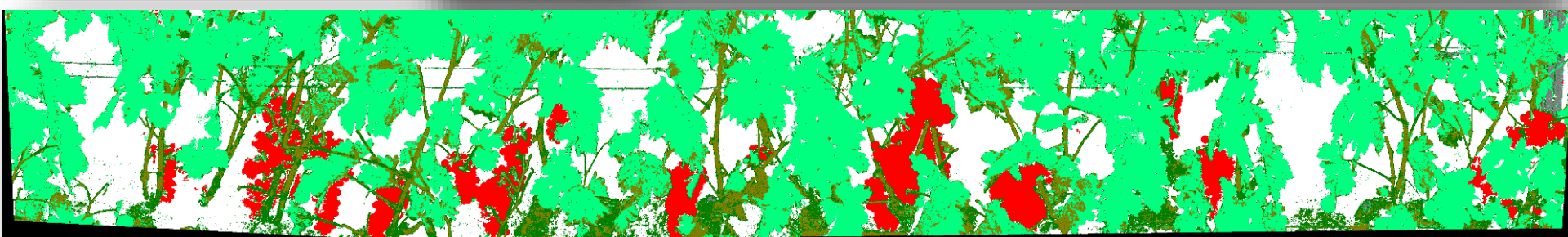
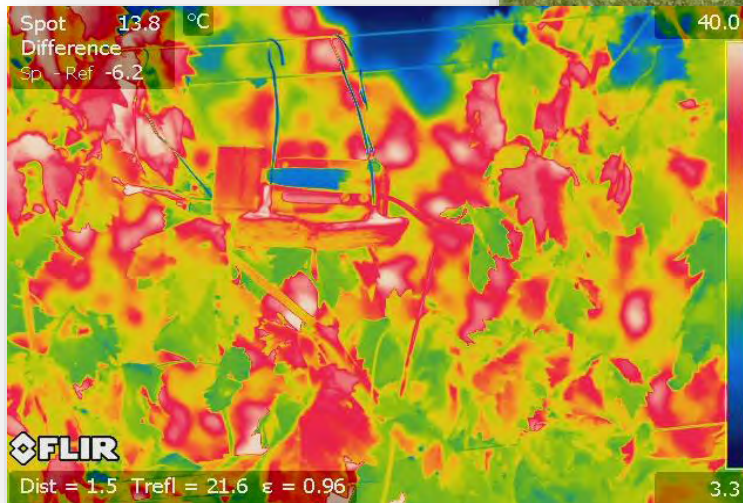


# Viticultura de precisión: Robots y nuevas tecnologías no invasivas para monitorizar el viñedo

Maria Paz Diago Santamaria



<http://televitis.unirioja.es>



Qué es Televitis

Equipo humano

Soluciones y  
patentes

Proyectos I+D+i

Publicaciones

APP vitisFlower

Contacto



## VITICULTURA DE PRECISIÓN

Televitis es un grupo de investigación en viticultura de precisión y aplicación de nuevas tecnologías al viñedo.

Universidad de La Rioja / Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino

## Cinco ideas claves sobre Televitis



Televitis es un grupo de I+D+i de la Universidad de la Rioja y del Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV). Pretende fomentar y desarrollar la investigación en **viticultura de precisión y la aplicación de nuevas tecnologías al viñedo**. Fue fundado por Javier Tardáguila en 2008.



Televitis desarrolla **nuevos métodos de fenotipado (plant phenotyping)** para caracterizar las propiedades anatómicas y fisiológicas de la vid a partir de métodos no destructivos en campo.



La viticultura de precisión permite mejorar la calidad de la uva puesto que posibilita la segmentación de subzonas homogéneas y, por tanto, aplicar las mejores prácticas en cada caso. **La viticultura de precisión supone una apuesta clara por la producción sostenible**, ya que facilita la optimización de los recursos, tanto naturales, como humanos.



Televitis desarrolla **soluciones para la industria vitivinícola a partir de algoritmos y patentes propias**. El equipo de Televitis trabaja en el desarrollo de sensores no invasivos, que permitan una monitorización del rendimiento productivo, la composición de la uva y el estado hídrico de forma rápida y no invasiva.



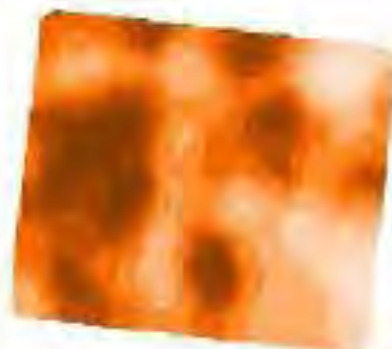
El futuro de la Viticultura pasa por integrar todos estos sensores en equipos móviles conducidos o phenomobiles (quads, tractores, drones) o autónomos (robots). **Hablamos de Agricultura Inteligente (SmartAg)**.

"El desarrollo de plataformas móviles y de la robótica facilitan la aplicación real de la viticultura de precisión."



# Viticultura de precisión

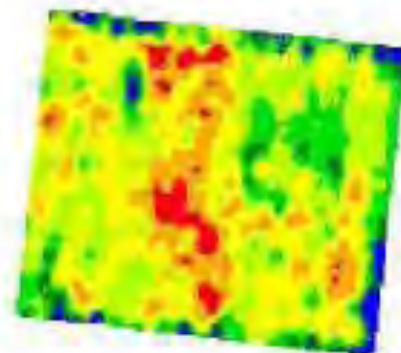
*Observación*



**Información adicional**

Ej. Teledetección, análisis de suelos y tejidos vegetales, mapas de suelos, cálculo de la producción.

*Interpretación*



**Cómo funciona la  
Viticultura de  
Precisión**



**Mapa de rendimiento**

*Implementación*

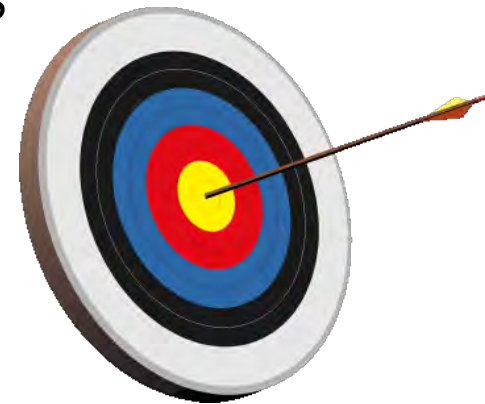
*Evaluación*

**Mapa de gestión**



# Objetivos de la viticultura de precisión

- ★ Perfeccionar la monitorización del vigor del viñedo
- ★ Obtención de mapas de variabilidad (producción, estado nutricional, estado hídrico...)
- ★ Mejora de las prácticas vitícolas
- ★ Mejorar la programación y selección de la vendimia
- ★ Separación y clasificación de la uva según potencial enológico
- ★ Toma de decisiones vitivinícolas según datos e índices fiables
- ★ Trazabilidad de la producción
- ★ Gestión más sostenible del viñedo
- ★ Optimización de recursos (insumos, agua, etc...)
- ★ Incremento de beneficios económicos



# Nuevas tecnologías en viticultura de precisión

## SmartAgriculture

Aplicación de sensores no invasivos en agricultura para obtención de información y de ayuda a la toma de decisiones.

### Objetivos



Desarrollo de nuevas tecnologías para la monitorización del viñedo



Aplicación de nuevos sensores no invasivos para plant phenotyping



Diagnóstico vitícola por imagen



Termografía



Sensores multi e hiperspectrales

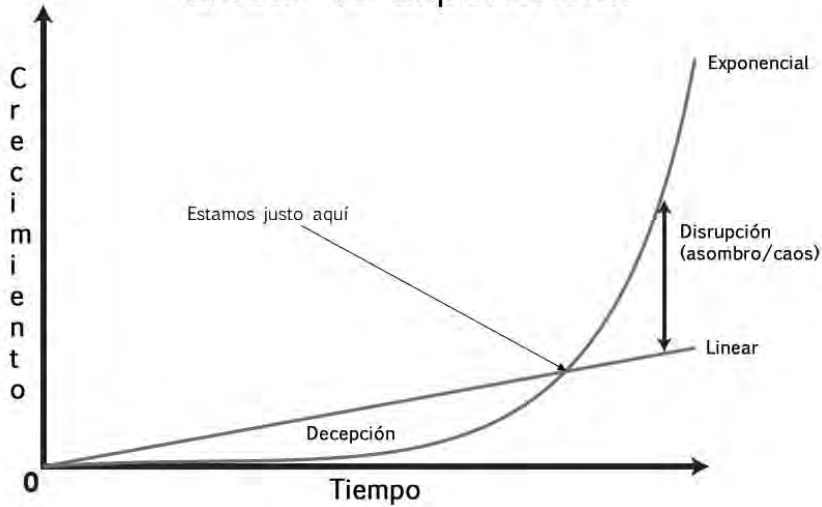


Plataformas móviles terrestres y drones

### Soluciones tecnológicas

# Tecnología lineal vs tecnología exponencial

## Linear vs Exponencial



# Tecnología exponencial: ejemplos



Fuente: McKinsey

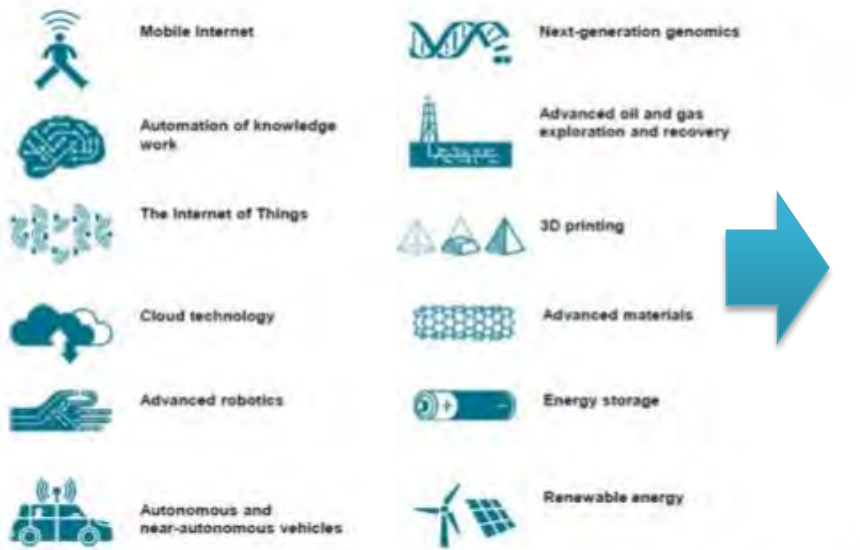
VS



pequeño  
1000000 veces más rápido



# Tecnología exponencial



Source: McKinsey Global Institute

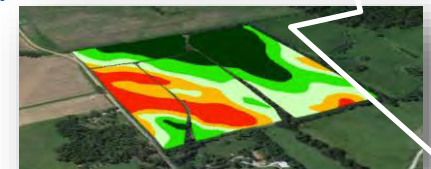
Fuente: McKinsey institute

Pocos datos

Agricultura intuitiva

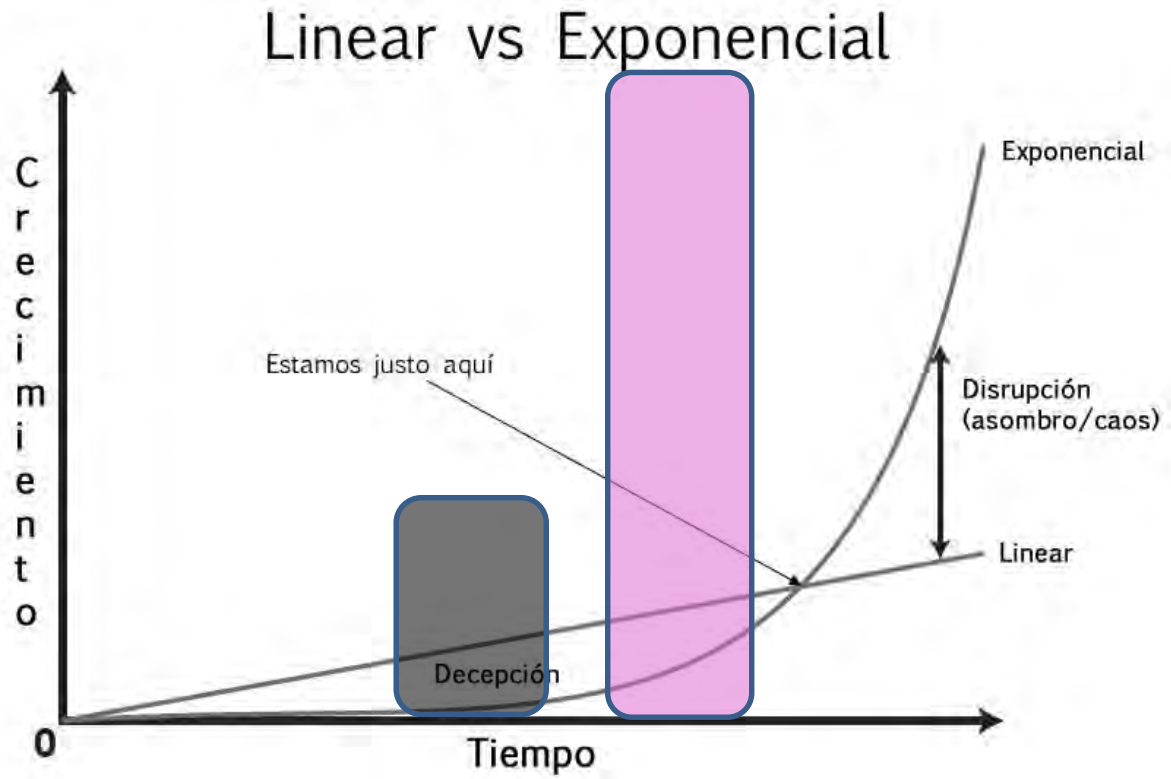
Agricultura de evidencia (basada en patrones)

Agricultura de precisión



Elevado nº datos

# Estado actual de la tecnología



# Parámetros de interés

¿Qué parámetros interesa monitorizar?



Estado hídrico de la planta



Desarrollo vegetativo y productivo



Composición de uva



Algunos inconvenientes de los métodos clásicos:



- ★ Destructivos (toma de muestra de hoja o fruto)
- ★ Laboriosos
- ★ Requieren de alta especialización del operador
- ★ Medición de un bajo/limitado número de plantas

¿Qué se desea?

- ✓ Carácter no destructivo
- ✓ Rápidos
- ✓ Sencillos de manejo e interpretación
- ✓ Capacidad para medir elevado número de muestras y si es posible asignarles referencia espacial (georreferencia)

# Sensores no invasivos



Sensores rápidos y no invasivos

# Estado hídrico de la planta

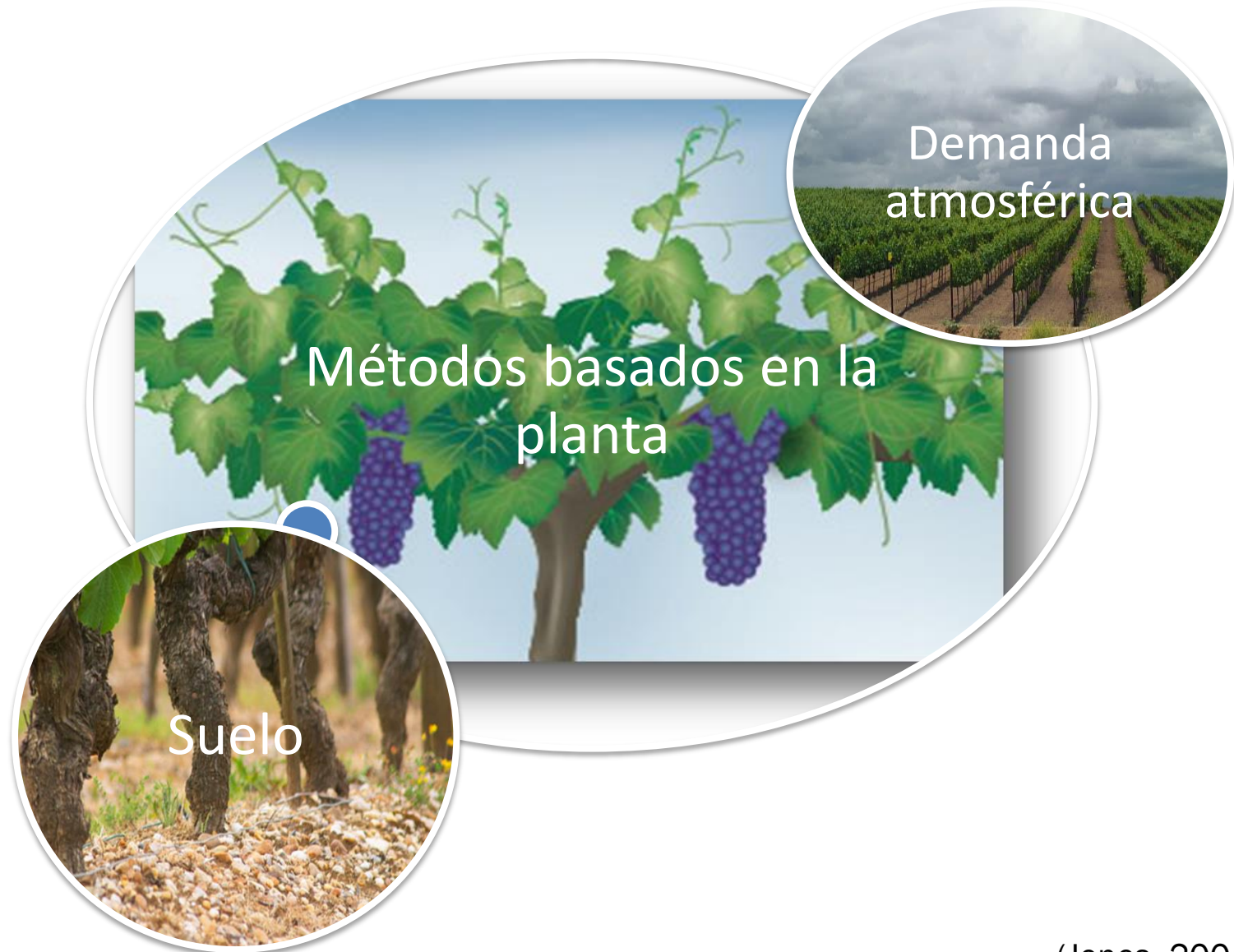


# Estado hídrico del viñedo



Riego

# Estimación del estado hídrico del viñedo



(Jones, 2004)



# Métodos basados en la planta



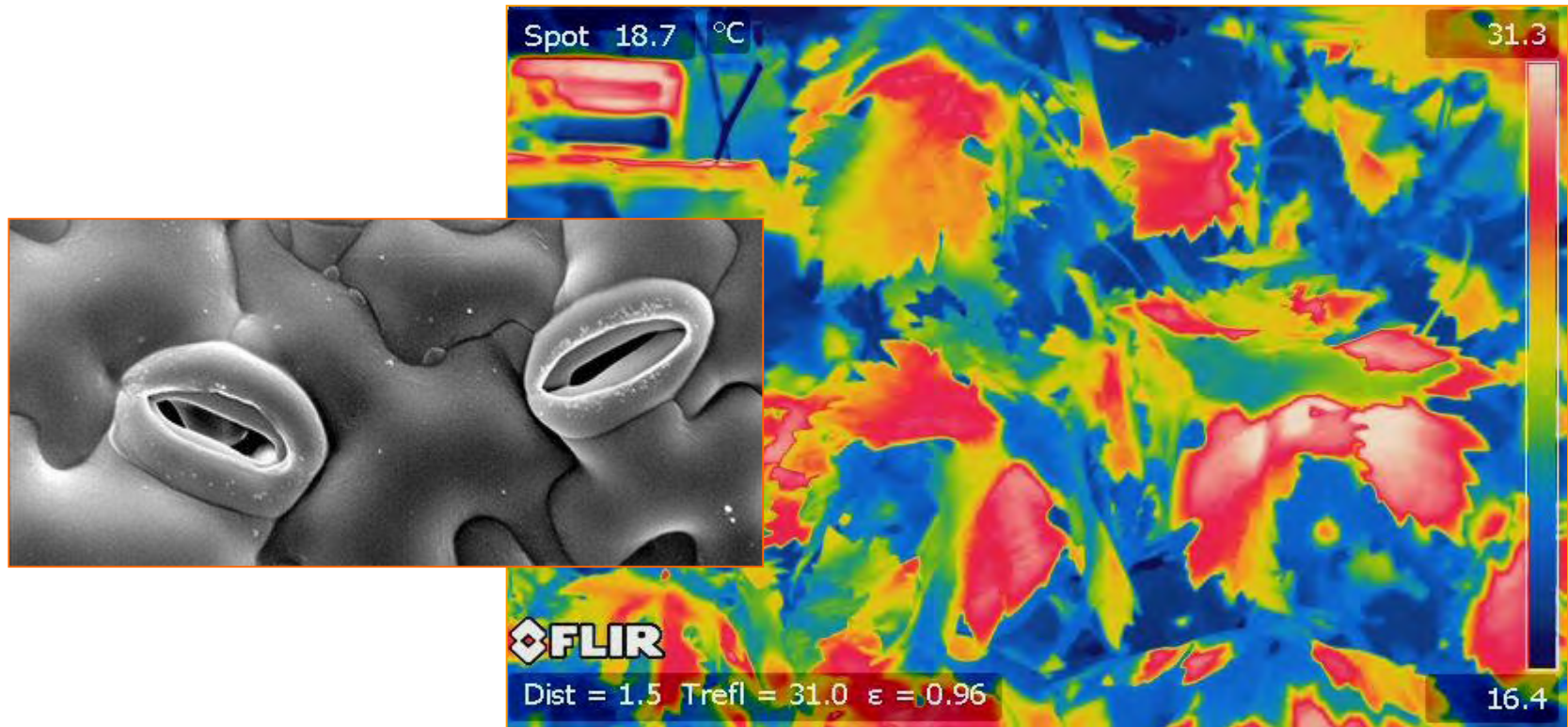
## ★ Termografía

- Manual
- Aérea
- En continuo (on-the-go)

## ★ Espectroscopía NIR

- Equipos portátiles manuales
- Equipos 'contactless' on-the-go

# Principio de la termografía



- ★ Temperatura superficial a partir de la radiación infrarroja emitida
- ★ Relación entre la temperatura de la hoja y la conductancia estomática
- ★ Técnica no destructiva

## ★ Manual

### ★ FLIR ThermaCAM P640

- ★ 7.5 – 13  $\mu\text{m}$
- ★ 640 x 480 píxeles por imagen
- ★ 24° FOV



## ★ Aérea

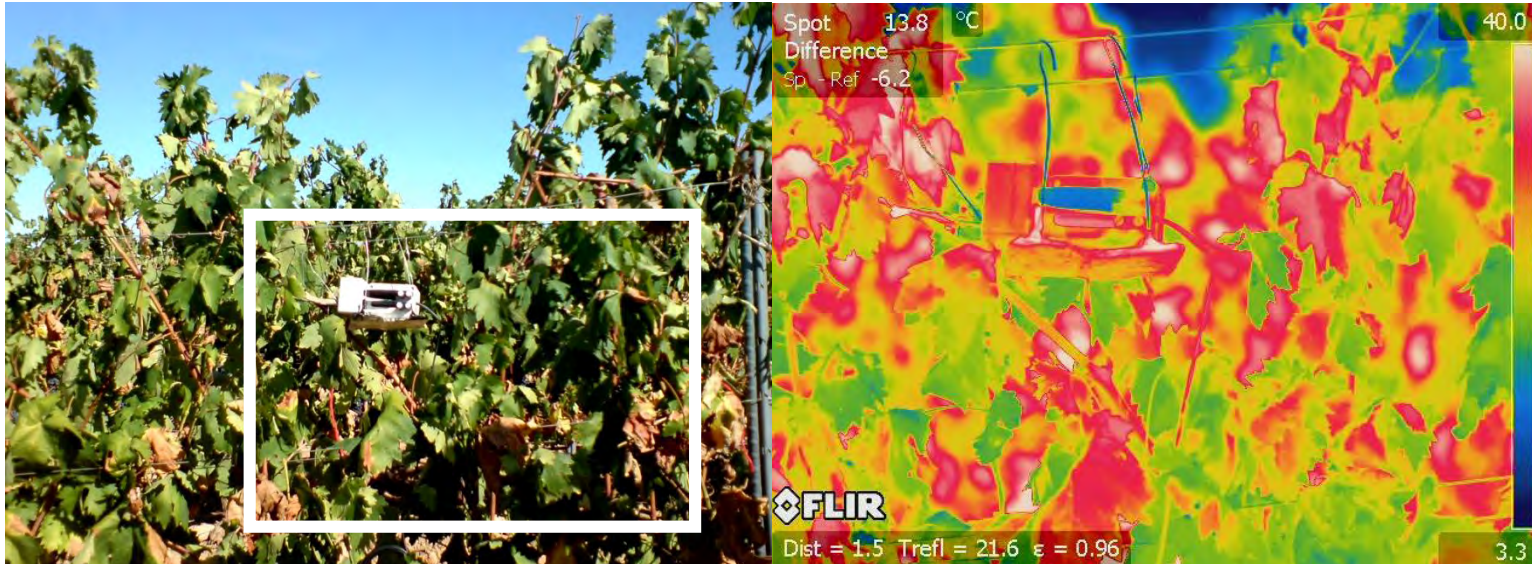
### ★ TASI 600

- ★ 8-11.5  $\mu\text{m}$
- ★ 600 píxeles /línea
- ★ 40° FOV

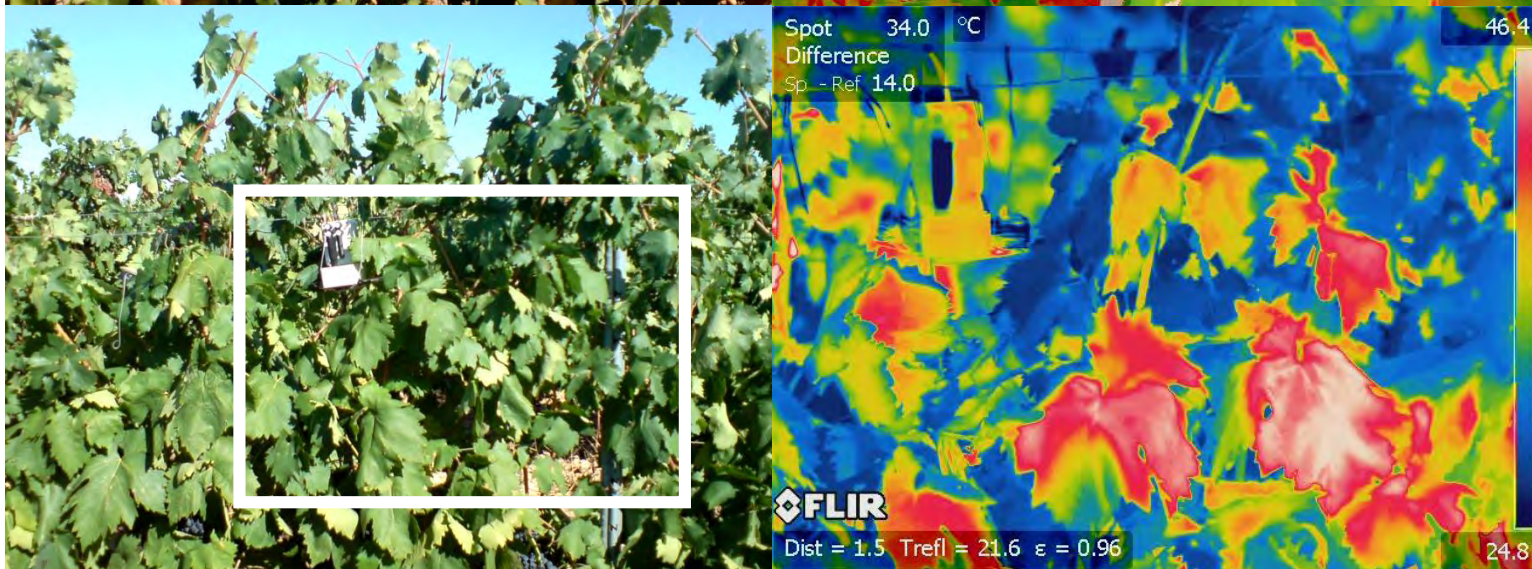


# Estado hídrico de la vid

estresada



No estresada



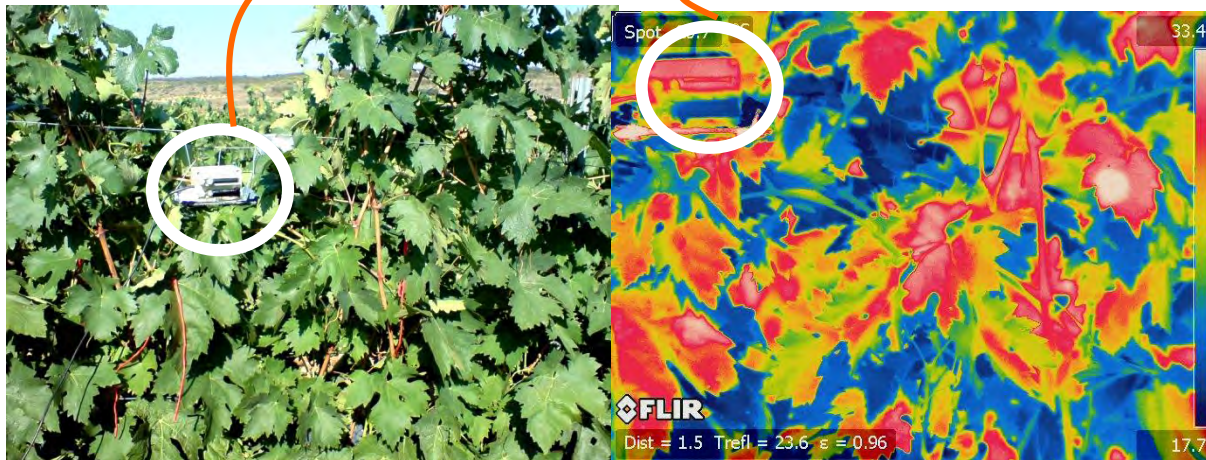
# Termografía: índices.

Crop Water Stress Index  
(Idso et al. 1981)

$$CWSI = \frac{(T_{canopy} - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})}$$

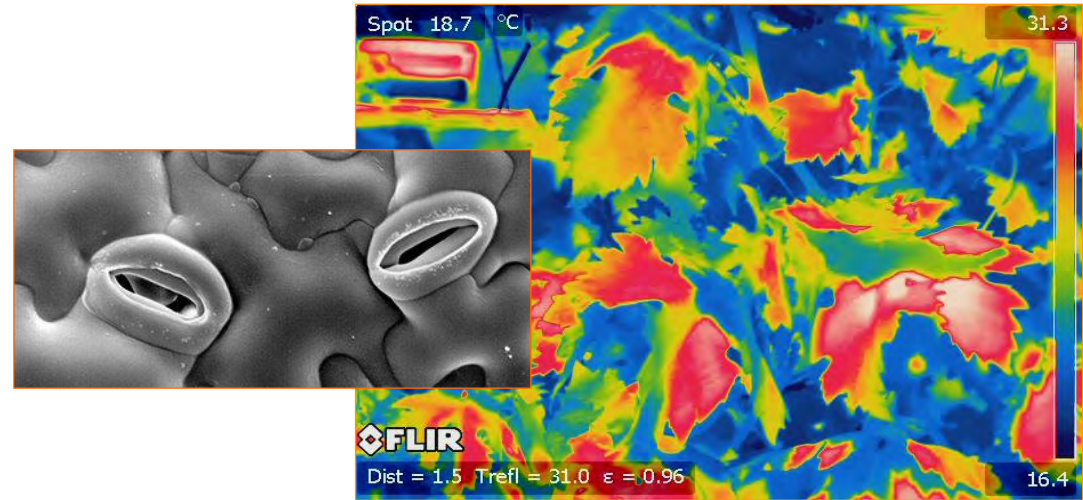
Conductance Index  
(Jones et al. 1999)

$$I_G = \frac{(T_{dry} - T_{canopy})}{(T_{canopy} - T_{wet})}$$





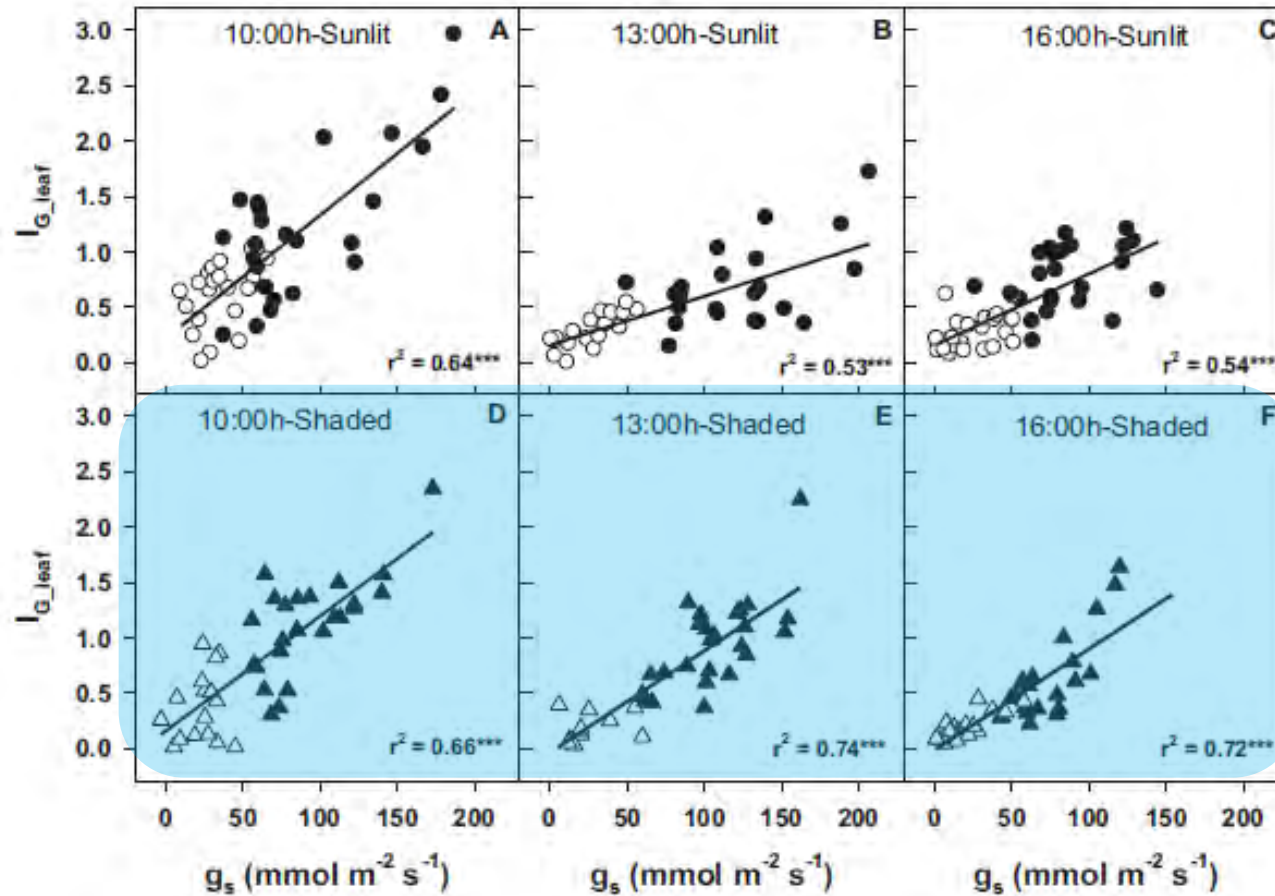
# Termografía manual



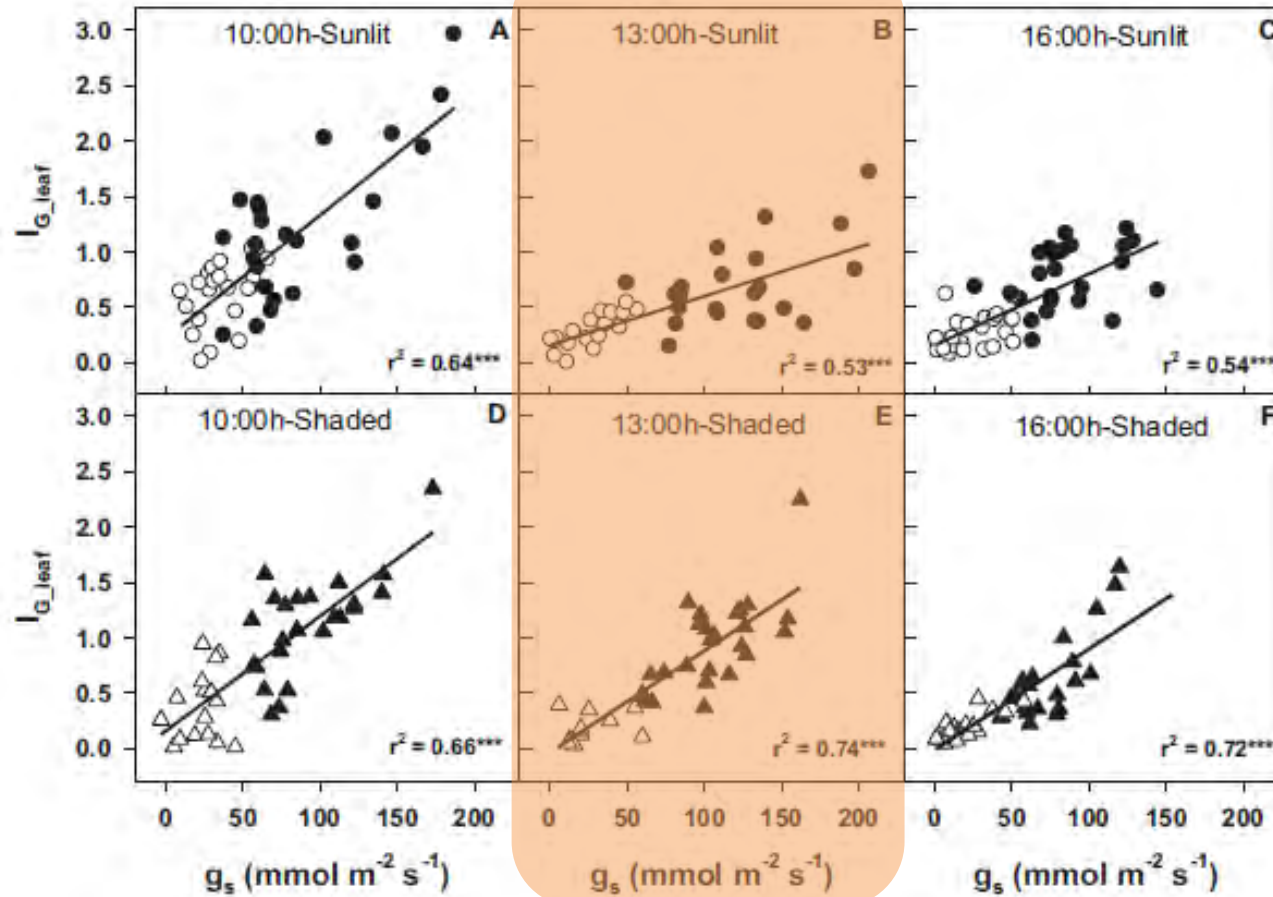
¿Cuál es la mejor hora del día para tomar imágenes térmicas?

¿Qué lado de la espaldera debe fotografiarse, soleado o sombrío?





Lado menos expuesto de la espaldera



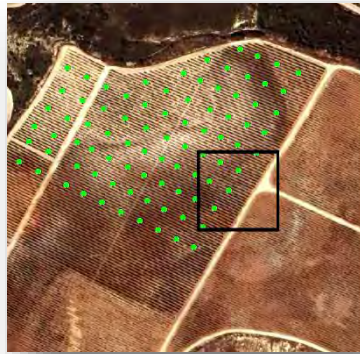
Horas centrales del día

## ★ Vehículo aéreo no tripulado (UAV)



## ★ Avioneta ~ 745 m de altura

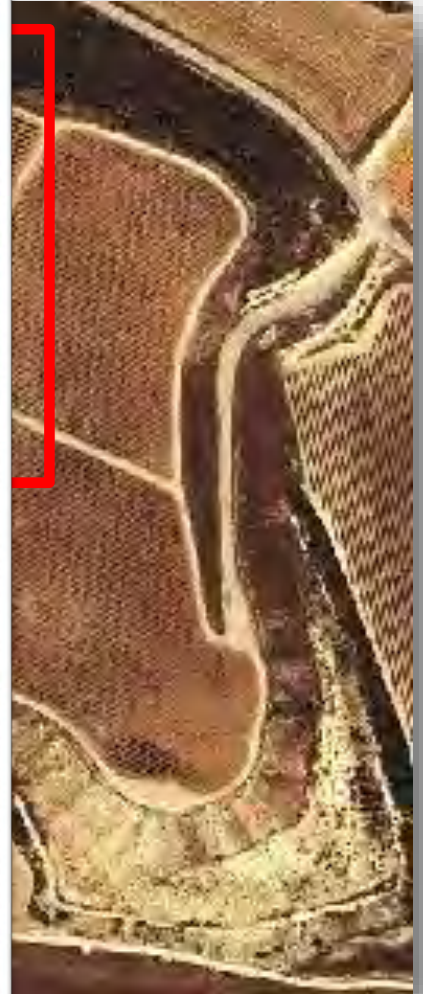
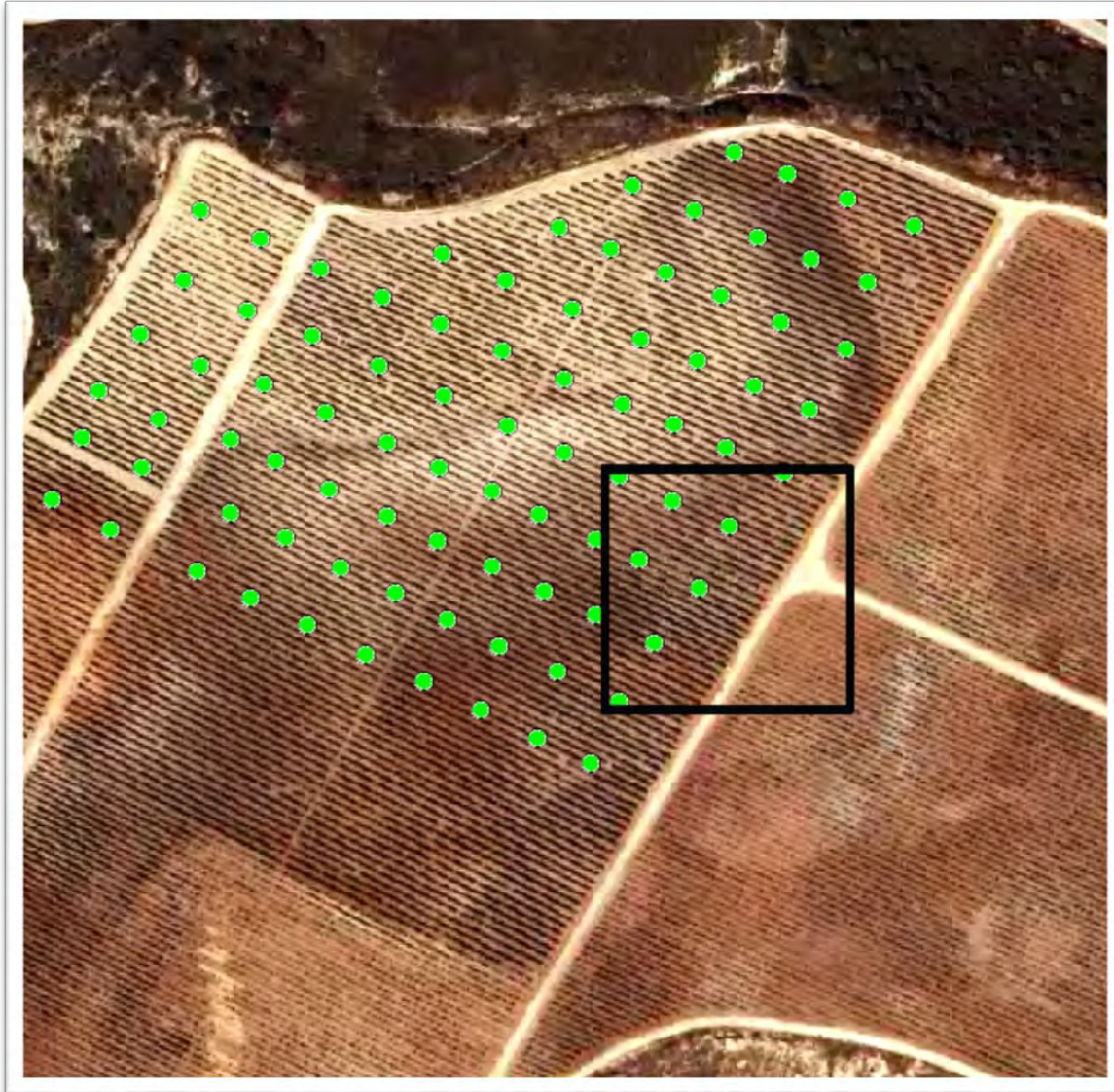




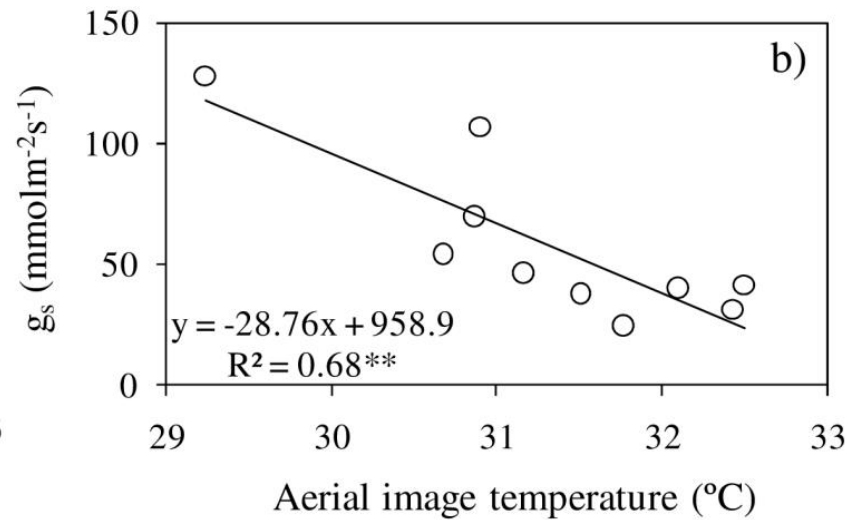
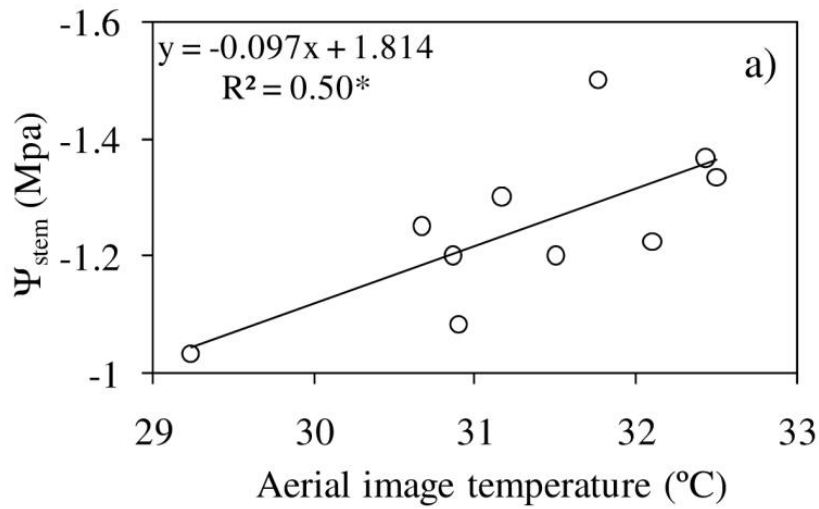
★ Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

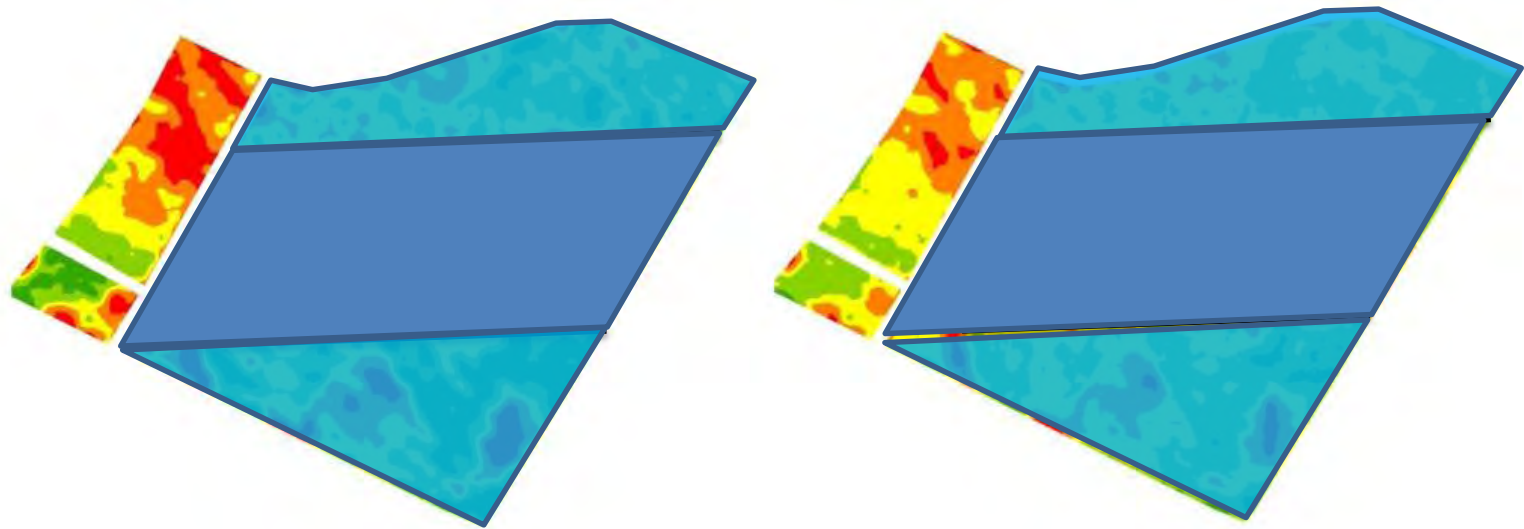
# Viñedos experimentales

★ Tempranillo (*Vitis vinifera* L.); Logroño, La Rioja (Spain)

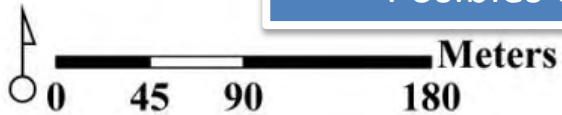


# Termografía aérea





Posibles estrategias de riego diferentes



$g_s$  ( $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

66.00 - 100.27

58.47 - 65.99

52.27 - 58.46

45.52 - 52.26

36.29 - 45.51

$\Psi_{\text{stem}}$  (MPa)

-1.75 - -1.53

-1.52 - -1.38

-1.37 - -1.26

-1.25 - -1.12

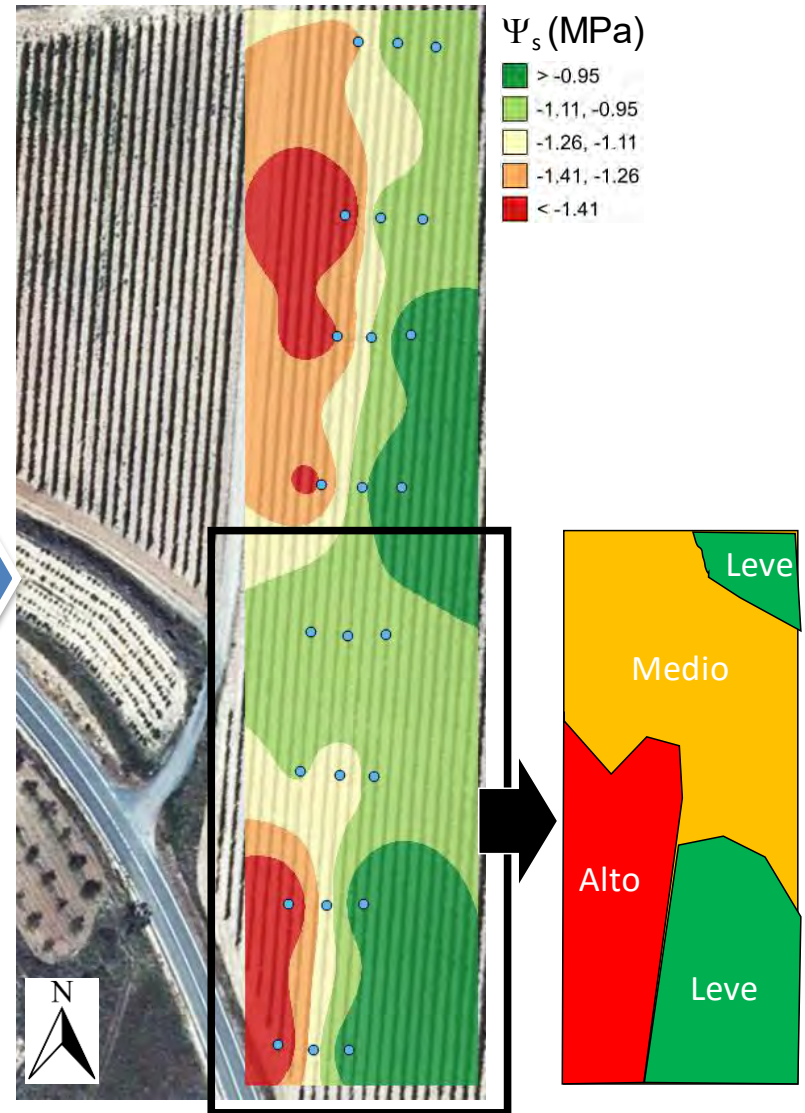
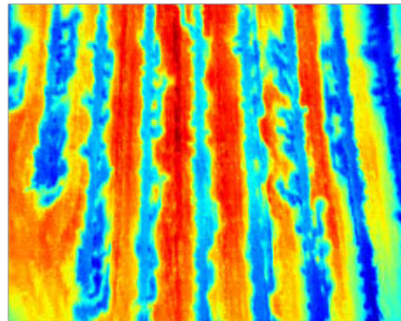
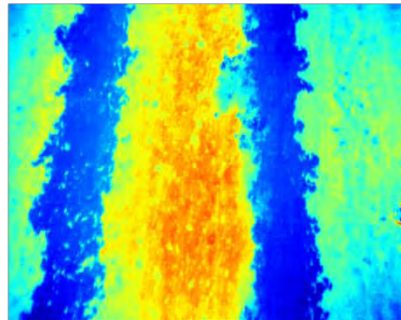
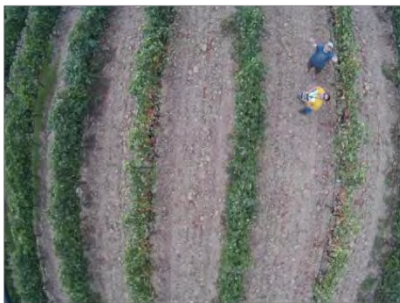
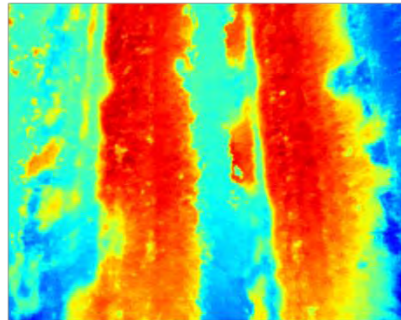
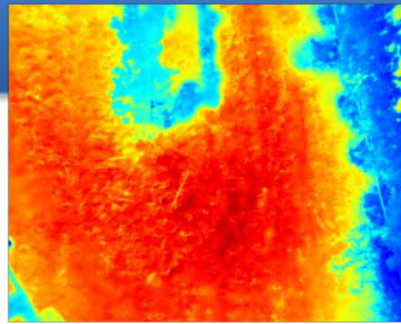
-1.11 - -0.83



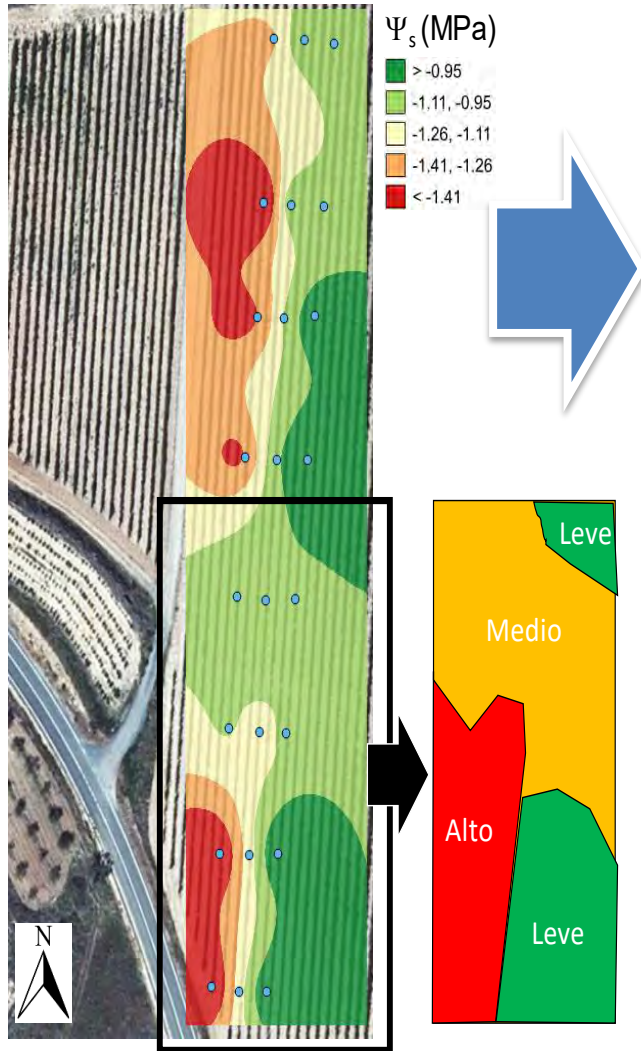
★ Vehículo aéreo no tripulado (UAV)



# Termografía aérea



# Termografía aérea



| Zona             | Nº           | Peso medio | Producción     |
|------------------|--------------|------------|----------------|
| Estado hídrico   | racimos/cepa | racimo (g) | uva /cepa (kg) |
| Leve             | 13.7a        | 364.6a     | 4.91a          |
| Medio            | 13.2ab       | 221.4b     | 3.02b          |
| Alto             | 11.5b        | 131.2c     | 1.60c          |
| Sig. estadística | *            | ***        | ***            |

| Zona             | Peso 1 baya | Azúcares | pH   | NFA     |
|------------------|-------------|----------|------|---------|
| (Estado hídrico) | (g)         | (º Brix) |      | (g/l N) |
| Leve             | 1.98a       | 21.6     | 3.51 | 203.4b  |
| Medio            | 1.84a       | 21.7     | 3.56 | 177.5b  |
| Alto             | 1.57b       | 22.4     | 3.66 | 303.7a  |
| Sig. estadística | *           | ns       | ns   | **      |

★ Avioneta ~ 745 m de altura



# Termografía aérea con avión tripulado



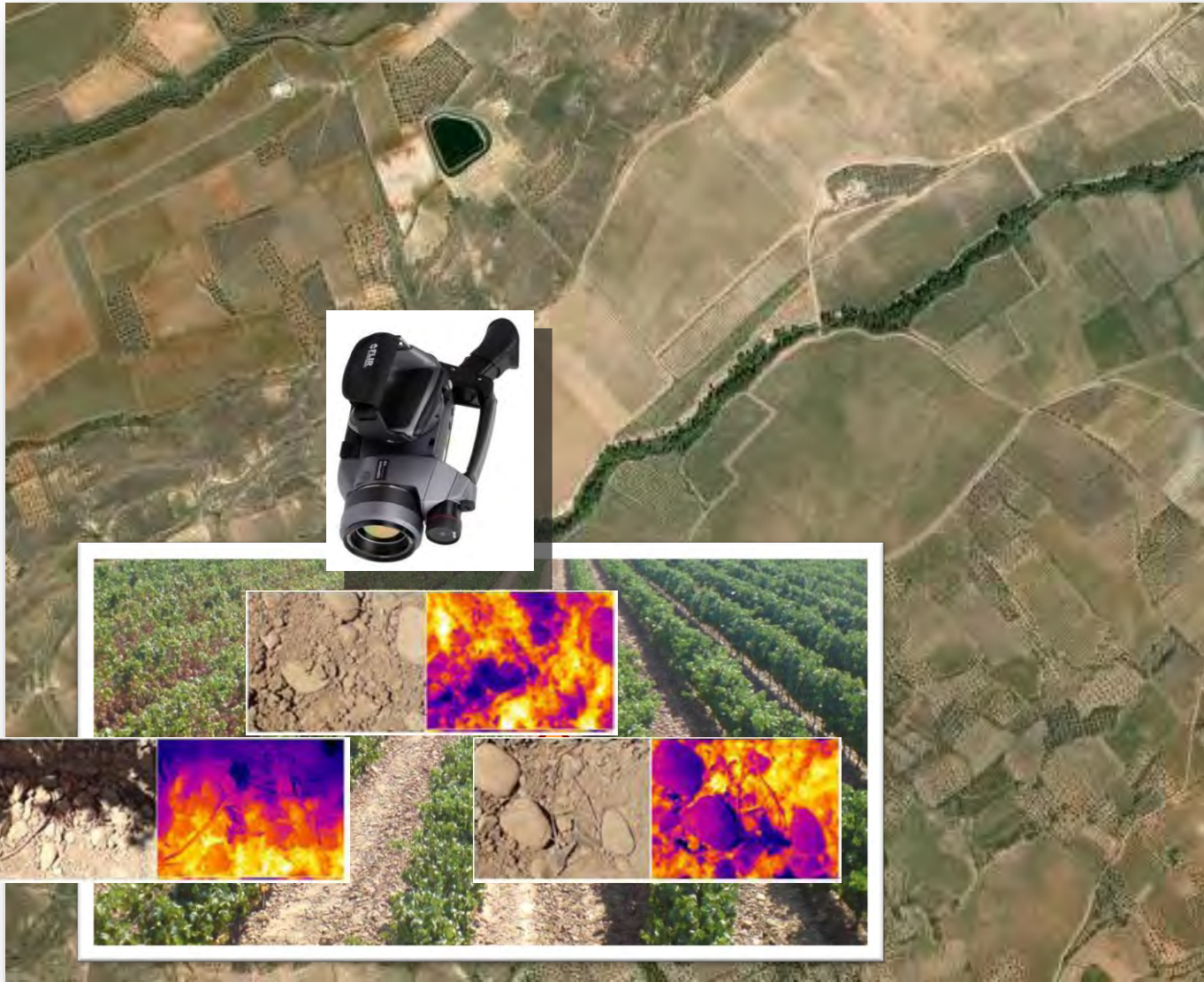
Tudelilla, La Rioja



# Termografía : efecto de la temperatura del suelo

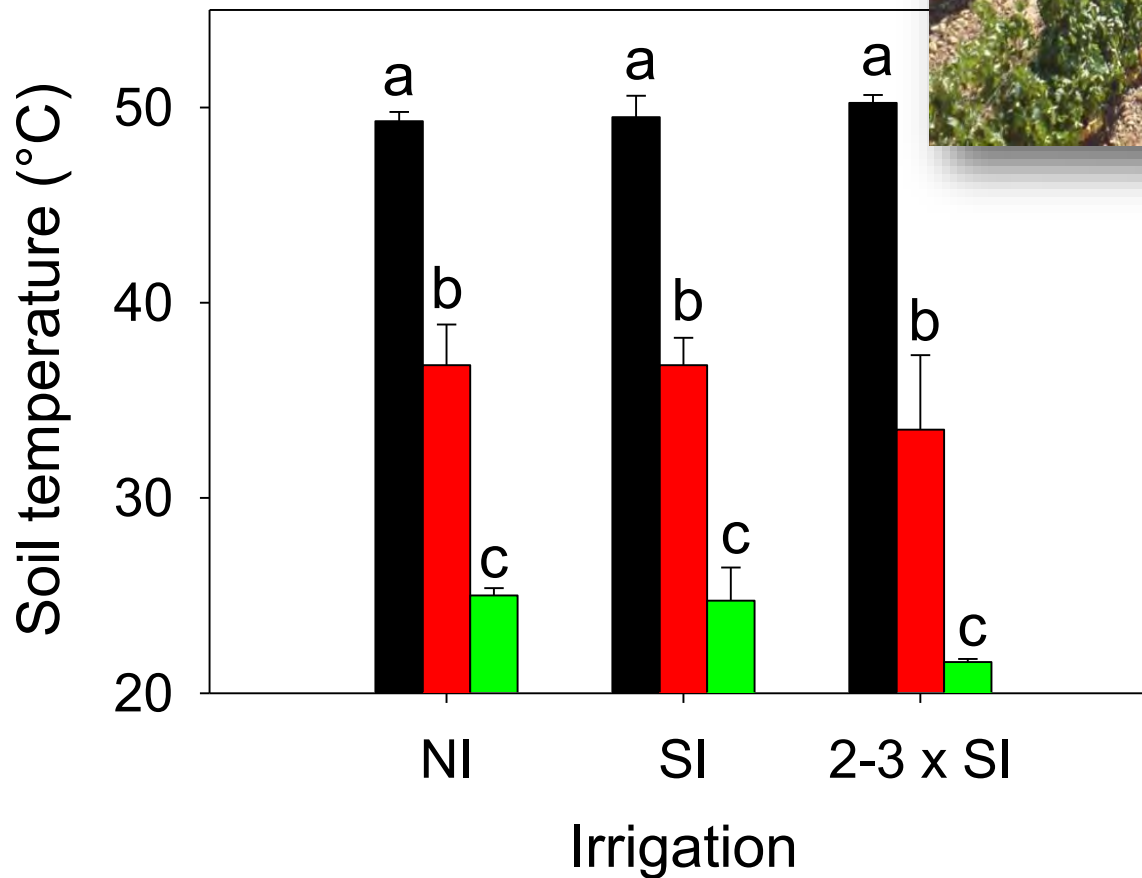
- ★ Imagen aérea: píxel puede incluir información del suelo
- ★ ¿Cuál es el impacto de la humedad del suelo?
- ★ ¿Cómo influye el sombreado?

# Termografía : efecto de la temperatura del suelo



55.1°C  
28.4°C

# Termografía : efecto de la temperatura del suelo



# Termografía on-the-go



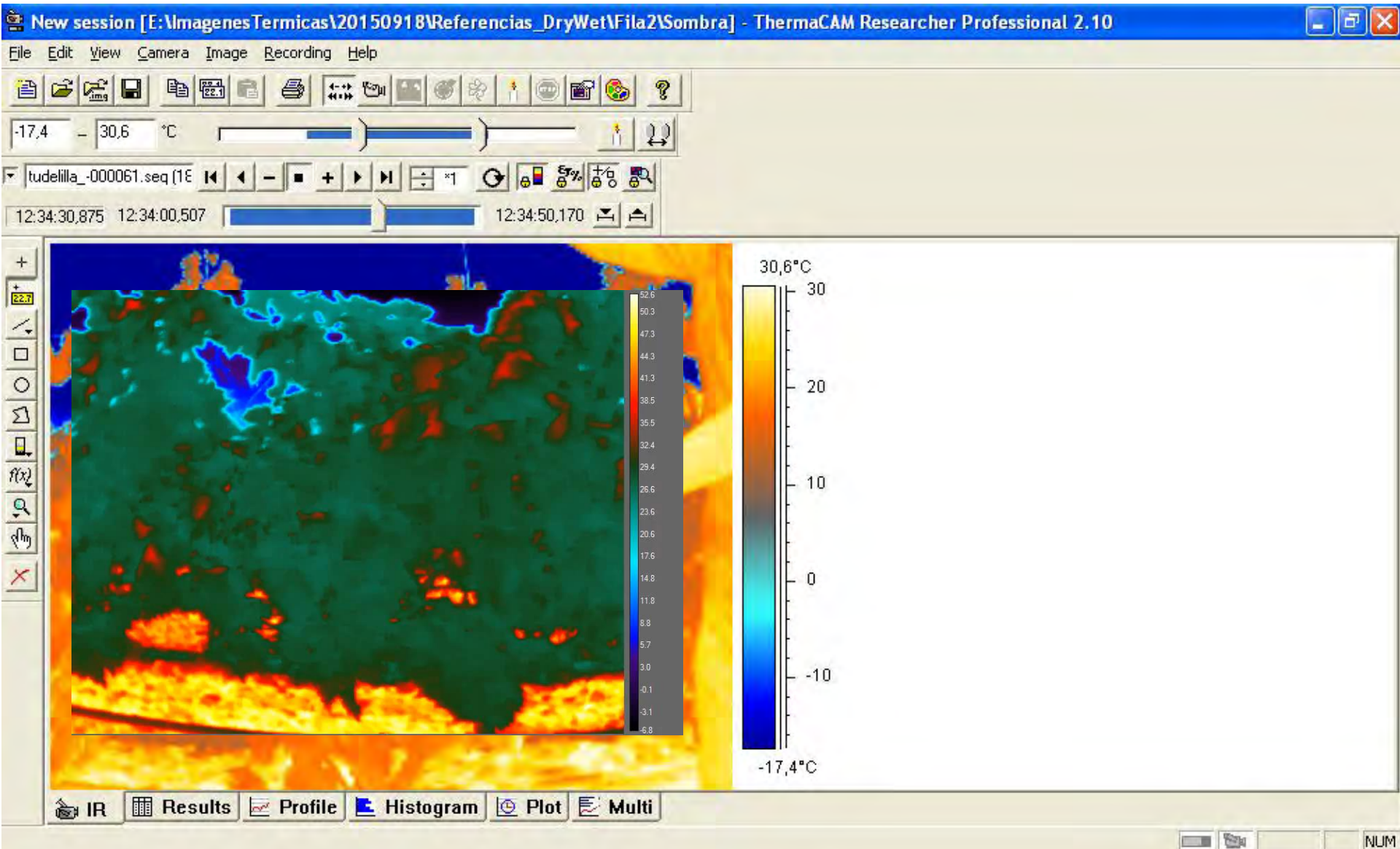
# Termografía on-the-go

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Imaging & Optical Data    | FLIR A35  |
| IR resolution             | 320 x 256 pixels  |
| Spatial resolution (IFOV) | 48° (H) x 39° (V) with 9 mm lens<br>25° (H) x 19° (V) with 19 mm lens<br>lenses are not interchangeable and need to be specified at time of order |
| Image frequency           | 60 Hz   |
| Detector data             |   |
| Detector pitch            | 25 $\mu$ m  |

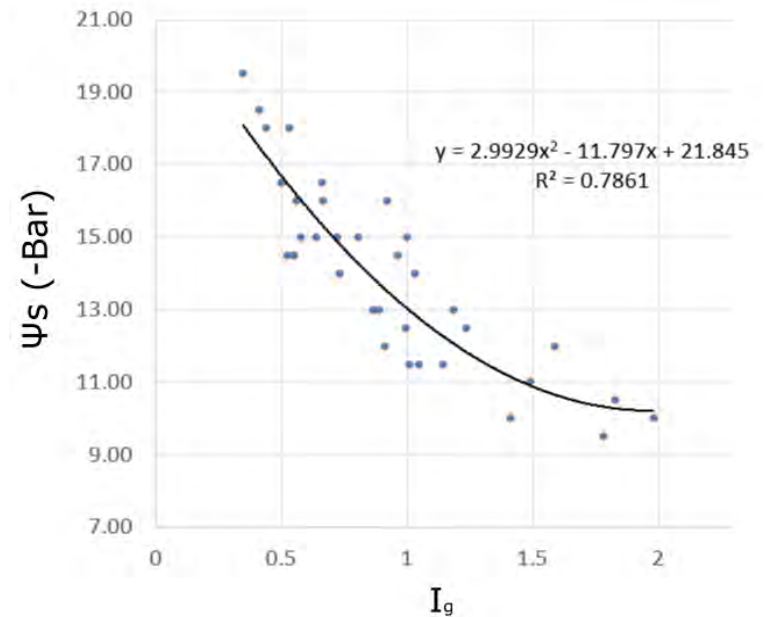
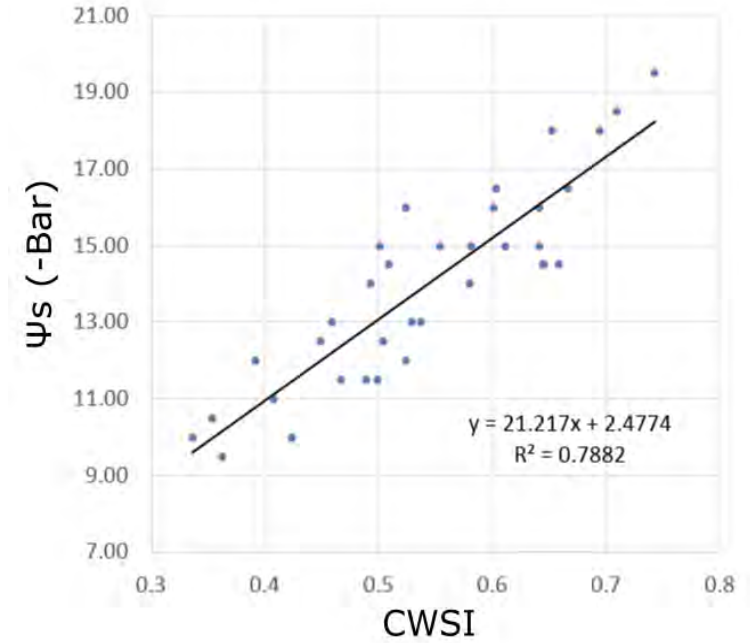
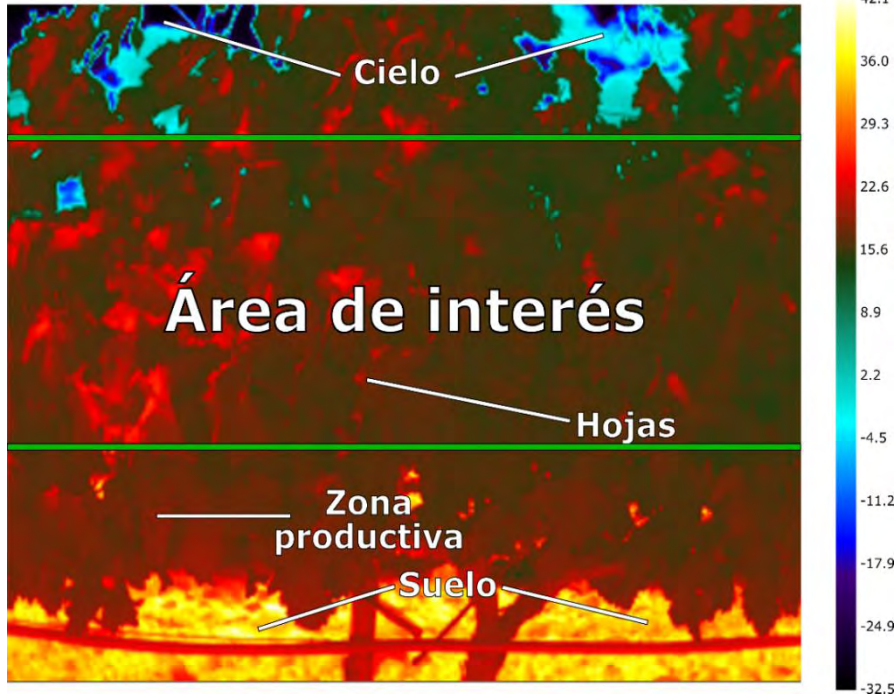


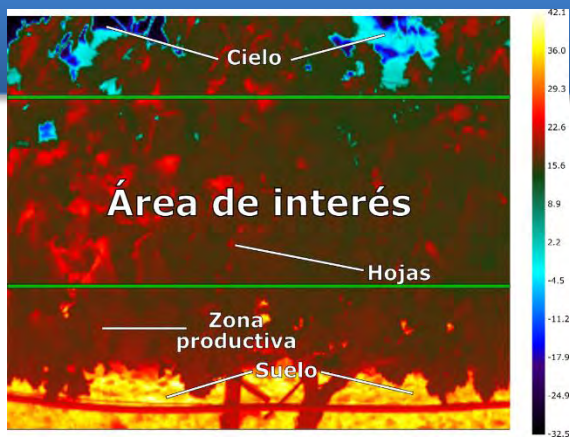
|                          |  |
|--------------------------|--|
| Measurement              |  |
| Object temperature range | -25°C to +135°C (-13 to 275°F) / -40°C to +550°C (-40 to 1022°F) |

# Termografía on-the-go

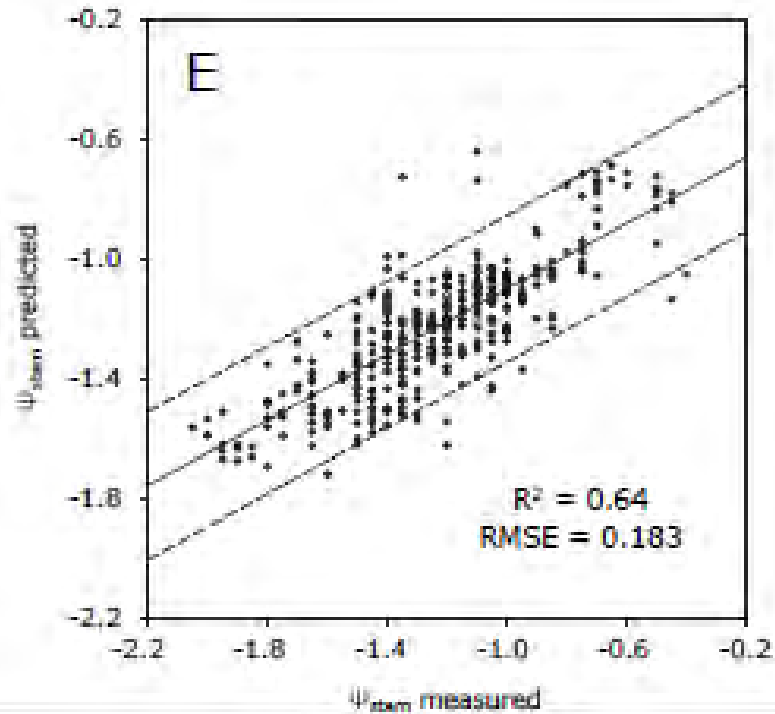


# Termografía on-the-go

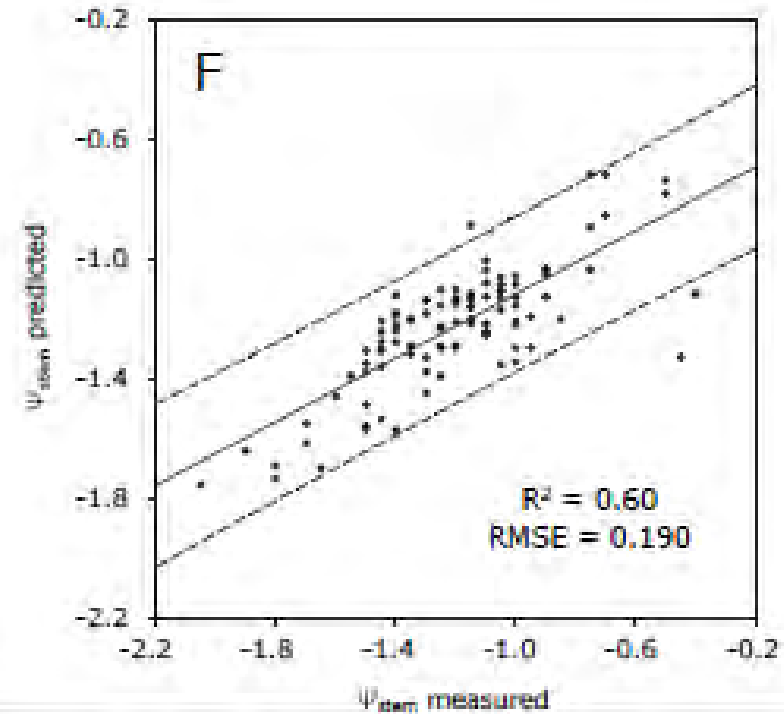




Validación cruzada

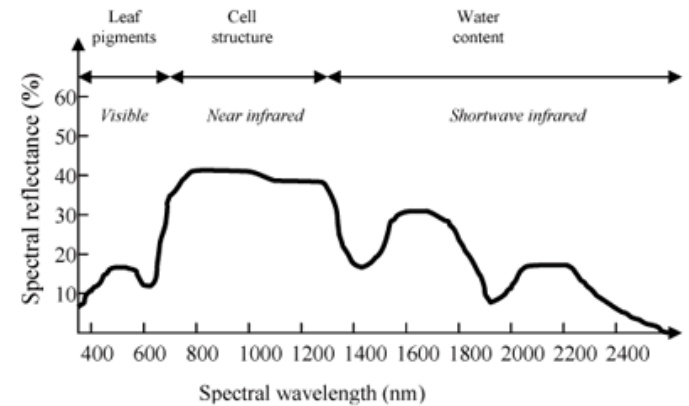
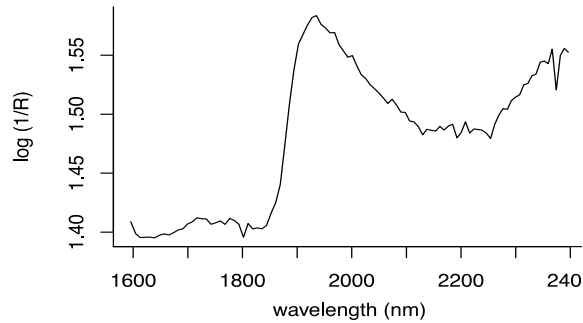


Valid. Externa - predicción

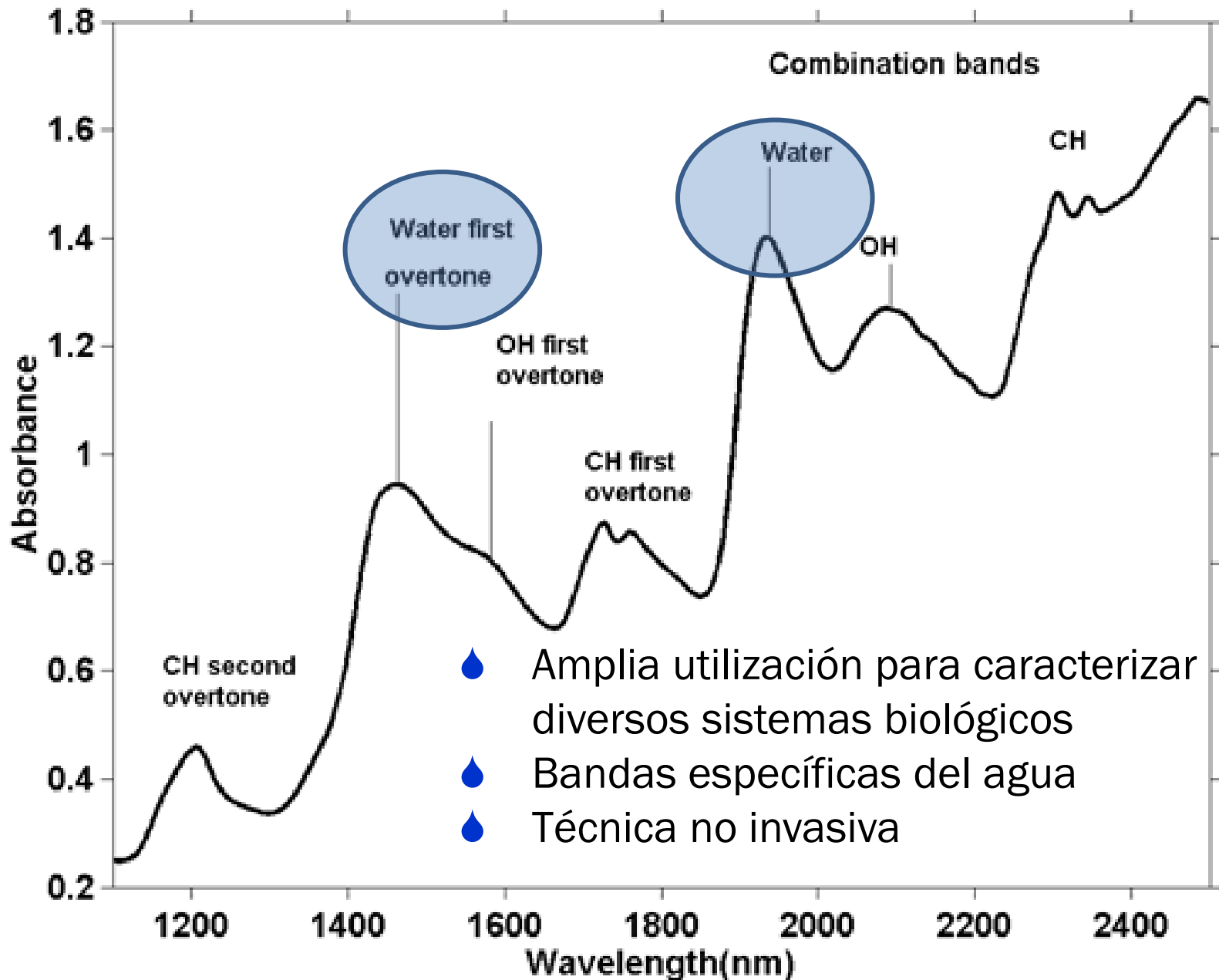


Both sides

# Espectroscopía NIR



**Figure 1**  
Typical reflectance sensitivities as controlled by leaf pigments,  
cell structure and water content (adapted from Gaussman, 1977)



## ★ Manual portátil

### ★ MicroPhazir™

- ★ 1600-2400 nm
- ★ Intervalo espectral: 8.7nm
- ★ Tiempo integración: 600 ms



## ★ Contactless (“on-the-go”)

### ★ PSS-X-212 (Polytec)

- ★ 1200-2100 nm
- ★ Spot size: 10 cm
- ★ Acquisition rate: 28 Hz



# Espectroscopía NIR

## ★ Manual portátil

### ★ MicroPhazir™

- ★ 1600-2400 nm
- ★ Intervalo spectral: 8.7nm
- ★ Tiempo integración: 600 ms



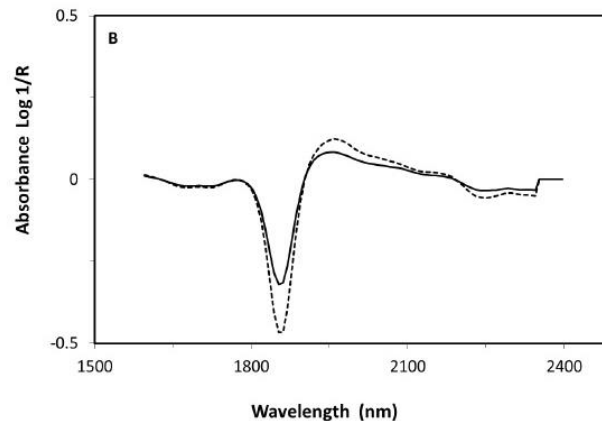
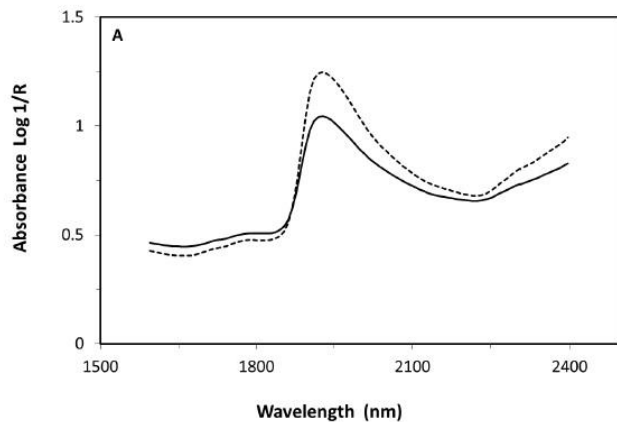


# Espectroscopía NIR portátil

- 2 viñedos
- 16 variedades

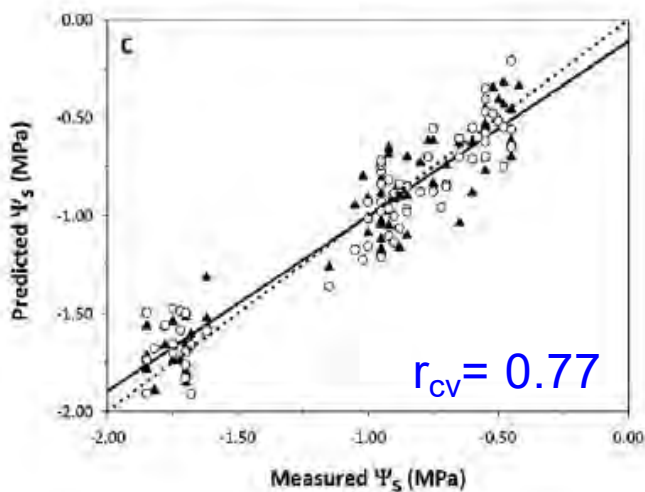
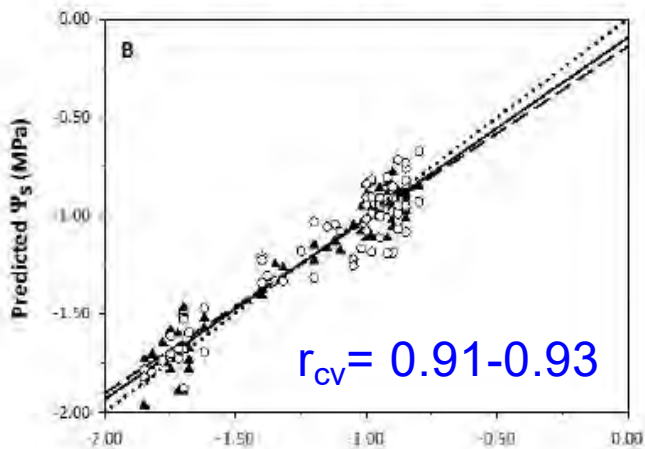
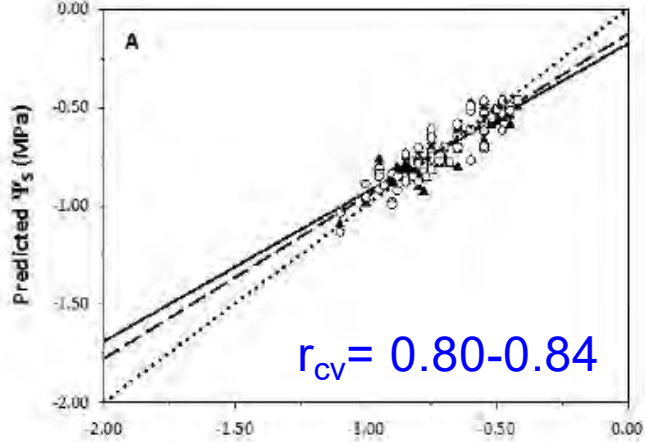


| Sets       | Viñedo 1       | Viñedo 2       | Global         |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| Parámetros | $\Psi_s$ (MPa) | $\Psi_s$ (MPa) | $\Psi_s$ (MPa) |
| N          | 80             | 80             | 160            |
| Mínimo     | -0.42          | -0.80          | -0.42          |
| Máximo     | -1.10          | -1.85          | -1.85          |
| Media      | -0.73          | -1.18          | -0.97          |
| SD         | 0.18           | 0.35           | 0.36           |



adaxial - - - - -  
 abaxial —————

# Espectroscopía NIR portátil



envés (▲) ————  
haz (○) - - - - -

A: viñedo 1  
B: viñedo 2  
C: global

# Espectroscopía NIR

## ★ Contactless on-the-go

### ★ PSS-X-212 (Polytec)

- ★ 1200-2100 nm
- ★ Spot size: 10 cm
- ★ Acquisition rate: 28 Hz

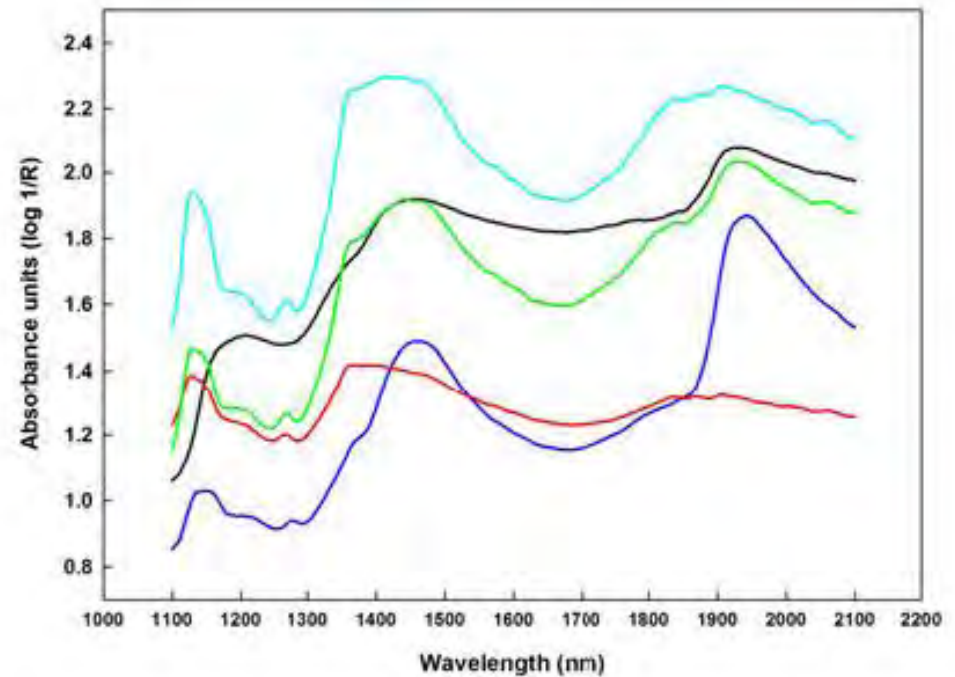
A



B

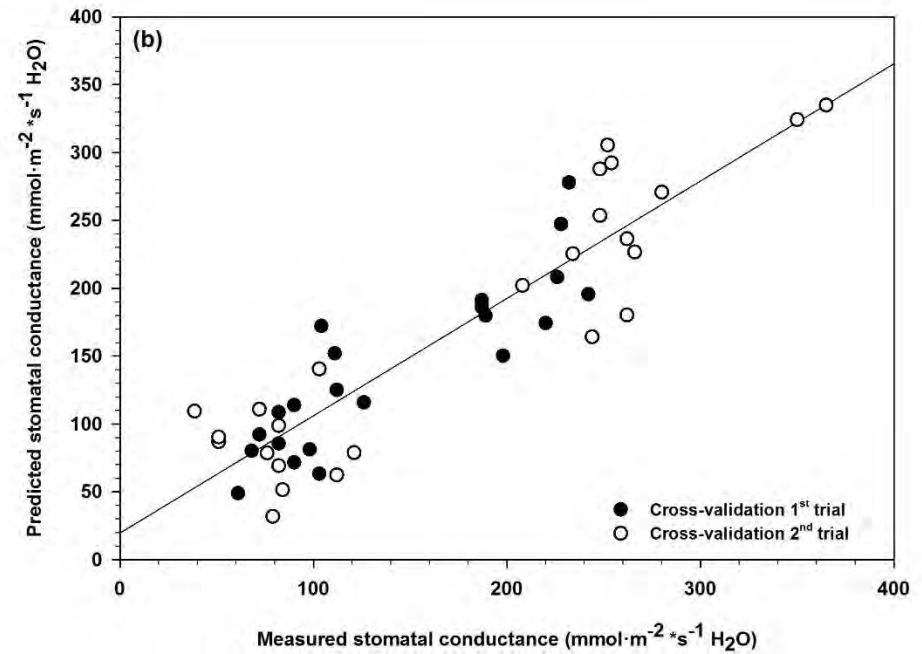
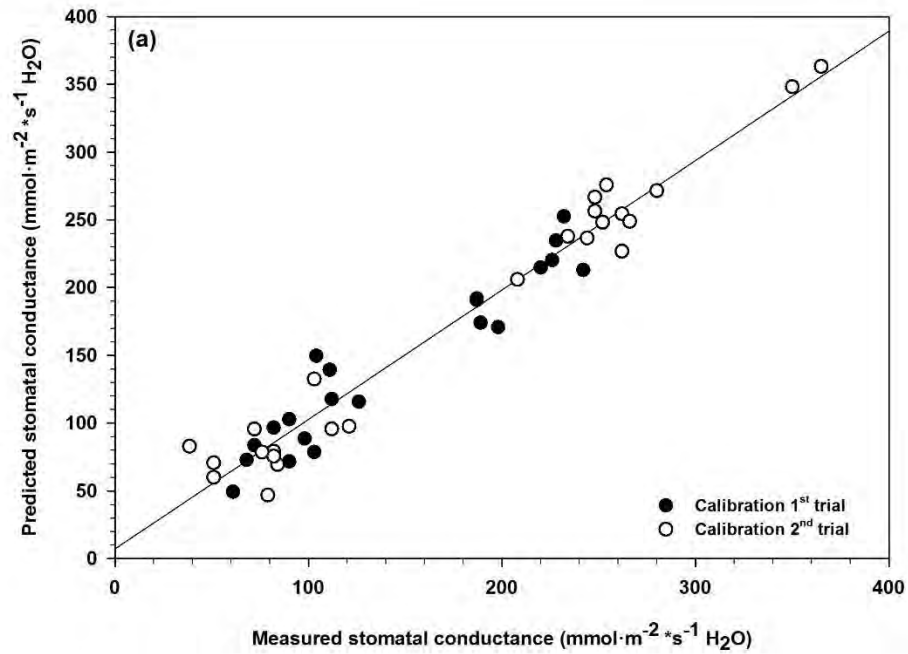


# Espectroscopía NIR on-the-go

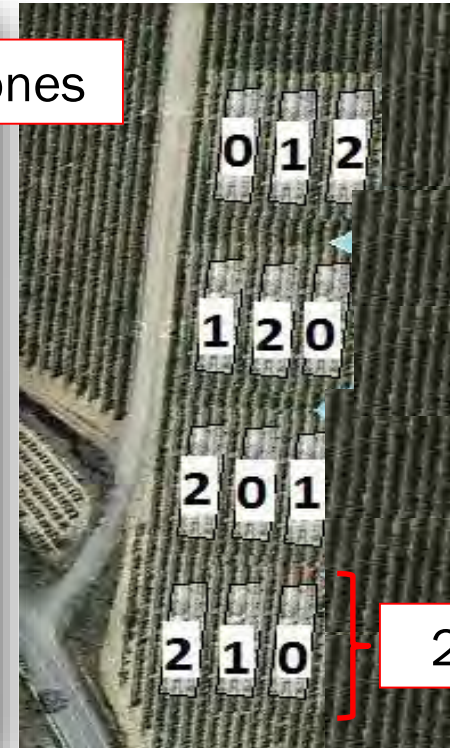


**Figure 2.** Spectral absorbance of leaves (—), bunches (—) and other constituents of the canopy, wooden post (—), grapevine shoot (—) and gap (—), acquired contactless from a 50 cm distance.

# Espectroscopía NIR on-the-go



Diseño bloques al azar con 4 repeticiones



25 cepas

| Tratamiento | Nivel estrés hídrico | $\Psi_x$ (MPa)  |
|-------------|----------------------|-----------------|
| T0          | Sin estrés           | $> -0.8$        |
| T1          | Moderado             | $-1.0$ a $-1.2$ |
| T2          | Severo               | $< -1.4$        |

# Espectroscopía NIR on-the-go



## ★ PSS-X-212 (Polytec)

- ★ 1200-2100 nm
- ★ Spot size: 10 cm
- ★ Frecuencia de adquisición: 28 Hz

A



B



A



B



$g_s$

Hz

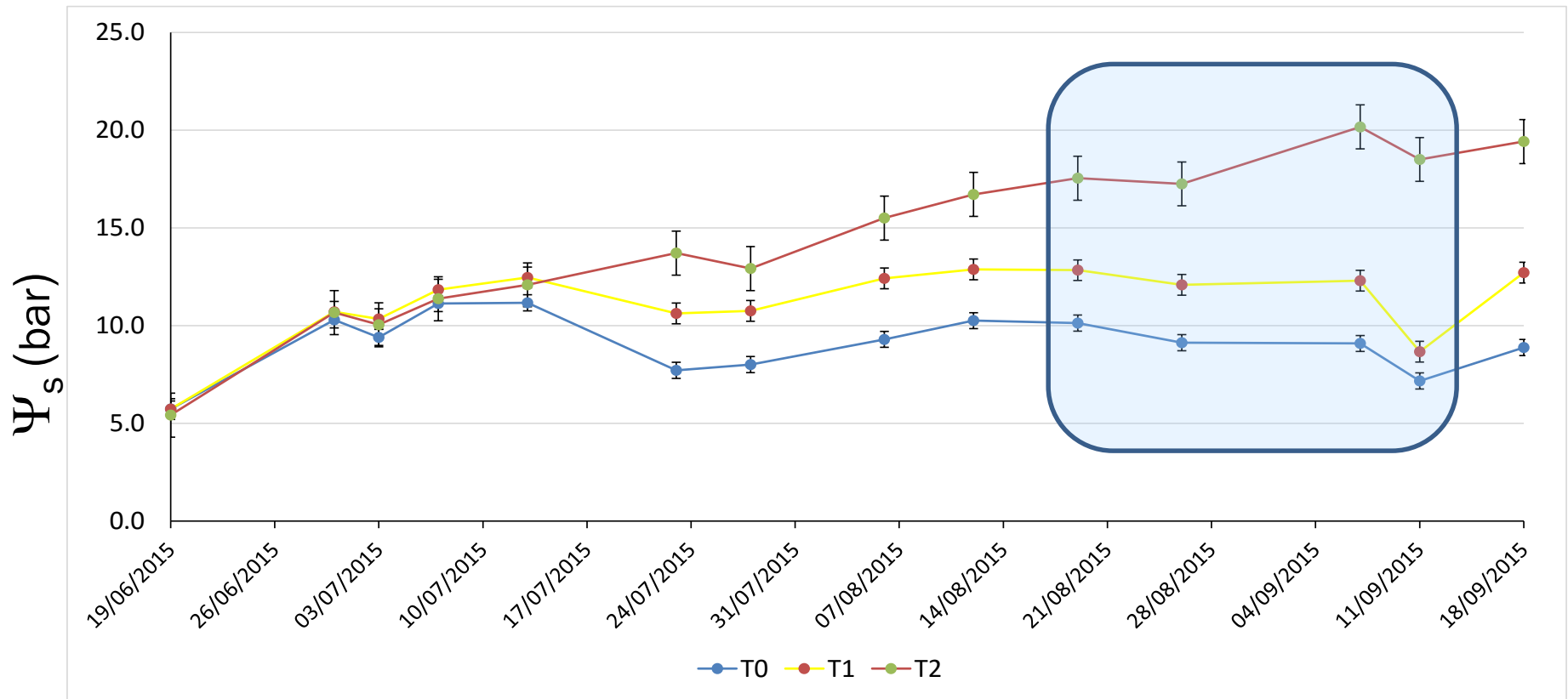
- 4 Fechas (envero-vendimia)
- A mediodía solar: 13:00-14:30 hr
- 3 medidas de  $\Psi_s$  y 6 medidas  $g_s$  por repetición



$\Psi_s$

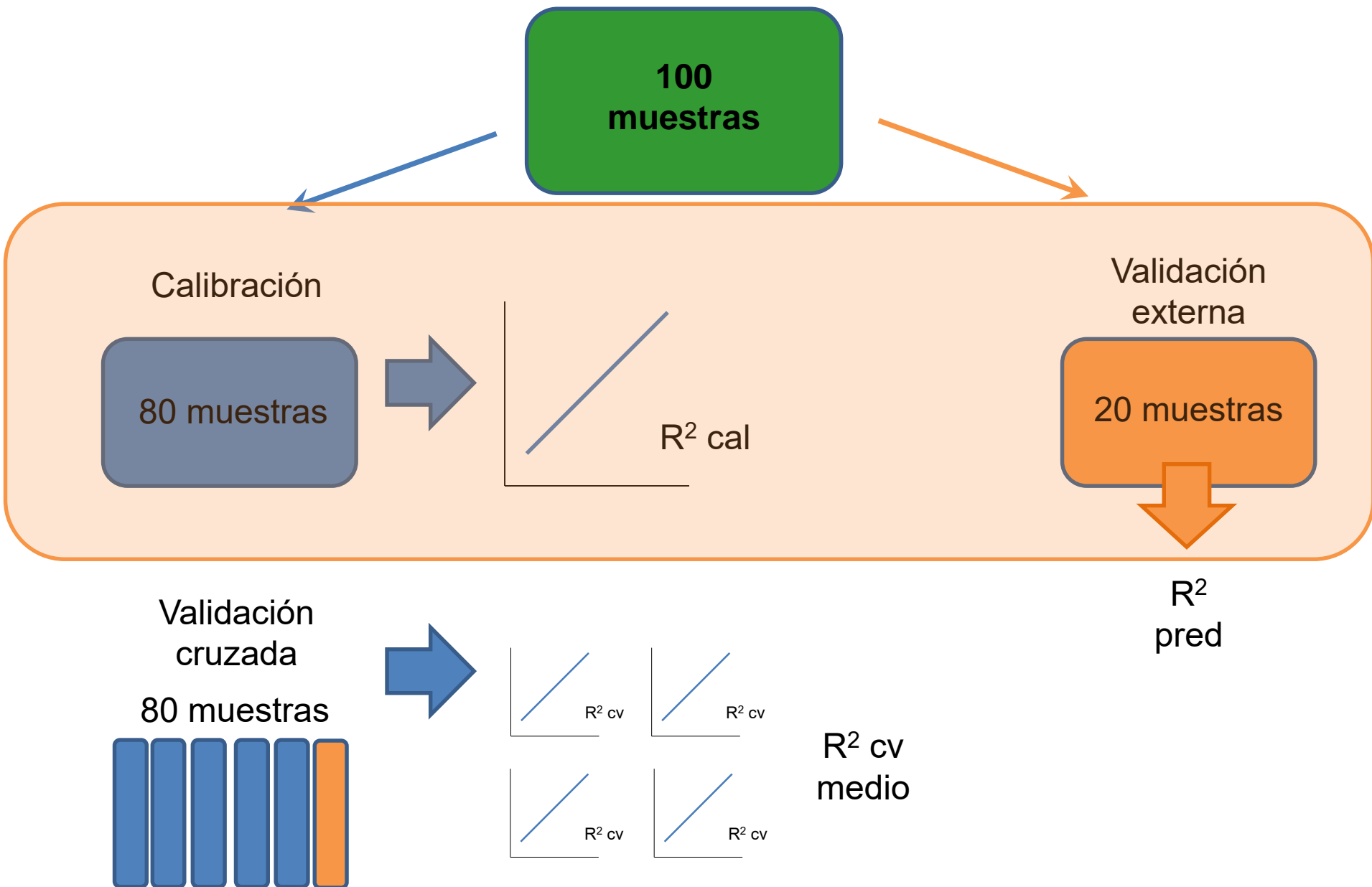


# Evolución del potencial hídrico



- 💧 Diferencias significativas en potencial hídrico entre los tres regímenes hídricos

# Calibración, validación interna y externa

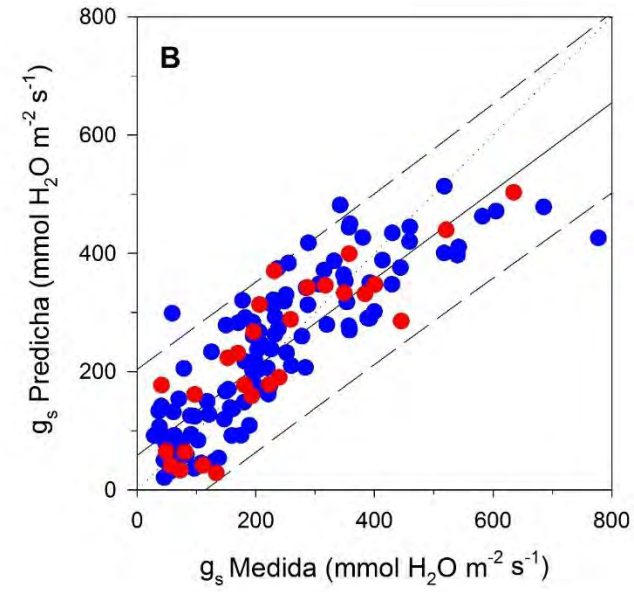
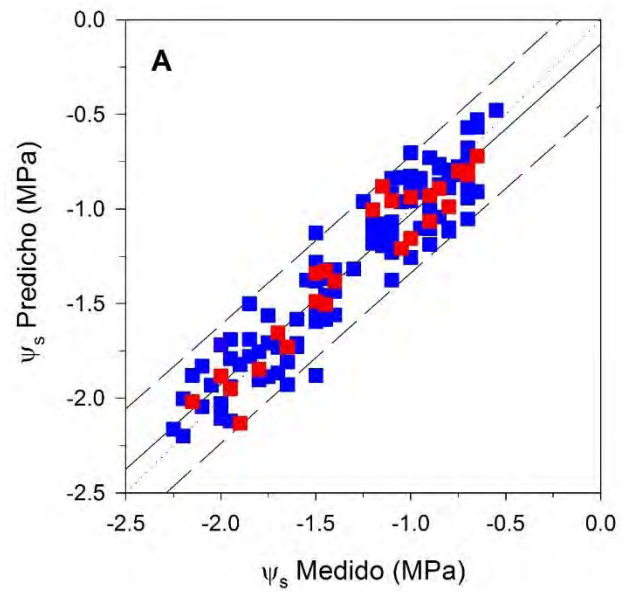


# Estimación de $\Psi_s$ y $g_s$

| Cara     | Pre-tto. espectral | Validación interna |         |       |            | Validación externa |         |
|----------|--------------------|--------------------|---------|-------|------------|--------------------|---------|
|          |                    | SEC                | $R^2_c$ | SECV  | $R^2_{cv}$ | SEP                | $R^2_p$ |
| $\Psi_s$ |                    |                    |         |       |            |                    |         |
| Este     | SNV+D1v15          | 1.33               | 0.92    | 1.61  | 0.88       | 1.27               | 0.92    |
| Oeste    | SNV+D1v15          | 1.66               | 0.87    | 2.05  | 0.81       | 1.34               | 0.91    |
| $g_s$    |                    |                    |         |       |            |                    |         |
| Este     | SNV+D1v7           | 63.23              | 0.83    | 81.71 | 0.72       | 74.98              | 0.75    |
| Oeste    | Suav.+D2v15        | 71.23              | 0.79    | 84.56 | 0.70       | 90.19              | 0.65    |

- Para ambos indicadores de estado hídrico, los mejores resultados se obtuvieron a partir de medidas en la cara este. En general mejores resultados con potencial hídrico.

# Estimación de $\Psi_s - g_s$ Cara este

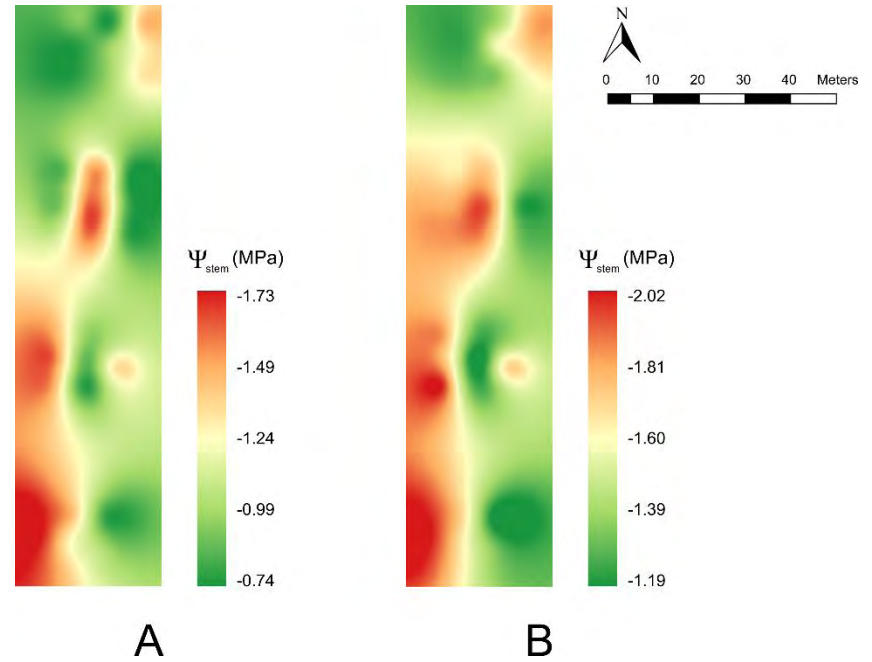
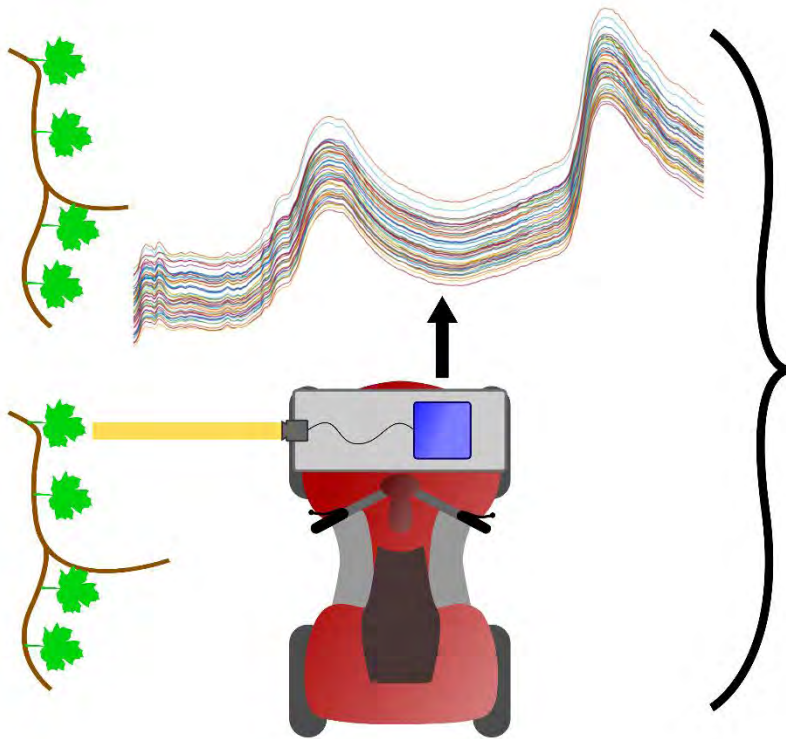


■ Validación interna ( $R^2=0.88$ )  
■ Predicción ( $R^2=0.92$ )

● Validación interna ( $R^2=0.72$ )  
● Predicción ( $R^2=0.75$ )

----- Intervalos de predicción al 95 %  
————— Recta de regresión  
..... Recta 1:1

# Espectroscopía NIR on-the-go

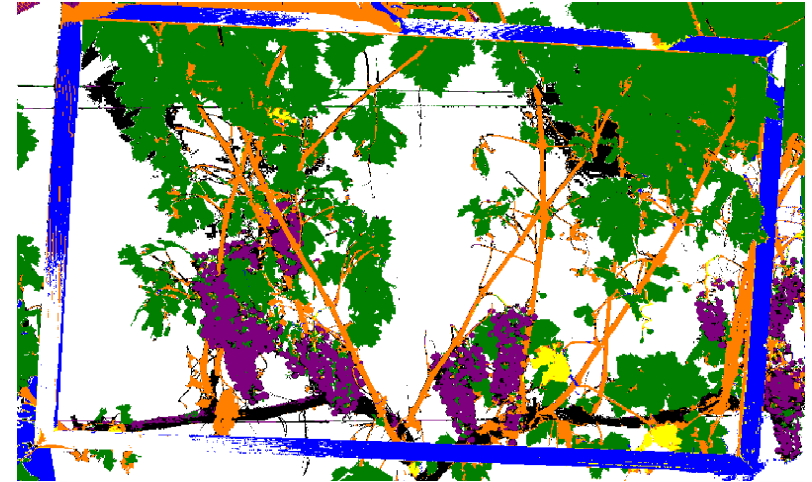
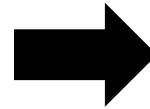


*Fernández-Navales et al. (enviado a Biosys. Eng.)*  
*Diago et al. (enviado a Frontiers in Plant Science)*

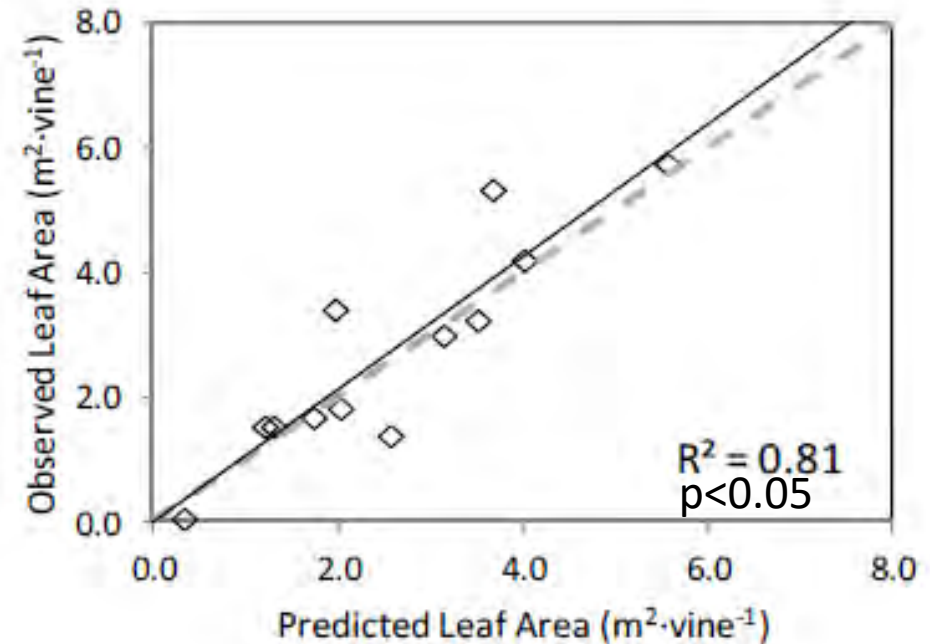
# Estado vegetativo y productivo



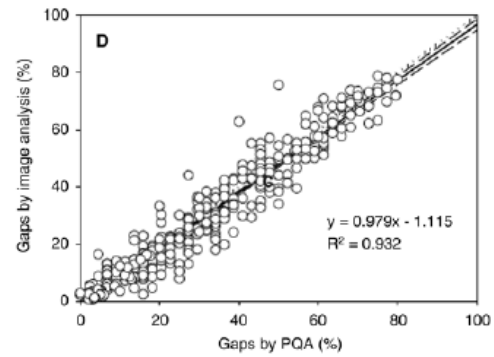
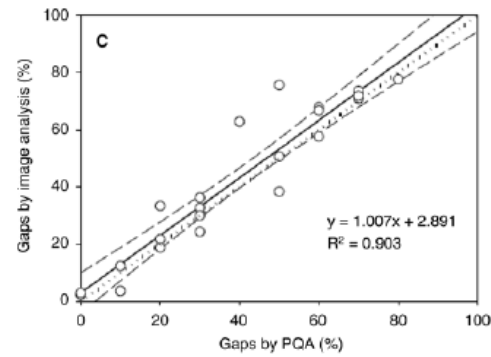
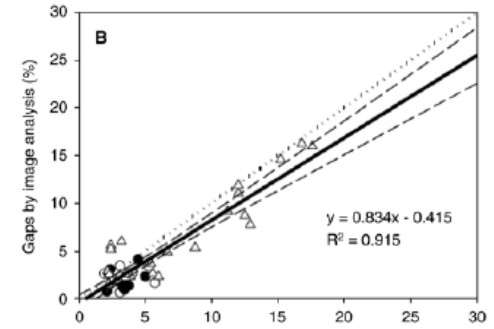
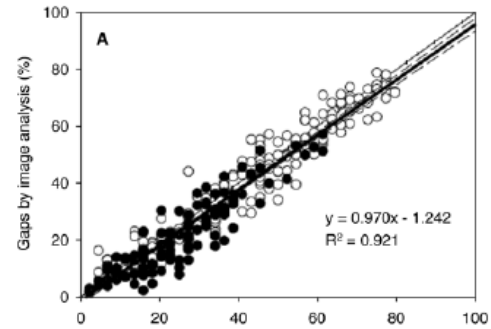
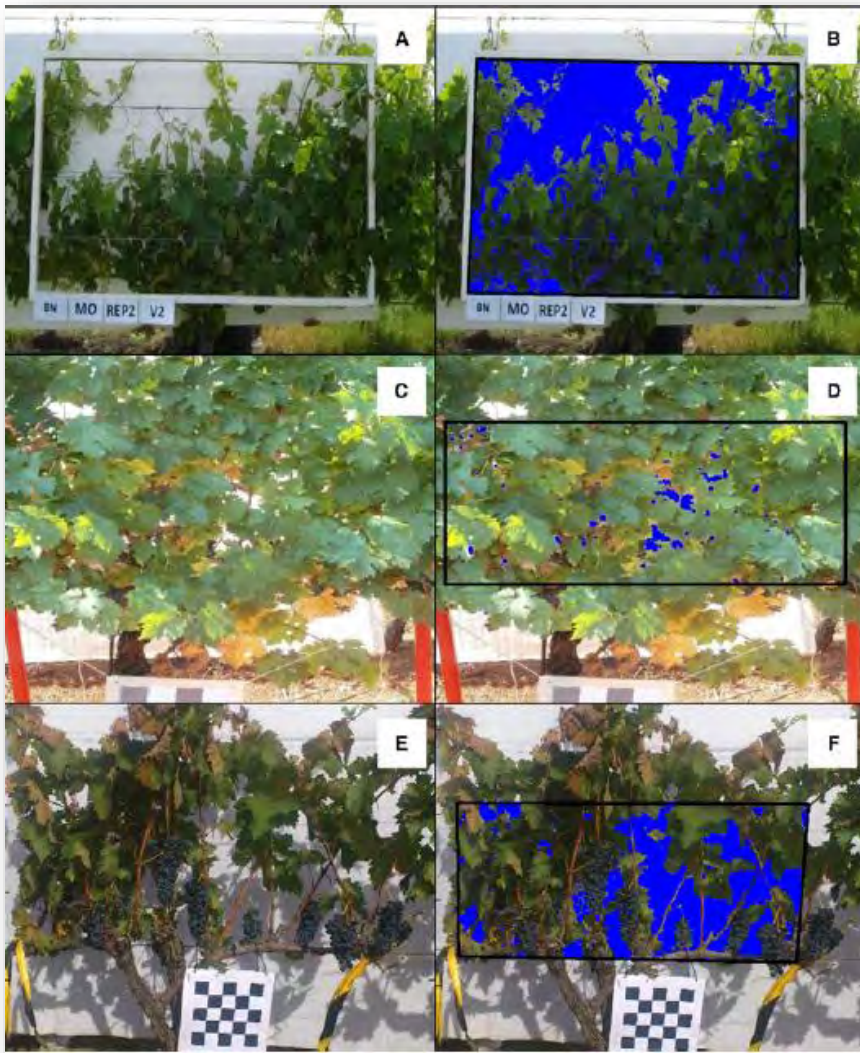
# Análisis de imagen RGB



- ✓ Superficie foliar expuesta
- ✓ Porosidad de la pared vegetal
- ✓ Exposición de los frutos

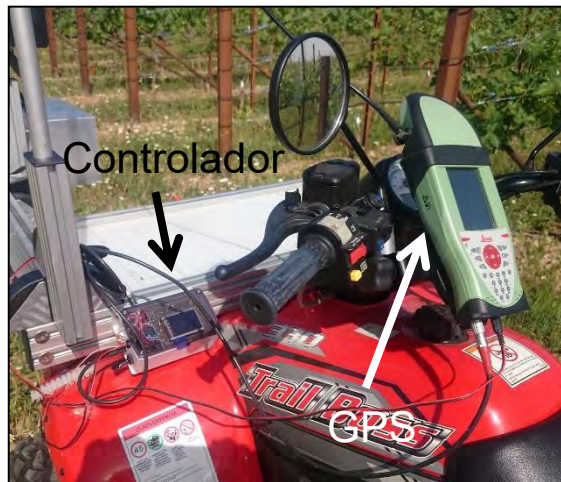
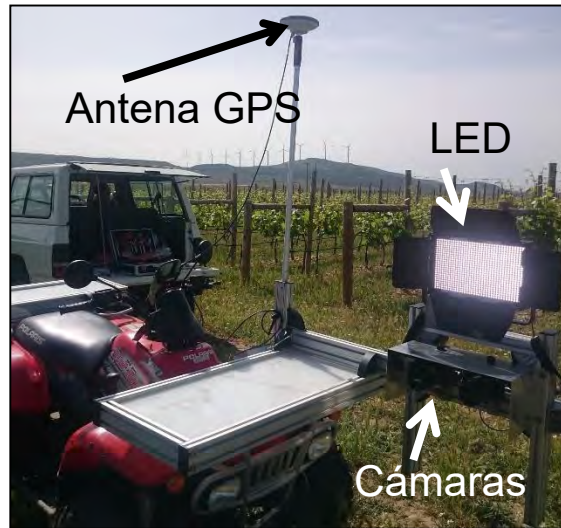


# Porosidad espaldera

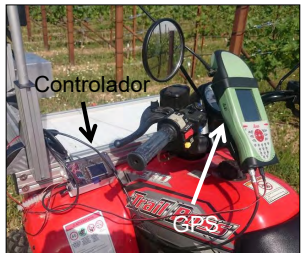
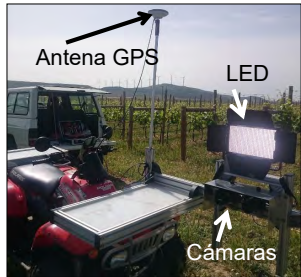




# Adquisición imágenes on-the-go



# Estado de la espaldera (canopy): análisis de imagen



# Adquisición imágenes on-the-go



# Estado de la espaldera (canopy): análisis de imagen

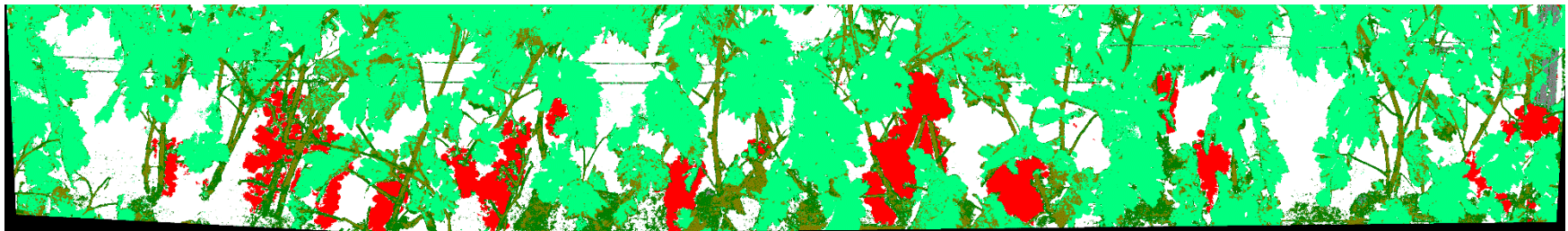
## 1. Toma de imágenes



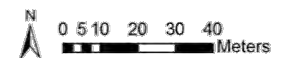
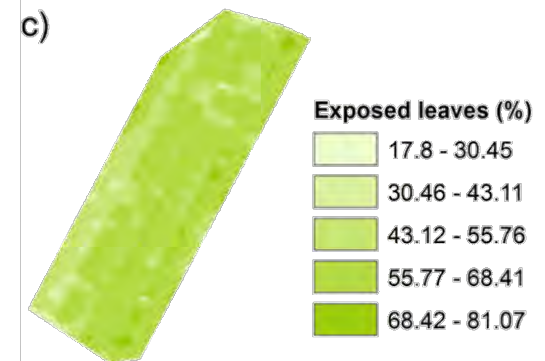
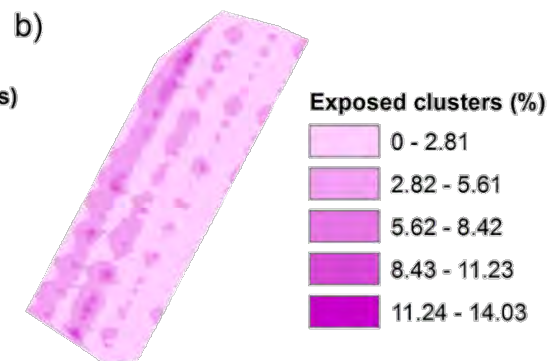
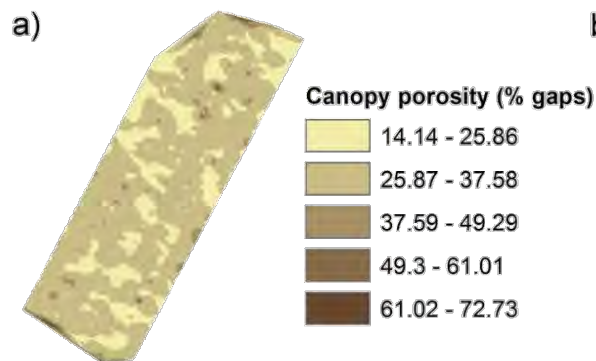
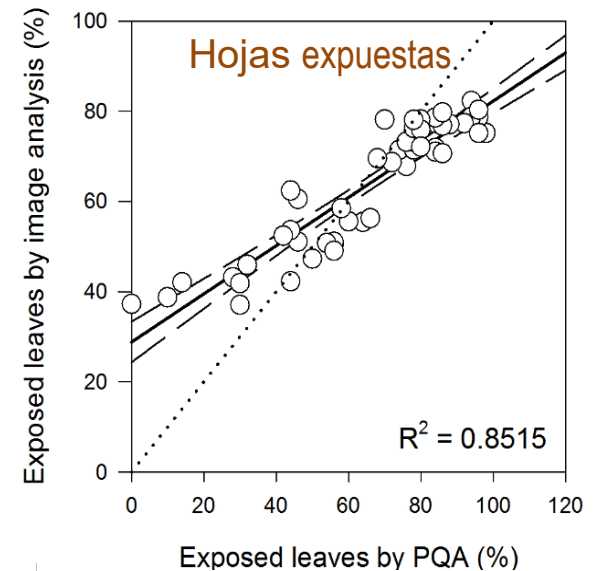
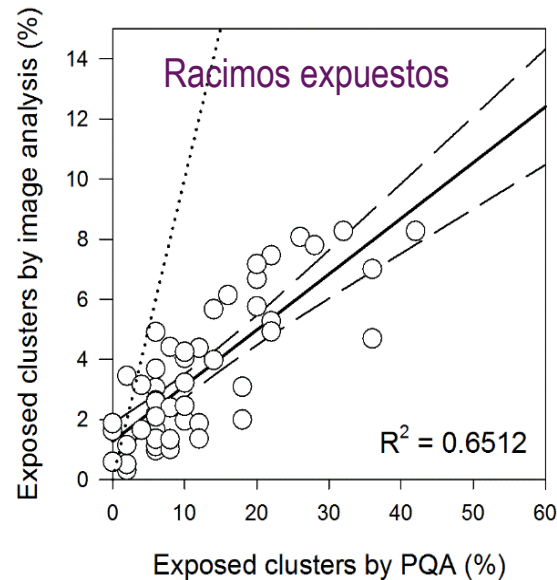
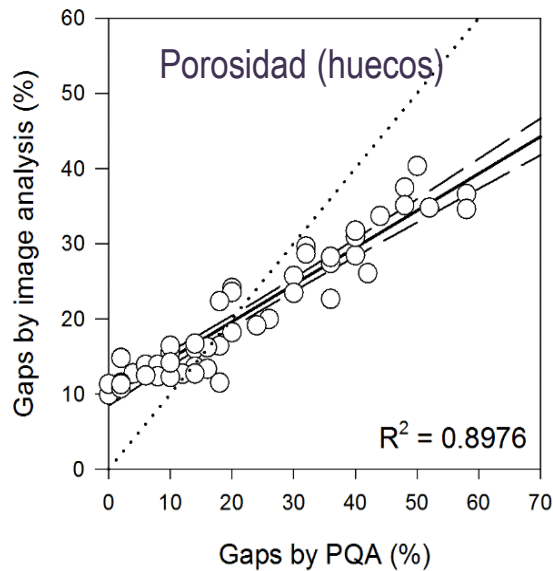
## 2. Generación mosaico



## 3. Segmentación



# Estado de la espaldera (canopy): análisis de imagen



Aplicación de dosis variable (VRA)

# Aplicación de dosis variable (Variable Rate Technology)



- Laboreo
- Poda
- Tratamientos fitosanitarios
- Deshojado
- Abonados
- Vendimia

[https://www.youtube.com/watch?v=93YAqxR\\_VOY](https://www.youtube.com/watch?v=93YAqxR_VOY)

# Aplicación de dosis variable (Variable Rate Technology)



## Tratamientos fitosanitarios



**Easy Repair**  
Sistema de apertura para mantenimiento

**Climatronic**  
Medición real de la temperatura y la humedad

**Sistema Advance**  
Regulación de la velocidad del aire a tiempo real.  
Patent pending nº P201531754



Regulación de la dosis en función de la masa vegetal

Regulación del aire en función de la masa vegetal  
Patent pending nº P201531754

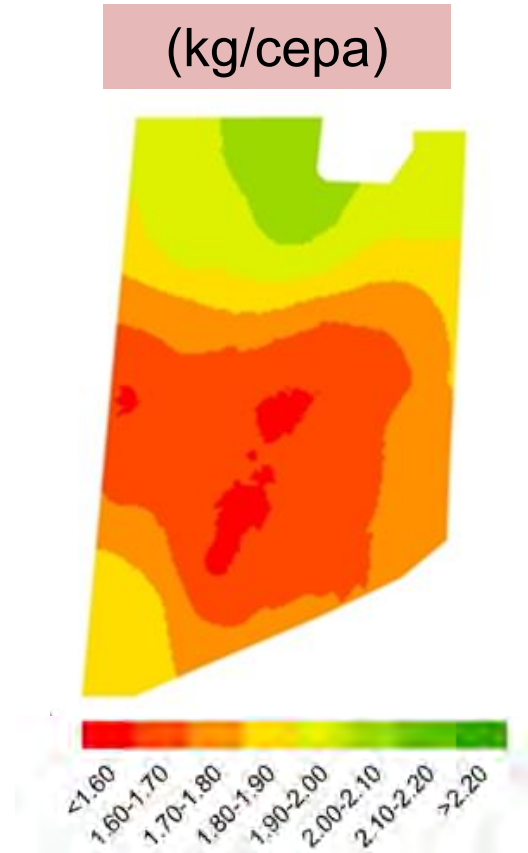
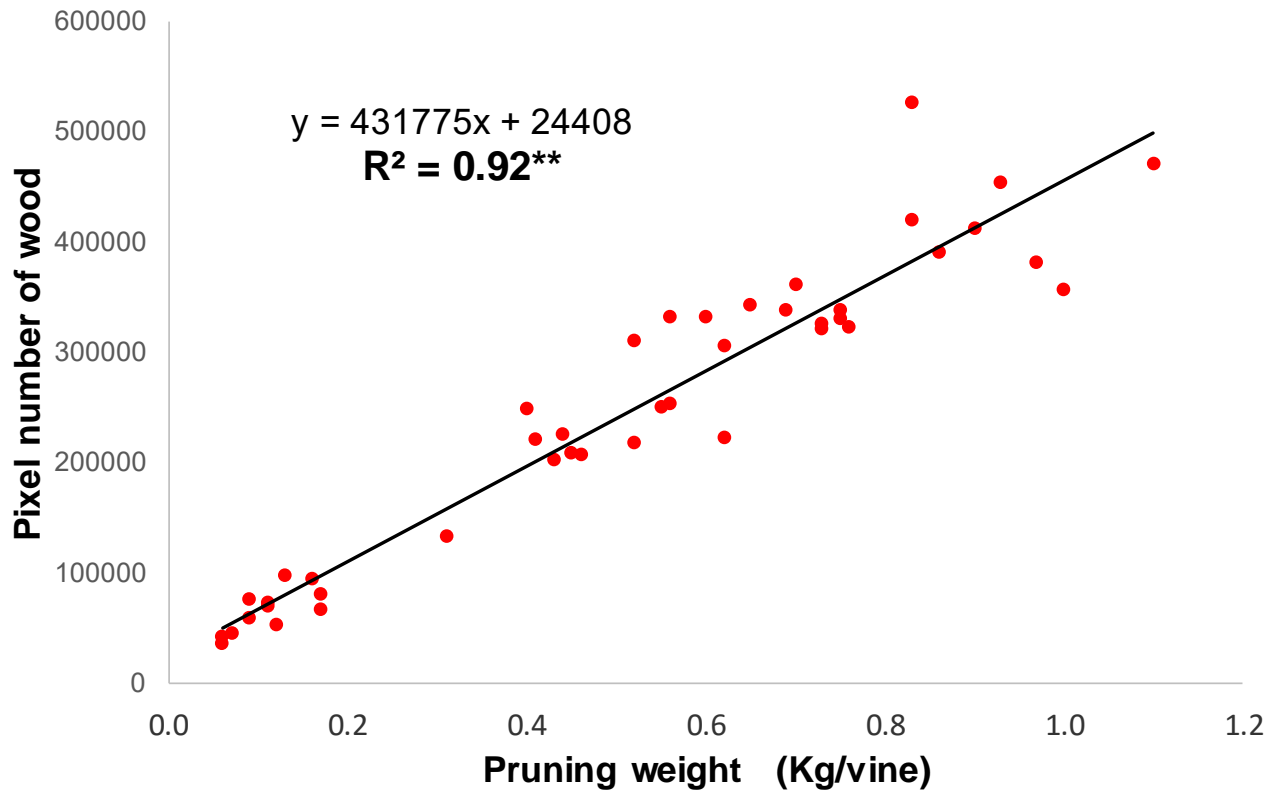
<http://www.fedepulverizadores.com>

# Peso madera poda on-the-go





# Peso madera poda on-the-go



# APPS PARA VITICULTURA



# Componentes de la producción



**One of the first worldwide available Apps for viticulture**

*Download it free!*

**vitisFlower**  
Estimación del número de flores por inflorescencia de la vid mediante análisis de imagen

**Televitis**  
VITICULTURA DE PRECISIÓN  
[www.televitis.unirioja.es](http://www.televitis.unirioja.es)

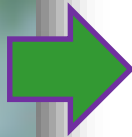
**UNIVERSIDAD DE LA RIOJA**

ANDROID APP ON **Google play**

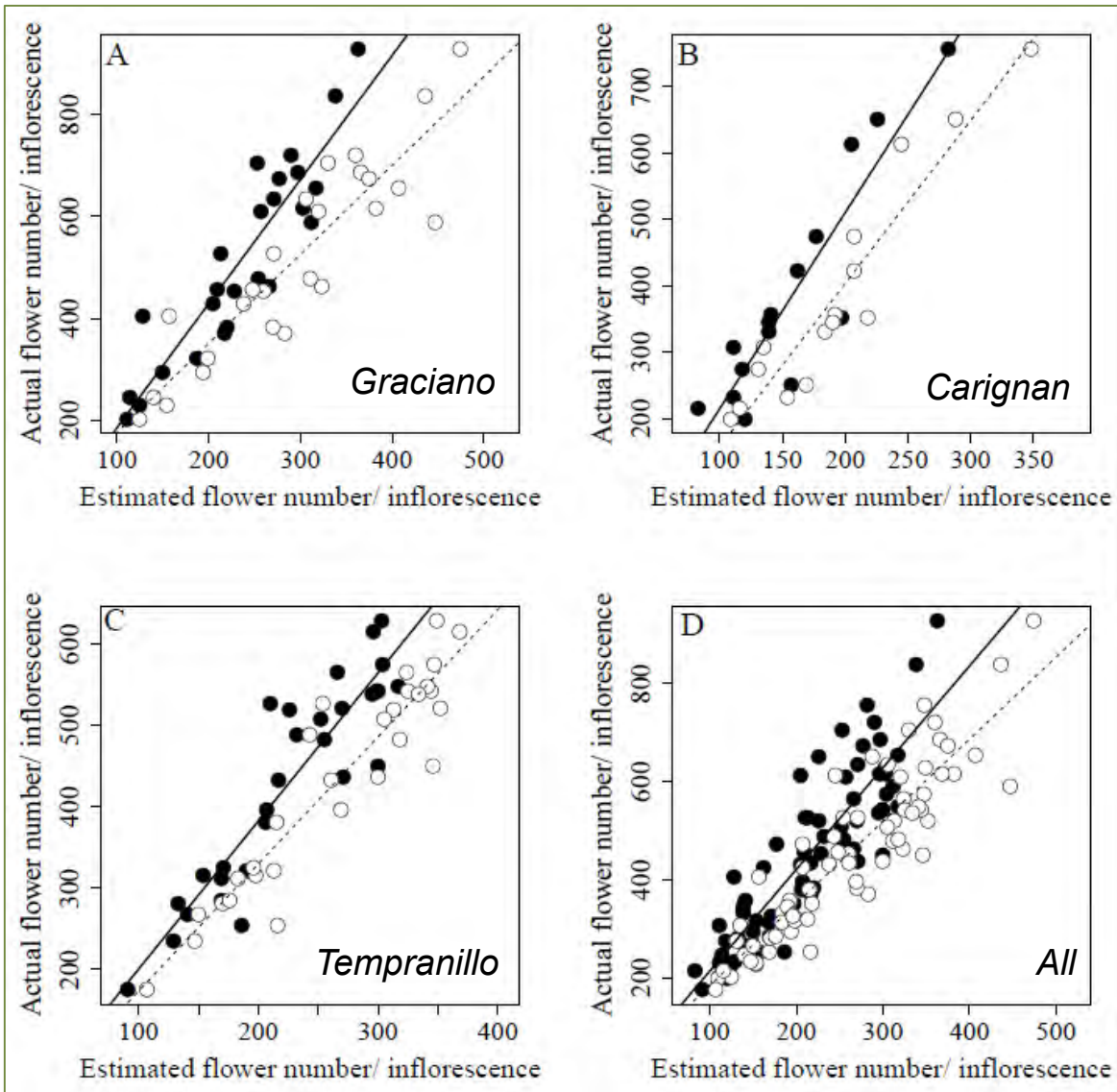
# ¿Por qué contar el número de flores de una inflorescencia?

- ✱ La floración y el cuajado son fundamentales en el rendimiento final
- ✱ La tasa de cuajado define el número de bayas por racimo, su tamaño y compacidad

$$Tasa\ cuajado(\%) = \frac{\#bayas}{\#flores} * 100$$

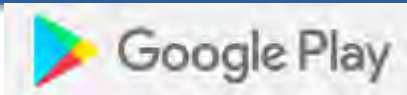


# Análisis de imagen para el recuento de flores



○ Manual  
● Automático

$R^2 \approx 0.80$



Home page

- \* Evitar sombras
- \* No usar el flash
- \* Imágenes enfocadas



Home page



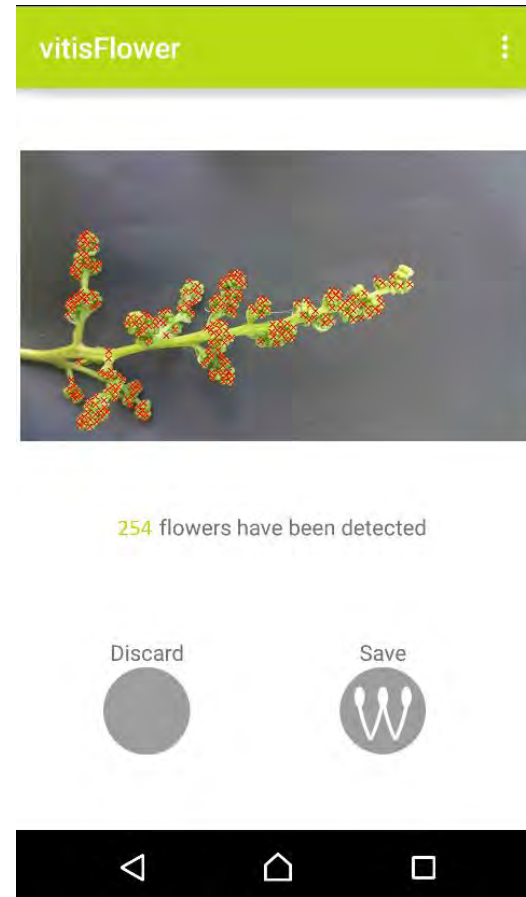
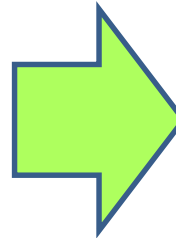
How to use the app



Image capture



Image capture



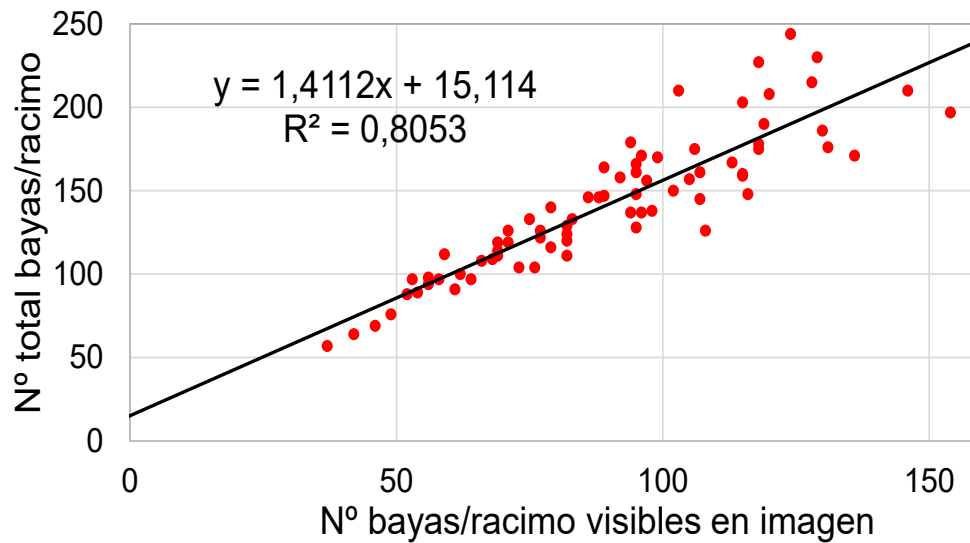
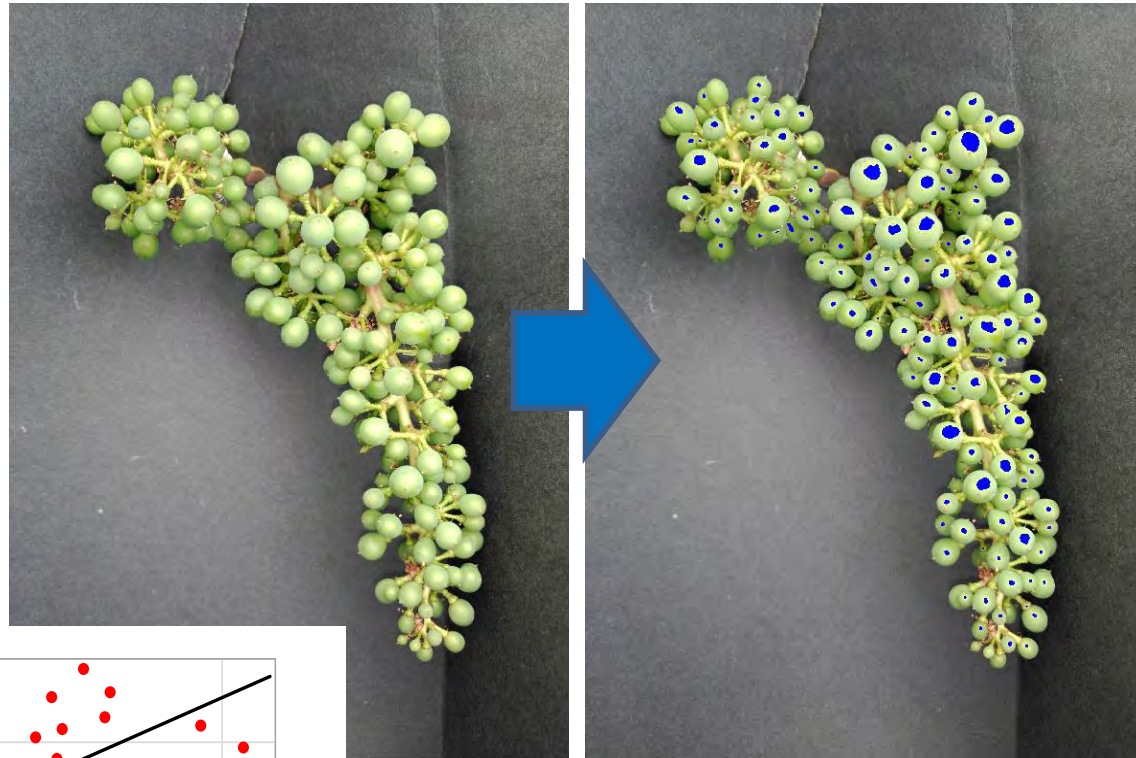
Results



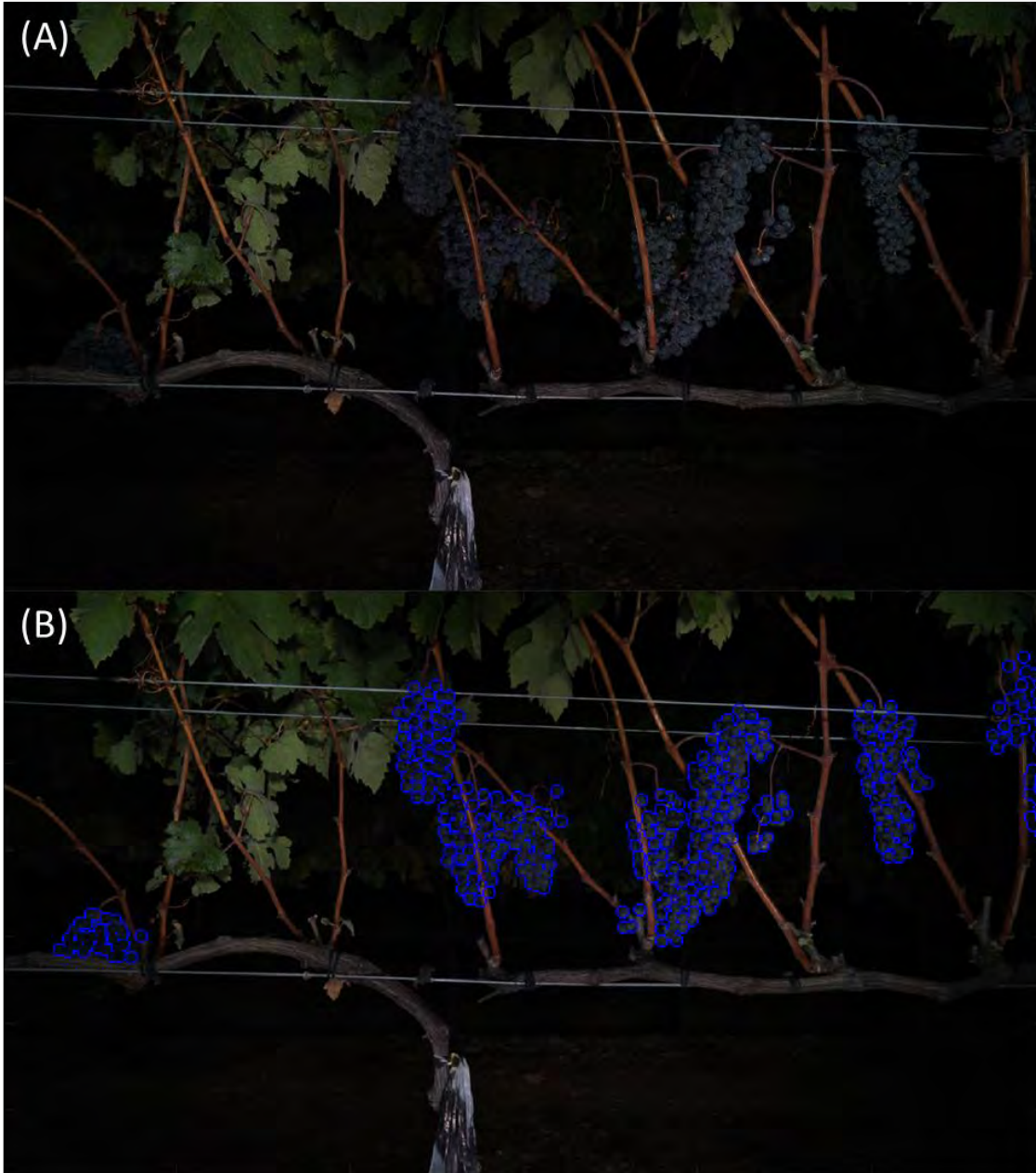
# Siguientes pasos



# Número bayas/racimo mediante análisis imagen

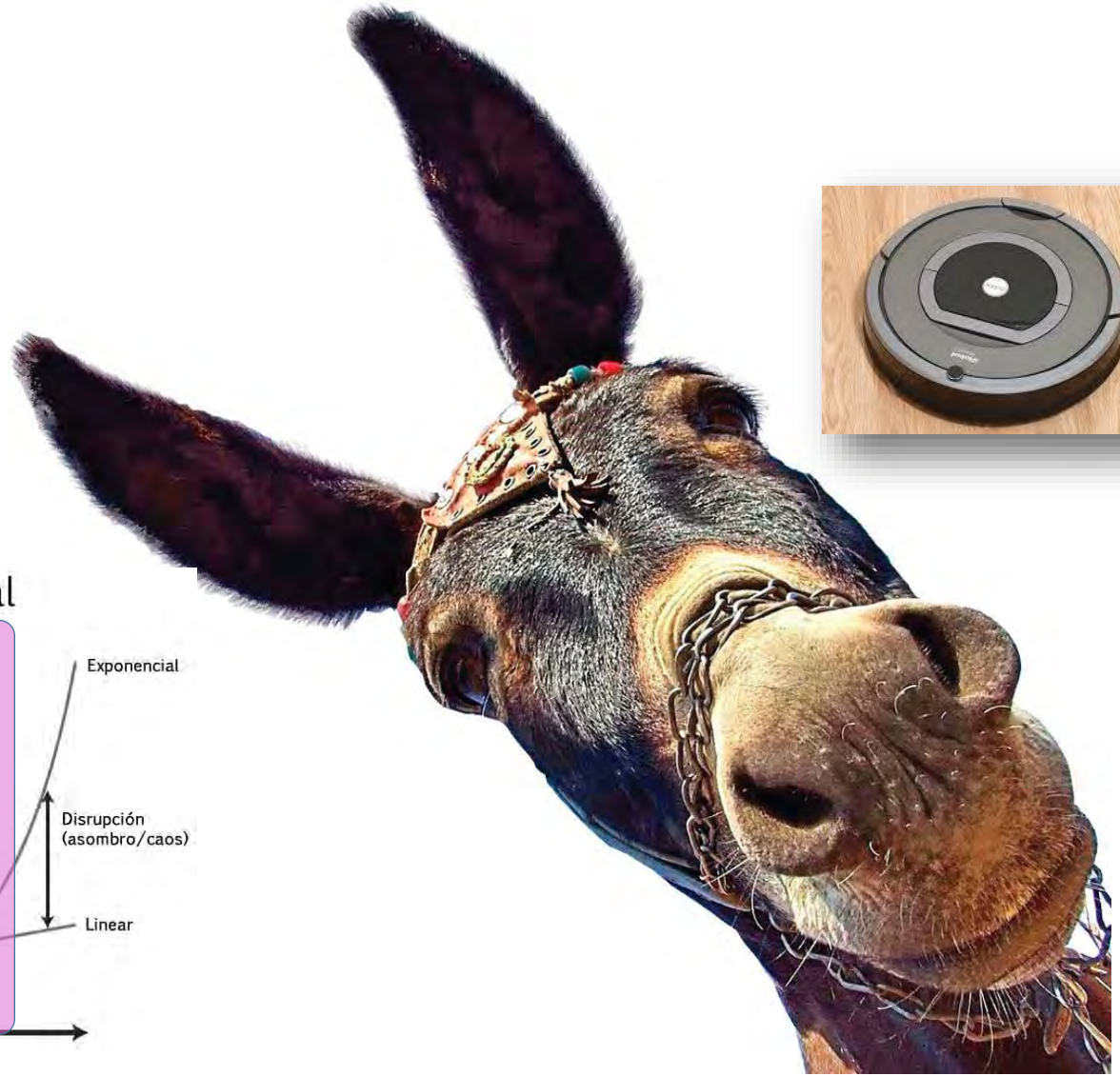


# Componentes de la producción on-the-go

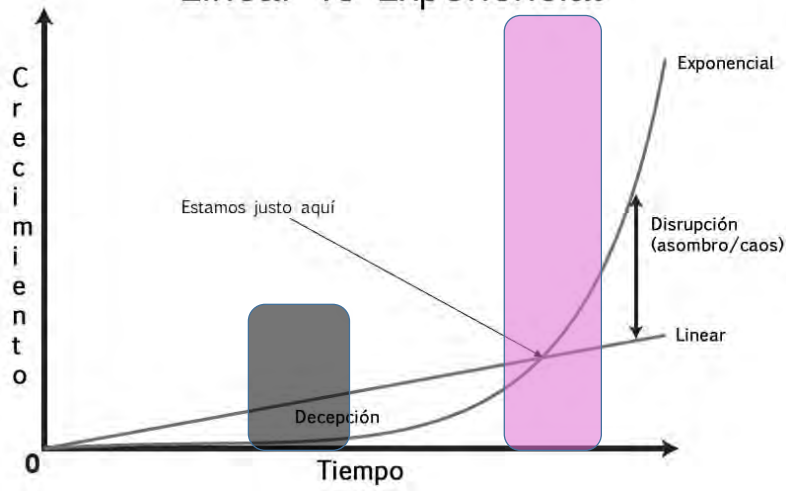


1. El notable avance de las nuevas tecnologías ha permitido el desarrollo de nuevos sensores **NO DESTRUCTIVOS** capaces de evaluar el estado fisiológico, agronómico y cualitativo del viñedo de forma precisa, rápida y fiable.
2. Toda esta información puede ser georreferenciada y poder así caracterizar la variabilidad del viñedo y ayudar al establecimiento de estrategias de optimización del manejo del mismo.

# El futuro...no tan lejano



## Linear vs Exponencial



# Agbots



# VineRobot



SIVIS

LES VIGNERONS DE




 The VineRobot project has received funding from the European Union's Seventh Programme for research, technological development and demonstration under Grant Agreement No 610953.

# Segundo prototipo del VineRobot





## ¿Qué mide el VineRobot en la actualidad?

- ✓ Estado nutricional – Nitrógeno en hoja
- ✓ Composición uva- Antocianos en bayas

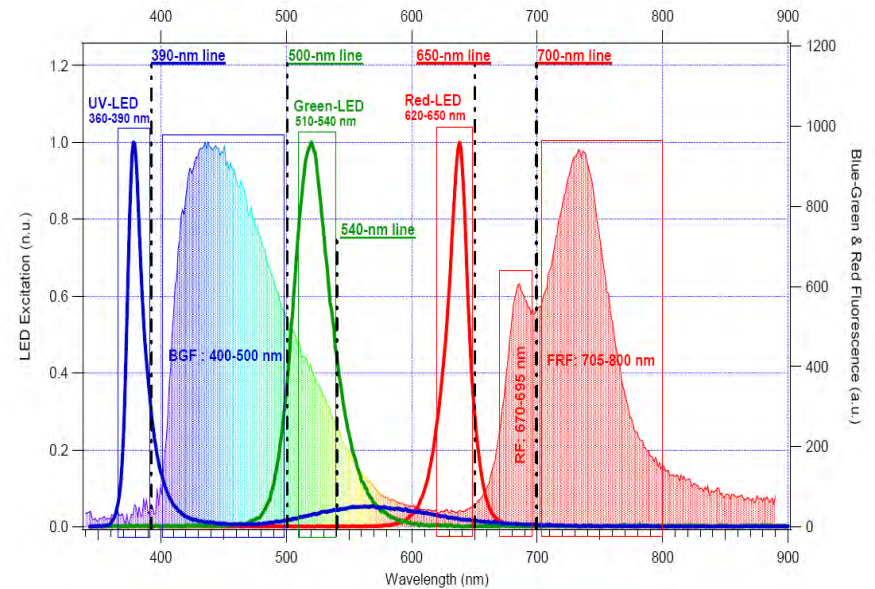




**Medición < 1 s.**

**Captador multiparamétrico: permite evaluar los contenidos en antocianos, clorofila y flavonoles.**

**Medición no destructiva : superficie de medición de 8 cm de diámetro.**



Agati et al. (2007) *J. Agric. Food Chem.* 55, 1053-1061

Cerovic et al. (2008) *J. Food Comp. Anal.* 21, 650-654

Ben Ghazlen et al. (2010) *Sensors* 10, 10040-10068

# Monitorización no invasiva on-the-go



FA-Sense LEAF

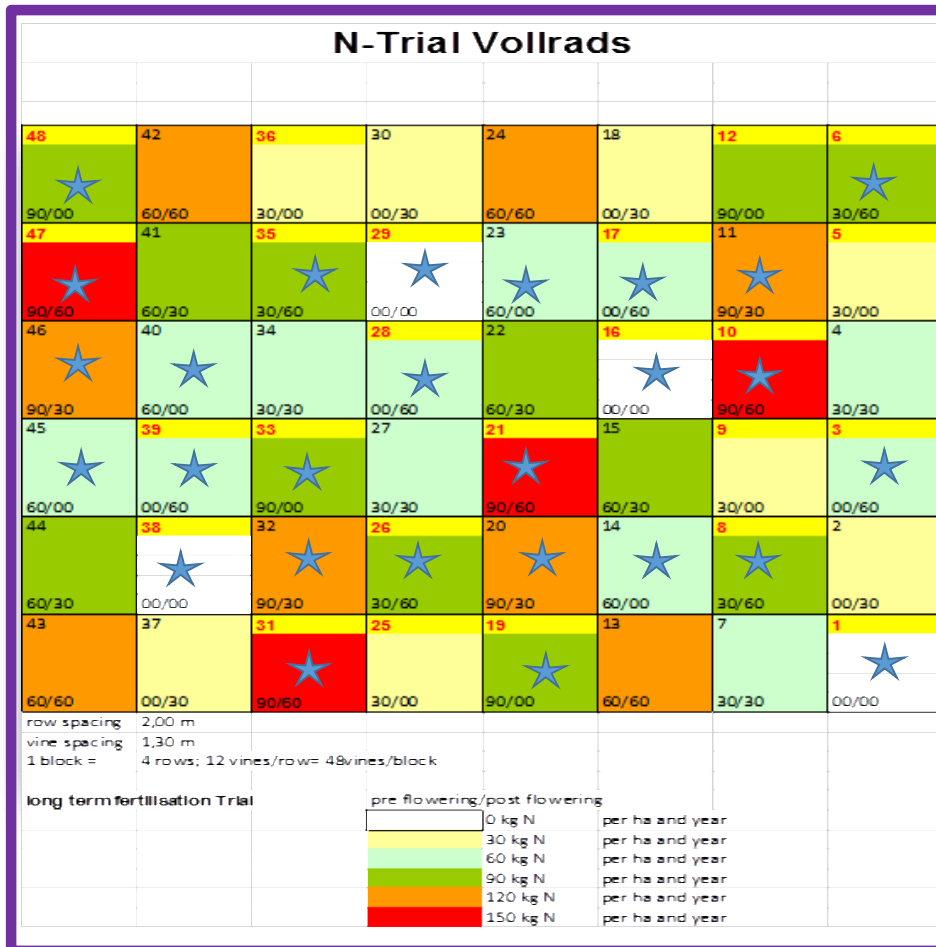
FA-Sense ANTH



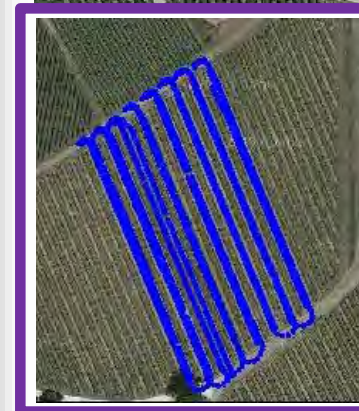
Sensores basados en fluorescencia de clorofila

# Medición del estado nutricional - N

## Validación en diferentes parcelas en Geisenheim (Alemania)



Geisenheim Fuchsberg  
 Riesling clone 239-17  
 VSP  
 2 m x 1.20 m

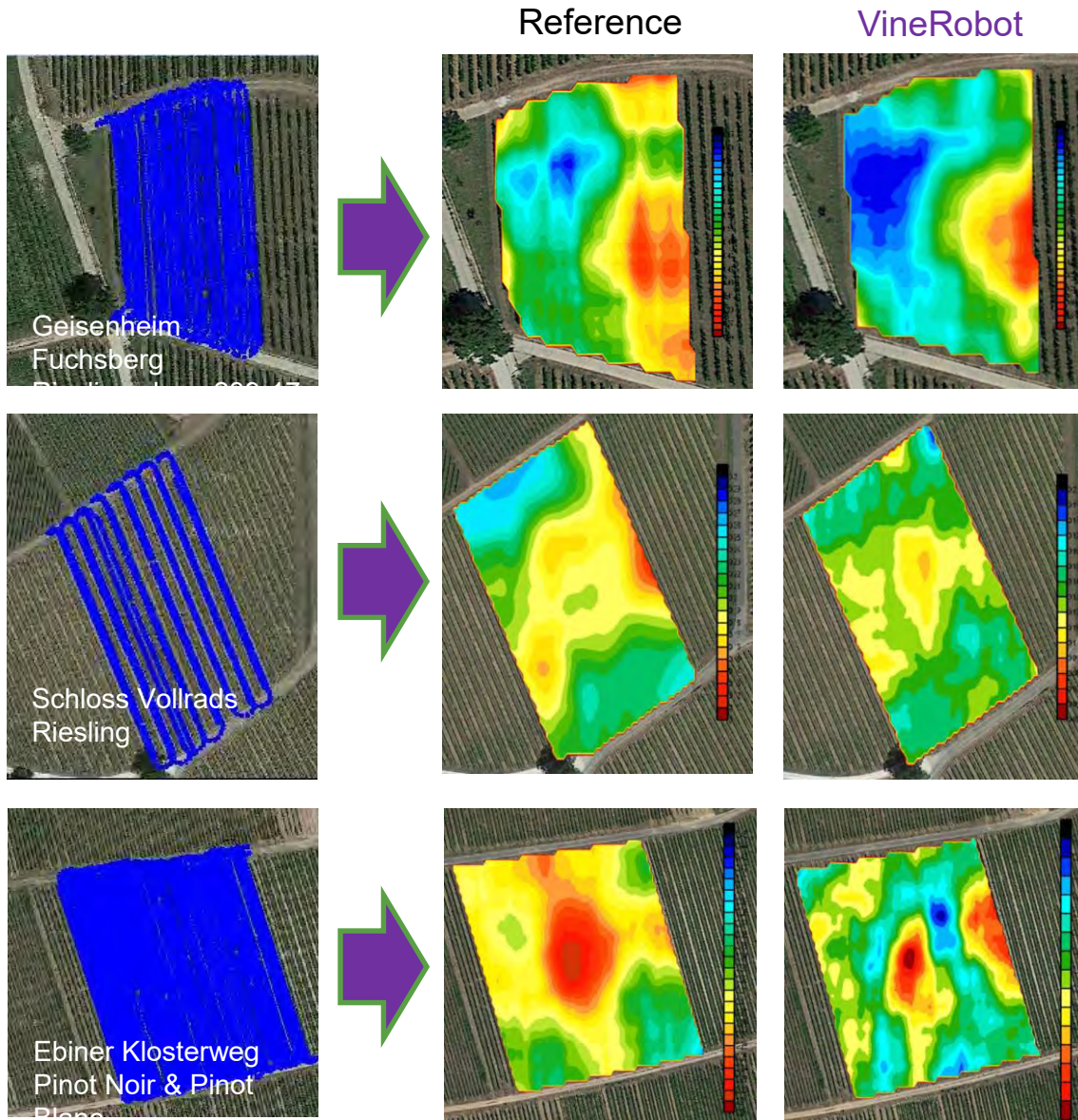


Schloss Vollrads  
 Riesling  
 VSP  
 1.80 m x 1.20 m



Ebener Klosterweg  
 Pinot Noir & Pinot Blanc  
 VSP  
 2 m x 1 m

# Medición del estado nutricional-N

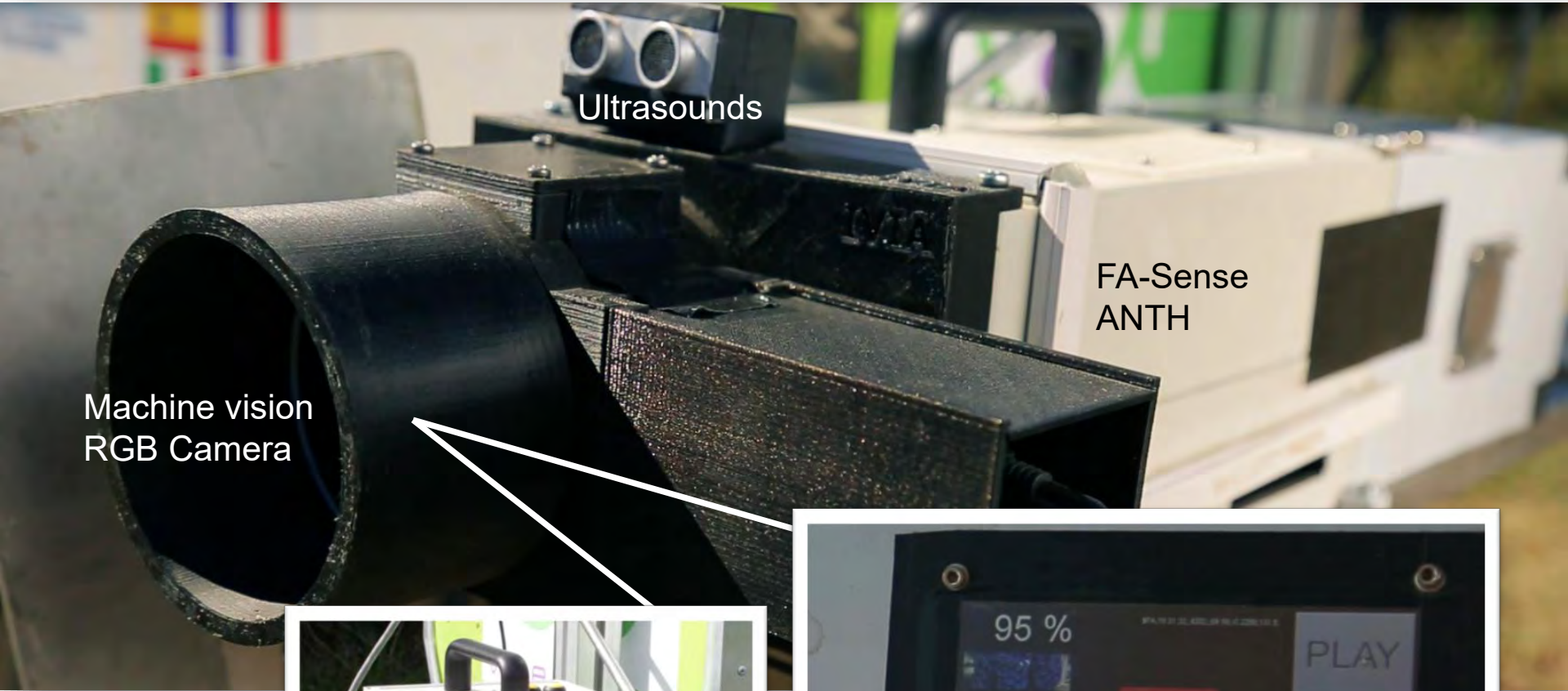


Generación de mapas de estado nutricional (N) fáciles de interpretar.

# Composición de uva - Antocianos

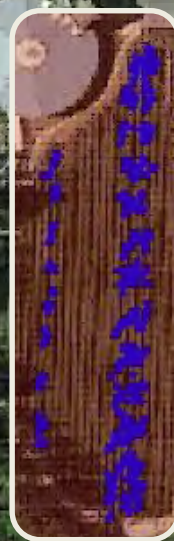
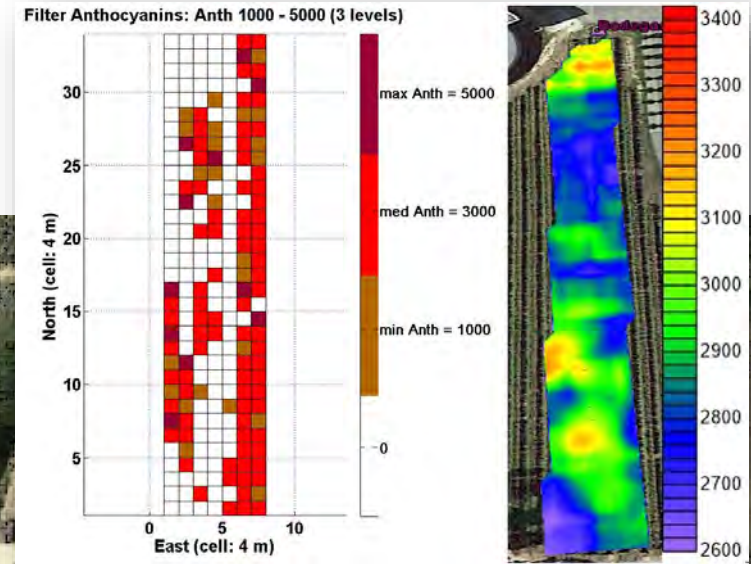
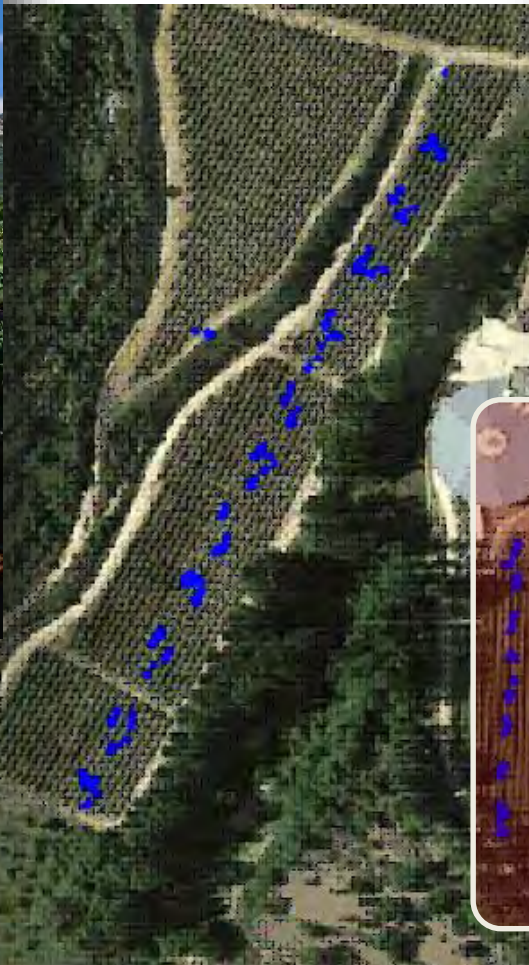


# Composición de uva - Antocianos



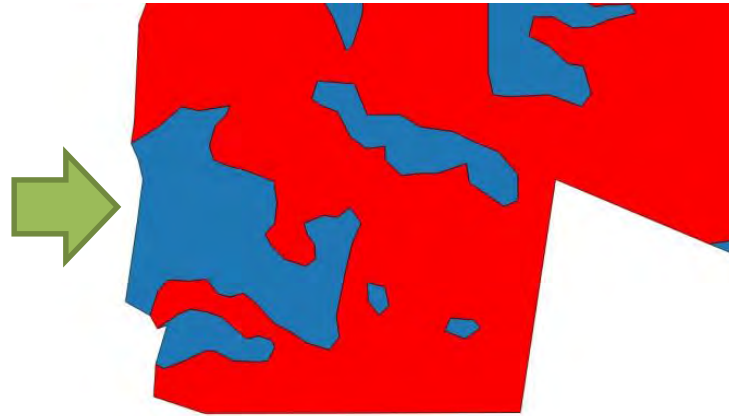
# Composición de uva - Antocianos

## Validación del sensor en Alemania y España





# Uso de la información obtenida por el usuario final



END-USER  
DECISION



Variable rate  
fertilizer



Selective harvester



HOME

CONSORTIUM

PUBLIC DOCS

NEWS & GALLERY

CONTACT

VineScout: Intelligent decisions from vineyard robots



*Smart Agriculture*



UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA



European  
Commission

Horizon 2020  
European Union funding  
for Research & Innovation

## Secciones

MOTOR - Presentado por el fabricante Case IH

# El tractor autónomo llega para revolucionar el campo

*El Mundo, 27 Febrero 2017*

Te invitamos a...  
... conocer nuestros  
Cursos Online

# ACTUALÍZATE



1 Comentarios



Así trabaja, de sol a sol, el tractor autónomo de Case IH

- Capaz de trabajar las 24 horas, no tiene cabina y está controlado desde una tablet o un ordenador

# Gracias



<http://televitis.unirioja.es>



BODEGA · FUNDACIÓN · EXPERIENCIAS  
*compartiendo cultura de vino*

Daniel Sepúlveda

Marjolaine Chatin

INNGRAPE-RTC-2014-3058-2