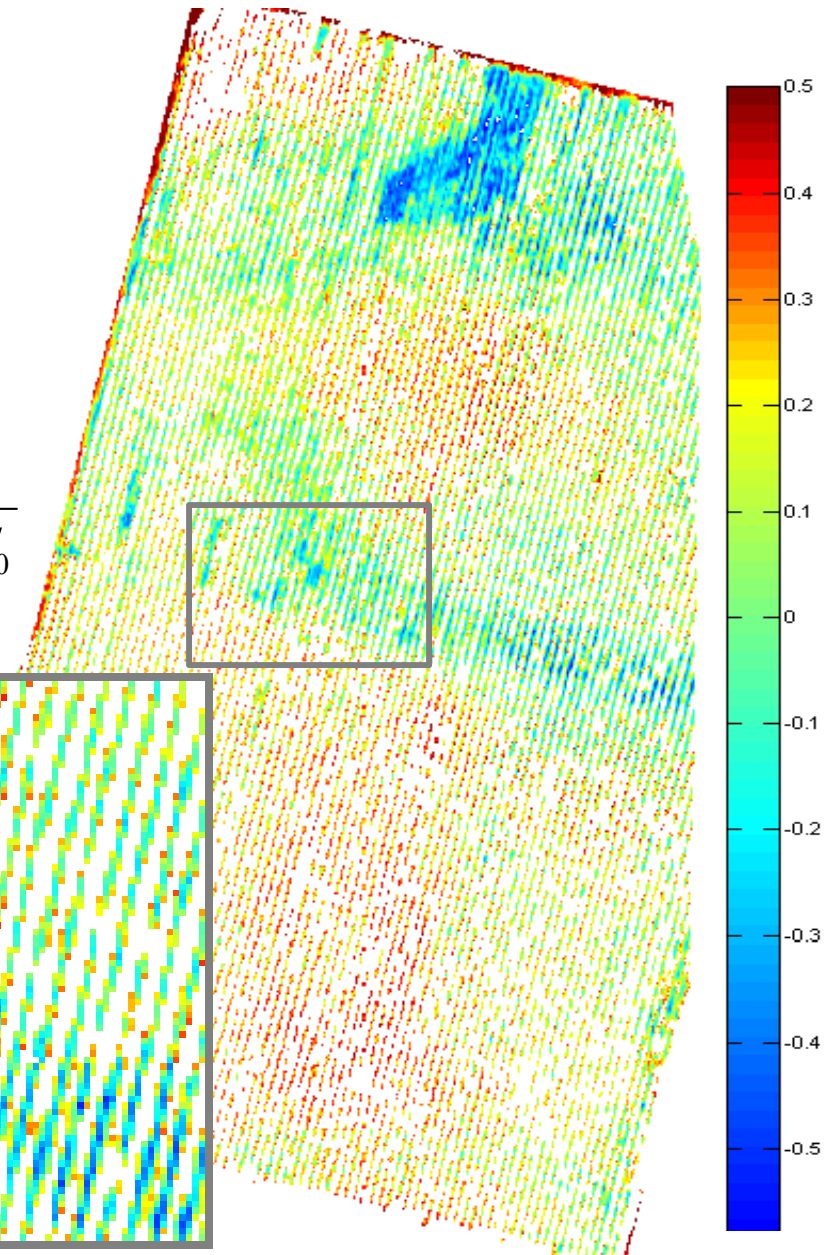
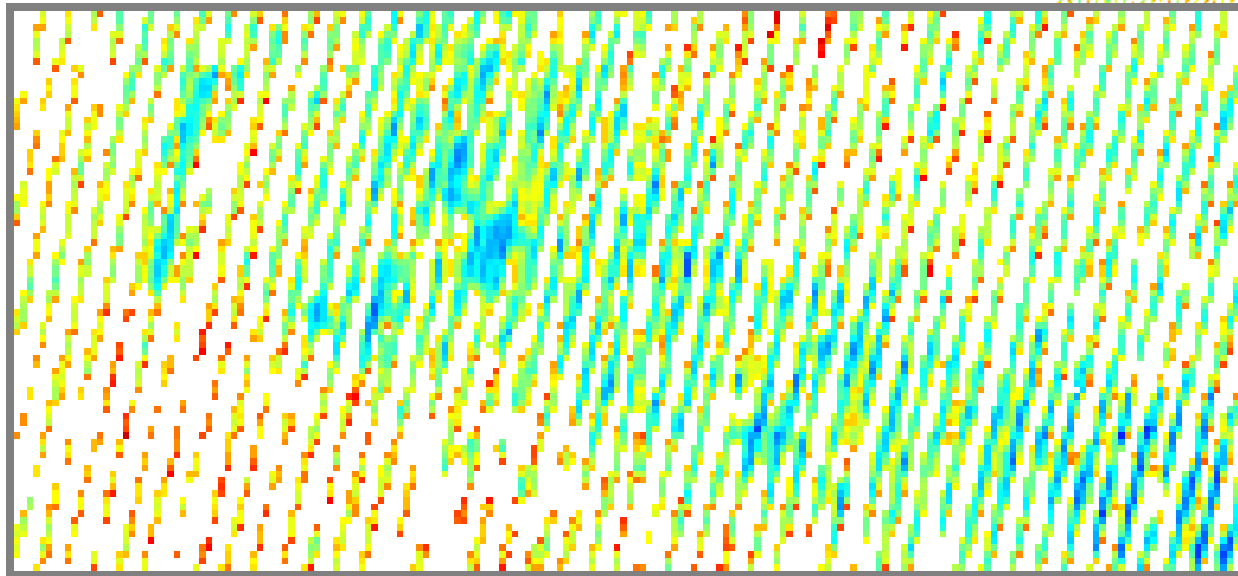
0 1

Estès Hídric II

Lindars : NDVI > Th1 T < Th2

In-Scene K_c ➔ **CWSI relatiu**

$$K_{cREF} = \frac{ET_0}{ET_{d,REF}} (1 - CWSI_{REF}) \quad \rightarrow \quad CWSI_{REL} = 1 - \frac{ET_d}{K_{cREF} ET_0}$$



Fertilització

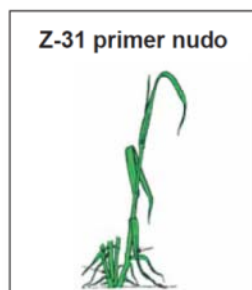
Estat nutricional nitrogenat dels correus ↔ Contingut de **clorofil·la** de les fulles

Agricultura de Precisió

Identificació de parcel·les deficitàries

Decisions Estratègiques: aportacions tardanes de fertilitzants nitrogenats

Estat fenològic



Estadi primerenc

Estadi avançat



Difícil discriminació Difícil èxit de la intervenció

Fertilització

$\lambda_{\text{ref}} = 450 \text{ nm}, 550 \text{ nm}, 670 \text{ nm}, 700 \text{ nm}, 830 \text{ nm},$

**Teledetecció
Hiperspectral**



Índexs de Vegetació

TCARI

Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index

MCARI

Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index

Models empírics/semi-empírics



**Caracterització
conreus**

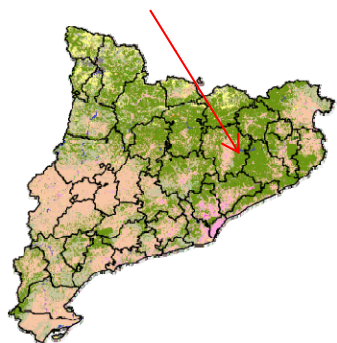


CASI 550

Bandes	1	2	3	4	5	6	7	8
Lambda [nm]	424	458	492	525	559	593	627	661
Bandes	9	10	11	12	13	14	15	16
Lambda [nm]	695	730	764	799	833	868	903	939

Fertilització

Blat de moro
(*Zea mays*)

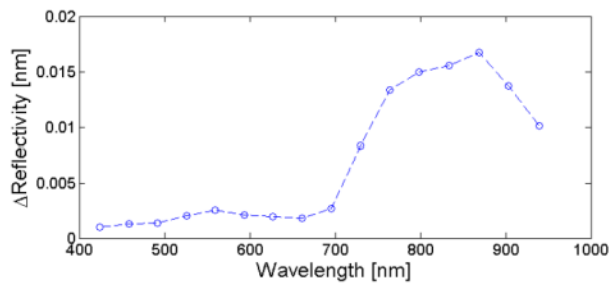
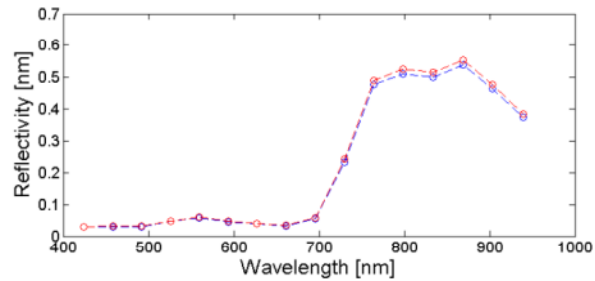


Verges, Spain
(Lat: 42.04306°)
(Lon: 3.026016°)



Fertilització

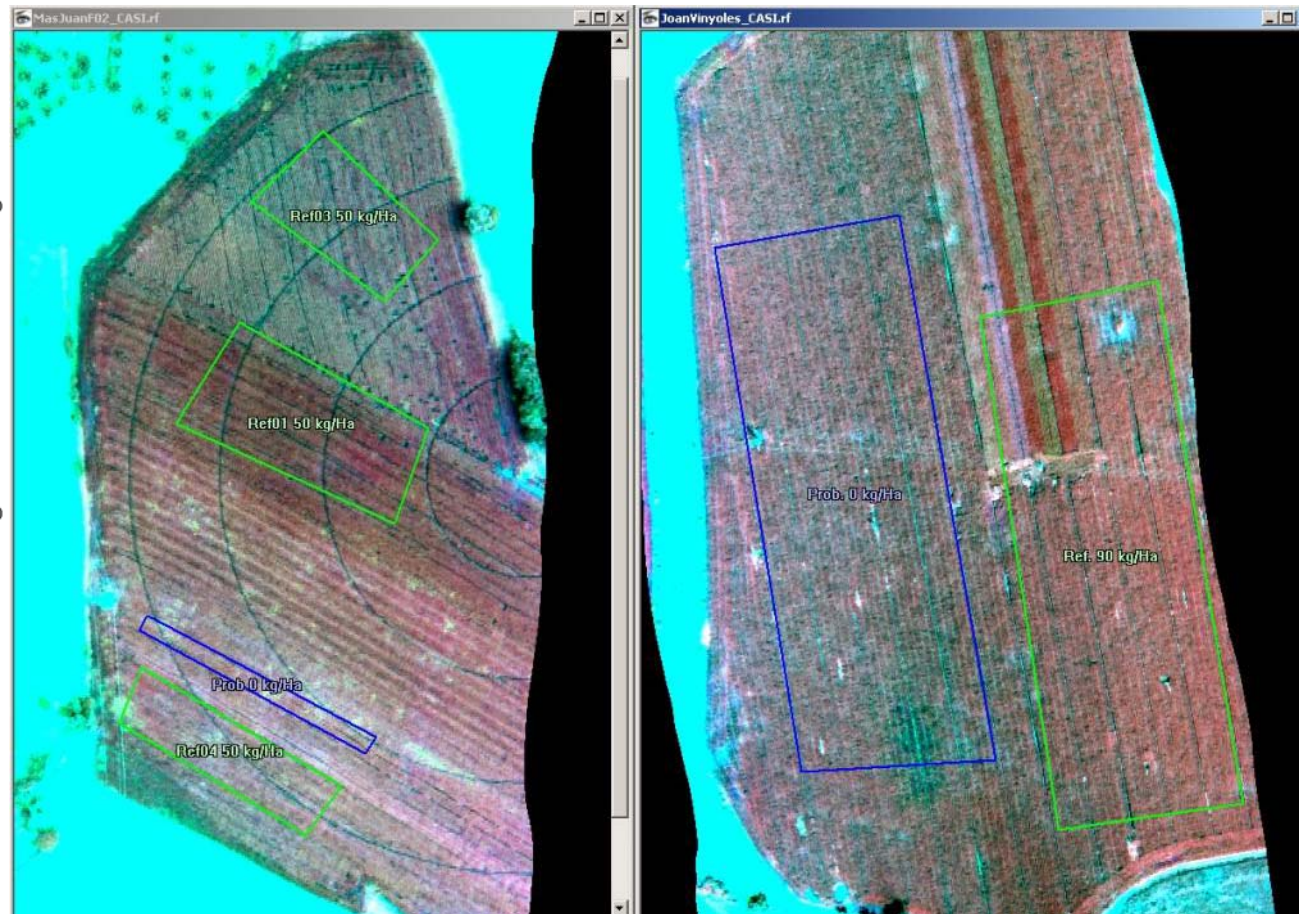
CASI 550 VS N-Tester HidroAgri



↓
Descriptors Hiperespectrals

↓
Anàlisi

↑
Mesures In-Situ



Conclusions

Agricultura de Precisió amb sensors hiperespectrals CASI-TASI (+DMC) de l'ICC

- **Caracterització tèrmica de conreus com entrada per a models d'estrès hídric (TASI-DMC)**
- **Estimació de l'evapotranspiració diària i d'estrès hídric de conreus per a l'optimització de reg (TASI-CASI)**
- **Estudi de la distribució espacial de la clorofil·la per optimitzar el procés de fertilització (CASI)....work in progress....**

Potencials dels instruments necessita el recolzament d'experts per al desenvolupament de models de creixement i de decisions estratègiques....