



(A2C2)

Adaptación de la Agricultura
al Cambio Climático
Universidad de Talca



“Avances científico – tecnológicos para la gestión sostenible del agua en la agricultura”

Dr. Samuel Ortega-Farias
DIRECTOR

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA EN RIEGO
Y AGROCLIMATOLOGÍA (CITRA)**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD DE TALCA, CHILE**



PRECIPITACION (mm/año)

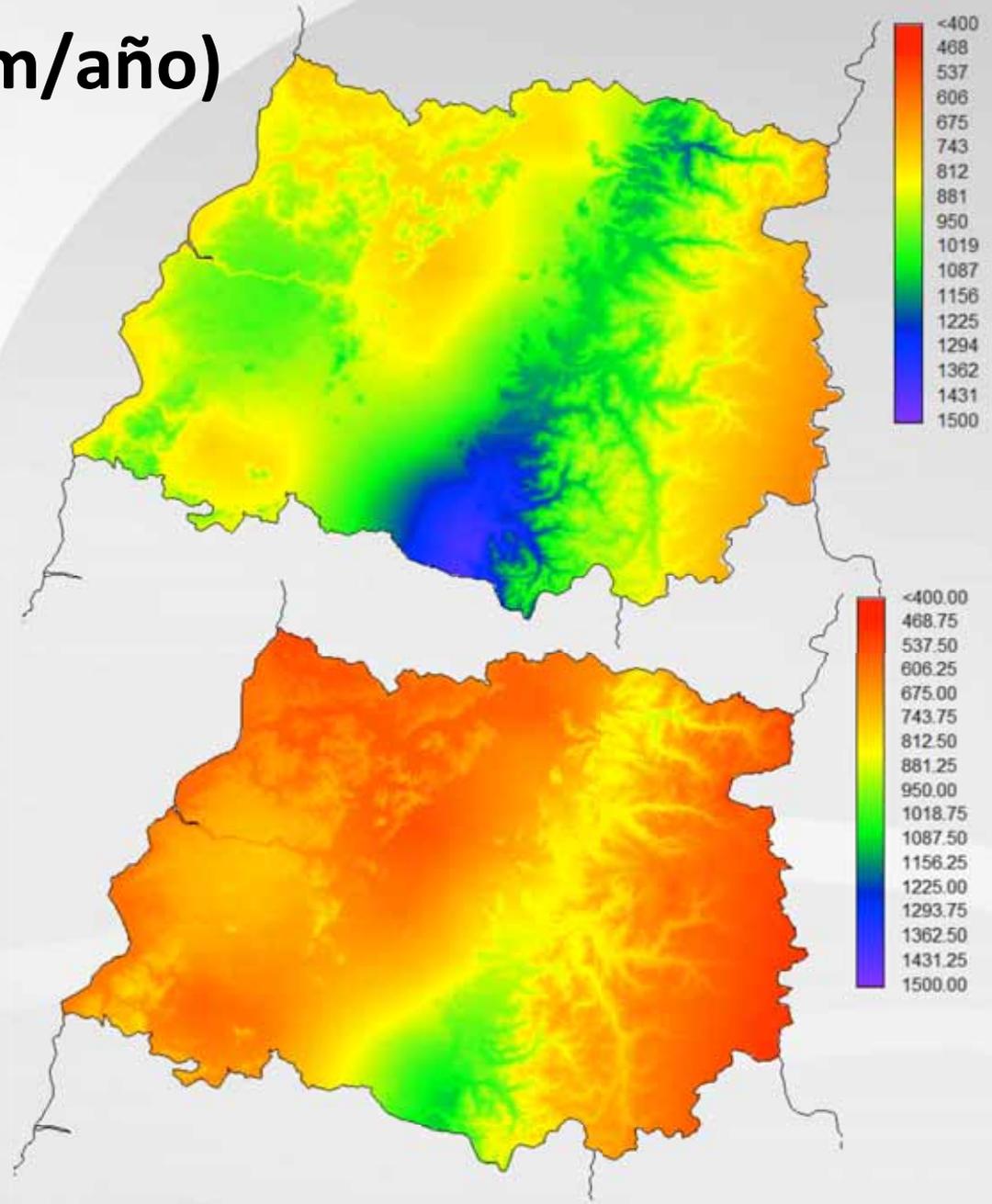
Variación 20 – 30 %



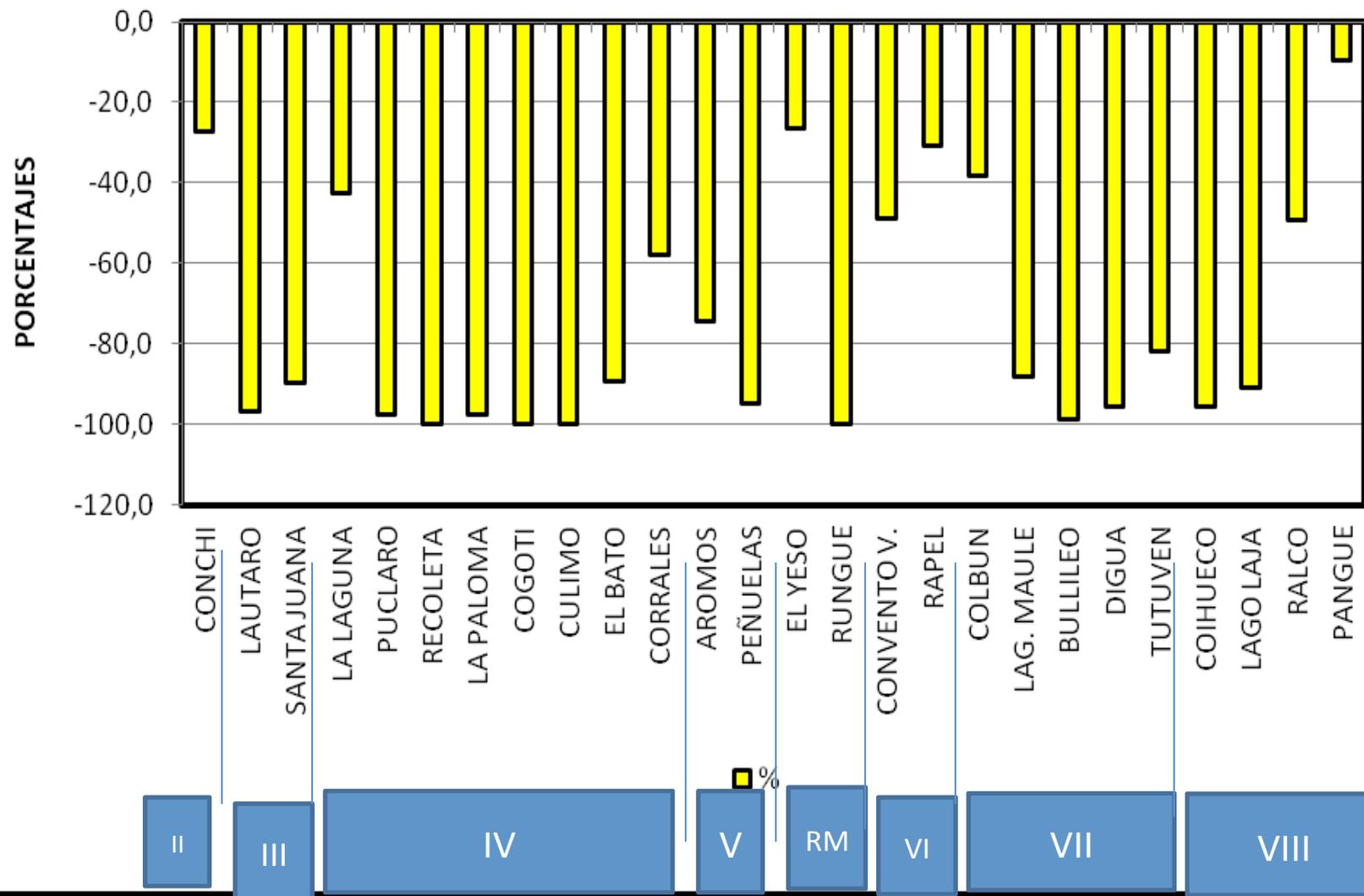
BL

2080

Fuente: Dr Luis Morales



SITUACION DE EMBALSES EN CHILE JUNIO 2014



Fuente: Prof. Patricio Gonzalez, CITRA

Laguna del Maule



Por tanto se requiere invertir en tecnologías para:

1. Establecer estrategias de adaptación a para reducir los efectos negativos de las sequías (Fenómeno de la Niña).

✓ Balance hídrico a nivel regional y predial

2. Aumentar la eficiencia del uso del agua:

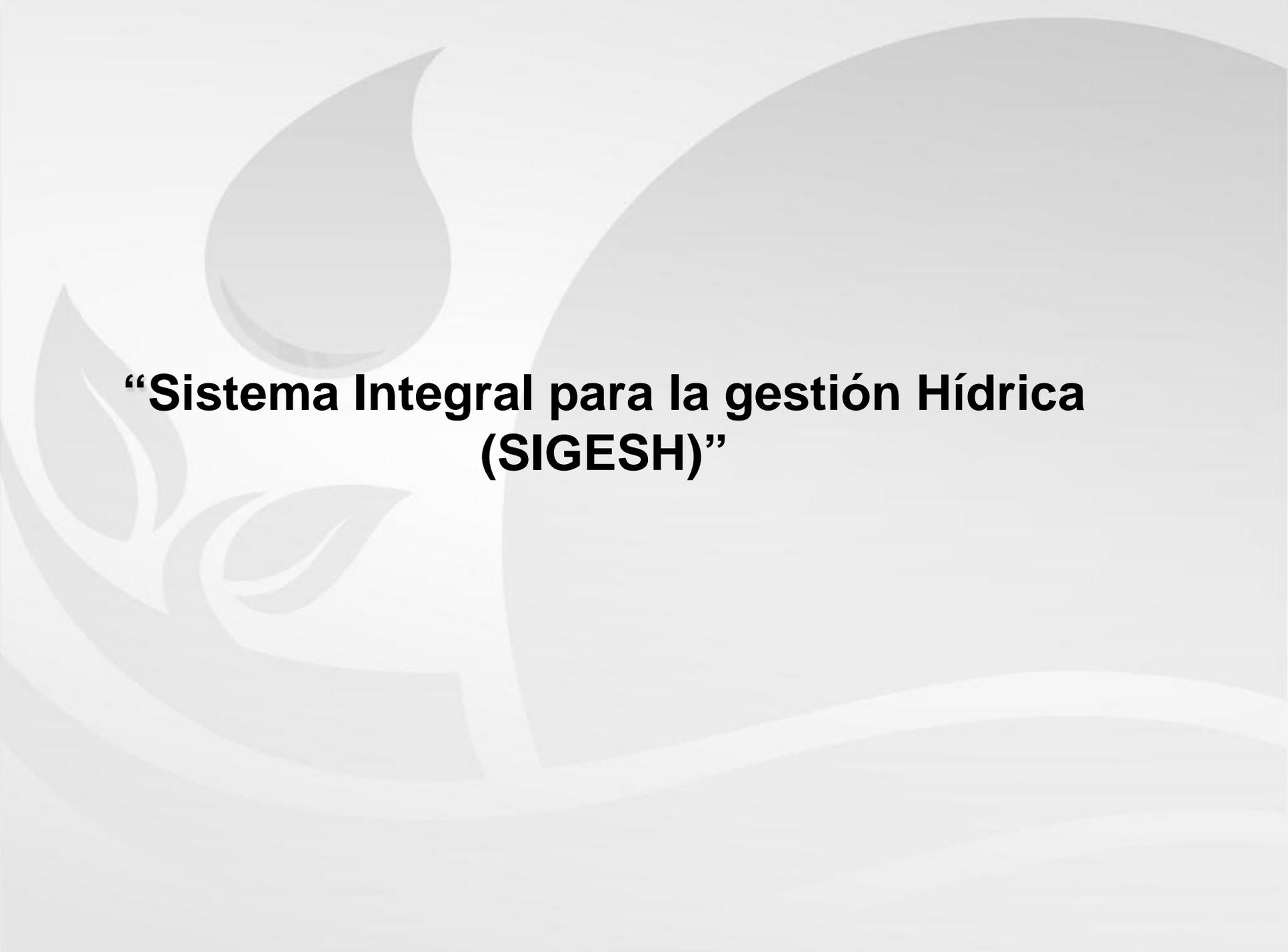
✓ Déficit hídrico controlado

✓ Déficit hídrico sustentable

3.- Un manejo sustentable del recurso hídrico:

✓ Huella del agua

✓ Mercado virtual del agua



**“Sistema Integral para la gestión Hídrica
(SIGESH)”**

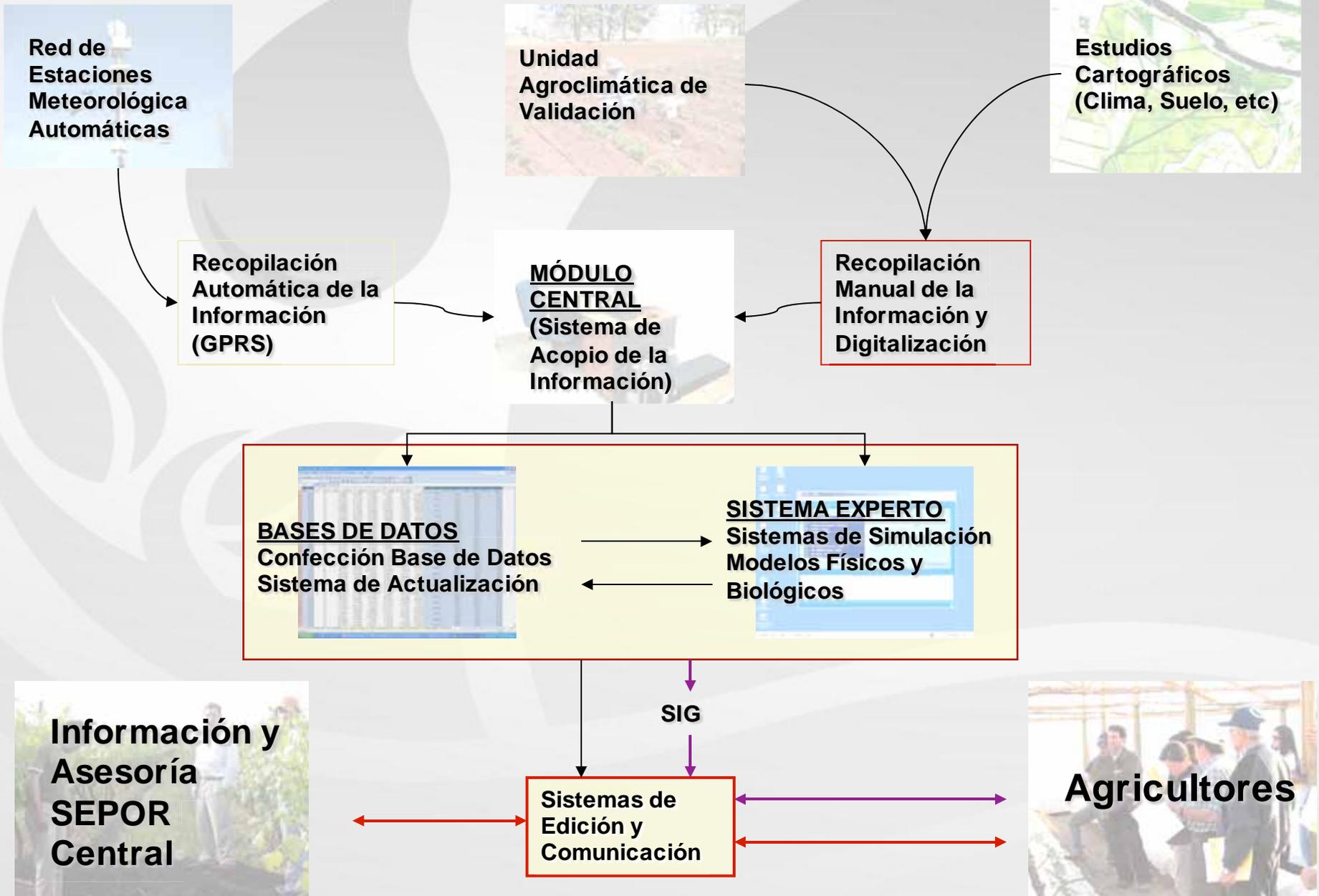
Objetivos Generales

- ✓ Entregar un Servicio de programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (tiempo y frecuencias de riego)
- ✓ Desarrollo de un programa de investigación aplicada
- ✓ Desarrollo de un programa de transferencia tecnológica

“Sistema Integral para la gestión Hídrica (SIGESH)”

- **Maíz Semillero**
- **Tomate Industrial y tomate en invernadero**
- **Arándanos**
- **Frambuesa**
- **Manzano**
- **Olivos**
- **Uva de mesa**
- **Uva vinífera**
- **Kiwi**

COMPONENTES SIGESH



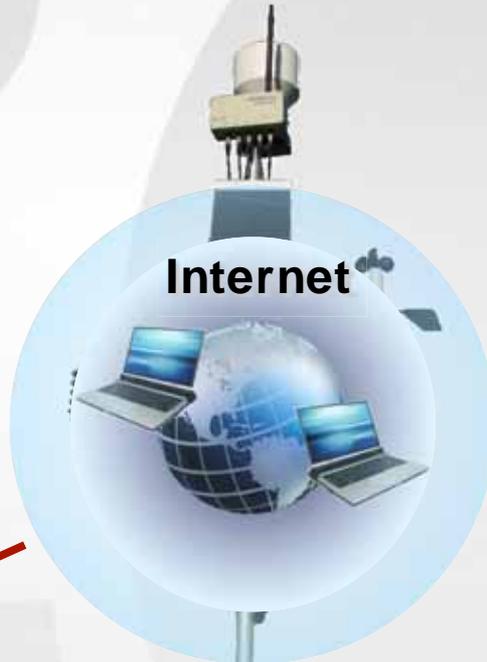
Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas



Proveedor de Servicios de Internet Móvil



Mediciones cada minuto
Se envían promedios cada 15 min.



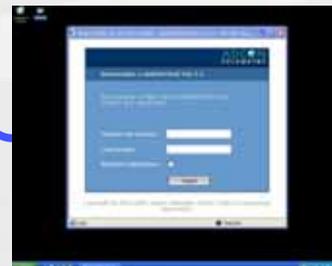
Usuarios



Base Receptora



AddPro 5.1



Servidor de Información Climática





“Monitoreo climáticos”



1. Información Climática Básica:

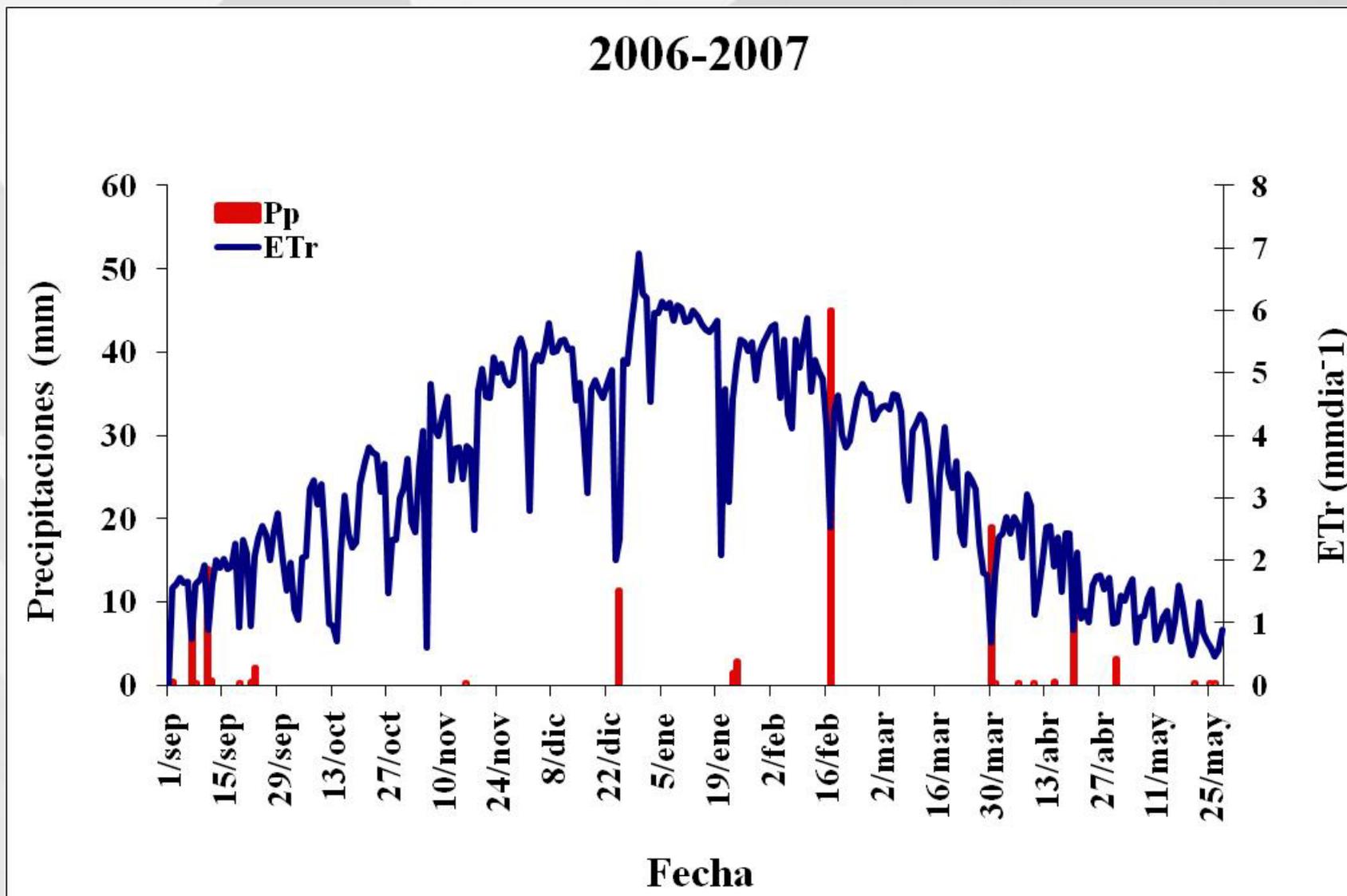
- Temperatura
- Humedad Relativa
- Velocidad y Dirección del Viento
- Radiación Solar
- Precipitaciones

2. Información Climática Procesada:

- Evapotranspiración de Referencia (E_{Tr})
- Evapotranspiración actual del cultivo (E_{Ta})
- Coeficientes de cultivo calibrados (K_c)
- Días Grados Acumulados
- Horas Frío



EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (E_{tr}). TEMPORADA 2007-2008





TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Seminarios



Cursos



Talleres



Diplomado de Riego, 2008



Días de Campo



EL LLANO



MARTA MARTINEZ



LA QUERENCIA



LA CABAÑA



LA ESTANCIA

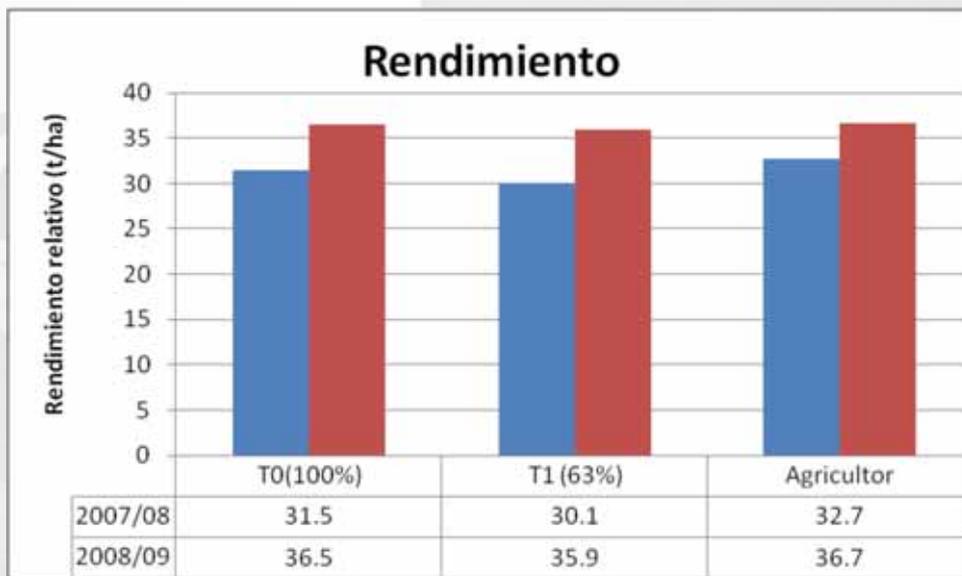
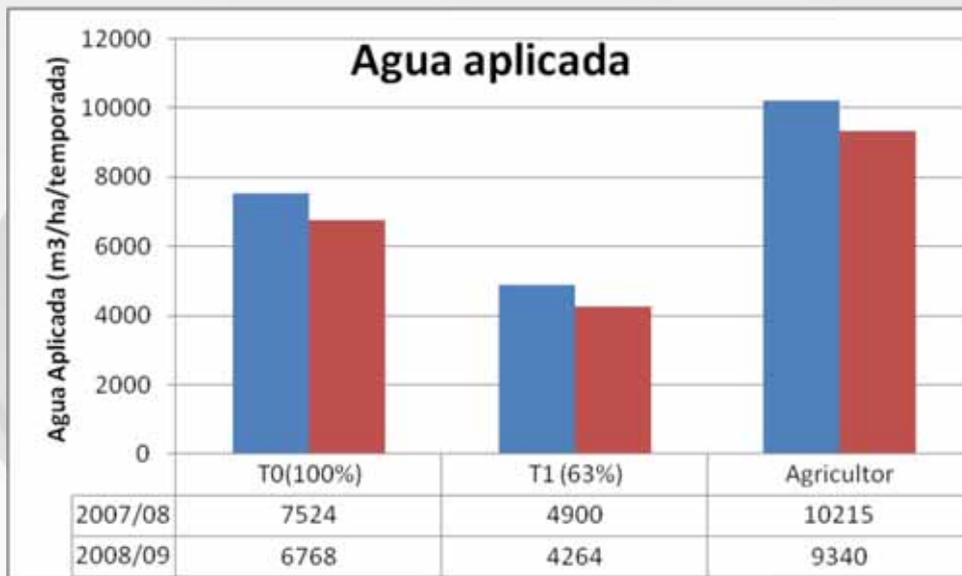


Días de Campo con productores de la zona de Colbún y Yerbas Buenas)

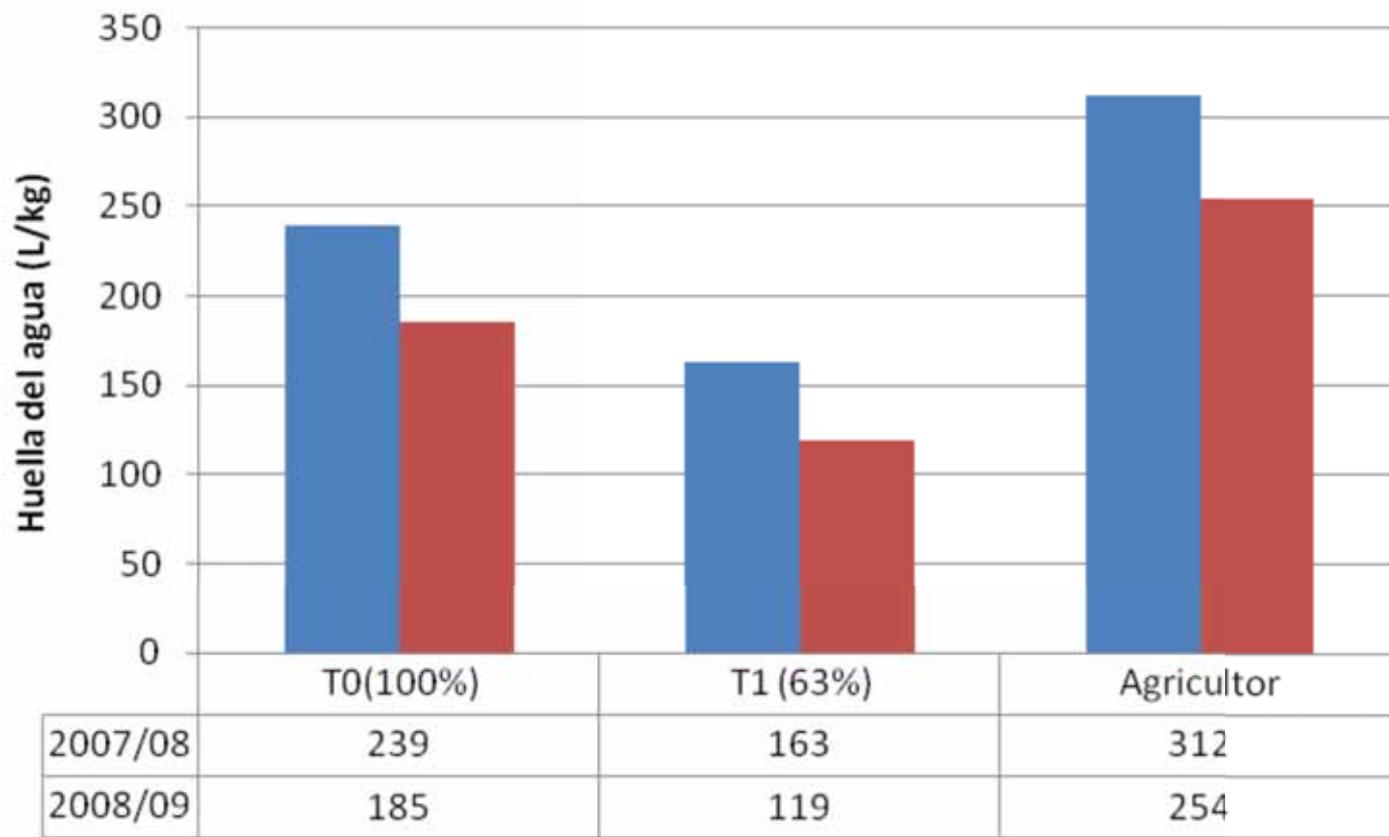


The background features a light gray color with stylized, semi-transparent graphics. On the left side, there are several leaf-like shapes of varying sizes, some overlapping. On the right side, there is a large, light gray circle. At the bottom, there are wavy, horizontal lines that suggest a horizon or water surface.

“Impactos del SIGESH”



Agua aplicada y rendimiento en uva de mesa (cv. Thompson Seedless)



Huella del agua para tres estrategias de riego en un parronal (Thompson Seedless)

Cuadro 4.12. Análisis estadístico de los factores de calidad, en uva de mesa cv. Thompson Seedless (temporadas 2007-08 y 2008-09. Coltauco, Región de O'Higgins).

Tratamiento	pH		Ac. Total		°Brix		Diámetro de bayas	
	2007-08	2008-09	2007-08	2008-09	2007-08	2008-09	2007-08	2008-09
T0 (100%)	3,4	3,5	3,3	3,5	17,0	18,8	16,87a	18,15ab
T1 (63%)	3,6	3,6	3,7	3,8	16,9	18,9	17,75b	17,97a
T2 (138%)	3,5	3,5	3,6	3,6	17,0	17,9	17,85b	18,25b
Significancia	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	**	*
C.V. %	2,98	2,40	14,06	10,78	8,82	7,21	-	-

Valores seguidos de igual letra en las columnas no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de LSD ($p \leq 0,05$). Significancia: ns: no significativo; * significativo ($p < 0,05$); ** altamente significativo ($p < 0,01$), c.v.: coeficiente de variación.

FICHA TÉCNICA UVA DE MESA, COMUNA DE COLTAUCO, TEMPORADA 2007-2008.

Cuadro 1. Estados fenológicos principales de la Uva de Mesa cv. Thompson Seedless.

Estado Fenológico (Fechas)	Inicio de Brotación (05-09-07)	Inicio Floración (22-10-07)	Baya 6 mm (27-12-07)	Inicio Pinta (18-01-08)	Inicio Cosecha (26-02-08)	Caída de Hoja (Finales de Abril)
Imagen						

Fuente: CITRA.

Cuadro 2. Días grados (base 10 °C) por periodo fenológico, valores de coeficiente de cultivo (Kc) y evapotranspiración de referencia (ETr) en Uva de Mesa cv. Thompson Seedless.

Periodo	1 Mayo-Brotación	Brotación-Floración	Floración-Baya 6 mm	Baya 6 mm-Pinta	Pinta-Cosecha	Cosecha-Caída de hoja	TOTAL
GD ⁽¹⁰⁾	30,1	105,1	455,1	235,2	379,9	362,3	1567,7
Coeficiente de cultivo (Kc)	0	0,60	0,80	0,95	1,1	0,15	
Evapotranspiración de referencia a partir de Brotación - ETr (mm)	0	125,72	313,04	113,00	160,2	139,32	851,28

Fuente: CITRA



Caudal Aplicado, rendimiento, eficiencia del uso del agua, huella hídrica azul y ahorro de agua y energía en un viñedo conducido en una doble cortina Genovesa (cv. Carmenere)

	Caudal aplicado (m³ ha⁻¹)	Rendimiento (t ha⁻¹)	Eficiencia del Uso del agua (kg m⁻³)	Huella hídrica azul (L kg⁻¹)	Ahorro de Agua y energía (%)
Agricultor	2613	20	7.81	128	100
Estrategia1	1813	17	9.57	105	30.6
Estrategia2	1318	18	13.95	72	49.6
Estrategia3	923	22	23.39	43	64.7

pH, total acidity and soluble solids for a drip-irrigated commercial Carmenère vineyard.

2006-2007 season

Treatments	pH	Total Acidity (g L⁻¹)	Soluble Solids (°Brix)
Farmer	3.77a^z	6.0a	25.5a
System	3.76a	6.4a	25.8a

2007-2008 season

Treatments	pH	Total Acidity (g L⁻¹)	Soluble Solids (°Brix)
Farmer	3.92a	5.0a	25.7a
System	3.96a	4.7a	26.7a

: Values having the same letter are not significantly different at $p < 0.05$

Skin to pulp ratio, anthocyanins, and phenolic index for a drip-irrigated commercial Carmenère vineyard.

2006-2007 season

Treatments	Skin to pulp ratio (cm² cm⁻³)	Total anthocyanins (mg berry⁻¹)	Total phenolic index (DO₂₈₀)
Farmer	3.64 a	1.67 a	36.4 a
System	3.20 a	2.59 b	35.4 a

2007-2008 season

Treatments	Skin to pulp ratio (cm² cm⁻³)	Total anthocyanins (mg berry⁻¹)	Total phenolic index (DO₂₈₀)
Farmer	3.9 a^z	2.0 a	23.3 a
System	3.6 a	2.4 a	25.1 a

: Values having the same letter are not significantly different at p < 0.05

Optimización del Uso de Agua de Riego para el Mejoramiento de la Calidad y Productividad en Olivo (*OLEA EUROPEA L.*)

Premio 2011: Mejor proyecto de sustentabilidad (Grupo Libra, Brasil)





Caudal Aplicado, rendimiento, eficiencia del uso del agua, huella hídrica azul y ahorro de agua y energía en un huerto de Olivos para aceite

	Caudal aplicado (m³ ha⁻¹)	Rendimiento de aceite (t ha⁻¹)	Eficiencia del Uso del agua (kg m⁻³)	Huella hídrica azul (L kg⁻¹)	Ahorro de Agua y energía (%)
Agricultor	4941	2.42	0.49	2044	100
Estrategia1	3856	2.38	0.62	1620	22.0
Estrategia2	3259	2.43	0.75	1342	34.0
Estrategia3	3126	2.12	0.68	1475	36.7

Programación del Riego en Olivos

	Agricultor	SEPOR
Aplicación de Agua	4940 m ³ /ha	3260 m ³ /ha
Ahorro de Agua		34%
Eficiencia del Uso del Agua	0.49 kg of olive oil/m ³	0.75 kg of olive oil/ m ³

Analisis Económico:

	Agricultor (US\$/ha)		Sistema (US\$/ha)
Costo de la energía	221		159
Costo de la cosecha	945		870
Costo del procesamiento de aceite	1064		979
Costo total	2230		2008
Ahorro			222

Huerto = 600 ha; el ahorro total = US\$ 133,200/year

FICHA TÉCNICA OLIVO, COMUNA DE PENCAHUE, TEMPORADA 2007-2008.

Cuadro 1. Estados fenológicos principales del olivo cv. Arbequina.

Estado Fenológico (Fechas)	Inicio de Brotación (10-09-07)	Floración (12-11-07)	Cuaja (30-11-07)	Endurecimiento carozo (03-01-08 al 18-01-08)	Cosecha (29-05-08)
Imagen					

Fuente: CITRA

Cuadro 2. Días grados (base 12,5°C) por periodo fenológico, valores de coeficiente de cultivo (Kc) y evapotranspiración de referencia (ETr) en Olivo cv. Arbequina.

Periodo	1 Mayo-Brotación	Brotación-Floración	Floración-Cuaja	Cuaja-IEC ¹	IEC-FEC ²	FEC-Cosecha	TOTAL
GD (10)	13,5	99,0	85,5	232,5	143,0	645,9	1219,4
Coeficiente de cultivo (Kc)	0	0,6	0,6	0,6	0,36	0,36	
Evapotranspiración de referencia a partir de Brotación-ETr (mm)	0	202,4	89,1	174,2	86,3	414,9	966,9

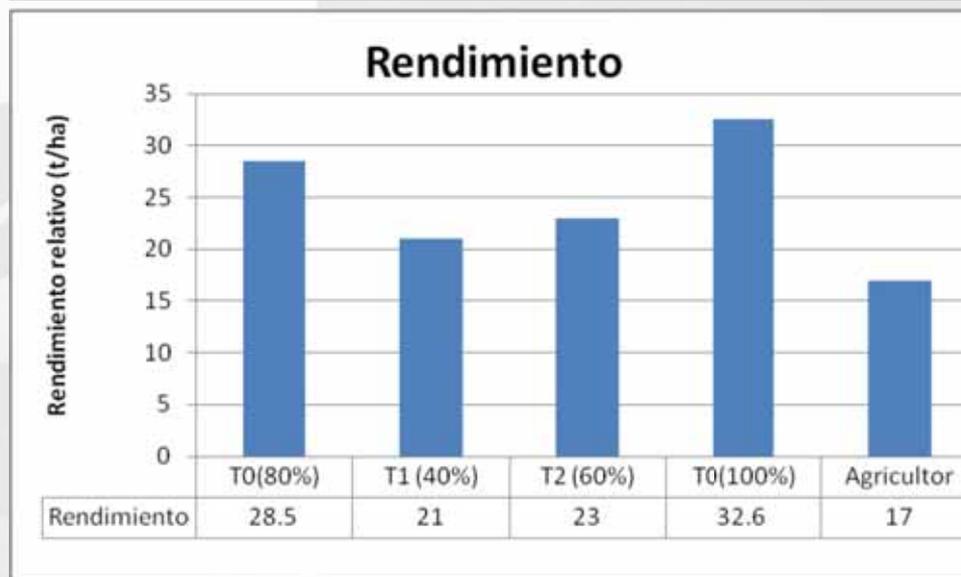
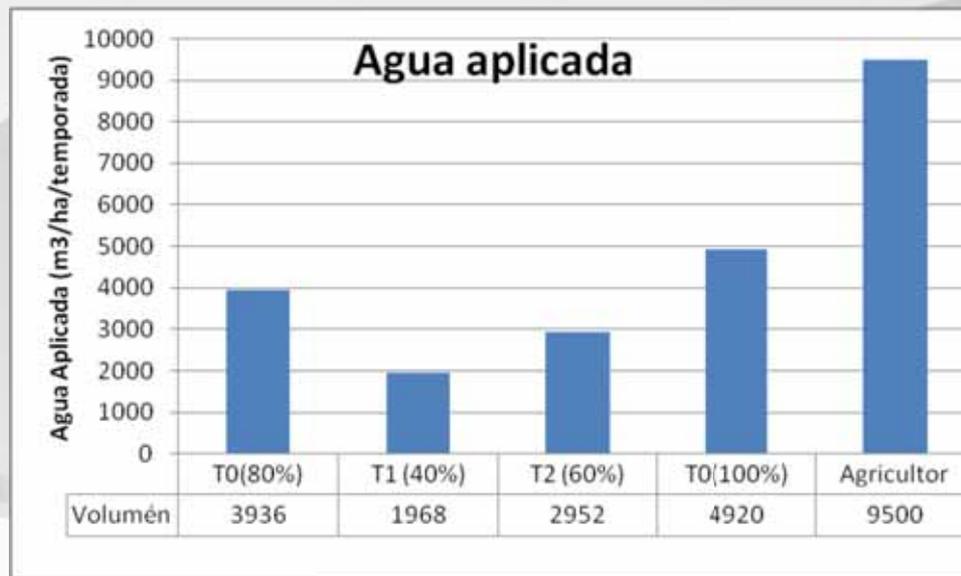
Fuente: CITRA

1 IEC=Inicio endurecimiento del carozo, 2 FEC=Fin endurecimiento del carozo

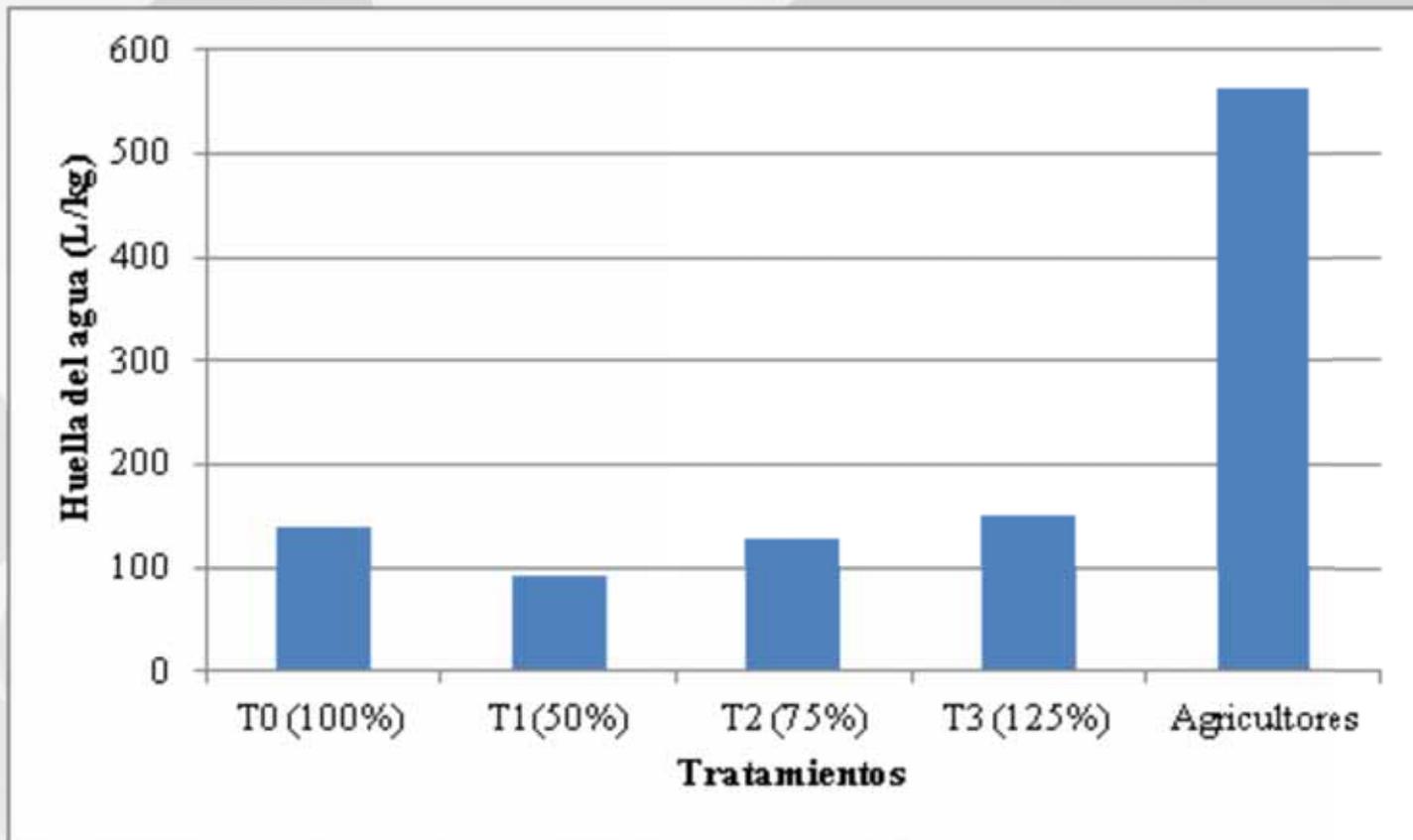


Arándanos





Agua aplicada y rendimiento en un huerto de arándanos durante la temporada 2012/2013



Hulla del agua para cuatro estrategias de riego en un huerto de arándanos durante la temporada 2012/2013

FICHA TÉCNICA ARÁNDANO, COMUNA DE LONGAVÍ, TEMPORADA 2007-2008.

Cuadro 1. Estados fenológicos principales del Arándano cv. Briggita.

Estado Fenológico (Fechas)	Brotación (24-09-07)	Floración (10-10-07)	Cuaja (20-10-07)	Pinta (10-11-07)	Cosecha (20-12-07)
Imagen					

Fuente: CITRA.

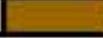
Cuadro 2. Días grados (base 10°C) por periodo fenológico, valores de coeficiente de cultivo (Kc) y evapotranspiración de referencia (ETr) en Arándano cv. Briggita.

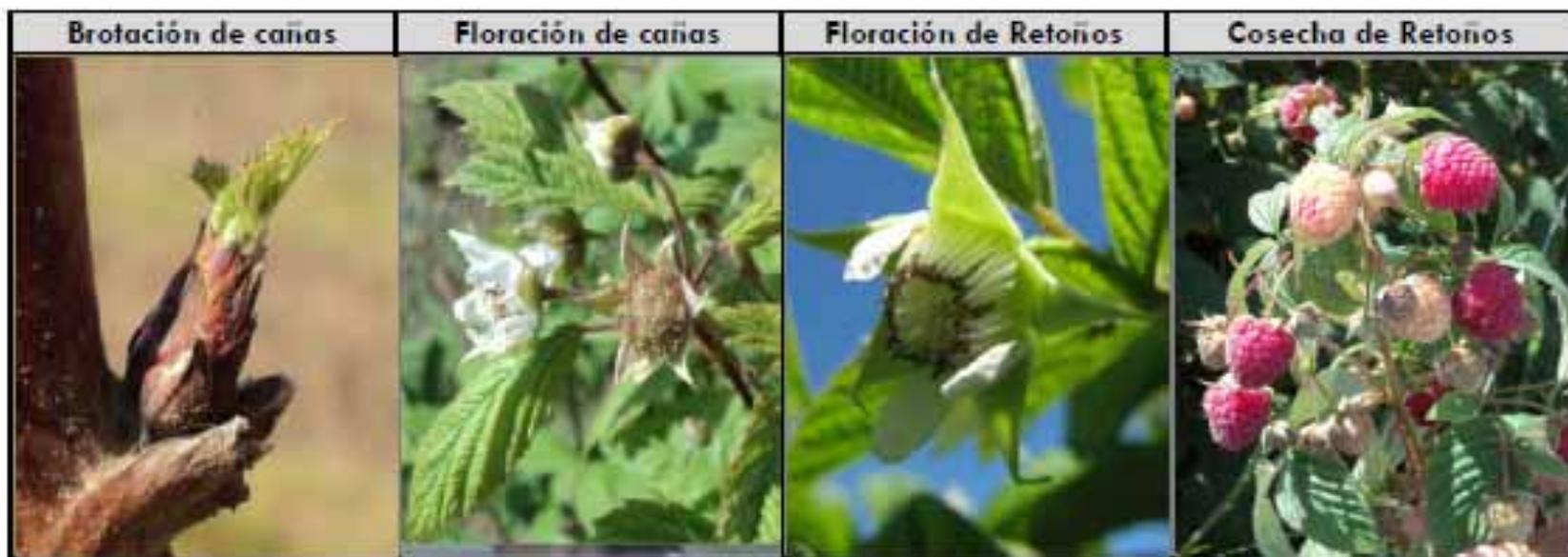
Periodo	01 Mayo- Brotación	Brotación- Floración	Floración-Cuaja	Cuaja-Pinta	Pinta-Cosecha	TOTAL
GD ⁽¹⁰⁾	19,7	16,9	13,7	72,2	224,2	346,7
Coeficiente de cultivo (Kc)	0	0,45	0,50	0,60	0,36	
Evapotranspiración de referencia a partir de Brotación-ETr (mm)	0	41,65	26,25	79,99	184,05	331,94

Fuente: CITRA

Fenología Frambueso

	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
2011-2012																																								
2012-2013																																								

Brotación de cañas	
Floración de cañas	
Cosecha de cañas	
Floración retoños	
Cosecha retoños	



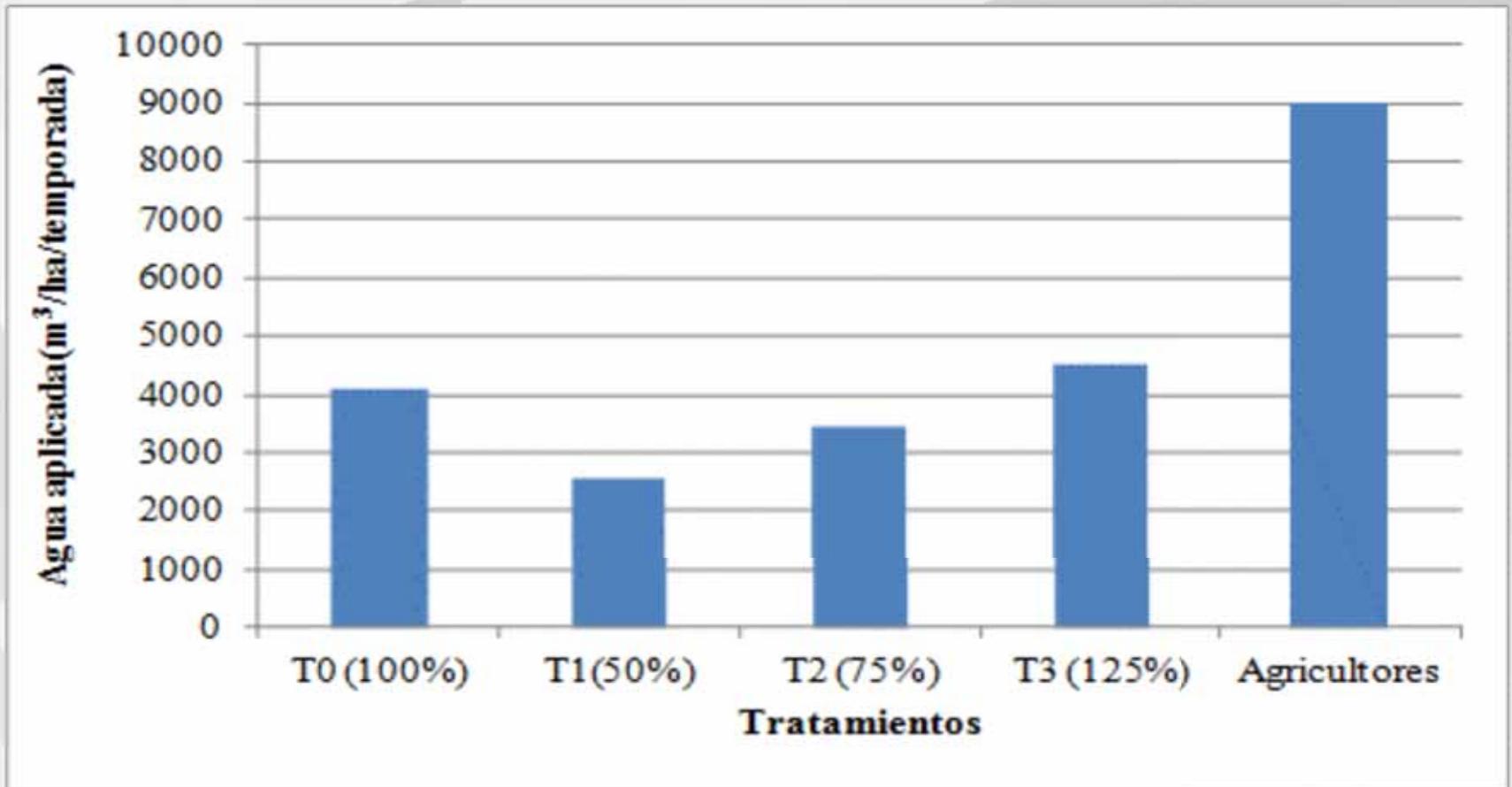
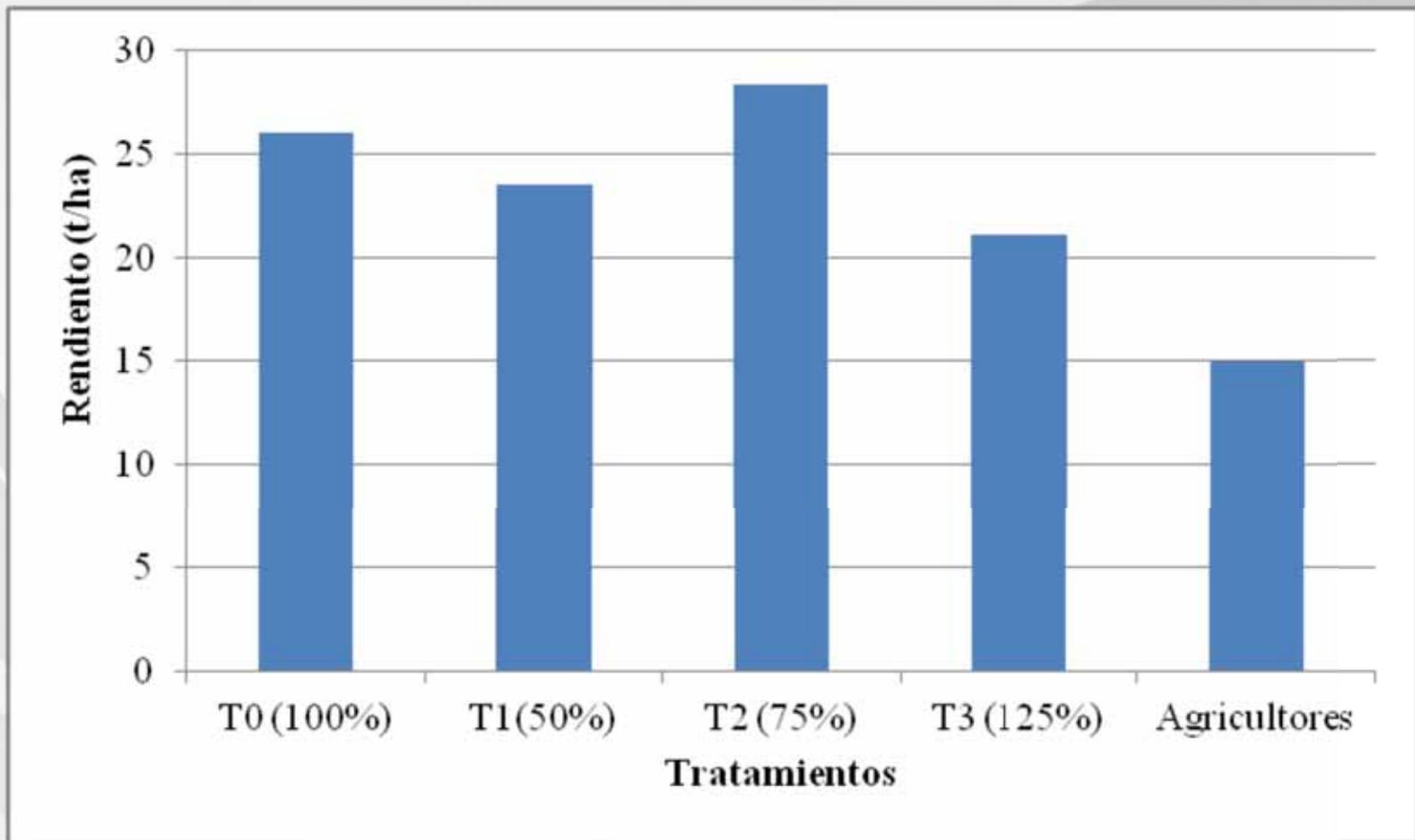
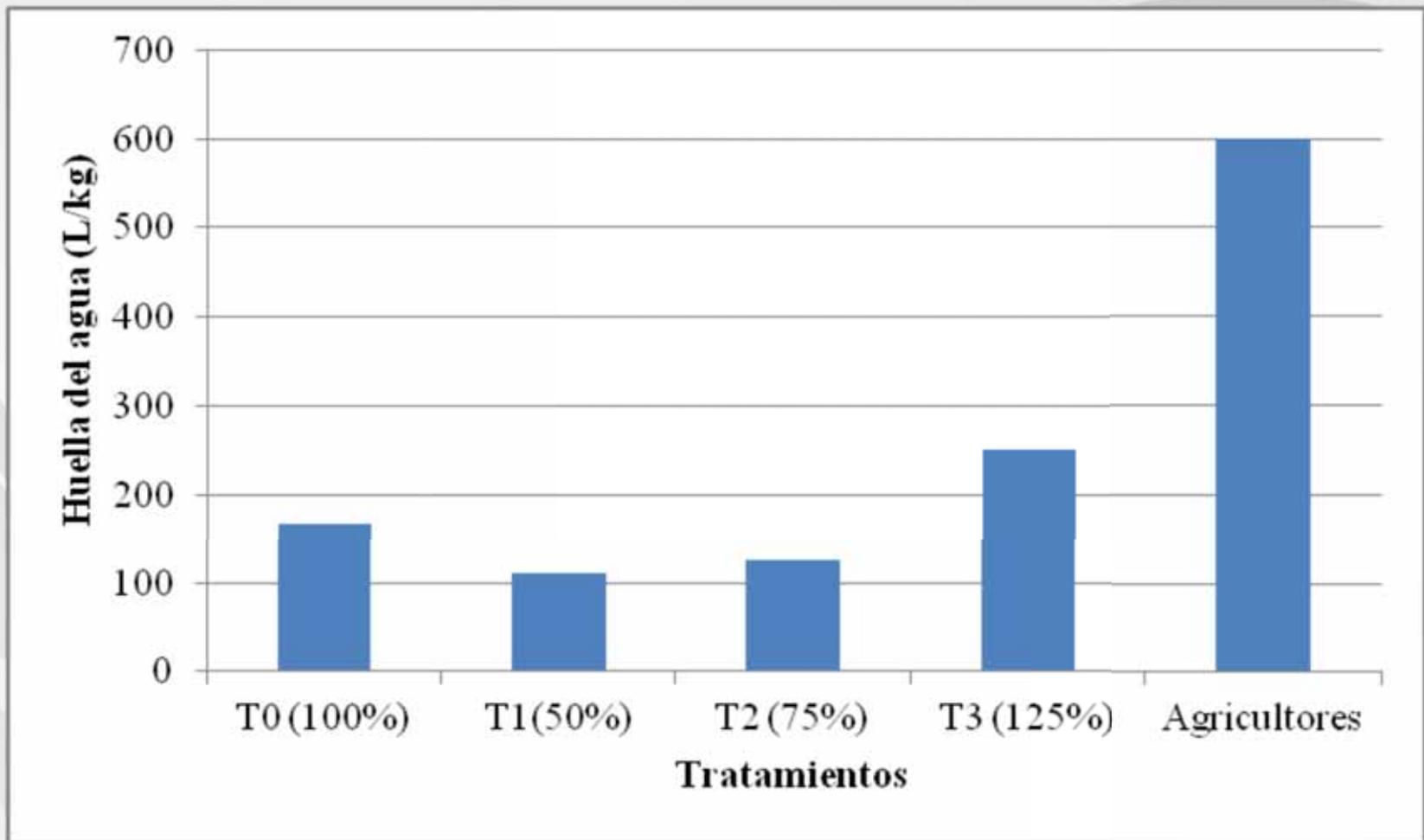


Figura 2. Volumen de agua aplicada a los tratamientos en frambueso (cv. Heritage), durante la temporada 2012/2013



Rendimiento total para cuatro estrategias de riego en un frambueso (cv. Heritage) durante la temporada 2012/2013



Huella del agua para cuatro estrategias de riego en un frambueso (cv. Heritage) durante la temporada 2012/2013



Efecto de la programación del riego (temporada 2000-2001).

Agricultores	Rendimiento (t ha⁻¹)		
	Sistema	Agricultor	% of incremento
A, VII Región	4,13	3,12	32,4
B, VII Región	4,36	3,34	31,0
C, VII Región	2,69	2,75	2,2
D, VI Región	4,27	3,87	10,3
E, VI Región	6,12	5,13	19,3
F, VII Región	4,56	4,96	-15,7
G, VI Región	4,33	3,78	37,4
Promedio	4,33	3,78	14,6

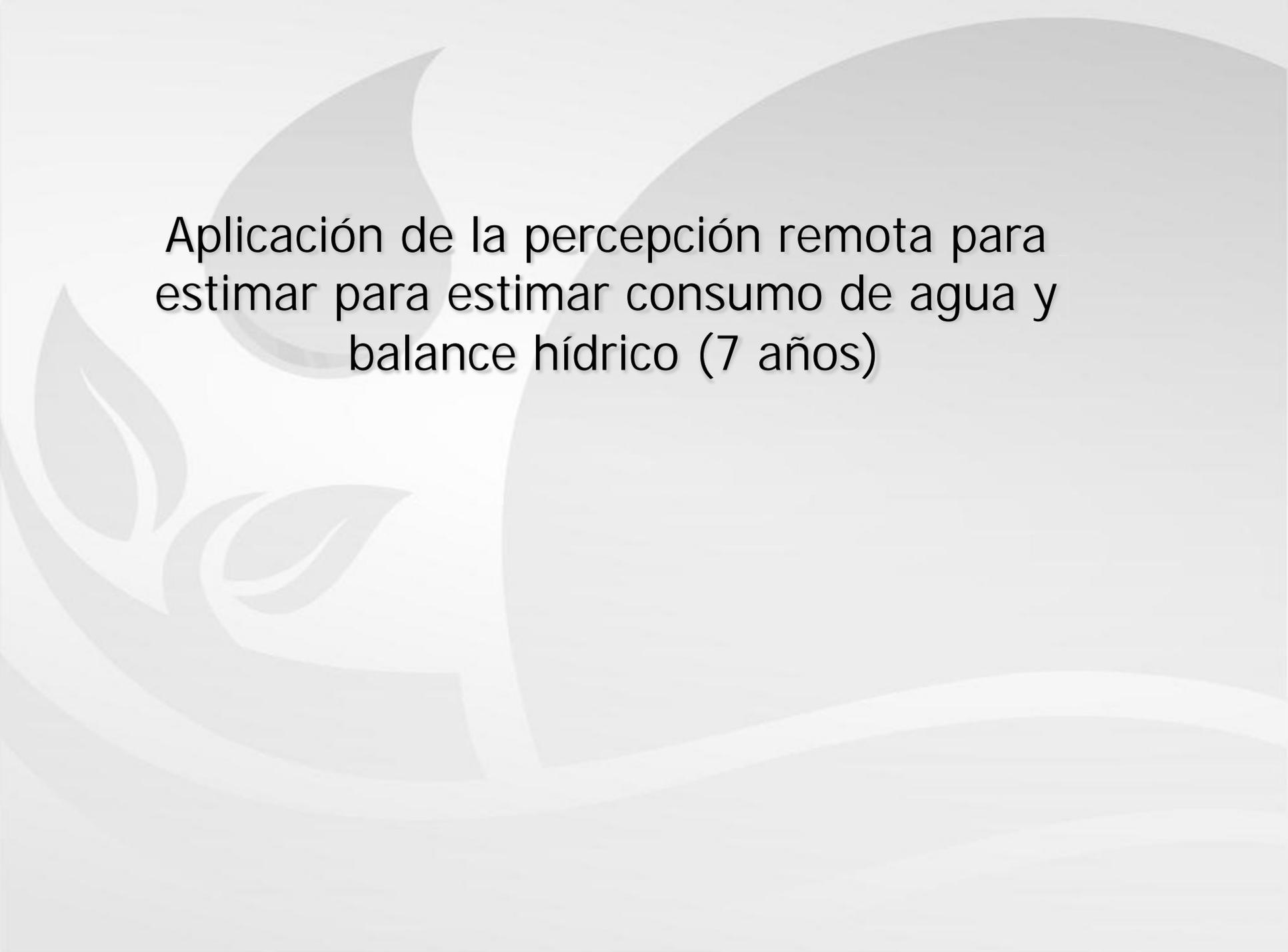
Fuente: empresa de semilleros ANASAC.

Eficiencia de uso del agua para mora híbrida, frambuesa y arándano regados por goteo.

Cultivo	Sin Programación (kg/m³)	Con Programación (kg/m³)	Ahorro de agua (%)
Mora híbrida	2,92	6,55	57
Frambuesa	6,13	16,33	47
Arándano			40

Impactos del SEPOR

	Ahorro de Agua
Uvas viníferas	30-60%
Olivos	38%
Manzanos	18-20%
Uva de mesa	25-30%
Arándanos	40-50%

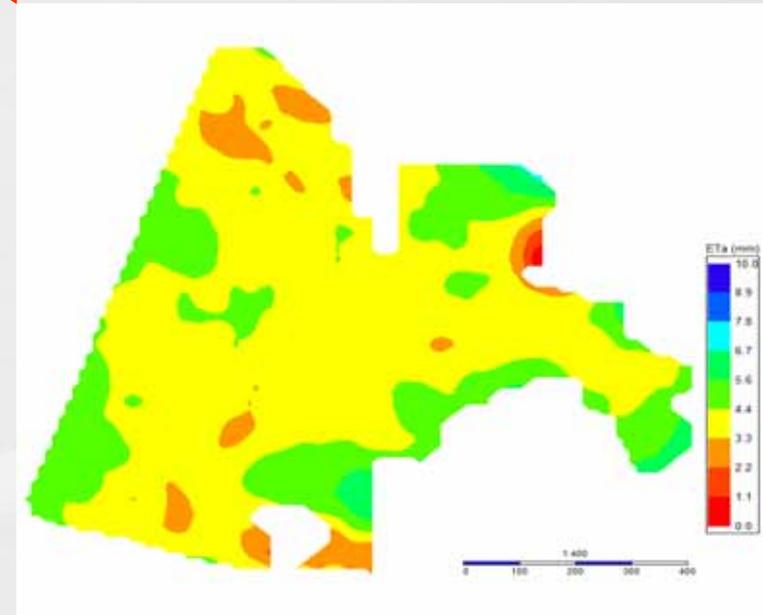
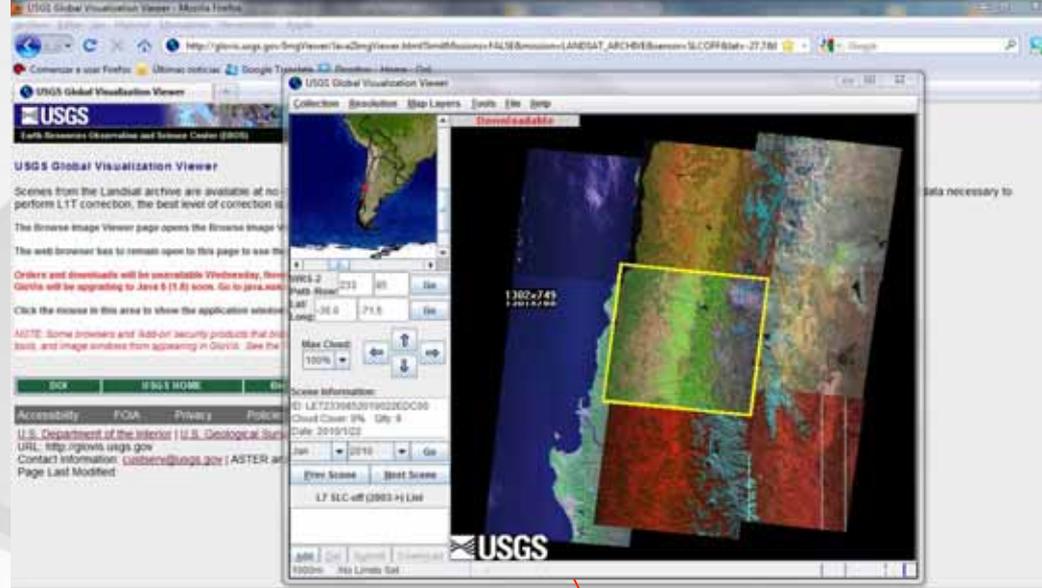


Aplicación de la percepción remota para
estimar consumo de agua y
balance hídrico (7 años)

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Percepción Remota para estimar Evapotranspiración, balance Hídrico y Huella del Agua





Mapa de consumo de agua viñas (Landsat 5 y 7)

Instrument to validate model for estimating plant water use



Statistical analysis of single crop coefficient (K_c) and actual evapotranspiration (ET_a) of a drip-irrigated Merlot vineyard.

	MAE	RMSE	b	d
K_c	0.08	0.10	1.10	0.70
$ET_{a_}$	0.50 mm d ⁻¹	0.62 mm d ⁻¹	1.09	0.85

RMSE = root mean square error; MAE = mean absolute error; d = index of agreement

Example of ET_a and Kc mapping
(period 2007-2008)



Vina Calina

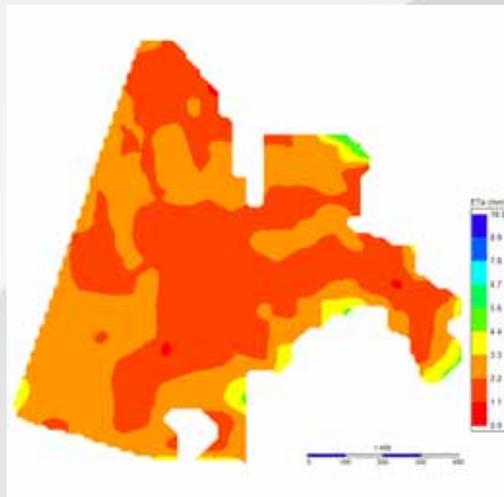
© 2009 DMapas
Image © 2009 DigitalGlobe
© 2009 Inav/Geosistemas SRL

Google

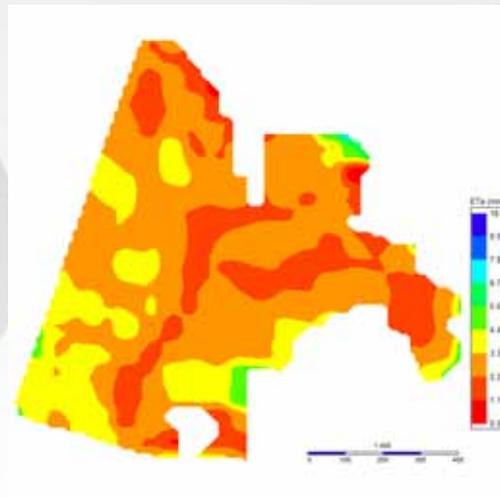
31 Oct. 2006

Alt. ojo 1.94 km

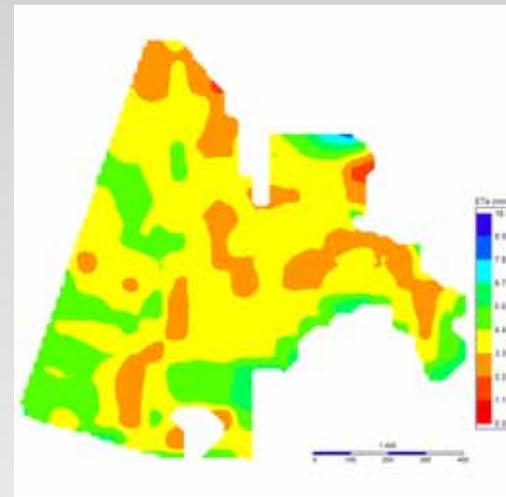
ETa Mapping



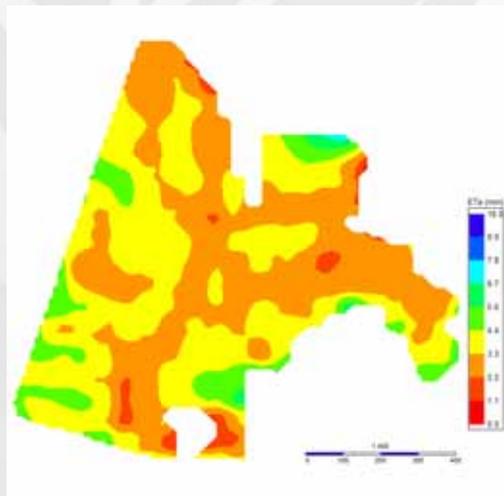
11-30-2007



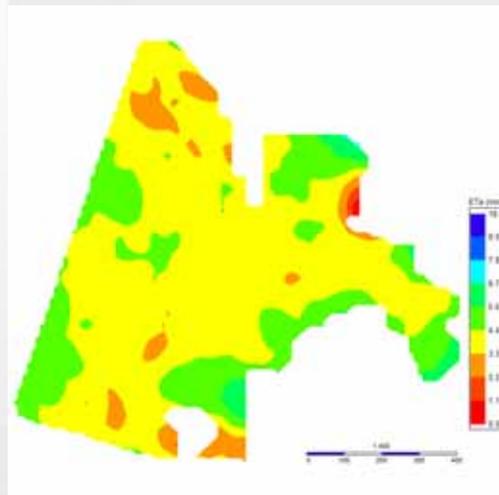
12-16-2007



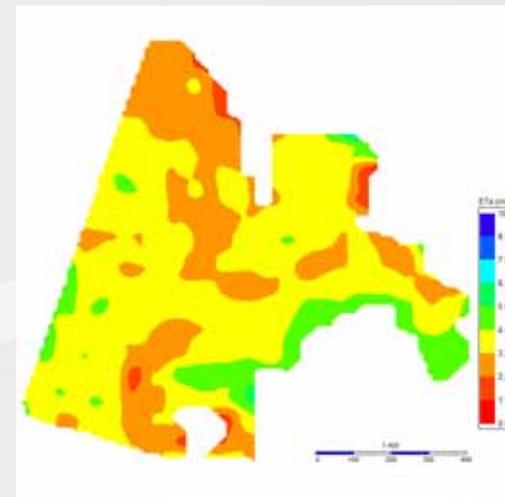
01-01-2008



01-17-2008

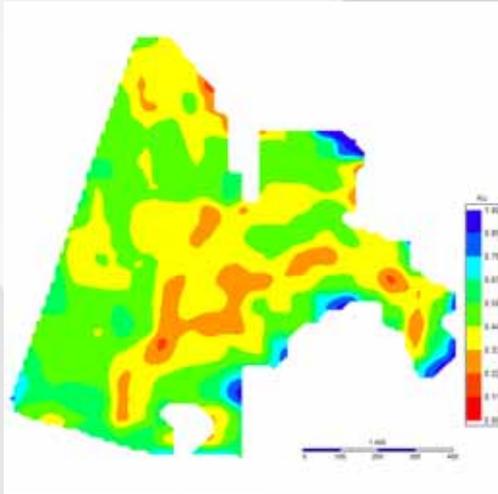


01-25-2008

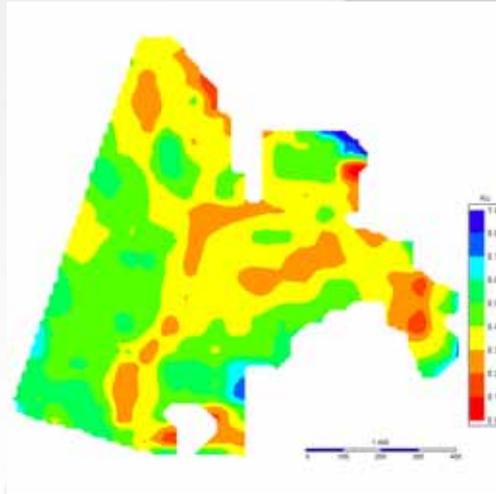


02-02-2008

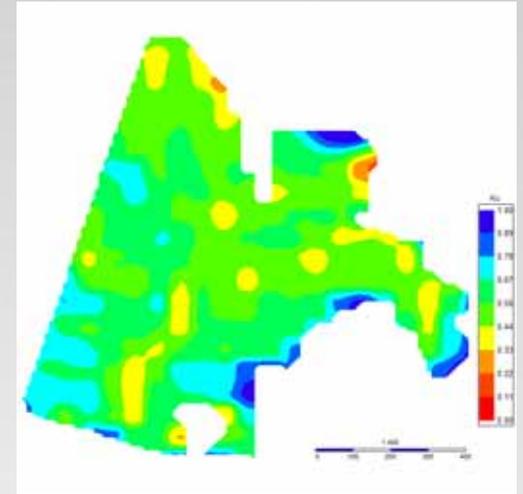
Kc Mapping



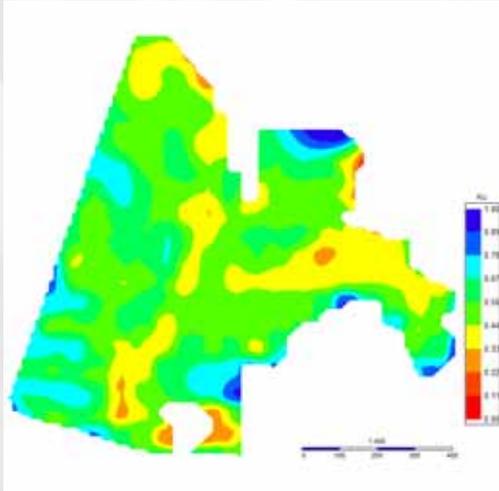
11-30-2007



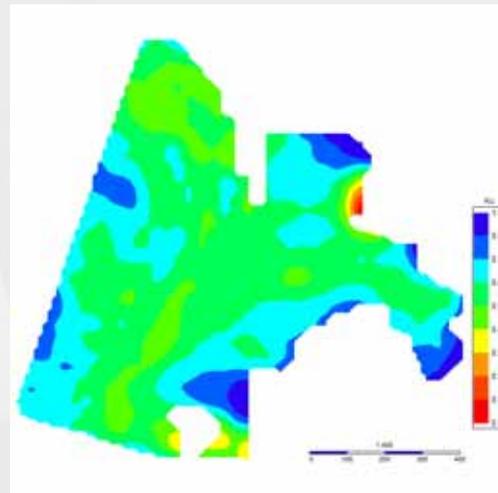
12-16-2007



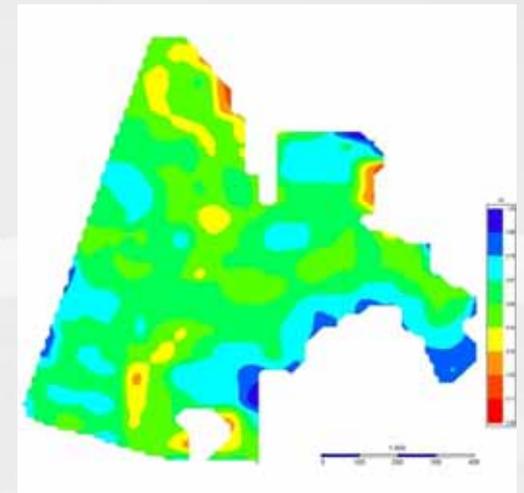
01-01-2008



01-17-2008



01-25-2008

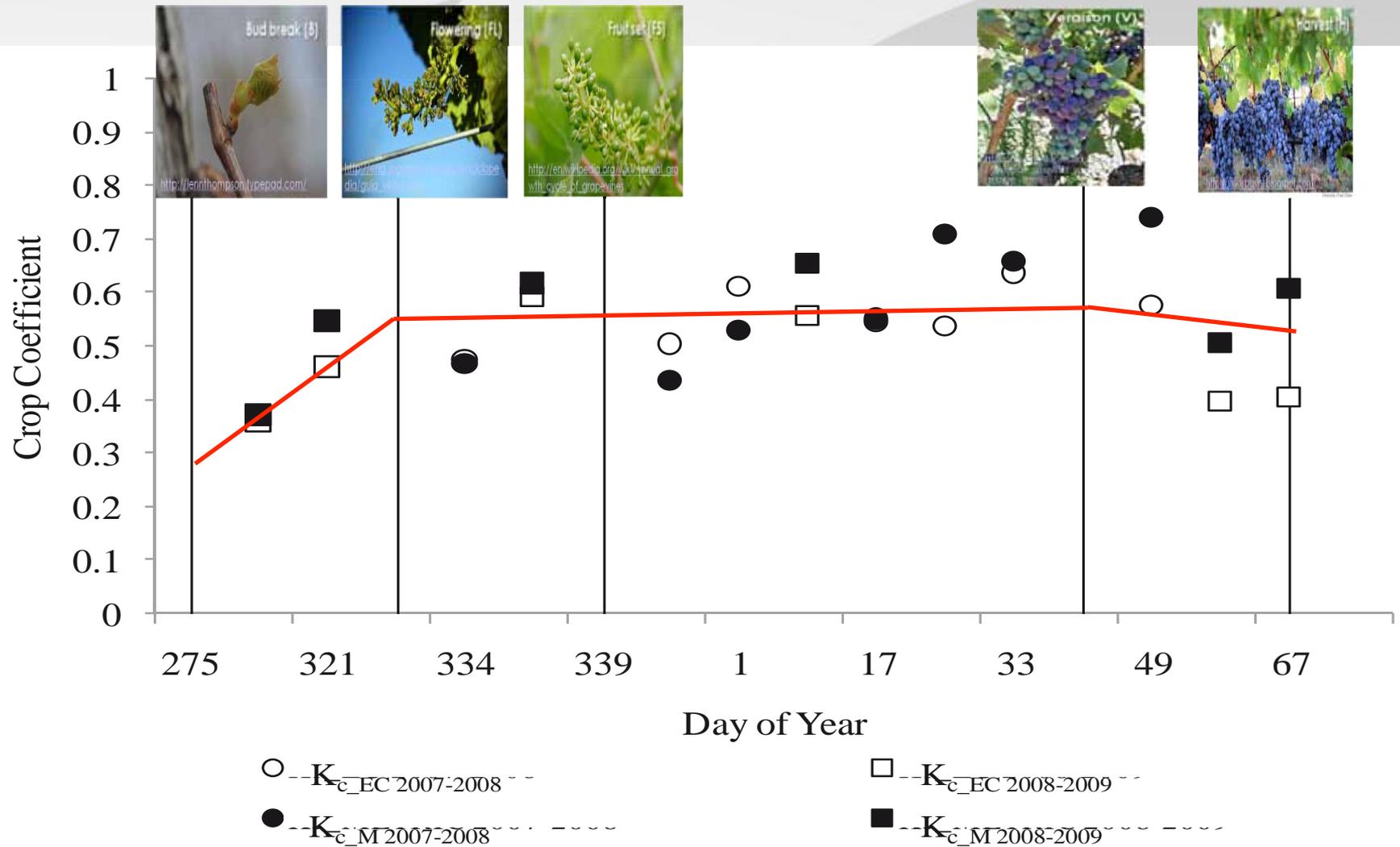


02-02-2008

Budbreak Flowering Fruit set

Veraison

Harvest

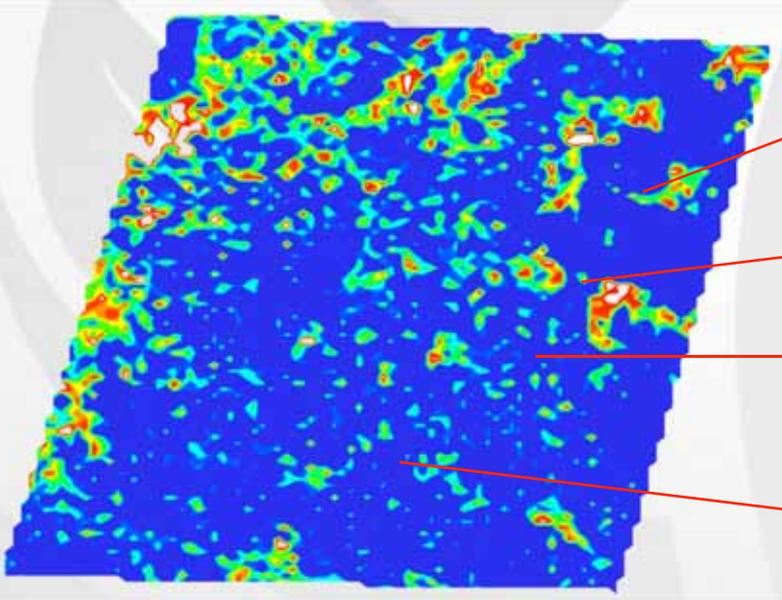


Daily values of crop coefficient obtained by the eddy correlation system (K_{c_EC}) and calculated (K_{c_M}) by METRIC model for the main phenological stages of a vineyard.

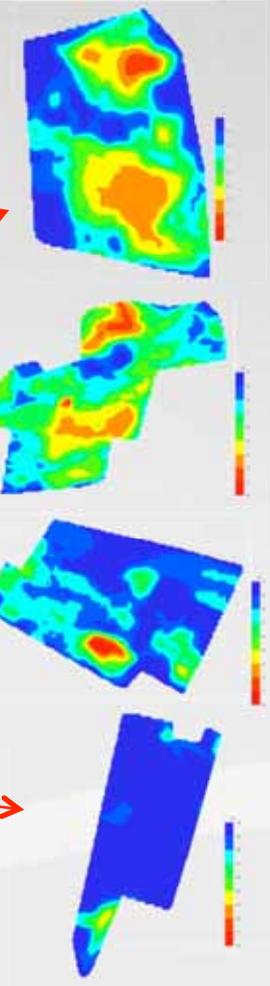


Estimación regional del consumo de agua

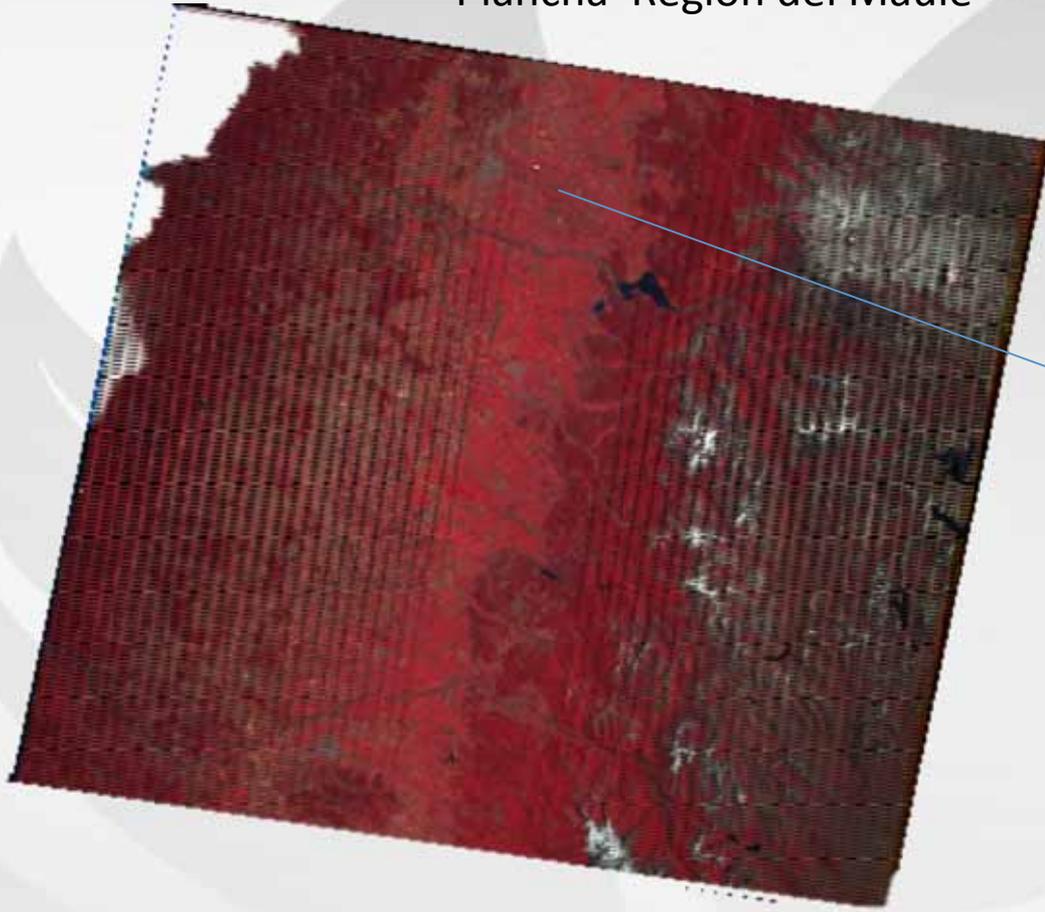
Regional
(25 viñas: 2,200ha)



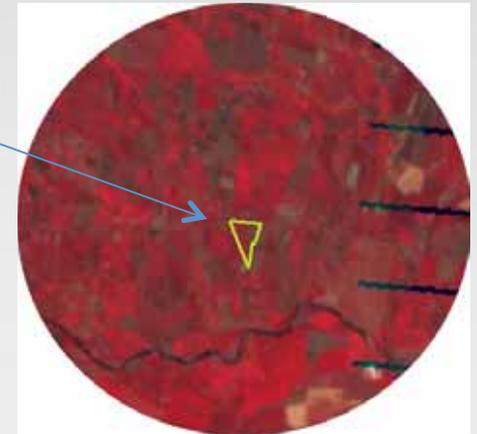
Viñedos



Plancha Región del Maule

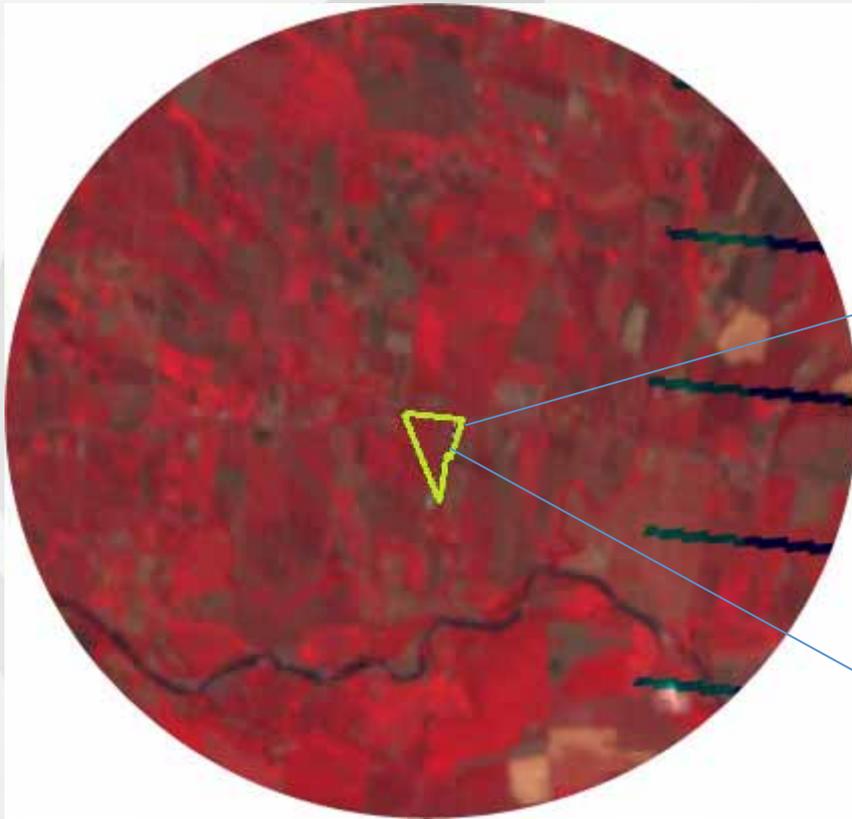


AOI

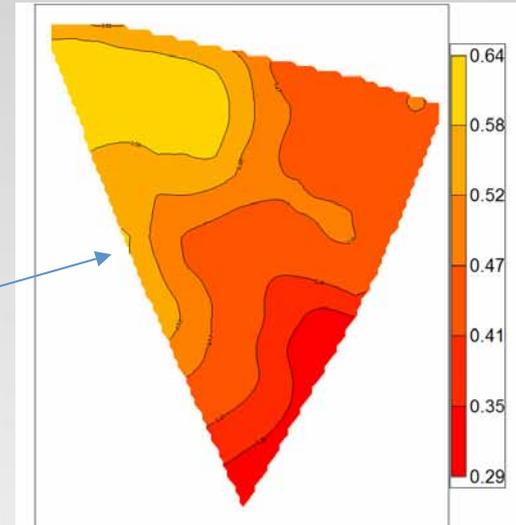


Ejemplo estimación parámetros con
percepción remota

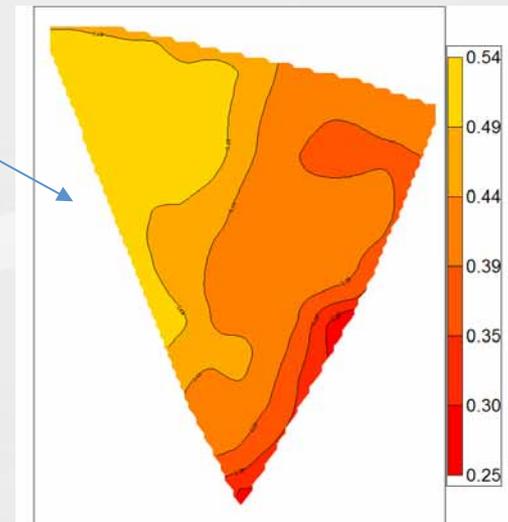
Temporada 2011-2012
Viña Bustamante



Kc principio temporada METRIC 2011-12-11



Kc principio temporada METRIC 2012-02-3



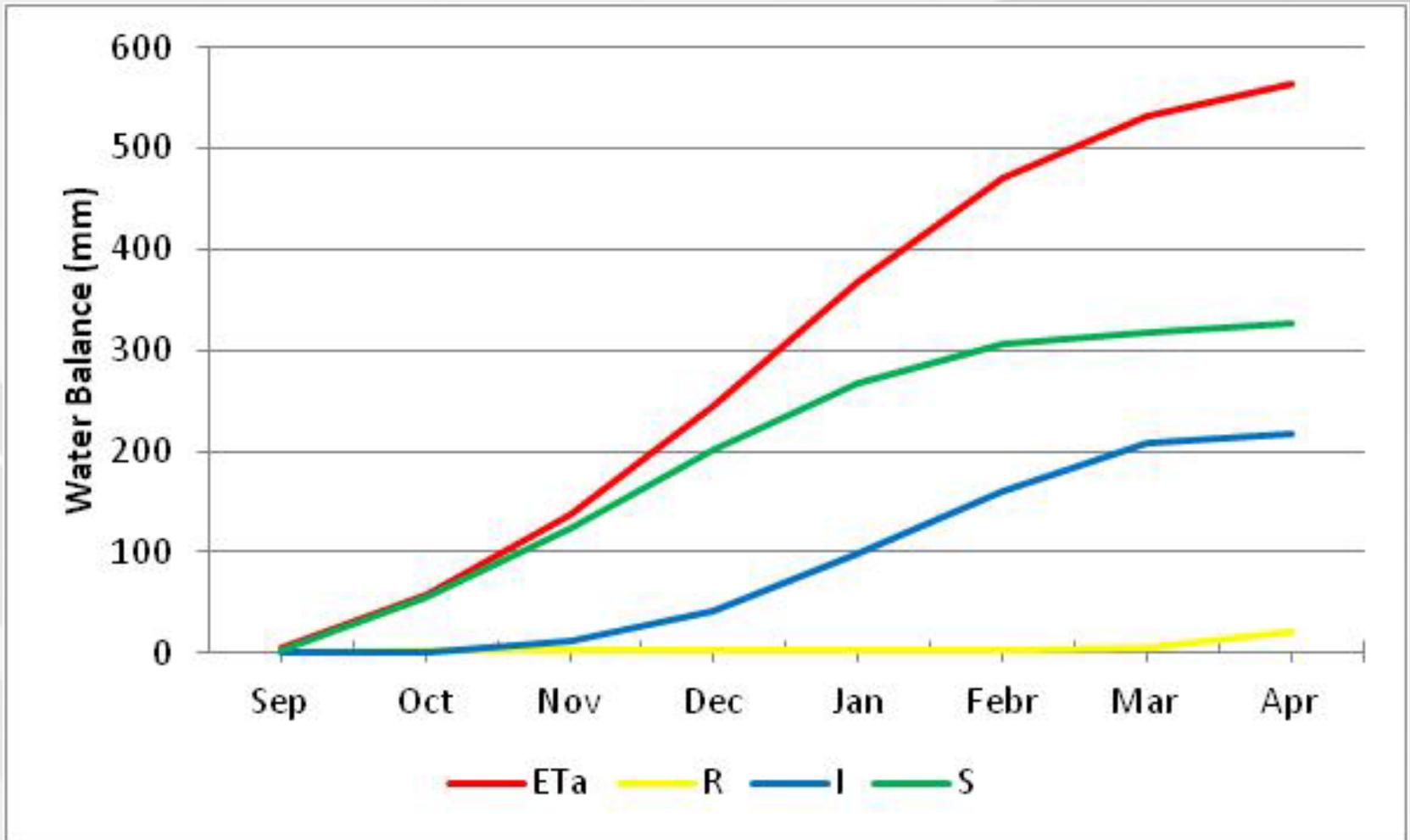
Variabilidad de Kc:
-Intrapredial
-Dentro de la temporada
-A través de las temporadas



Evaluación del Balance Hídrico de un Viñedo

Consumo de agua annual del viñedo (m³/ha/year)

	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	Mean
Blocks						
15	3750	3768	4445	4723	3819	4101
16	4923	4945	5837	6181	4981	5373
17+18	4605	4622	5476	5805	4710	5044
19	3394	4030	4030	4259	3435	3830
20	3879	4611	4611	4911	3994	4401
21	3945	4689	4689	4970	4026	4464
22	4709	5591	5591	5947	4811	5330
Mean	4172	4608	4954	5257	4254	4649



Valores acumulados de evapotranspiración (ETa), precipitaciones (R.), riego (I) y agua desde el suelo (S)

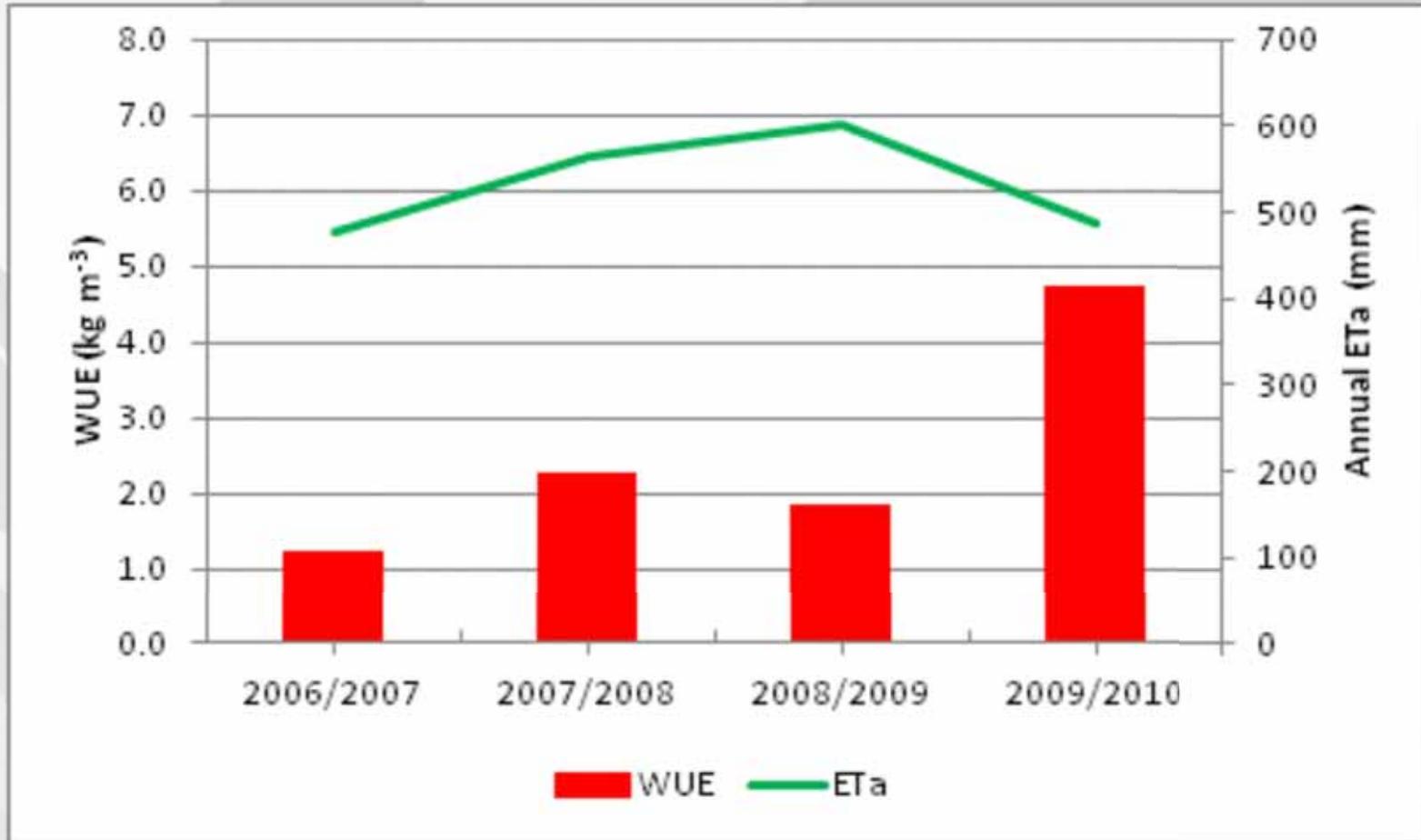
Balance hídrico anual para un viñedo regado por goteo

	(mm)	(%)
Agua de Riego (I)	215	37.1
Precipitaciones (R.)	20	3.4
Agua del suelo (S)	345	59.5
Consumo total (ETa)	580	100.0

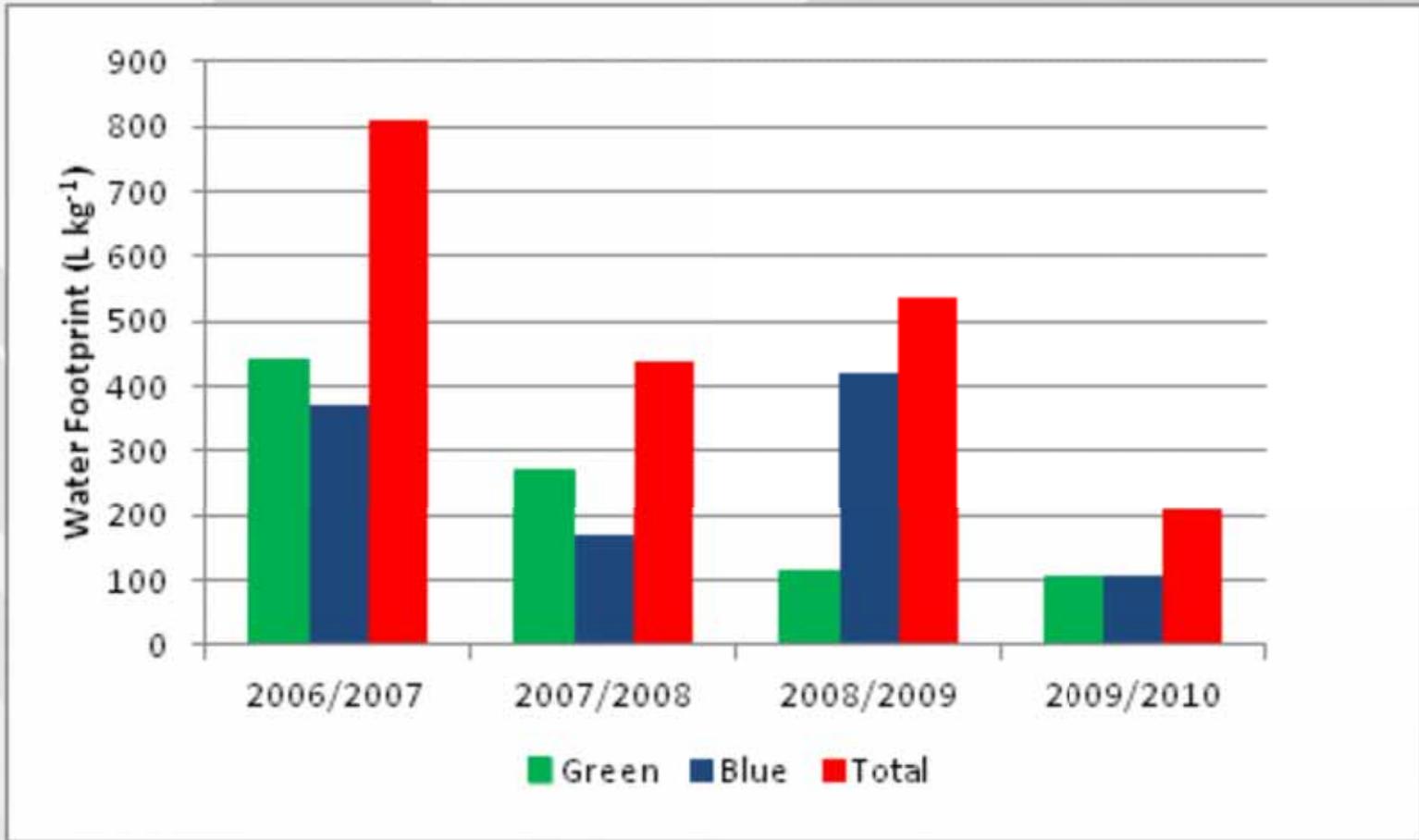




Evaluación de la eficiencia del uso del agua y huella hídrica

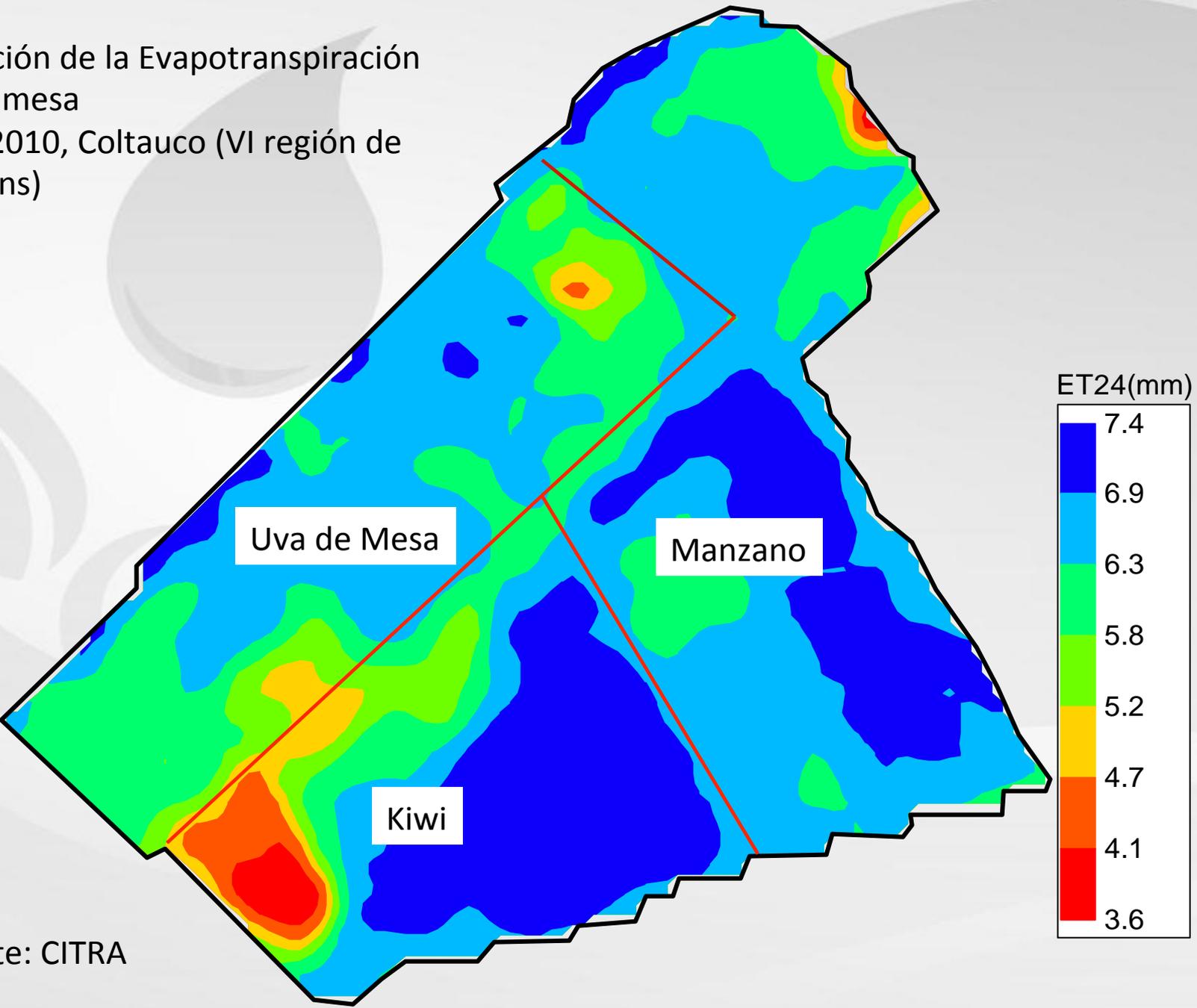


Eficiencia del uso del agua o productividad del agua (WUE) y consumo de agua del viñedo (ETa). ETa fue estimada usando imágenes satelitales y datos climáticos



Huella hídrica total, verde y azul. ETa fue estimada usando imágenes satelitales y datos climáticos .

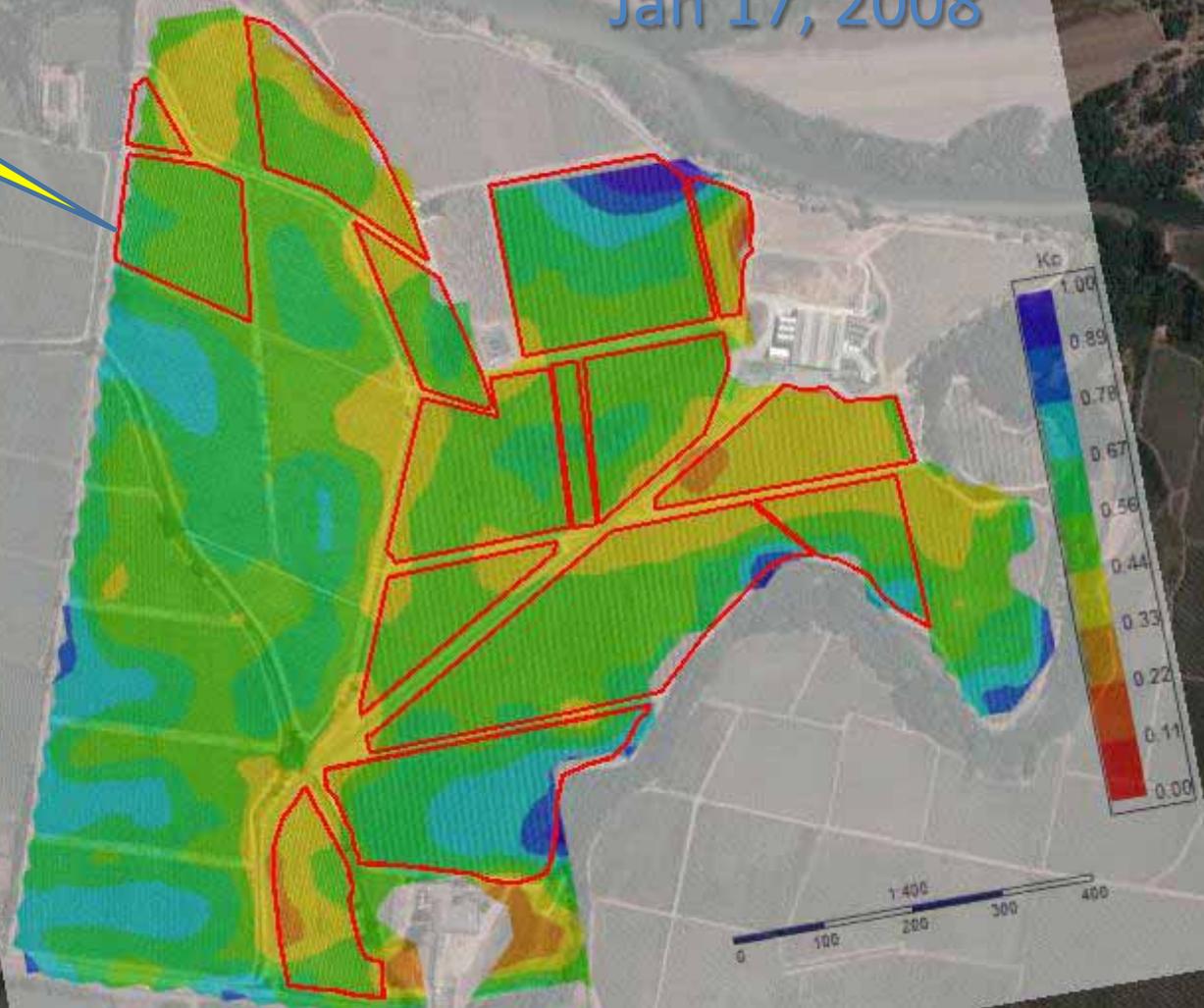
Estimación de la Evapotranspiración
Uva de mesa
06-01-2010, Coltauco (VI región de
O'Higgins)



Fuente: CITRA

Red line indicates Merlot vineyards

Jan 17, 2008

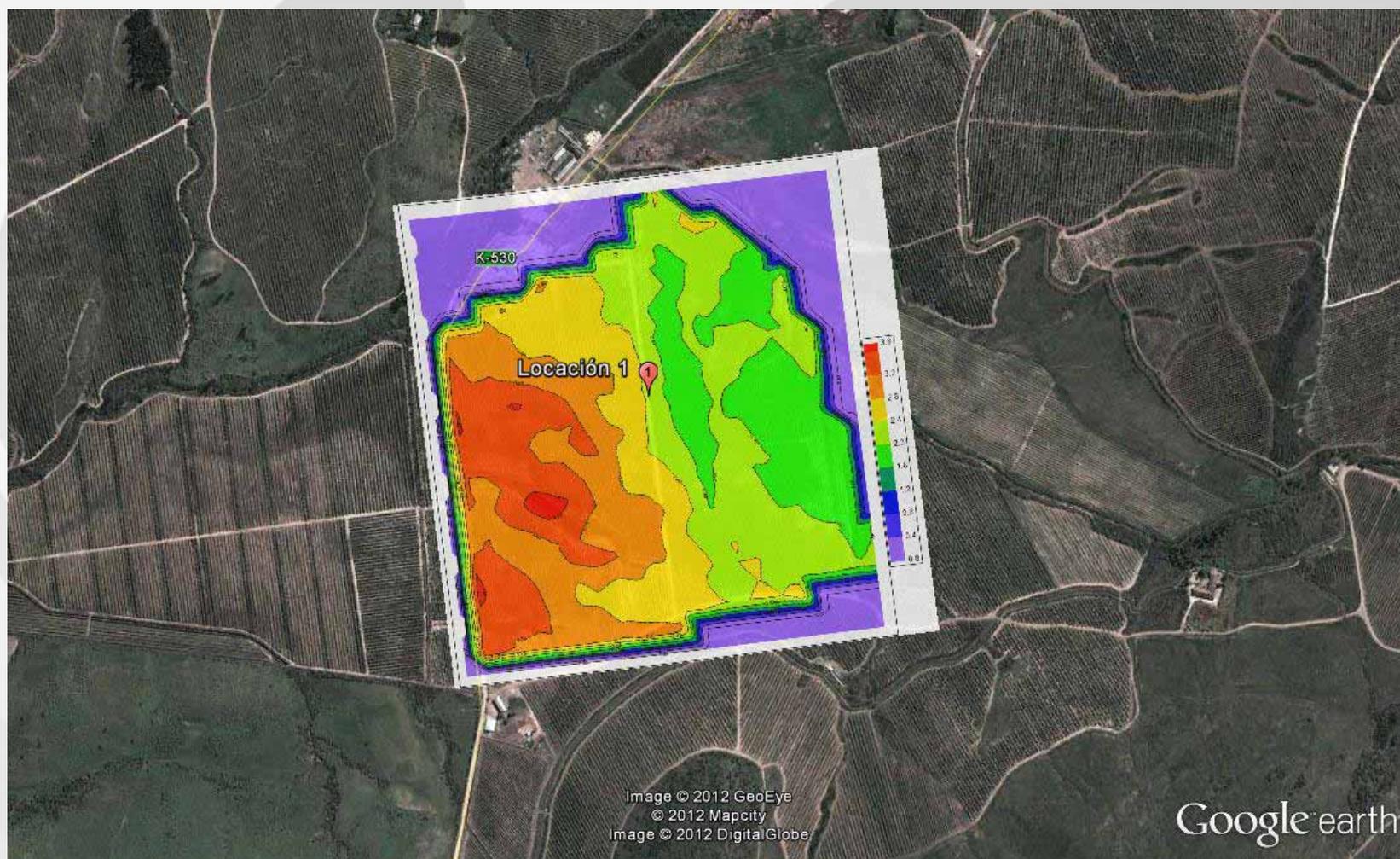


© 2012 Mapcity

Image © 2012 GeoEye

Goog

Mapa de evapotranspiración (65.2 ha) en un huerto de olivos



Sector rojo = 2.8-3.2 mm day⁻¹

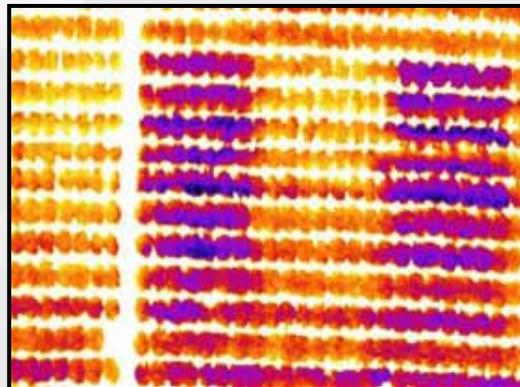
Sector verde = 1.6-2.3 mm day⁻¹

Development of a remote sensing energy balance algorithm to estimate olive and vine evapotranspiration using multispectral and thermal sensors aboard an unmanned aerial vehicle (UAV).

Problems with satellite

- time of satellite overpass = 16 days
- resolution 30X30 m
- Cloudy days

Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados para Estimar Consumo de Agua



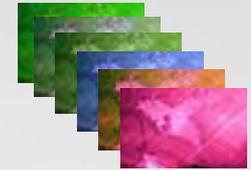
iMK-8 Sistema aéreo no tripulado (Octocoptero)



Cámara visible (Lumix DMC)

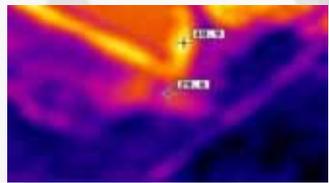
- Análisis de RGB
- Orto-mosaicos
- Índice de are foliar
- Fracción de cobertura

Cámara multispectral (Tetracam Mini MCA 6 canales)



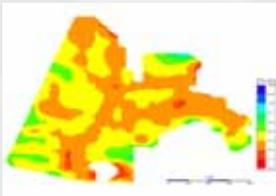
- Calculo de índices de vegetación (IV)
- Vigor
- Contenido Hídrico
- Índice de are foliar
- Contenido nutricional
- Rendimiento

Productos

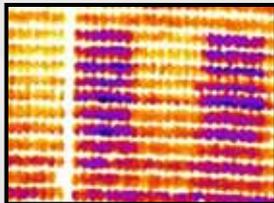


Cámara infrarroja (Guide EasIR-9)

- Medición de temperatura de superficie
- Contenido Hídrico
- Índice de are foliar
- Contenido nutricional
- Rendimiento



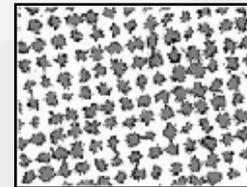
Evapotranspiración



Índices de estrés hídrico



Mosaico

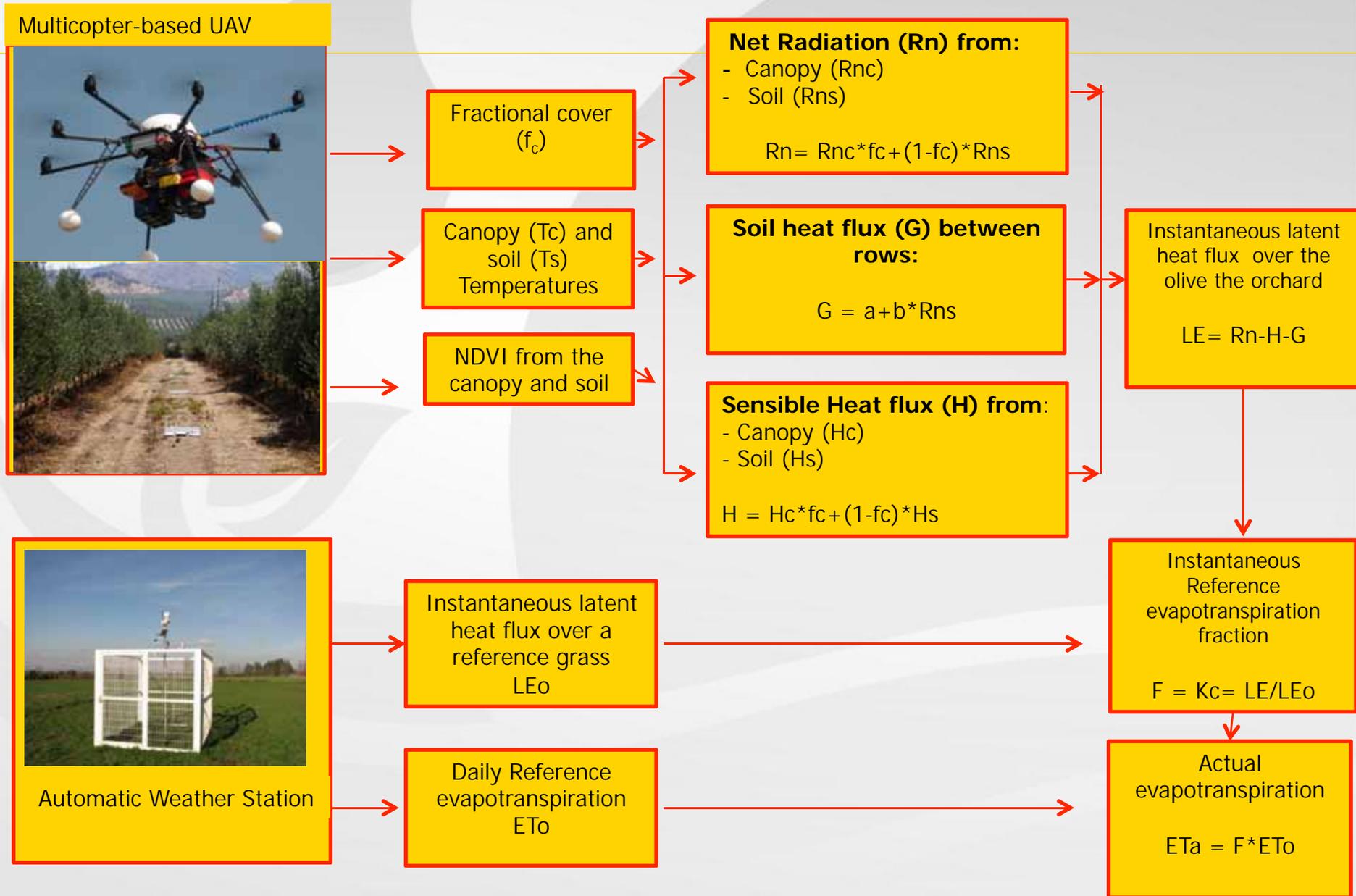


Fracción de cobertura



Evolución de IV

Remote sensing energy balance (RESB) algorithm for an Helicopter-based UAV





Características del Octocoptero

a) Equipamiento:

- Camara termal
- Camara multiespectrales
- RGV (radiación visible)

b) Altura de vuelo:

- 60 m sobre el huerto de olivos

c) Tiempo de vuelo:

- 20 minutos

d) Resolución espacial:

- Tamaño de pixel = 36 cm^2 (6 x 6 cm).



Tabla 1. Especificaciones técnicas de las cámaras aerotransportada por el Octocoptero.

Cámara	Resolución (píxeles)	Dimensiones (m³)	Peso (Kg)	Bandas
EasIR9	384 x 288	112 x 182 x 252	0,79	IR (8000 - 14000 nm)
Mini MCA-6	1280 x 1240	131.4 x 78.3 x 87.6	0.7	490 nm 550 nm 680 nm 720 nm 800 nm 900 nm
Lumix DMC TS4	4000 x 3000	103.5 x 64 x 26.5	0.197	Rojo, Verde Azul

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE PRODUCCIÓN

Sistema aéreo no tripulado



CONICYT
Ministerio de Educación

Gobierno de Chile



Teledetección aplicada para optimizar el uso del agua y energía en
frutales y vides, desarrollo de una plataforma geo-informática

FONDEF D10I1157



Monitoreo del estrés hídrico del viñedo

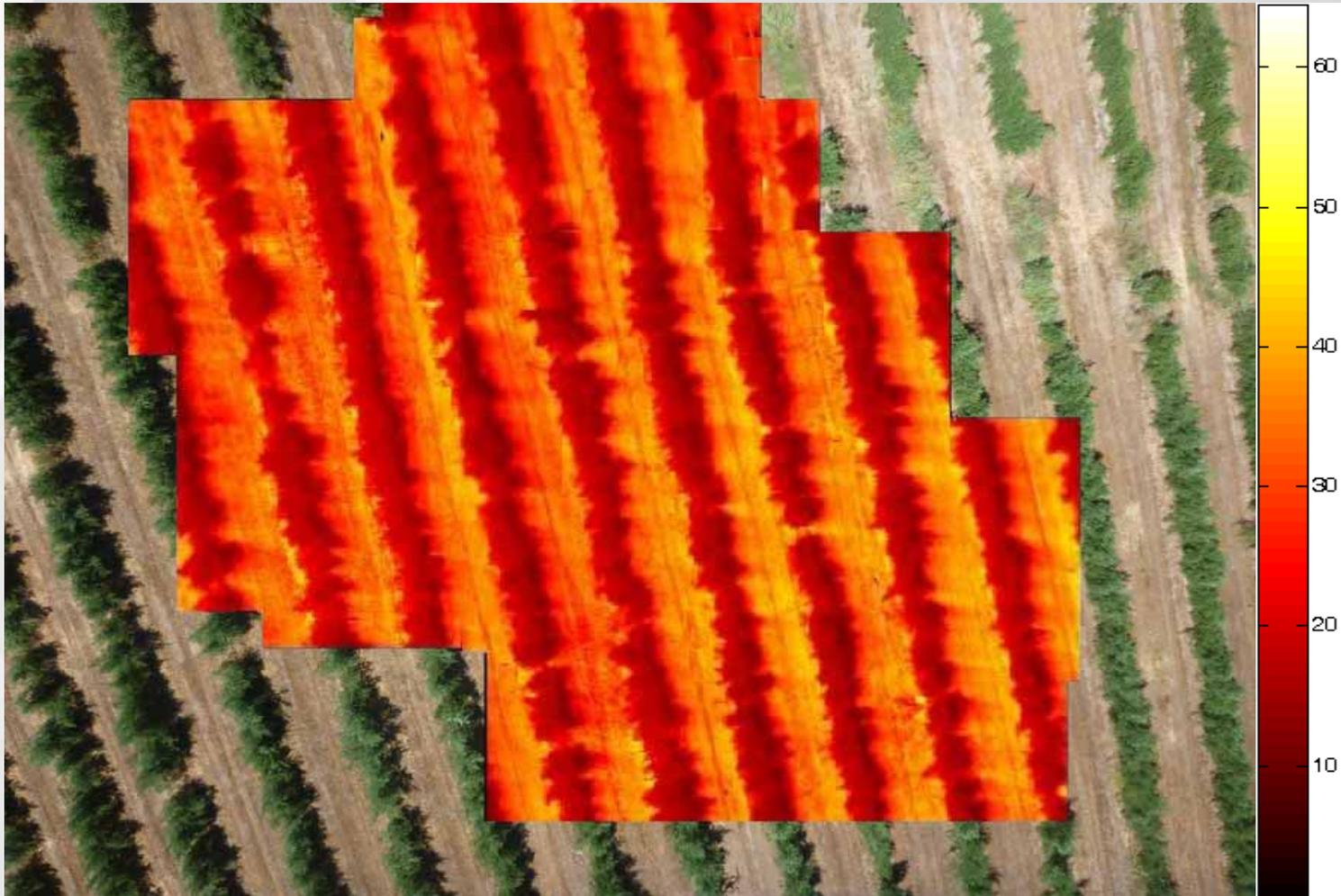
Digital camera (28 January 2014), Drip-irrigated Olive orchard



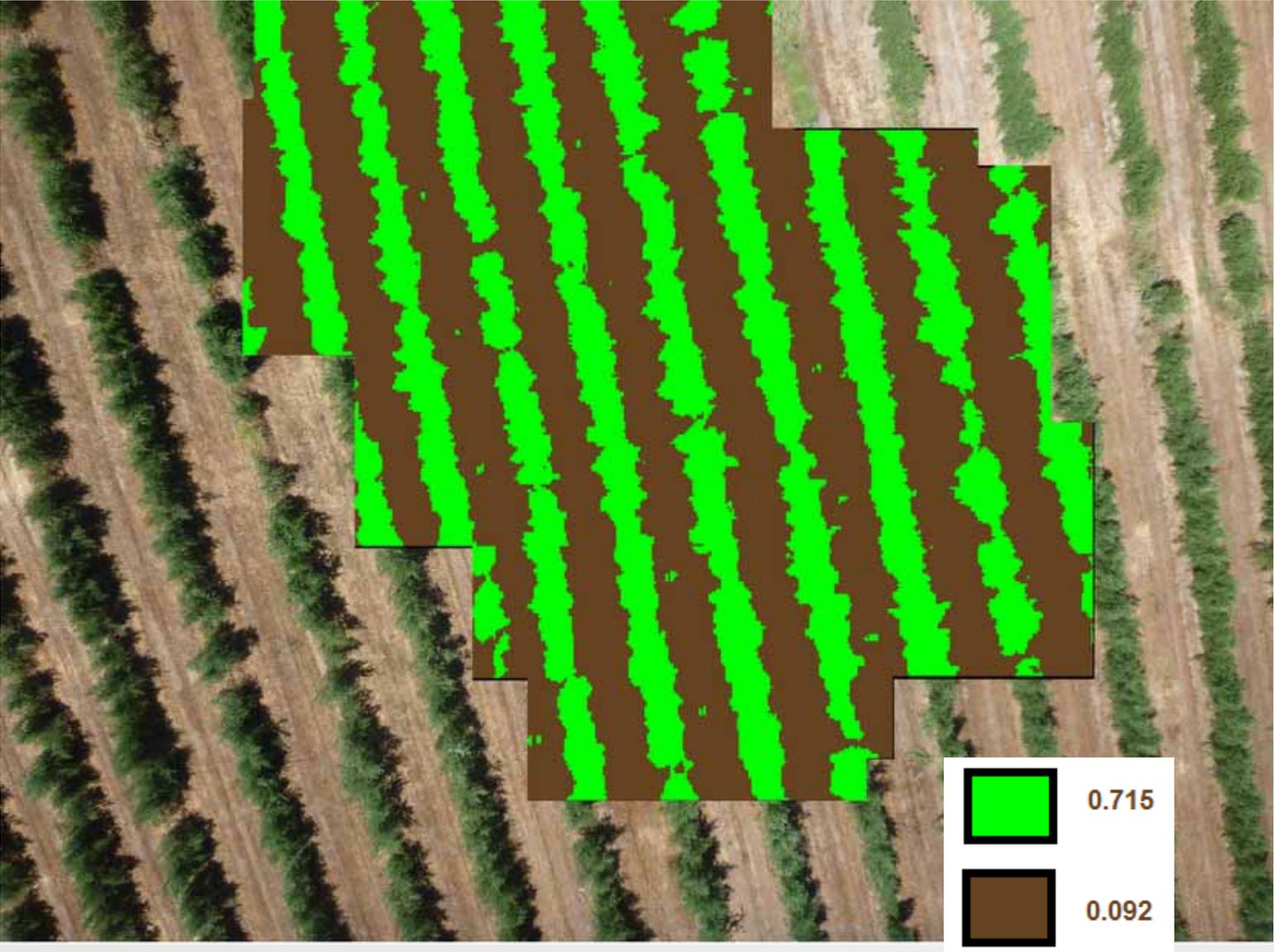
Surface temperature (thermal camera, 28 January 2014) over a drip-irrigated Olive orchard

Canopy temperature = 28°C

Soil temperature = 50°C



NDVI (multispectral camera, 28 January 2014) over a drip-irrigated Olive orchard



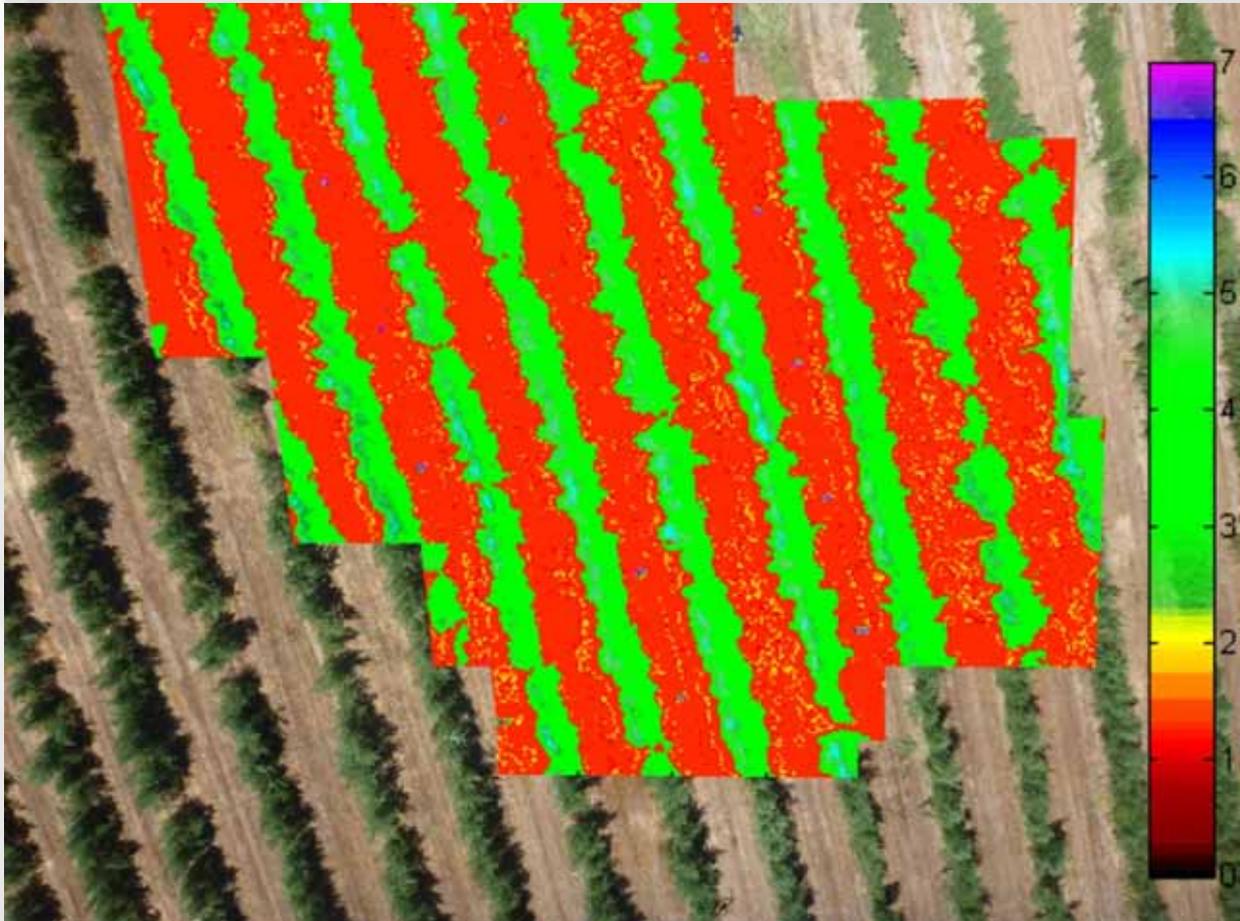
Olive evapotranspiration(ETa)

Transpiration = 3.8 mm day^{-1}

Soil evaporation = 1.2 mm day^{-1}

Estimated ETa = 2.3 mm day^{-1} ;

Measured ETa = 1.5 mm day^{-1}





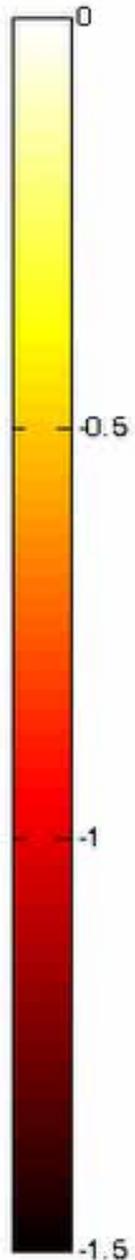
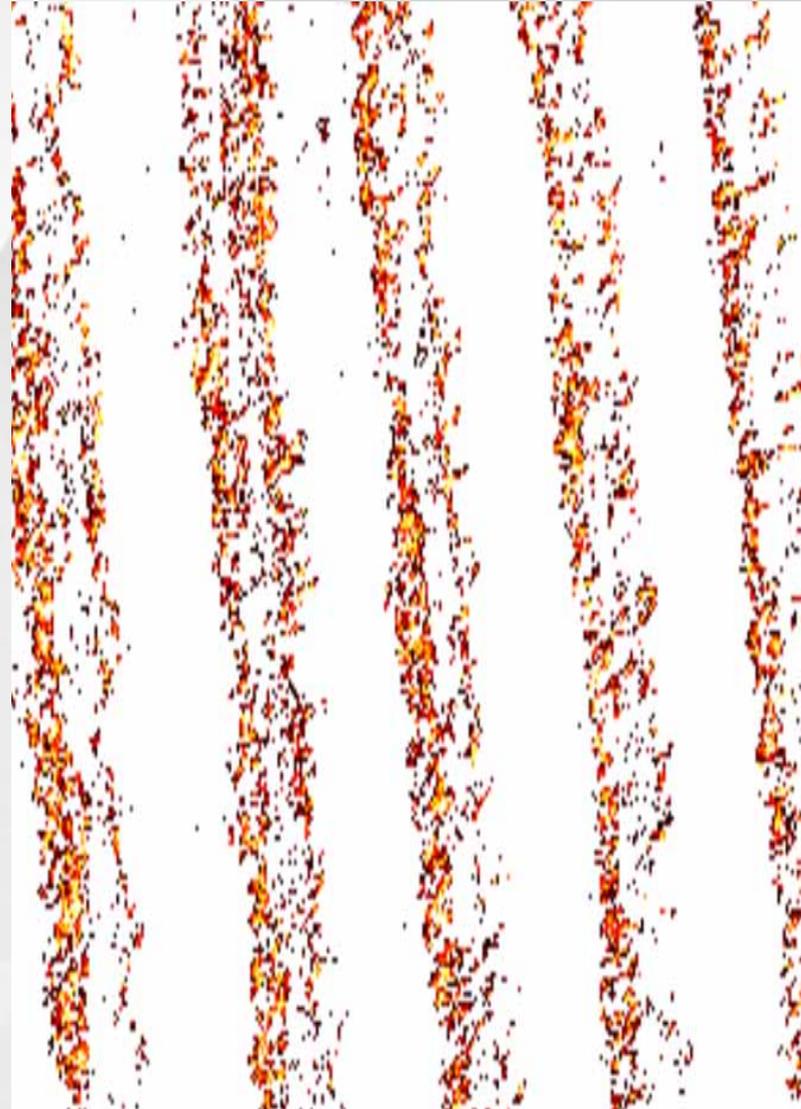
Monitoreo del estrés hídrico del viñedo

Monitoreo del estrés hídrico del viñedo (Talca, 30 de Marzo, 2014)



Potencial hídrico del xilema

Medido = 11,9 bares
Estimado por el drone = 14 bares



Problemas para adoptar la tecnología por parte del sector productivo

a.- Falta de capacitación (desconocimiento)



b.- Innovación en la transferencia tecnológica

c.- Proceso gradual de adopción de la tecnología : se requiere de calibración local de sistema (técnico y cultural)

• Más información : www.citrautalca.cl

Acknowledgments



The research leading to this study was supported by:

- Chilean Science Foundation (FONDECYT, N° 1130729)
- Fund for fostering scientific and Technological research (FONDEF, N° D10I1157)





Remote sensing team (CITRA, Universidad de Talca)

A close-up, low-angle shot of a white wind turbine nacelle and hub. The nacelle is on the right, and the hub with its blades is on the left. The background shows a vast green field under a clear blue sky. The word "Gracias" is overlaid in the center.

Gracias



CITRA

UNIVERSIDAD DE TALCA