



(A2C2)

Adaptación de la Agricultura
al Cambio Climático.

Avances tecnológicos para optimizar la gestión hídrica en la agricultura”

Dr. Samuel Ortega-Farias
Director

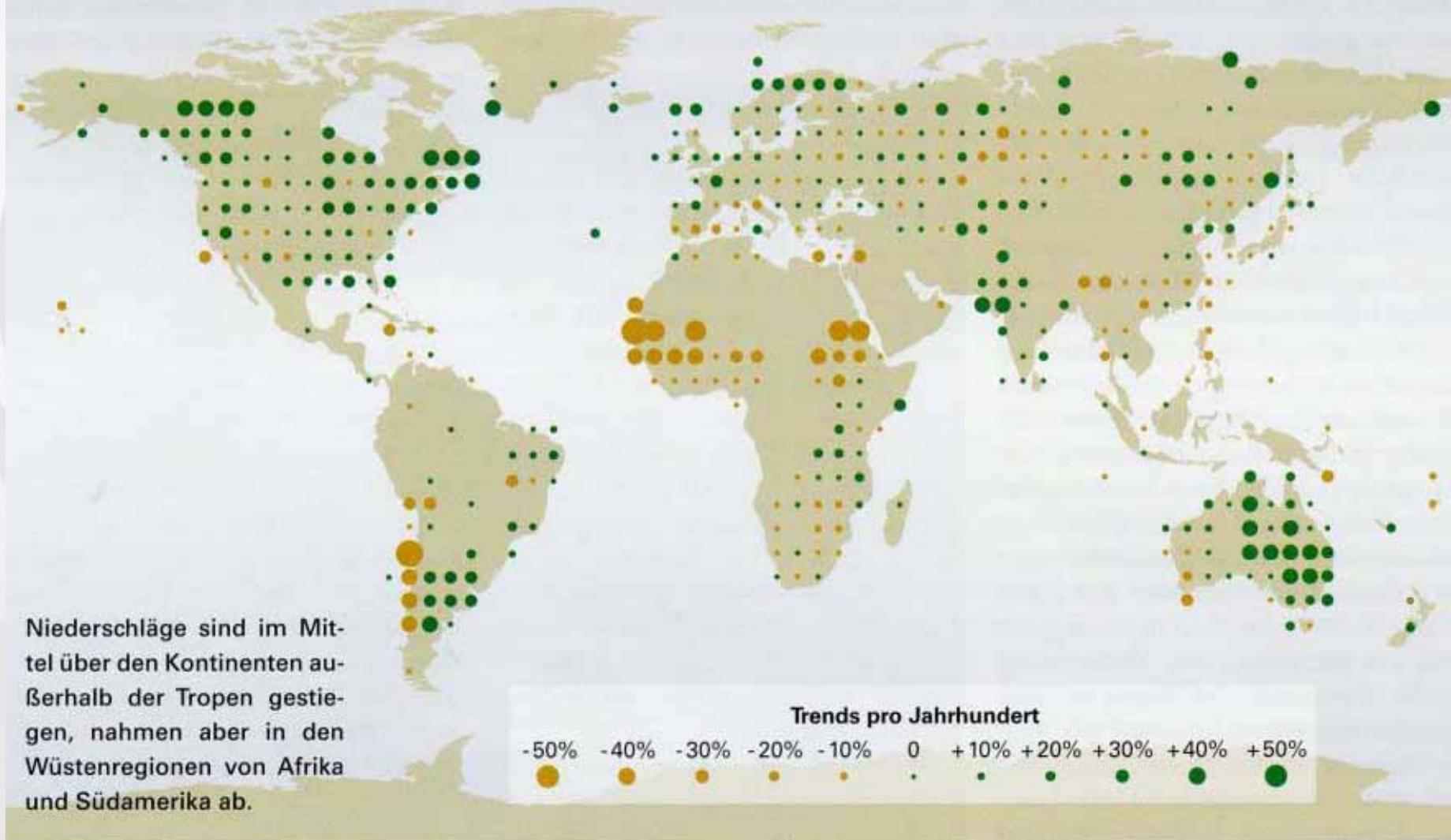
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA EN RIEGO Y
AGROCLIMATOLOGÍA (CITRA)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD DE TALCA, CHILE

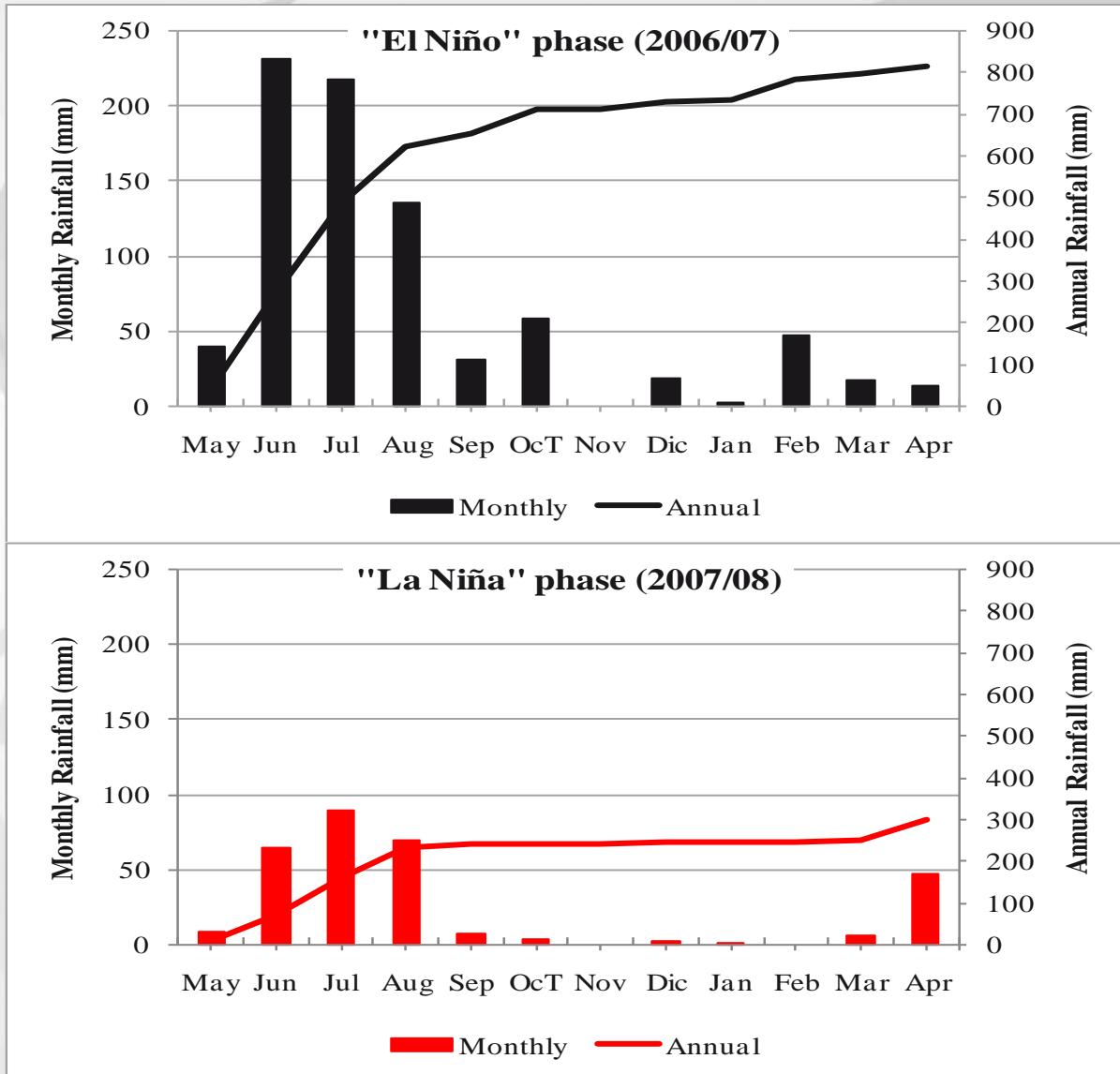
Academia Chilena de Ciencia Agronómicas, Santiago 06 Septiembre, 2013

Distribución de las precipitaciones(1900-1999)

Jährliche Niederschlagtrends: 1900 bis 1999

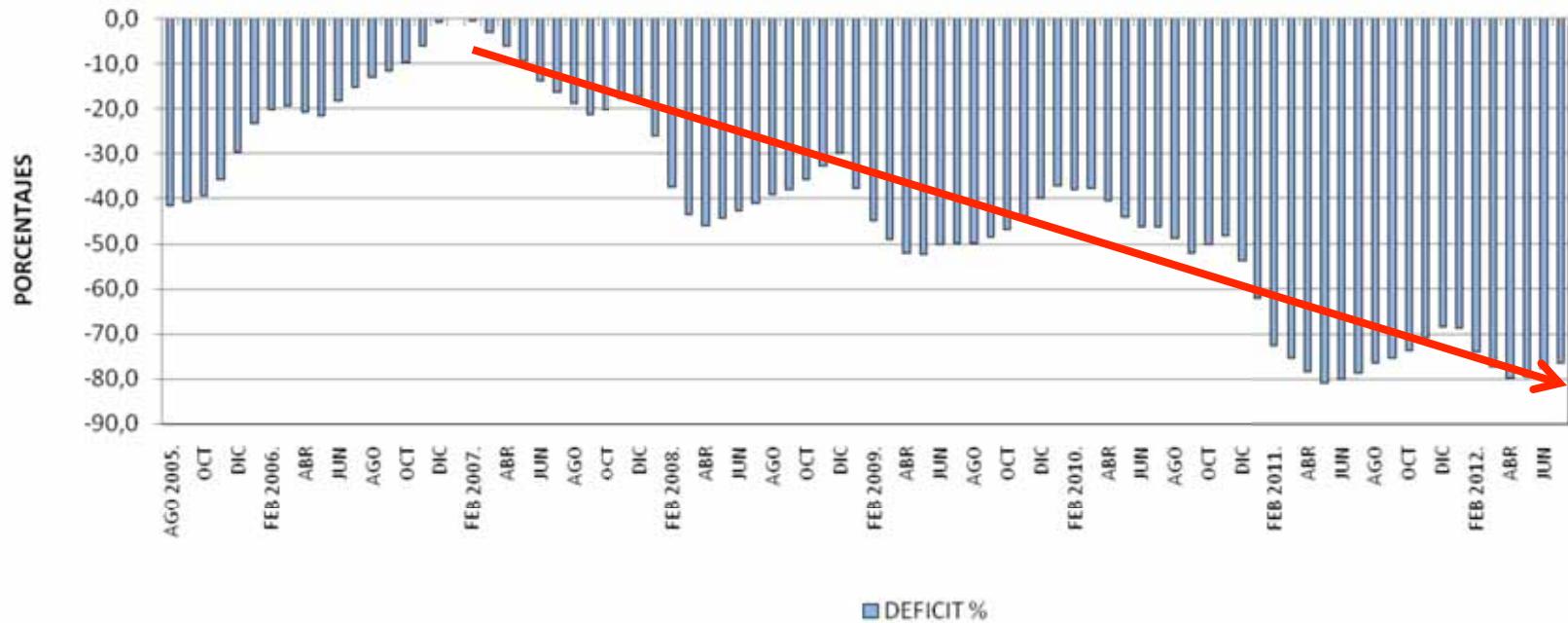


Fuente: H. Kohl/H.Kühr, Klimawandel auf der Erde Spectrum de Wissenschaft, 7/2004



Precipitaciones mensual y anual durante el Niño y Niña

PORCENTAJES DE DEFICIT LAGUNA DEL MAULE AGOSTO 2005 A JUNIO 2012



Fuente: Patricio Gonzalez, CITRA-Universidad de Talca

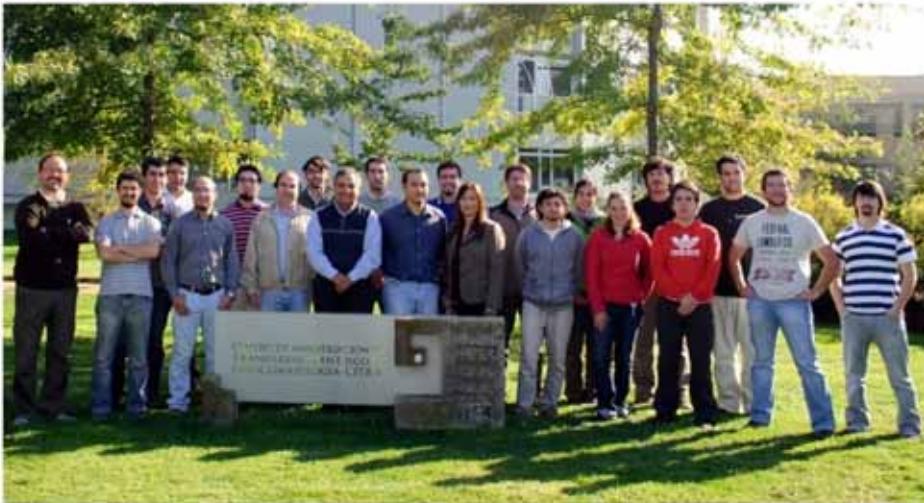
...15 años

- En 1997, la **Universidad de Talca** con el apoyo de **FONDEF** sentaron las bases para el establecimiento del Servicio Integral de Agroclimatología y Riego (**SIAR**).
- En el año 2000 se crea con financiamiento FONDEF el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (**CITRA**)

Misión Principal

- ✓ Realizar investigación científica y aplicada en el ámbito del riego, agroclimatología, modelamiento biomatemático, agricultura de precisión y cambio climático
- ✓ Transferir sus resultados al sector productivo y
- ✓ Apoyar la docencia de pre-grado y post-grado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca.





ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN



Rafael López O.
Ing. Agr., Mg. Sc., Dr. (c)



Rodrigo Morales Z.
Ing. Agr., MSc



Rodrigo Aguilar S.
Ingeniero en Bioinformática

Profesores de la Escuela de Agronomía – investigadores



Samuel Ortega Faries
DIRECTOR CITRA
Ing. Agr. M.S. Ph. D.
Oregon State University



César Acevedo O.
Ingeniero Agrónomo
Dr., M.Sc. Horticultura, M.S. AgroTIC



Patricio González Colville
Lic. en Geografía, Magíster en Geografía
Profesor de Agroclimatología de la Escuela de Agronomía

Investigadores asociados



Carlos Poblete
Doctor en Ciencias Agrarias;
Ingeniero Agrónomo



Héctor Valdés G.
Doctor en Ciencias Agrarias,
Ingeniero Agrónomo



Magali Odi
Doctora en Ciencias Agrarias- Hidrociencias, Colegio de Postgraduados México
MSc: Colegio de Postgraduados México
Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile



Claudio Balibotín
Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Castilla La Mancha-España
Maestro en Ciencias; Hidrociencias, Colegio de Postgraduados de México
Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile

ESTUDIANTES DE POSTGRADO



Francisco Jara R.
Ingeniero Agrónomo
Mag. Horticultura (c)



Mauricio Zuñiga S.
Ing. Agr., MSc



Luis Ahumada O.
Ingeniero Agrónomo



Daniel Sepúlveda R.
Ingeniero Agrónomo



Nicolás Verdugo V.
Ingeniero Agrónomo
Mag. Horticultura (c)



Carolina Pahuitur
Ing. Agr., Dr. (c)



Nicolás Soto Coll
Ingeniero Agrónomo
Mag. Horticultura (c)



Miguel Araya Alman
Ingeniero Agrónomo
Mag. Horticultura (c)

PERSONAL TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO



Leopoldo Fonseca M.
Técnico Agropecuario;
Dip. Riego Técnicado



Gloria Tapia
Secretaria Administrativa



INVESTIGACIÓN

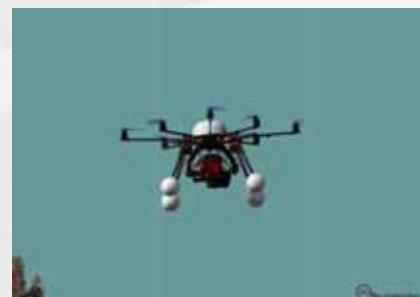
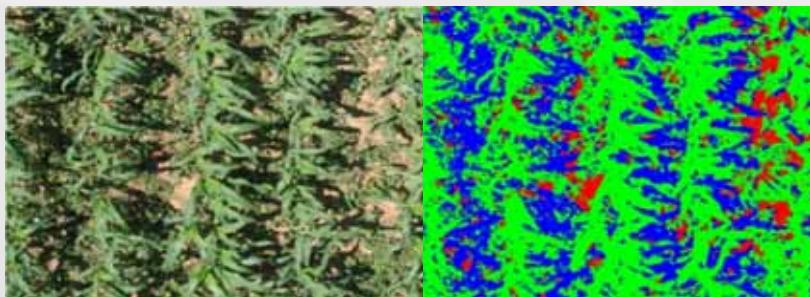
“se da especial énfasis a la **CIENCIA** como pilar fundamental para transformar **DATOS** en **CONOCIMIENTO** aplicado a la sustentabilidad hídrica”.

IDEAS FUERZA:

- Agua
- Cambio climático
- Tecnologías de la información y comunicaciones (TIC)

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Estimación del Consumo Hídrico y Manejo del Riego
- Ecofisiología y Balance de Energía
- Agricultura de Precisión
- Percepción Remota para estimar Evapotranspiración, balance Hídrico y Huella del Agua
- Cambio Climático y Sustentabilidad



LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Estimación del Consumo Hídrico y Manejo del Riego



Estaciones Meteorológicas Automáticas

Evapotranspiration de cultivo

El consumo de agua o evapotranspiración se puede estimar como:

$$ET_a = ET_{0*} K_c$$

$$ET_a = ET_{0*} (K_{cb} * K_s + E_s)$$

donde:

ET_a = evapotranspiración actual ($mm\ d^{-1}$)

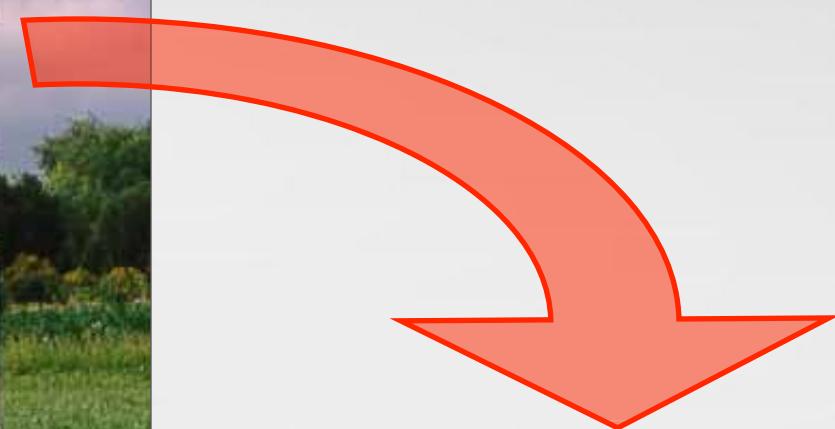
ET_0 = evapotranspiración de reference ($mm\ d^{-1}$)

K_c = coeficiente de cultivo

K_{cb} = coeficiente basal

E_s = coeficiente de evaporación

Para la programación del riego la Estación Meteorológica DEBE ESTAR SOBRE UNA CUBIERTA DE PASTO para así estimar la ET de referencia



$$ET_a = ETo * Kc$$

Sin embargo, los valores de Kc dependen del tamaño de la cubierta vegetal, área foliar, distancia de plantación, sistema de conducción, cobertura vegetal.

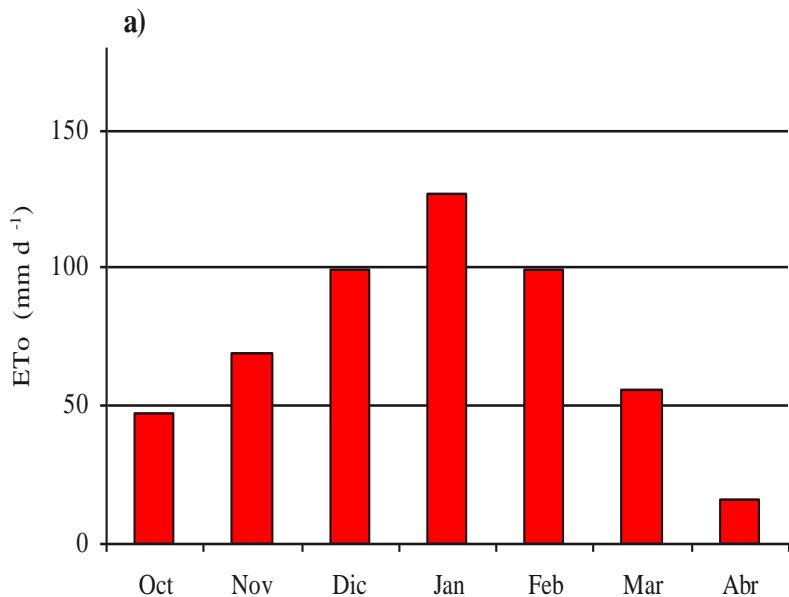


Variación espacial del crecimiento (vigor)

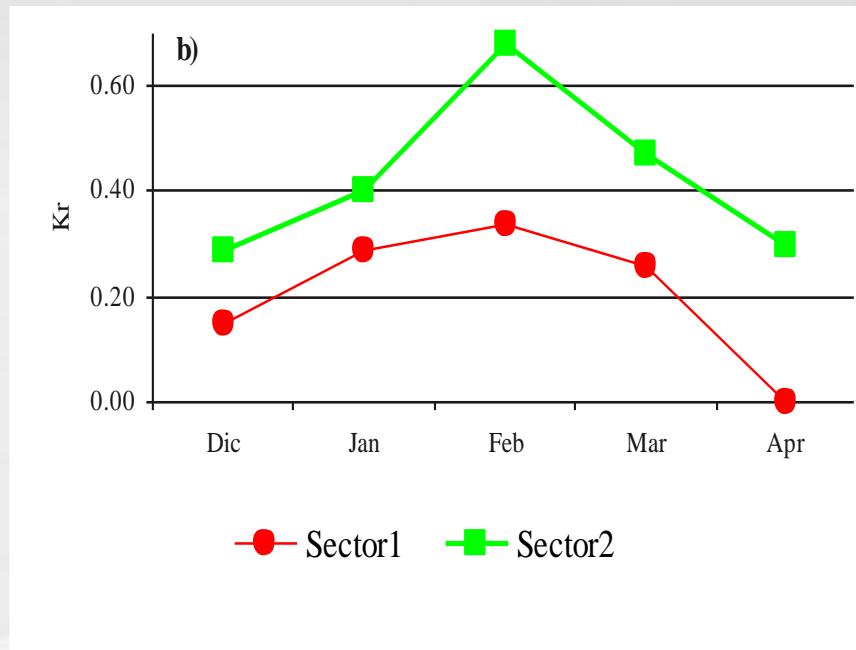


Estimación del Consumo de Agua

$$ET_a = ET_{0*}K_c$$

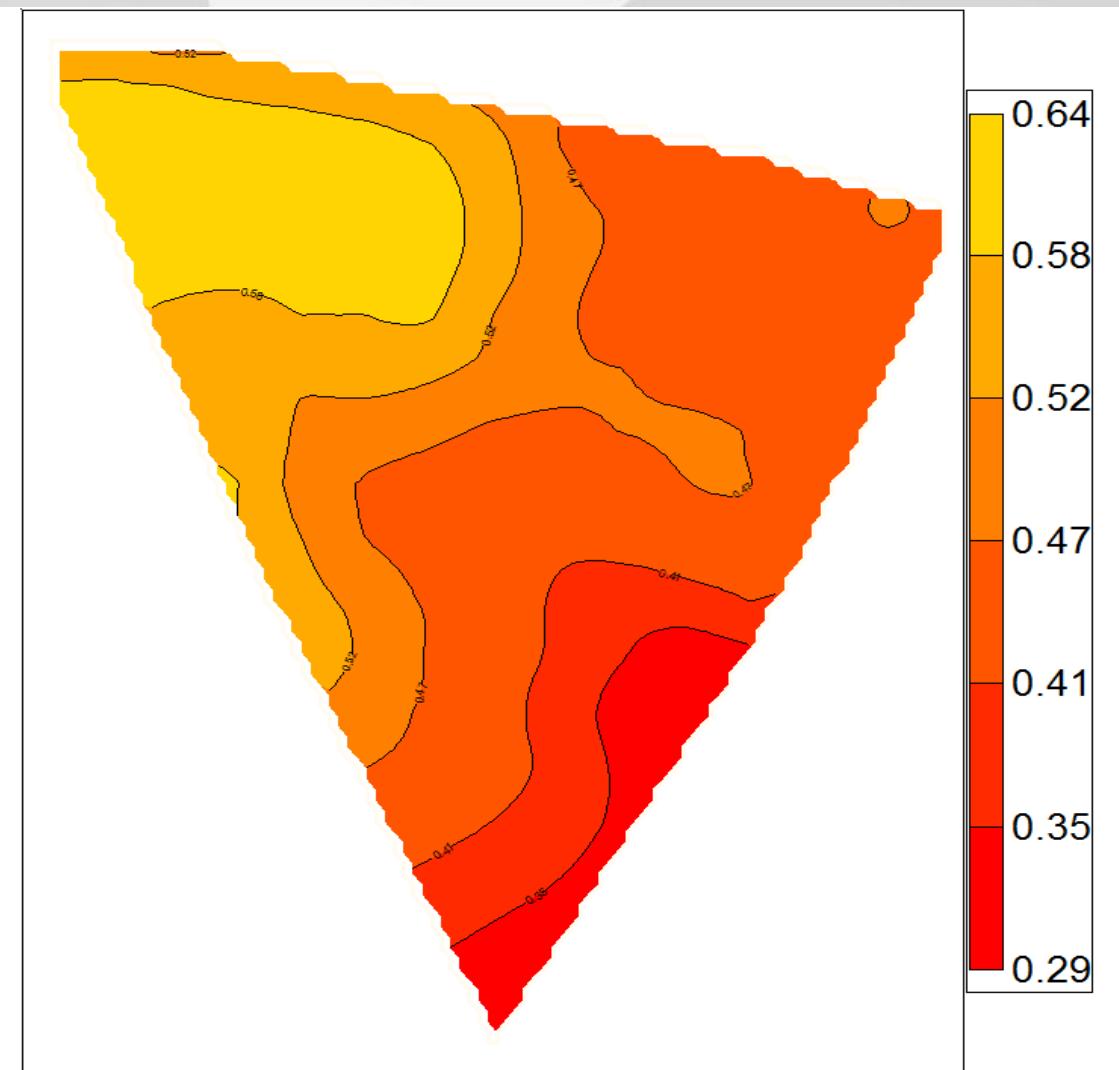


a) Evapotranspiración de referencia (ET_0)



b) Coeficiente de riego sitio específico(K_r)

Coeficiente de cultivo de vides viníferas (11 Diciembre, 2011)



Modelo para estimar la evapotranspiración de referencia (Penman-Monteith)

$$ET_0 = \frac{0,48\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_a} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

donde:

Rn= flujo de radiación neta ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$);

G= flujo de calor del suelo ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$);

Δ = pendiente de saturación la curva presión de vapor versus temperatura del aire ($KPa^{\circ}C^{-1}$);

γ = constante sicrométrica ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$); e_s = presión de vapor en saturación (kPa);

e_a = presión parcial del vapor de agua (kPa) ;

T_a = temperatura de aire (K); U_2 = velocidad del viento a 2 metros de altura ($m\ s^{-1}$).



Estaciones meteorológicas en el viñedo





El modelo doble o triple capa para estimar directamente la evapotranspiración actual:

- a) Transpiración del dosel
- b) Evaporación del suelo

Datos de entrada:

- Variables climáticas
- índice de área foliar (LAI) → percepción remota (NDVI)
- resistencia del dosel → modelos



Modelo de doble capa

$$LE = C_c PM_c + C_s PM_s$$

donde:

LE = calor latente desde el dosel (W m^{-2})

PM_c = termino de la transpiration similar a la ecuación de Penman-Monteith

PM_s = termino de la evaporation similar a la ecuación de Penman-Monteith

C^c = coeficiente de transpiración

C_s = coeficiente de evaporación

λ = latent heat of vaporization (J kg^{-1})

Model for transpiration (PM_c)

$$PM_c = \frac{\Delta A + \left(\frac{\rho_a c_p D - \Delta r_a^c A_s}{r_a^a + r_a^c} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \left(\frac{r_s^c}{r_a^a + r_a^c} \right) \right)}$$

where:

A = available energy at the canopy (W m^{-2});

A_s = available energy at the soil surface (W m^{-2});

D = water vapor pressure deficit at the reference height (kPa);

r_s^c = surface canopy resistance (s m^{-1})

r_a^a = aerodynamic resistance between canopy source height and reference level (s m^{-1}); r_a^c = bulk boundary layer resistance of the vegetative elements in the canopy (s m^{-1});

Δ = slope of the saturation vapor pressure curve at the mean temperature (kPa $^\circ\text{C}^{-1}$);

ρ_a = air density (kg m^{-3});

c_p = specific heat of the air at constant pressure ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$);

γ = psychrometric constant (kPa $^\circ\text{C}^{-1}$).



Model for soil evaporation (PM_s)

$$PM_s = \frac{\Delta A + \left(\frac{\rho_a c_p D - \Delta r_a^s (A - A_s)}{r_a^a + r_a^s} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{(r_s^s)}{(r_a^a + r_a^s)} \right)}$$

where:

A = available energy leaving the canopy (W m^{-2});

A_s = available energy at the soil surface (W m^{-2});

D = water vapor pressure deficit at the reference height (kPa);

r_s^s = soil resistance (s m^{-1})

r_a^a = aerodynamic resistance between canopy source height and reference level (s m^{-1})

r_a^s = aerodynamic resistance between the soil and canopy source height (s m^{-1})

Δ = slope of the saturation vapor pressure curve at the mean temperature ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

ρ_a = air density (kg m^{-3});

c_p = specific heat of the air at constant pressure ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$);

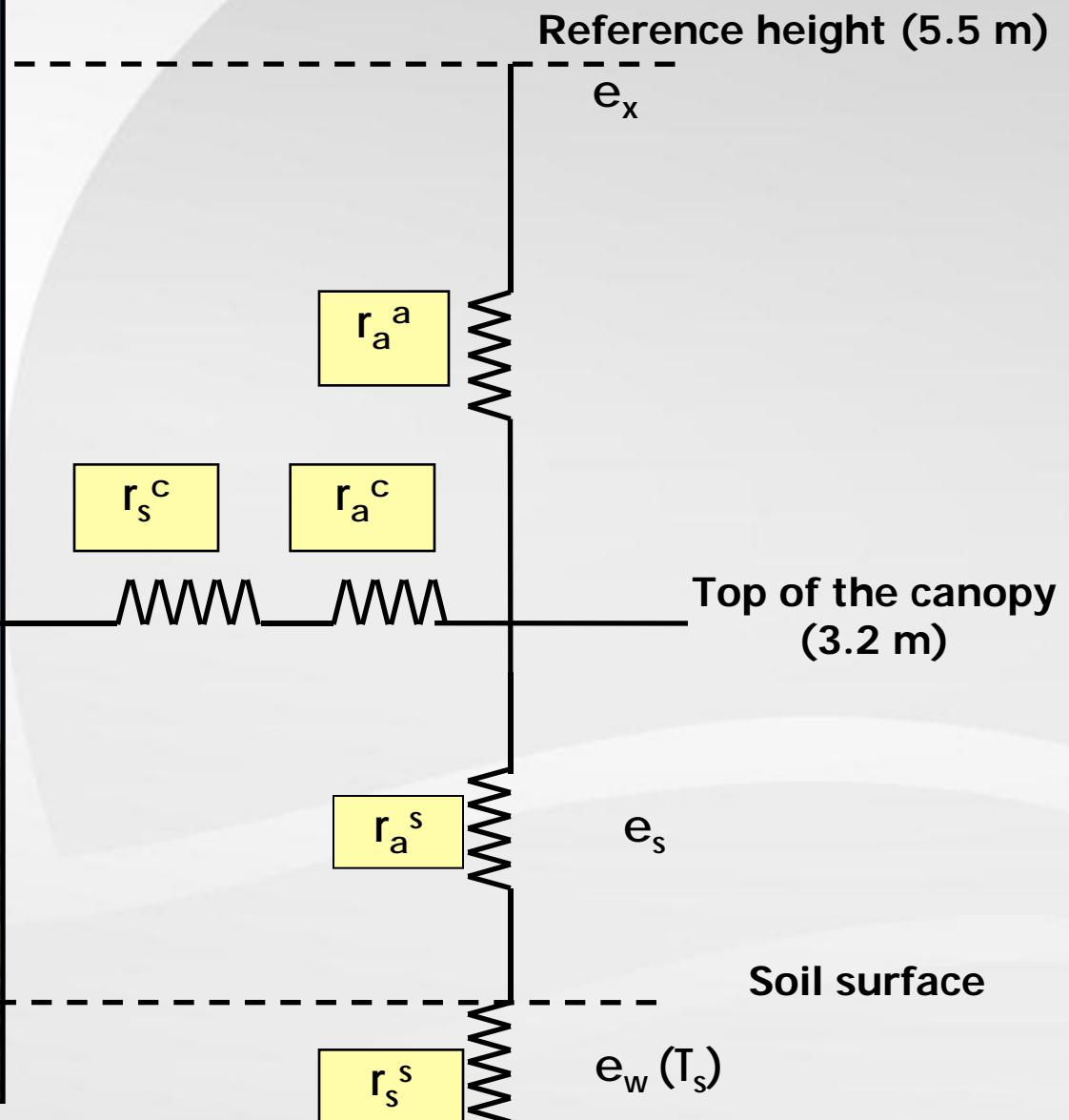
γ = psychrometric constant ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

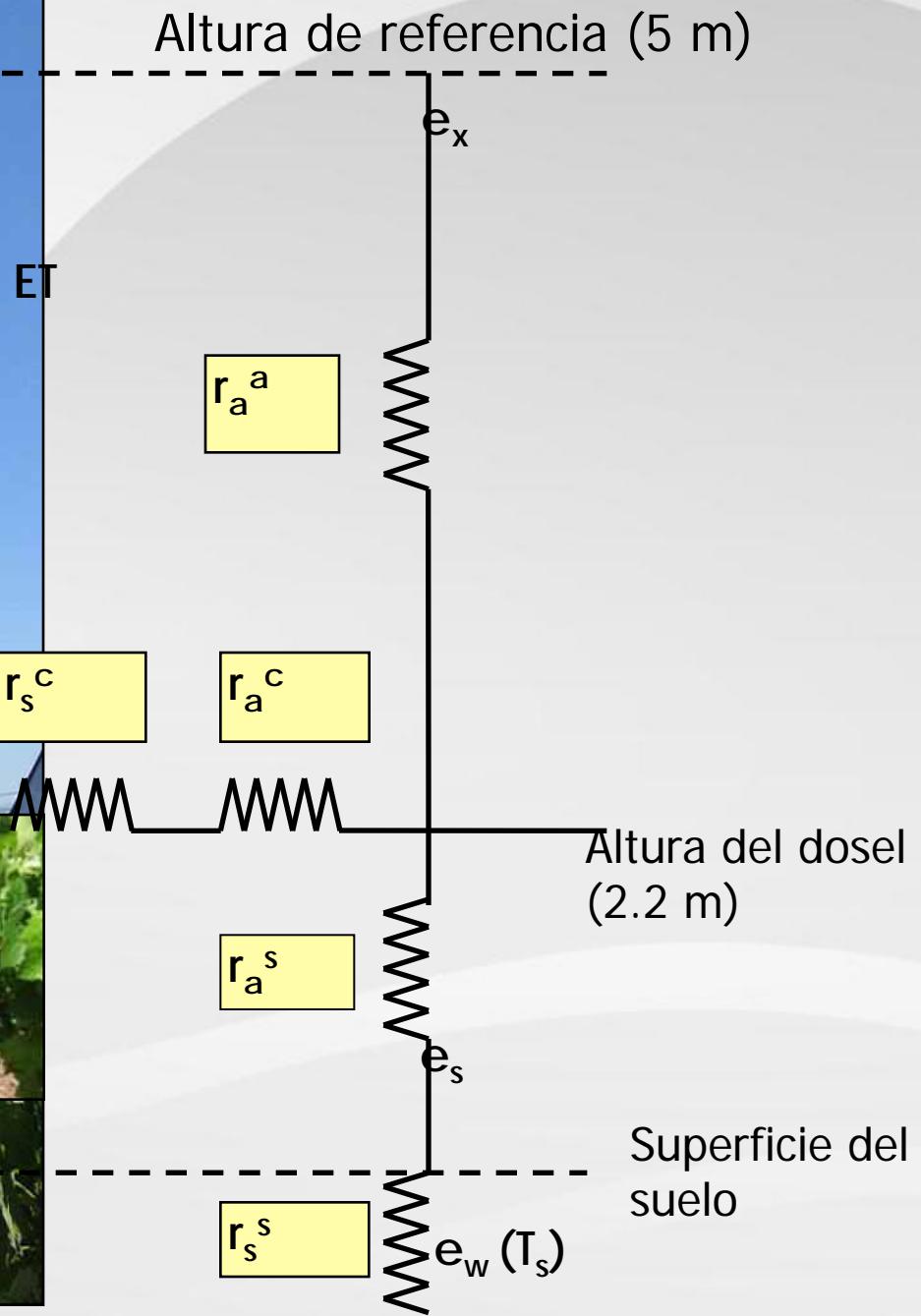
Eddy covariance system



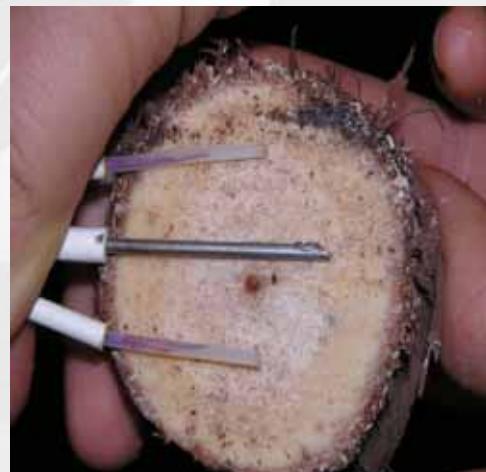
LE was measured using an open-path infrared gas analyzer IRGA (LI-7500).

H was measured by a three dimensional sonic anemometer (CSAT)

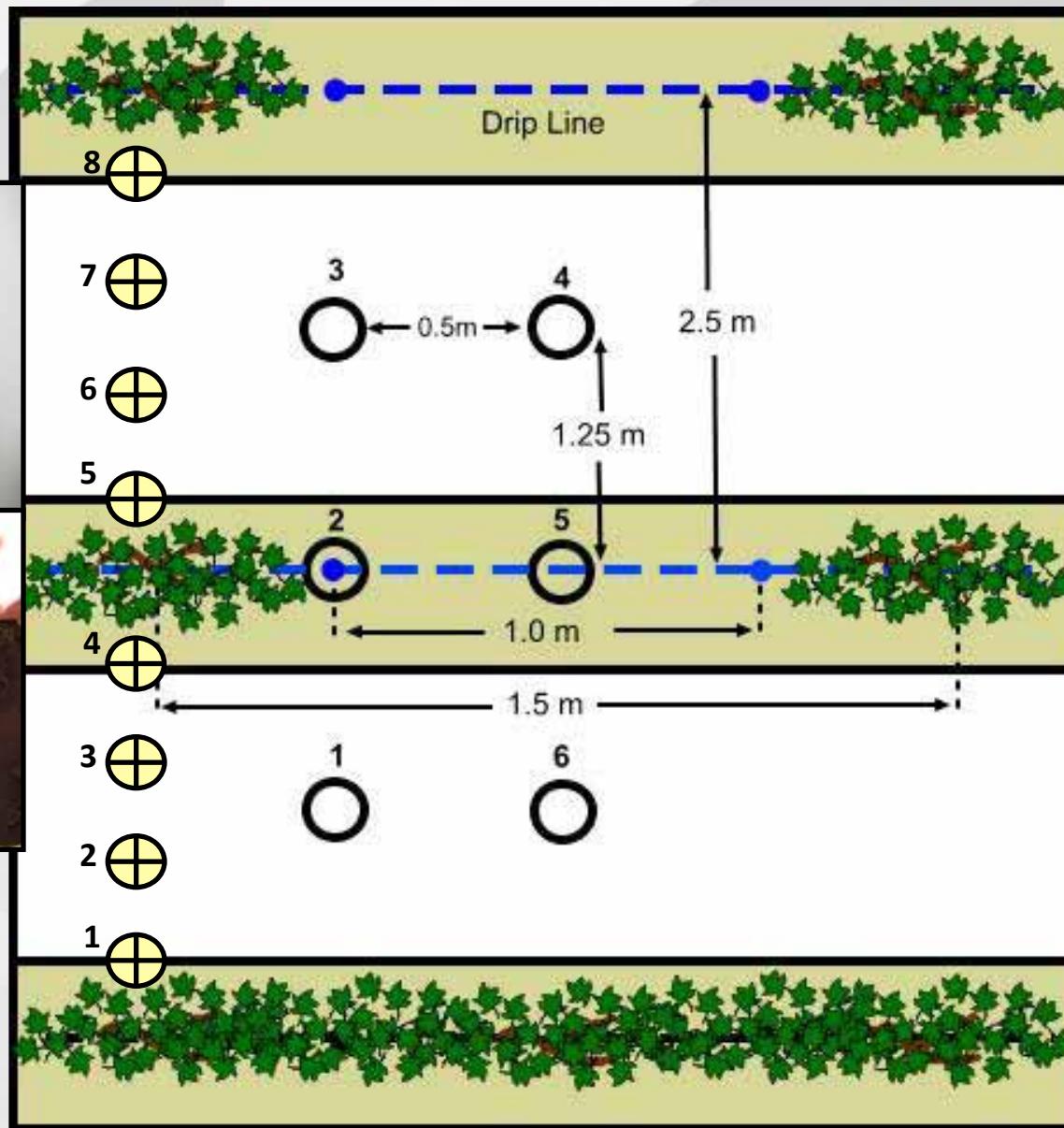




Installation of Sap Flow



Calor del suelo y evaporación



Pesaje de ML

Índice de Área foliar

Mediciones
LAI-2000

Análisis de hojas
escaneadas

Evolución
en el tiempo

Variabilidad
espacial



The stomatal resistance (r_{st}) was measured at midday using a portable infrared gas analyzer (model LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE)



The average value of r_{st} for the olive orchard was 260 s m^{-1}

Gas exchange and soil moisture



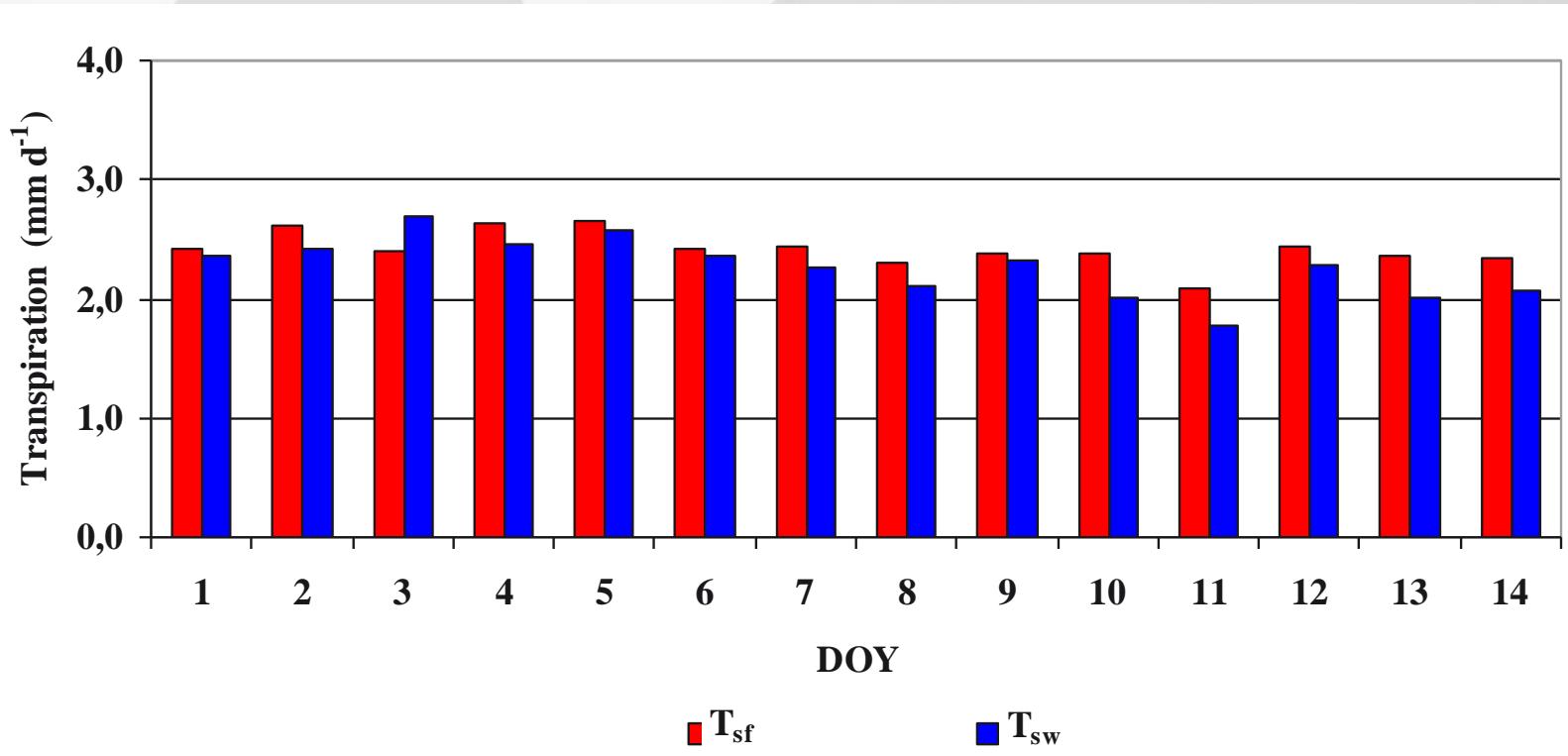
Results and Discussion

Publicaciones:

- **Ortega-Farias, S.**, Carrasco, M., Olioso, A., Acevedo, C. And Poblete, C. 2007. Latent heat flux over a Cabernet Sauvignon Vineyard using the Shuttleworth and Wallace model. *Irrig. Sci.*, 25: 161-170.
- Poblete, C. and **Ortega-Farias, S.** 2009. Estimation of actual evapotranspiration for a drip-irrigated Merlot vineyard using a three-source model. *Irrig. Sci.*, 28: 65-78.
- **Ortega-Farias, S.**, Poblete, C., and Brisson, N. 2010. Parameterization of a two-layer model for estimating vineyard evapotranspiration using meteorological measurements. *Agric. Forest Meteorol.*, 150: 276-286 .
- **Ortega-Farías, S.** and López-Olivari, R. 2012. Validation of a two-layer model to estimate latent heat flux and evapotranspiration over a drip-irrigated olive orchard. *Transactions of the ASABE*, Vol. 55(4): 1169-1178
- Li, S., Kang, S., Zhang, L., Li, F., Hao, X., **Ortega-Farias, S.**, Guo, W., Ji, S., Wang, J., and Jiang, X. 2013. Quantifying the combined effects of climatic, crop and soil factors on surface resistance in a maize field. *J. Hydrol.* Vol. 489: 124-134.

Transpiración observada = 2.5 mm d⁻¹

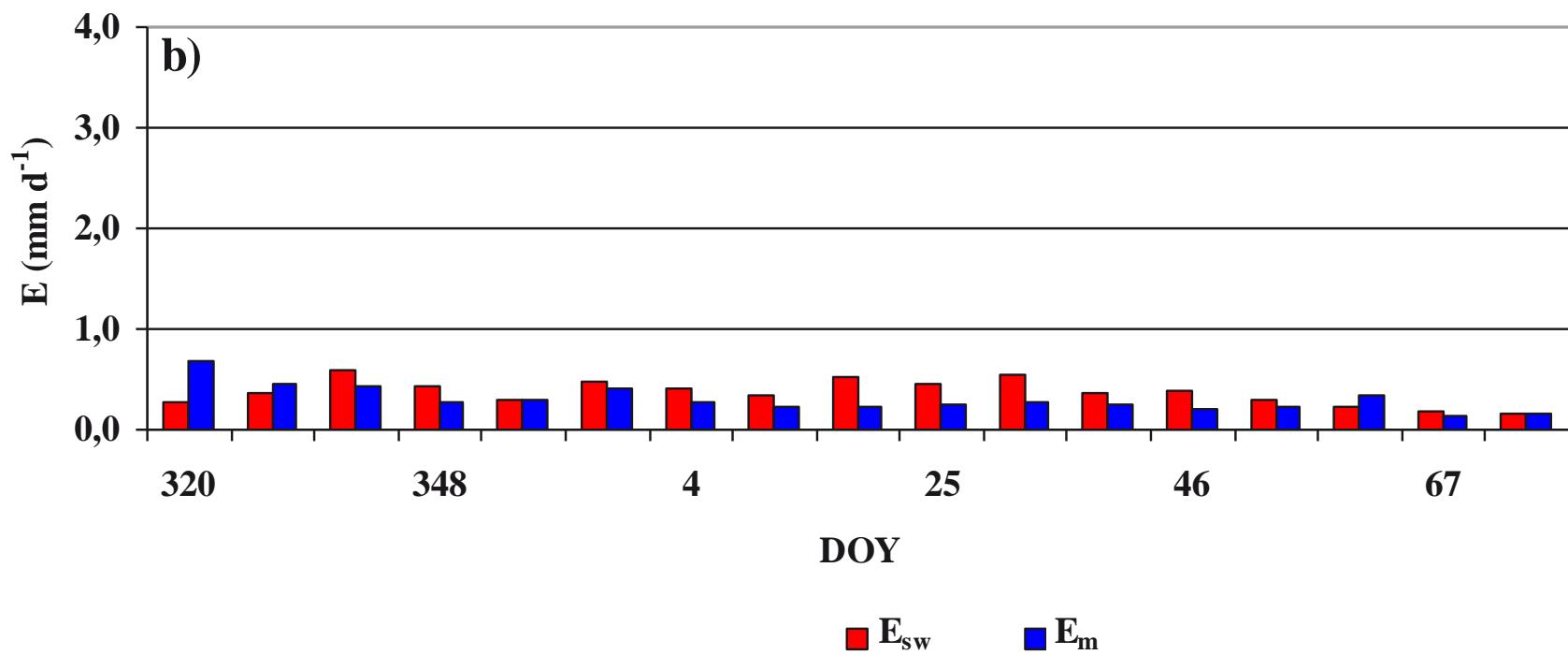
Transpiración estimada = 2.1 mm d⁻¹



Transpiración obtenida por el flujo de savia (T_{sf}) and calculada por el modelo bicapa (T_{sw}) (cv. Merlot)

Evaporación observada = 0.5 mm d⁻¹

Evaporación estimada = 0.70 mm d⁻¹



Evaporación diaria medida por el microlisímetro (E_m) and calculada por el modelo bicapa (E_{sw}) (cv. Merlot)

Statistical validation of vine transpiration (T_{sw}), soil evaporation (E_{sw}) and vineyard evapotranspiration (ET_{sw}) over a drip-irrigated Merlot vineyard.

	RMSE (mm d ⁻¹)	MAE (mm d ⁻¹)	b	Z-test ¹
T_{sw}	0.8	0.7	0.75	F
E_{sw}	0.2	0.1	1.08	F
ET_{sw}	0.3	0.3	0.92	F

RMSE = root mean square error; MAE = mean absolute error; b = ratio between estimated and measured values

¹T = true hypothesis ($b = 1$); F = false hypothesis ($b \neq 1$).

Estimación de coeficiente dual para un viñedo usando flujo de savia y eddy correlation

Publicaciones

- Poblete-Echeverría, C. and **Ortega-Farias, S.** 2013. Evaluation of single and dual crop coefficients over a drip-irrigated Merlot vineyard (*Vitis vinifera L.*) using combined measurements of sap flow sensors and eddy covariance system. Australian Journal of Viticulture. DOI: 10.1111/ajgw.12019.
- Poblete-Echeverría, C., Ortega-Farias, S. and Zuñiga, M. 2012. Estimation of dual crop coefficients over a drip-irrigated Merlot vineyard using sap flow sensors and eddy covariance system. Acta Hort. (ISHS) 951:269-275

Coeficiente Dual

$$ET_a = ET_o(K_{cb} + K_e)$$

Transpiración:

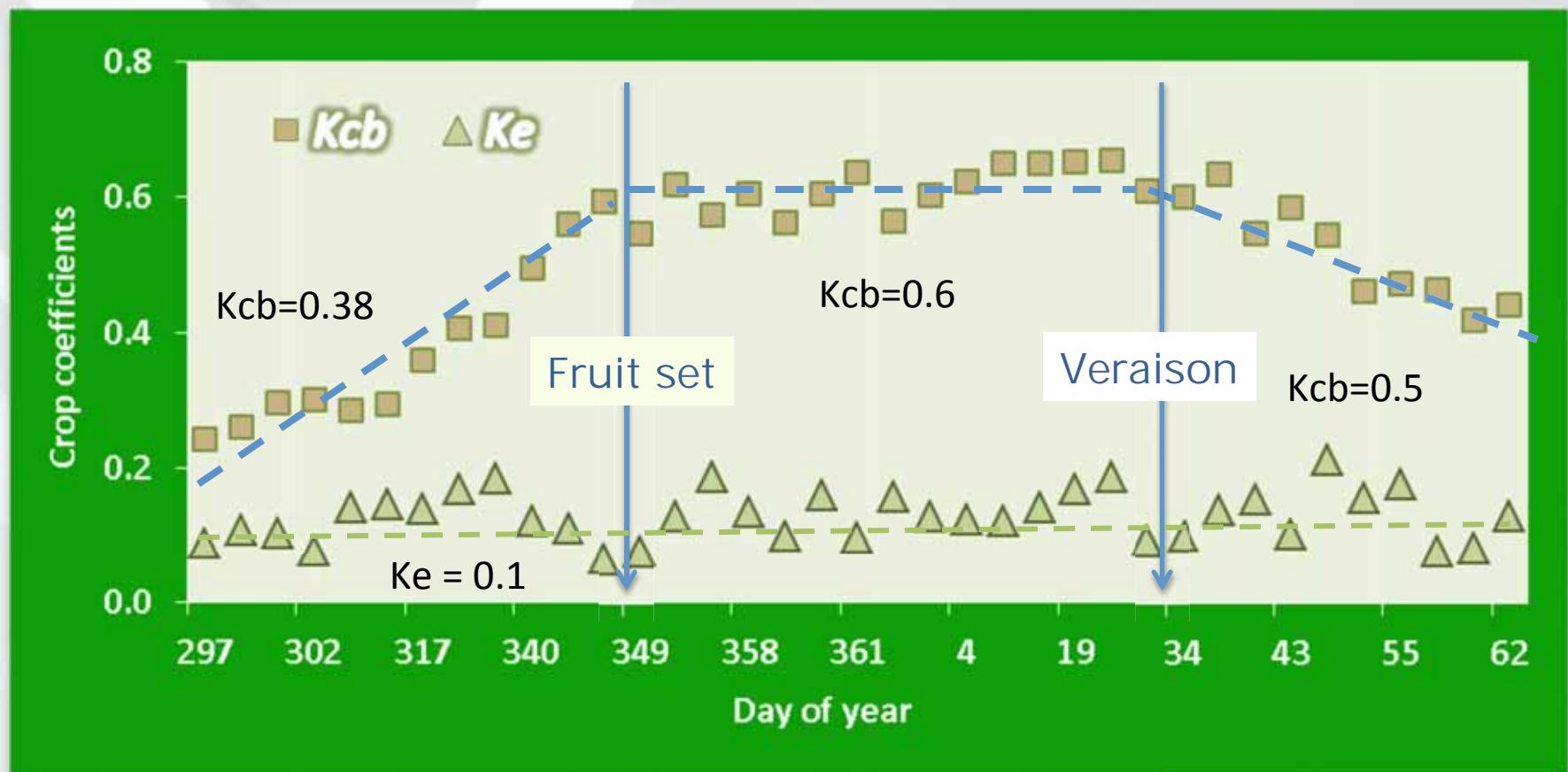
K_{cb} = coeficiente basal

Evaporación de suelo:

K_e = coeficiente de evaporación



Estimación del coeficiente dual para un viñedo (cv Merlot)

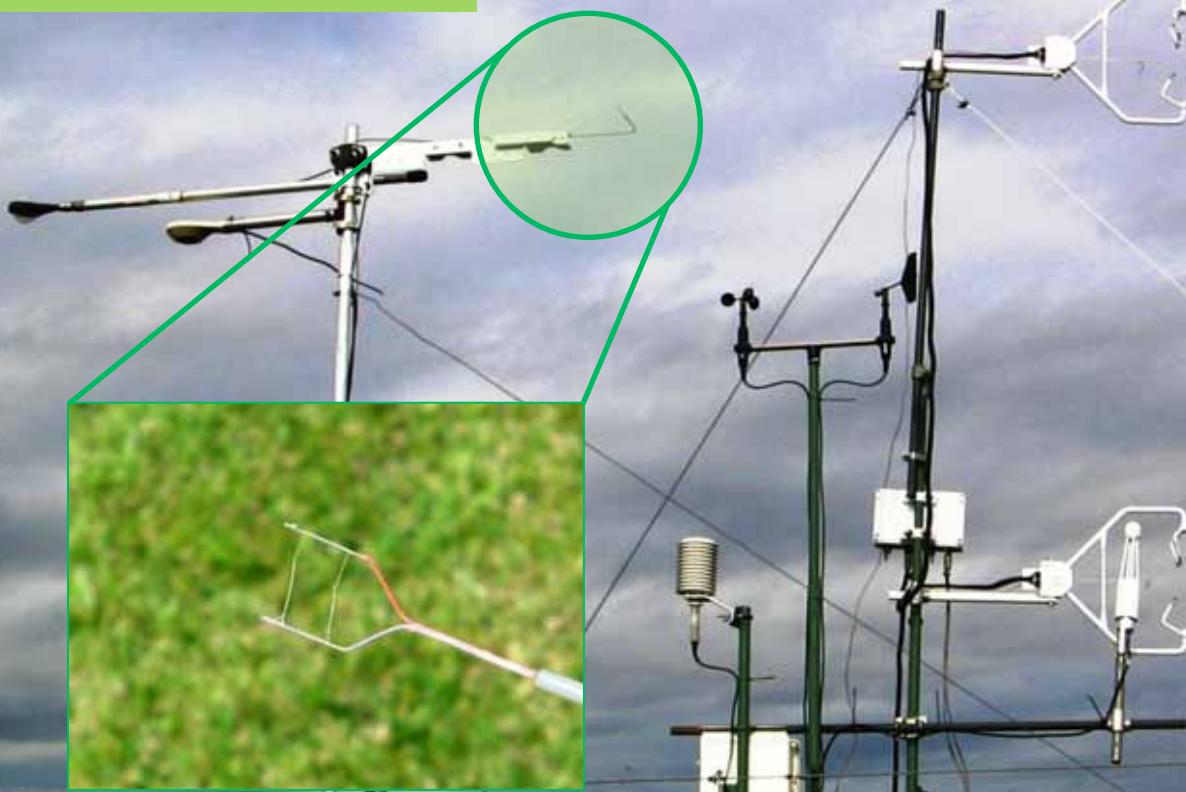


Estimación de la evapotranspiración usando el sistema de renovación superficial (Surface Renewal Method).

Publicaciones

- Poblete-Echeverría, C. and **Ortega-Farias, S.** 2013 Calibration and validation of the surface renewal (SR) method to estimate the sensible heat flux over a drip-irrigated vineyard. Accepted, Agric. Water Management

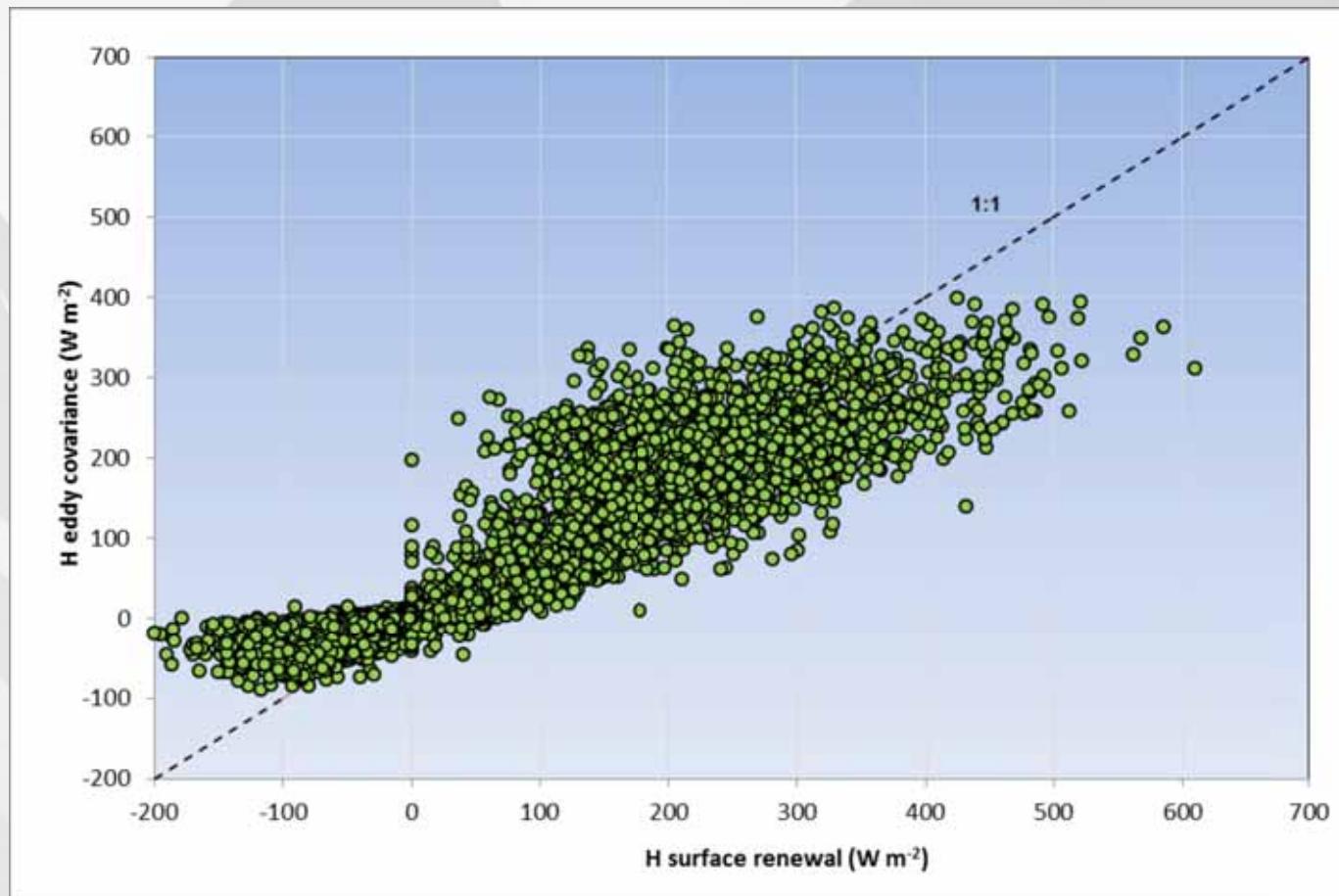
Surface Renewal Method



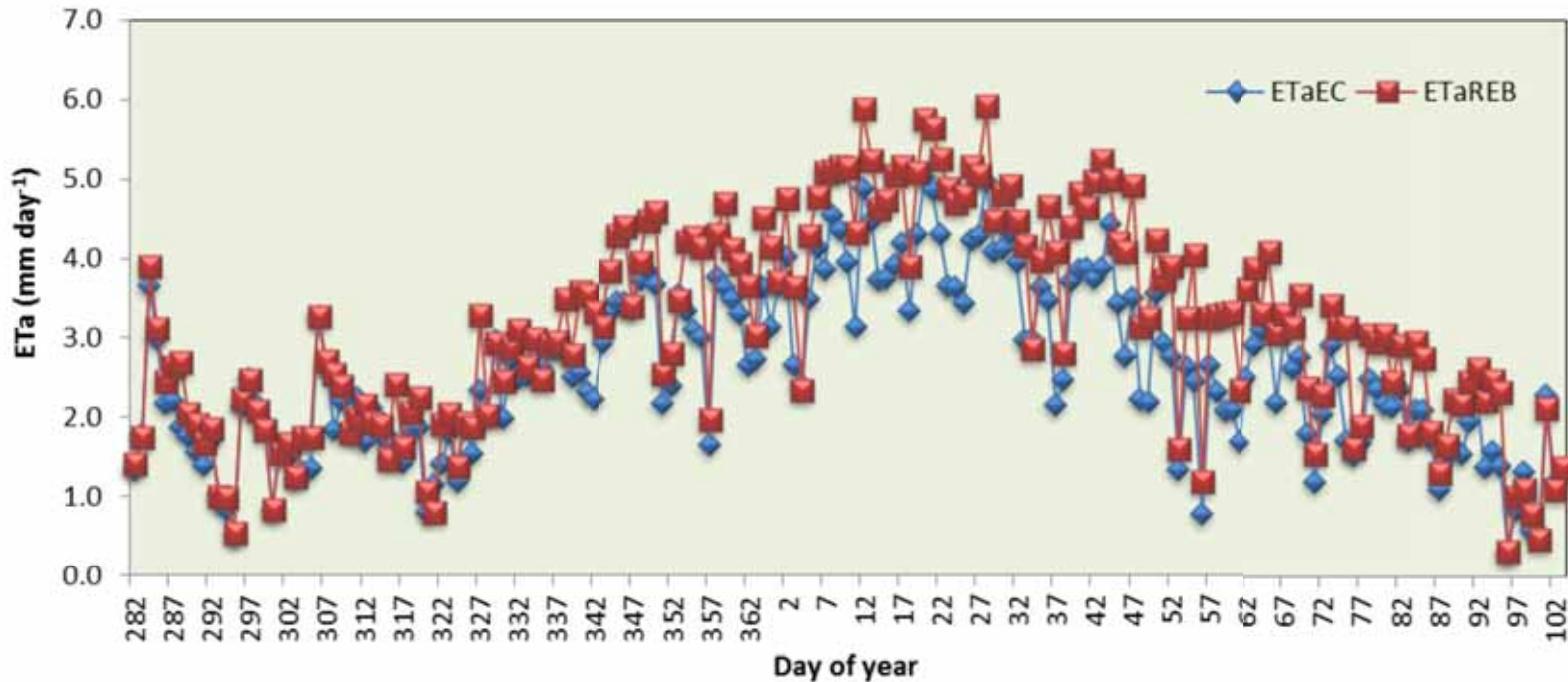
FONDECYT 3100128 “Evaluation of a low cost method for estimating crop water consumption for a drip-irrigated vineyard

Inv. Principal: *Carlos Poblete Echeverría*
Inv. Patrocinante: *Samuel Ortega Farías*

Estimación del Flujo de calor sensible (H)

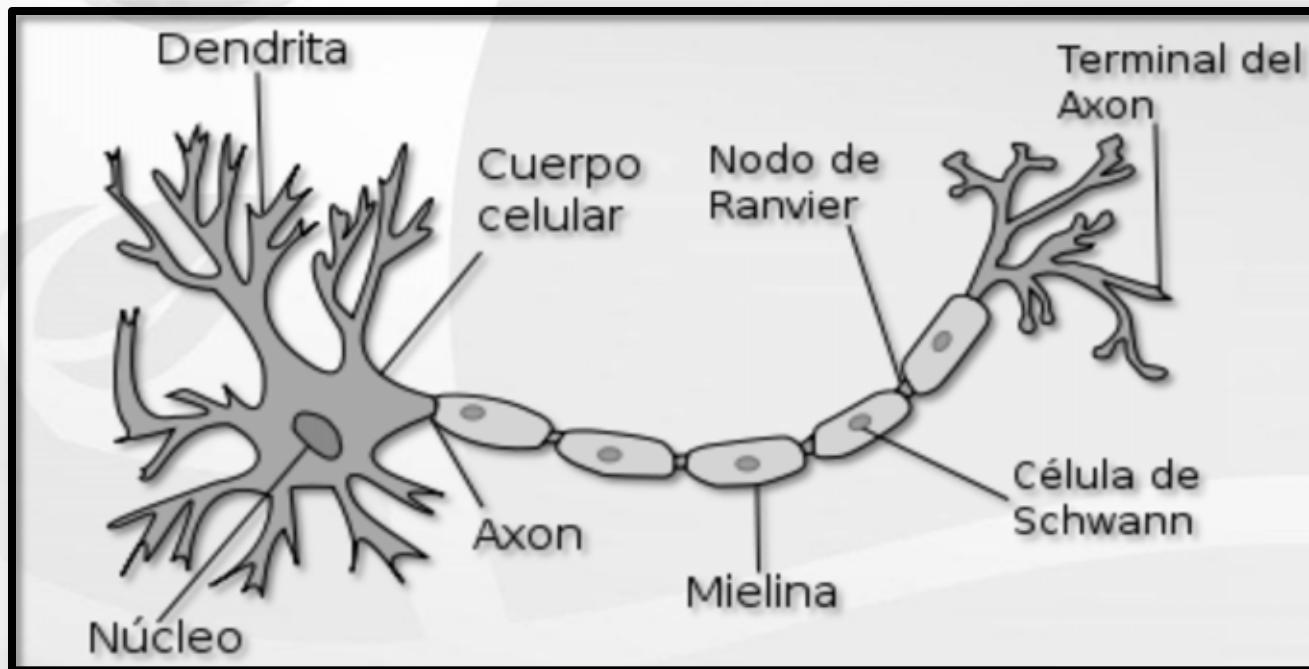


Estimación de la Evapotranspiración actual (ETa)

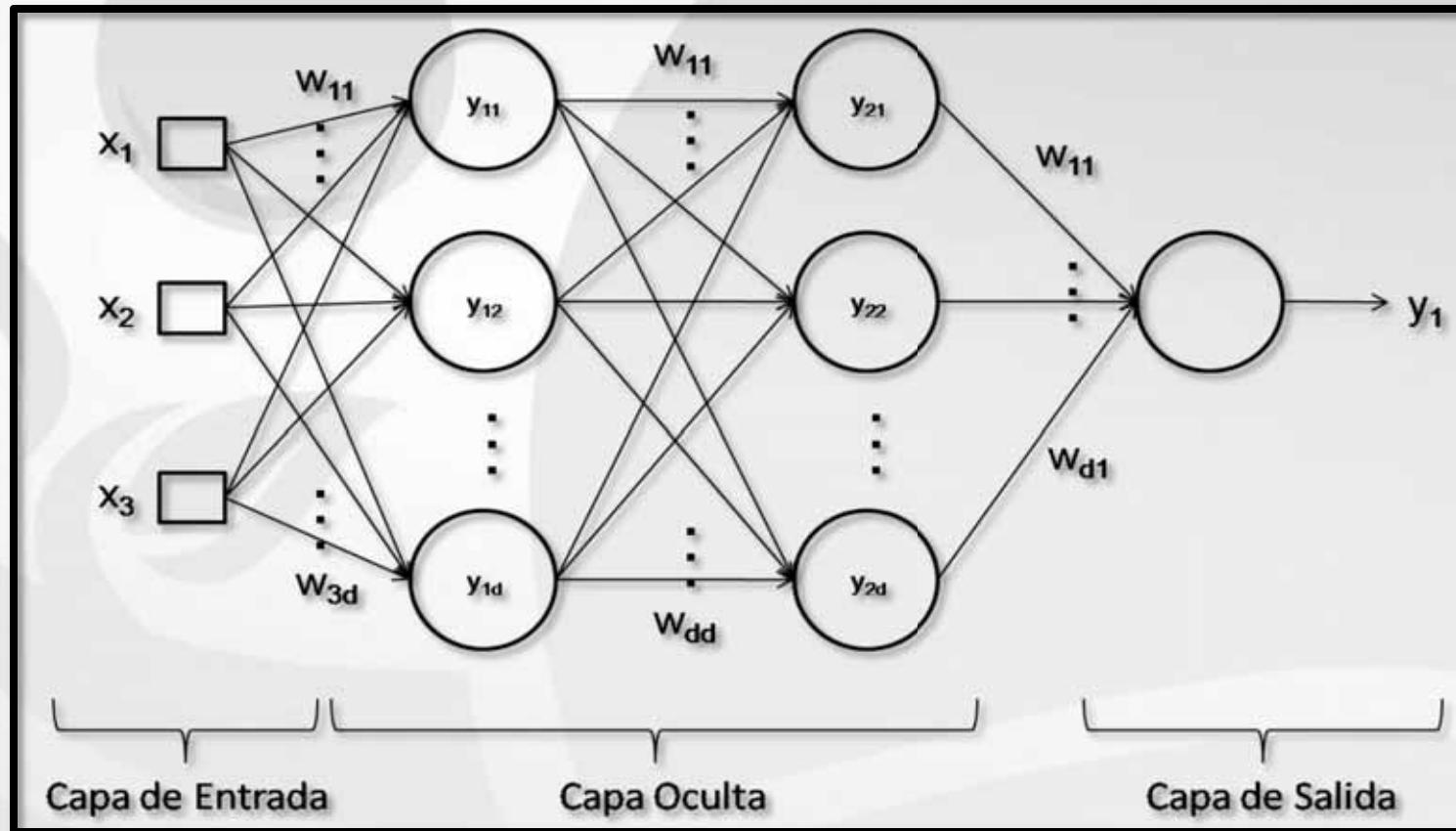


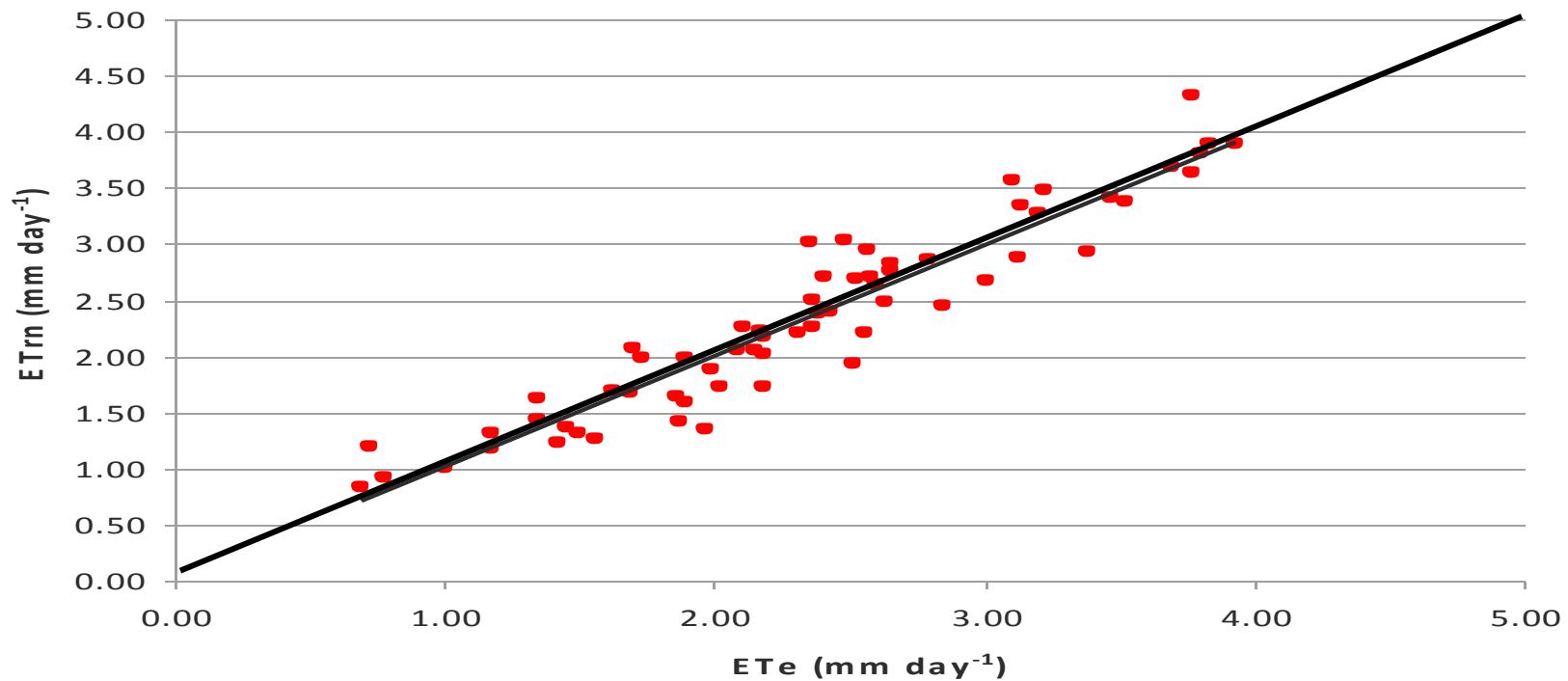
APLICACIONES DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Neuronas biológicas



Redes neuronales artificiales (ANN)

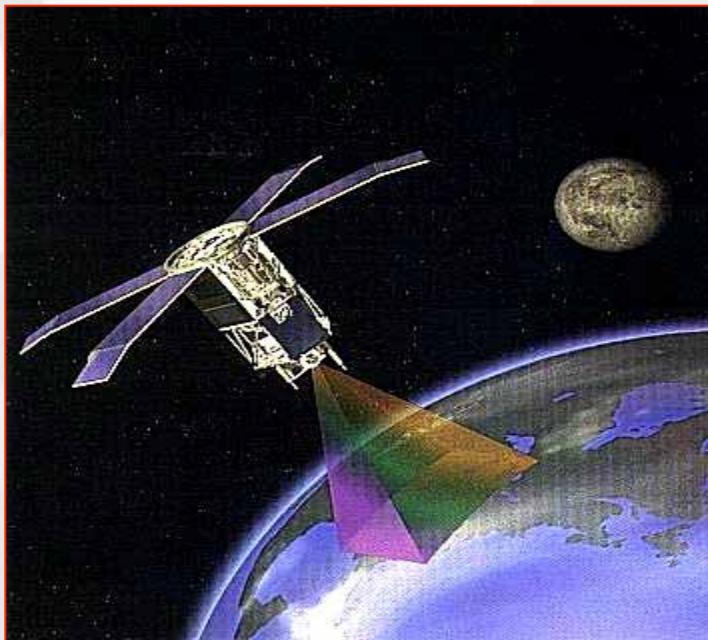




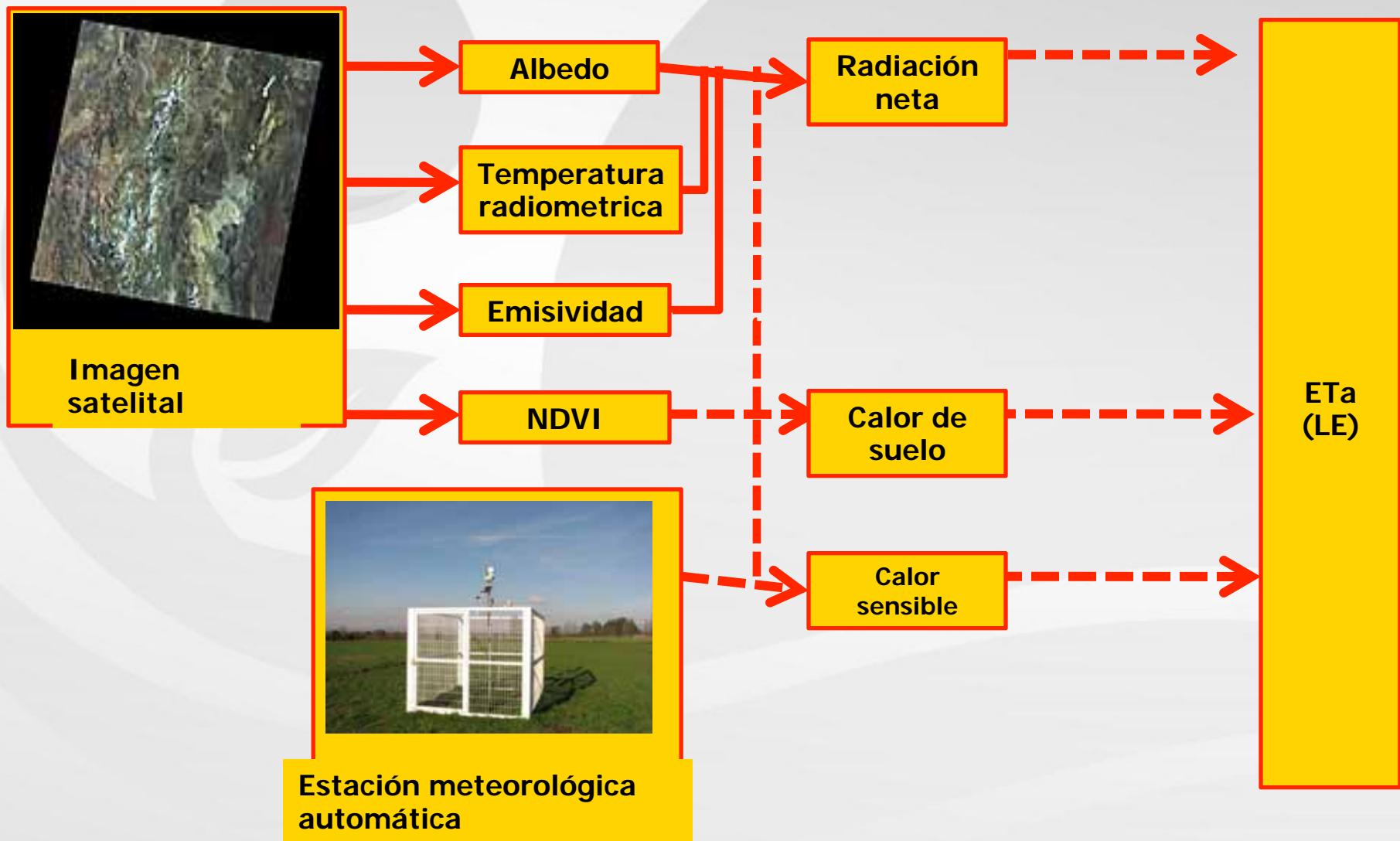
Comparación entre la evapotranspiración medida por el sistema de flujos turbulentos (ET_{ve}) y simulada por las redes neuronales (ET_{rn})

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

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



- Sistema METRIC para estimar consumo de agua usando imágenes satelitales y datos climáticos



Instrument to validate model for estimating plant water use



Handheld spectroradiometer

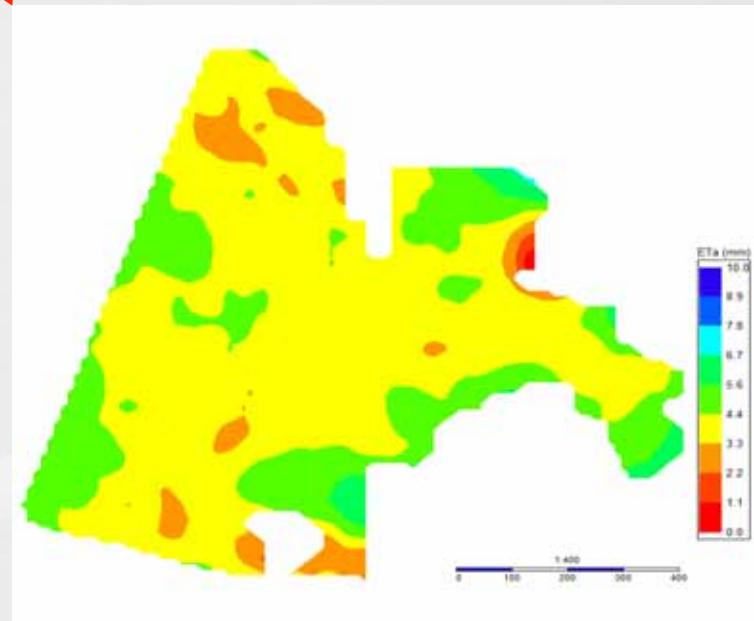
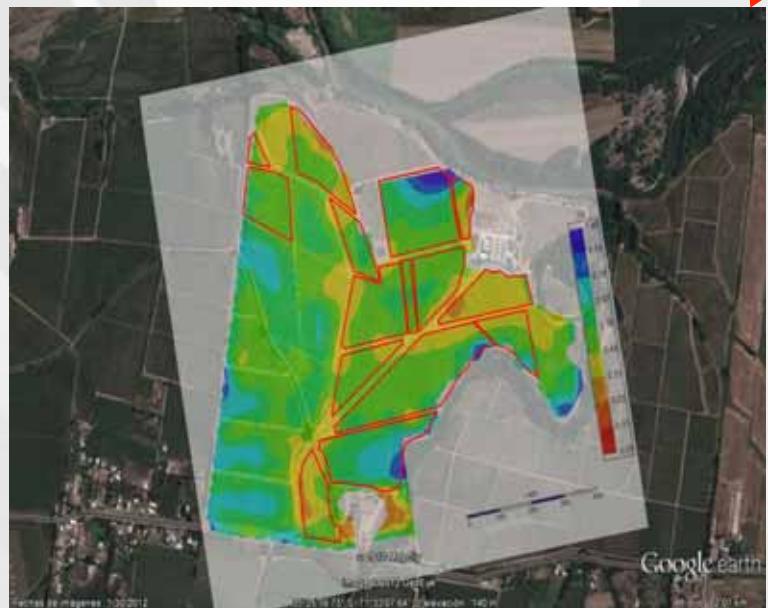
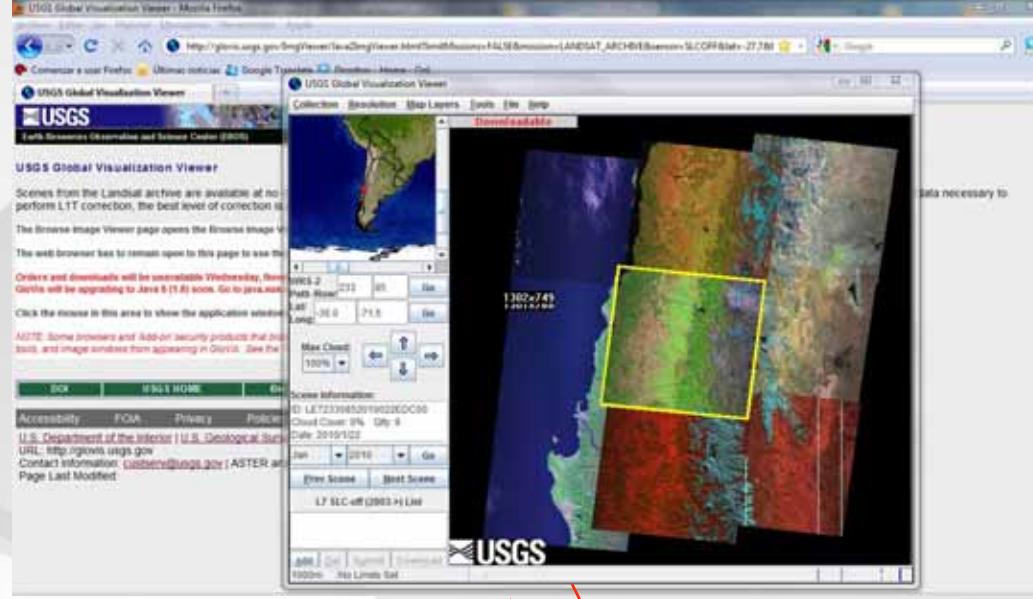
(CropScan MSR-16R)

- ✓ normalized difference vegetation index (NDVI),
- ✓ soil-adjusted vegetation index (SAVI)



Gas exchange and soil moisture





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