



## Determinación de las necesidades de riego en Chile: Mapa dinámico de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)



**Samuel Ortega Farías**  
Director CITRA  
Ing. Agr. MSc. Ph.D.



**Luis Morales**  
Físico. MSc. Dr.



**Camilo Riveros**  
Ing. Agr. Dr.

# INSTITUCIONES PARTICIPANTES

## INSTITUCIONES EJECUTORAS Y ASOCIADAS



**Dr. Samuel Ortega**



**Dr. Luis Morales**



**Dr. Octavio Lagos**



**Dra. Pilar Gil**



**Dr. Francisco Meza**



**Dr. Gabriel Sellés**



**Dr. Raúl Ferreyra**



**Dr. Claudio Balbontín**

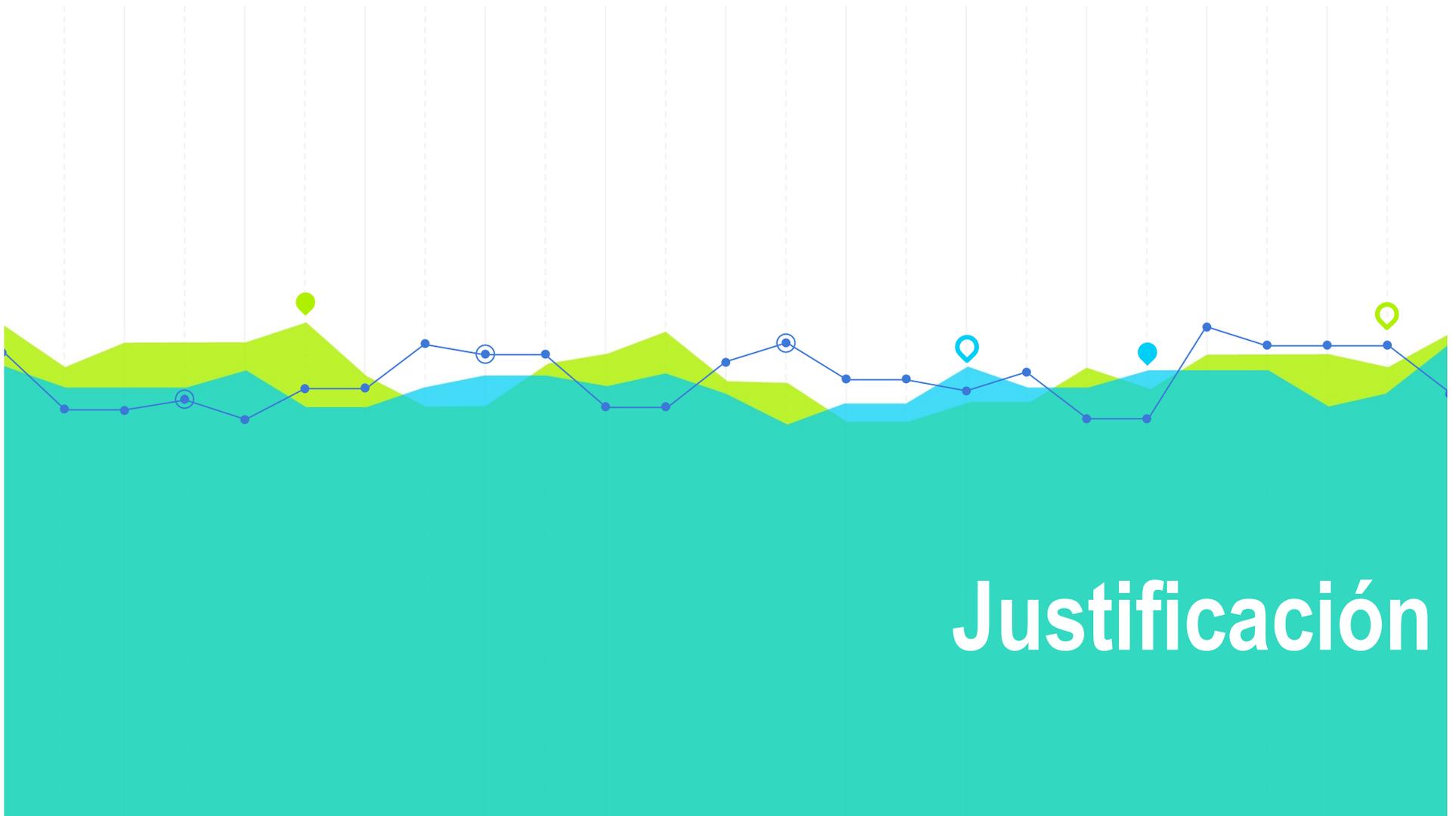


**Dra. Magali Odi**



**Dr. Jorge Olave**

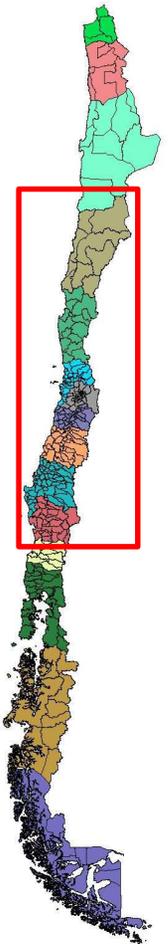




**Justificación**

# Introducción

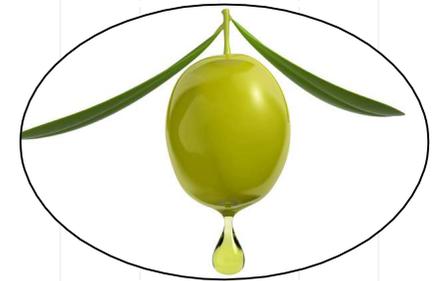
- En un futuro cercano, la escasez de agua se convertirá en el principal factor limitante para la agricultura en Chile.
- Las principales áreas agrícolas de Chile también enfrentarán una reducción significativa de las precipitaciones (20-40%) debido al Cambio climático global.
- Además, Chile se ve afectado periódicamente por el evento La Niña, que ha producido importantes sequías y pérdidas económicas en la mayoría de las áreas agrícolas.



# Introducción

➤ Los desafíos son:

- a) Aumentar la productividad del agua ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )
  
- b) Adaptar los sistemas agrícolas a la escasez de agua utilizando nuevas tecnologías de riego



# Sistema Integral para la Gestión Hídrica (SIGESH)

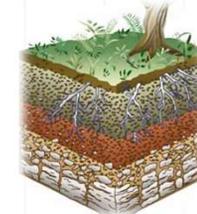
Cultivo → Variedad → Cuartel



Kc

ETo

Programación de Riego



Características de suelo



Características de sistema de riego

Programación del Suelo				Programación del Sistema de Riego			
Area [m <sup>2</sup> ]	Alcance (m)	Volúmenes de Suelo (L/planta)		Area de Riego [m <sup>2</sup> ]	Profundidad del Sistema [m]	Profundidad del Sistema [m]	Volúmenes de Agua Disponible [L]
100	27.6	4000		100	0.15	0.15	15000
100	27.6	4000		100	0.30	0.30	30000
100	27.6	4000		100	0.45	0.45	45000
100	27.6	4000		100	0.60	0.60	60000
100	27.6	4000		100	0.75	0.75	75000
100	27.6	4000		100	0.90	0.90	90000
100	27.6	4000		100	1.05	1.05	105000
100	27.6	4000		100	1.20	1.20	120000
100	27.6	4000		100	1.35	1.35	135000
100	27.6	4000		100	1.50	1.50	150000
100	27.6	4000		100	1.65	1.65	165000
100	27.6	4000		100	1.80	1.80	180000
100	27.6	4000		100	1.95	1.95	195000
100	27.6	4000		100	2.10	2.10	210000
100	27.6	4000		100	2.25	2.25	225000
100	27.6	4000		100	2.40	2.40	240000
100	27.6	4000		100	2.55	2.55	255000
100	27.6	4000		100	2.70	2.70	270000
100	27.6	4000		100	2.85	2.85	285000
100	27.6	4000		100	3.00	3.00	300000
100	27.6	4000		100	3.15	3.15	315000
100	27.6	4000		100	3.30	3.30	330000
100	27.6	4000		100	3.45	3.45	345000
100	27.6	4000		100	3.60	3.60	360000
100	27.6	4000		100	3.75	3.75	375000
100	27.6	4000		100	3.90	3.90	390000
100	27.6	4000		100	4.05	4.05	405000
100	27.6	4000		100	4.20	4.20	420000
100	27.6	4000		100	4.35	4.35	435000
100	27.6	4000		100	4.50	4.50	450000
100	27.6	4000		100	4.65	4.65	465000
100	27.6	4000		100	4.80	4.80	480000
100	27.6	4000		100	4.95	4.95	495000
100	27.6	4000		100	5.10	5.10	510000
100	27.6	4000		100	5.25	5.25	525000
100	27.6	4000		100	5.40	5.40	540000
100	27.6	4000		100	5.55	5.55	555000
100	27.6	4000		100	5.70	5.70	570000
100	27.6	4000		100	5.85	5.85	585000
100	27.6	4000		100	6.00	6.00	600000
100	27.6	4000		100	6.15	6.15	615000
100	27.6	4000		100	6.30	6.30	630000
100	27.6	4000		100	6.45	6.45	645000
100	27.6	4000		100	6.60	6.60	660000
100	27.6	4000		100	6.75	6.75	675000
100	27.6	4000		100	6.90	6.90	690000
100	27.6	4000		100	7.05	7.05	705000
100	27.6	4000		100	7.20	7.20	720000
100	27.6	4000		100	7.35	7.35	735000
100	27.6	4000		100	7.50	7.50	750000
100	27.6	4000		100	7.65	7.65	765000
100	27.6	4000		100	7.80	7.80	780000
100	27.6	4000		100	7.95	7.95	795000
100	27.6	4000		100	8.10	8.10	810000
100	27.6	4000		100	8.25	8.25	825000
100	27.6	4000		100	8.40	8.40	840000
100	27.6	4000		100	8.55	8.55	855000
100	27.6	4000		100	8.70	8.70	870000
100	27.6	4000		100	8.85	8.85	885000
100	27.6	4000		100	9.00	9.00	900000
100	27.6	4000		100	9.15	9.15	915000
100	27.6	4000		100	9.30	9.30	930000
100	27.6	4000		100	9.45	9.45	945000
100	27.6	4000		100	9.60	9.60	960000
100	27.6	4000		100	9.75	9.75	975000
100	27.6	4000		100	9.90	9.90	990000
100	27.6	4000		100	10.05	10.05	1005000

Salida



# Sistema Integral para la Gestión Hídrica (SIGESH)

Especie	Ahorro de agua
Viñedos	30-60%
Olivos (producción de aceite)	38%
Manzanos	18-20%
Uva de mesa	25-30%
Arándanos	40-50%
Mora híbrida	57%
Frambuesa	47%
Semilleros (Maíz and Maravilla)	20-30%





## 1. Información Climática Básica:

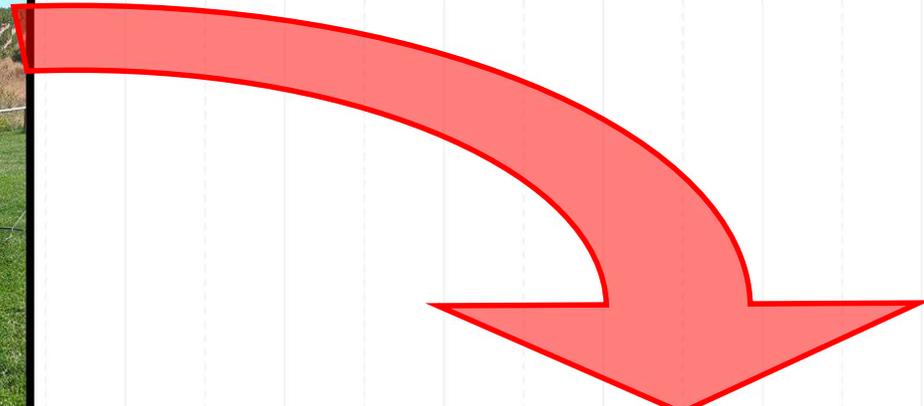
- Temperatura
- Humedad Relativa
- Velocidad y Dirección del Viento
- Radiación Solar
- Precipitaciones

## 2. Información Climática Procesada:

- Evapotranspiración de Referencia ( $ET_r$ )
- Evapotranspiración actual del cultivo ( $ET_a$ )
- Coeficientes de cultivo calibrados ( $K_c$ )
- Días Grados Acumulados
- Horas Frío



## Consumo hídrico de los cultivos

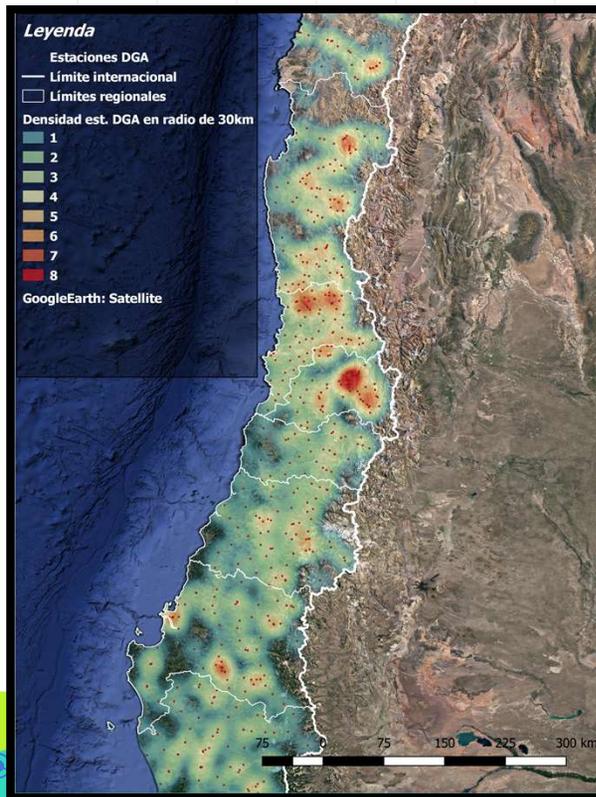


$$ET_c = ET_o * K_c$$

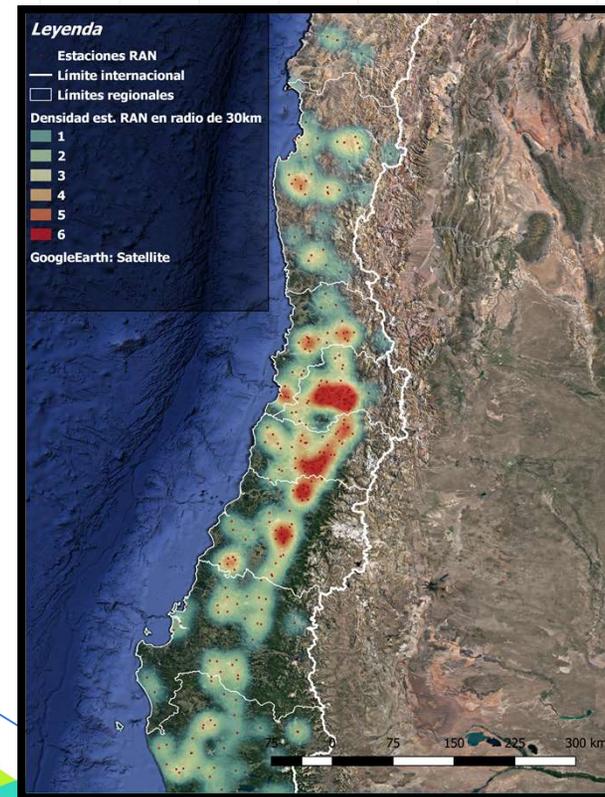


# ¿Problema? : Continuidad espacial de ETo

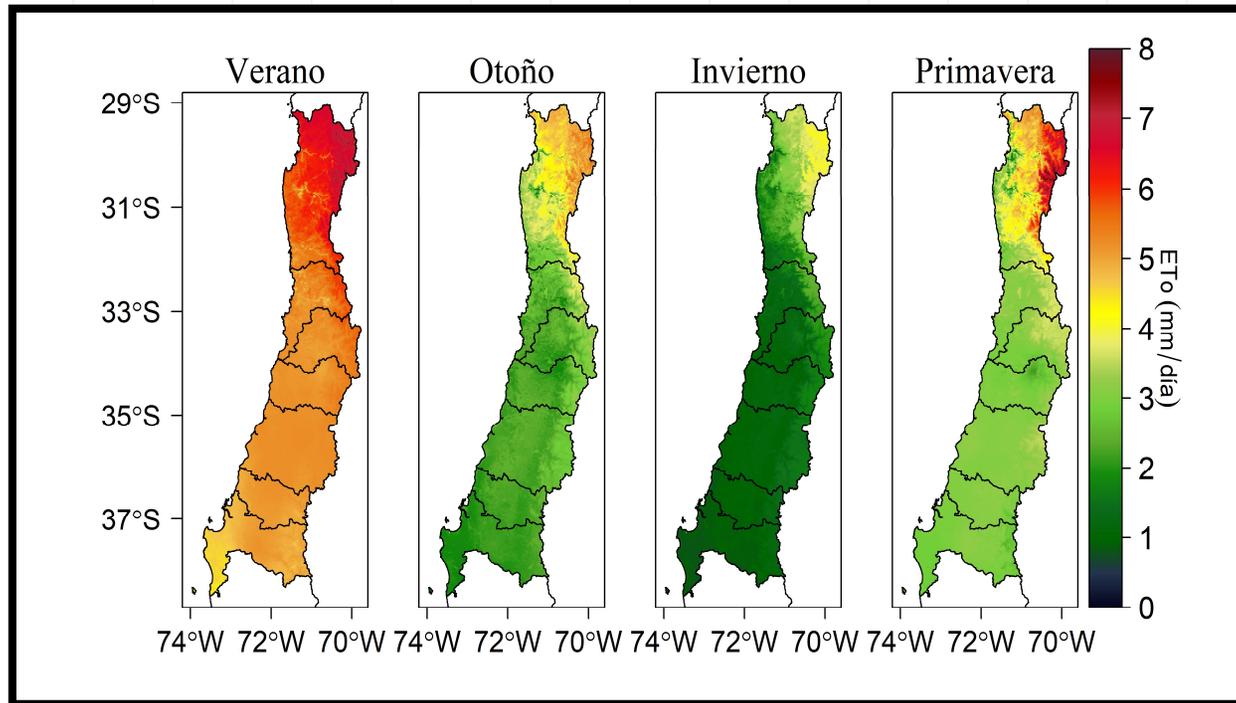
DGA



RAN



# ¿Solución? : Mapas de ETo





Método

# Hargreaves-Samani

INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 2017  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1323287>



Taylor & Francis  
Taylor & Francis Group



## Monthly calibration of Hargreaves–Samani equation using remote sensing and topoclimatology in central-southern Chile

Luis Morales-Salinas<sup>a</sup>, Samuel Ortega-Farías<sup>b,c</sup>, Camilo Riveros-Burgos<sup>b,c</sup>,  
José Neira-Román<sup>d,e</sup>, Marcos Carrasco-Benavides<sup>f</sup> and Rafael López-Olivari<sup>g</sup>

<sup>a</sup>Laboratory for Research in Environmental Sciences (LARES), Faculty of Agricultural Sciences, University of Chile, Santiago, Chile; <sup>b</sup>Research and Extension Center for Irrigation and Agroclimatology (CITRA), University of Talca, Talca, Chile; <sup>c</sup>Research Program on Adaptation of Agriculture to Climate Change (PIEI A2C2), University of Talca, Talca, Chile; <sup>d</sup>Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF) Conicyt-Regional, Rengo, Chile; <sup>e</sup>Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile; <sup>f</sup>Department of Agricultural Sciences, Universidad Católica del Maule, Curicó, Chile; <sup>g</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Temuco, Chile



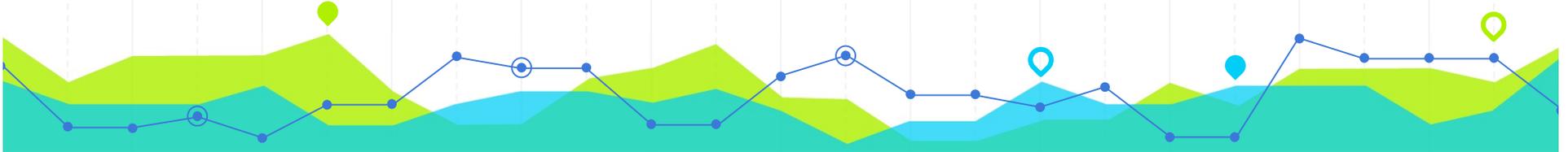
## Hargreaves-Samani

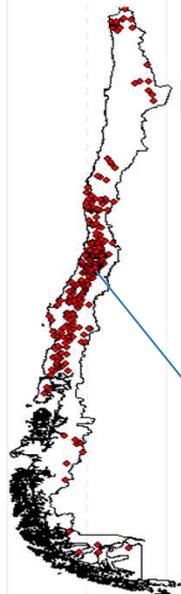
$$ET_d = k_{HS} \cdot \left( \frac{R_g}{\lambda} \right) \cdot (T_m + 17.8)$$

$$k_{HS} \approx 0.0135$$

$R_g$  = Radiación solar ( $MJ m^{-2} día^{-1}$ )

$T_m$  = Temperatura media del aire ( $°C$ )





**RAN**



Módulo de  
Recolección  
de datos

Los datos de la  
RAN son  
recolectados por  
RPF por un  
sistema  
automatizado.

Procesamiento  
de la  
Información

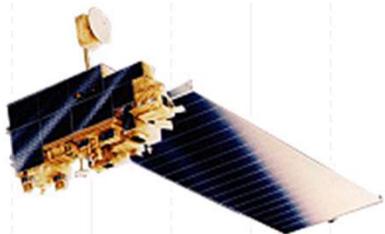
Los datos de  
recolectados son  
validados y  
corregidos para  
entrar a los  
algoritmos de  
computo de  
mapas.

Visualización  
de la  
Información



Los datos se  
visualizan  
puntualmente por  
variable y estación.





Datos  
Sensor  
MODIS

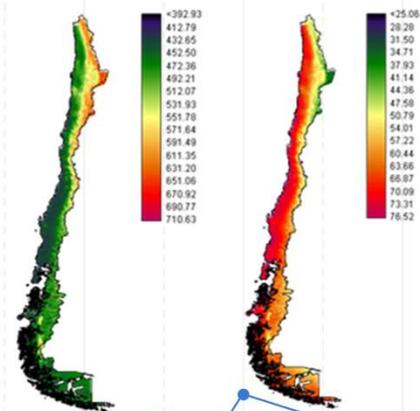
Temperatura de superficie (LST)  
Índice de Vegetación (NDVI)  
(1 km resolución espacial)

Índice de Vegetación (NDVI)  
250 m

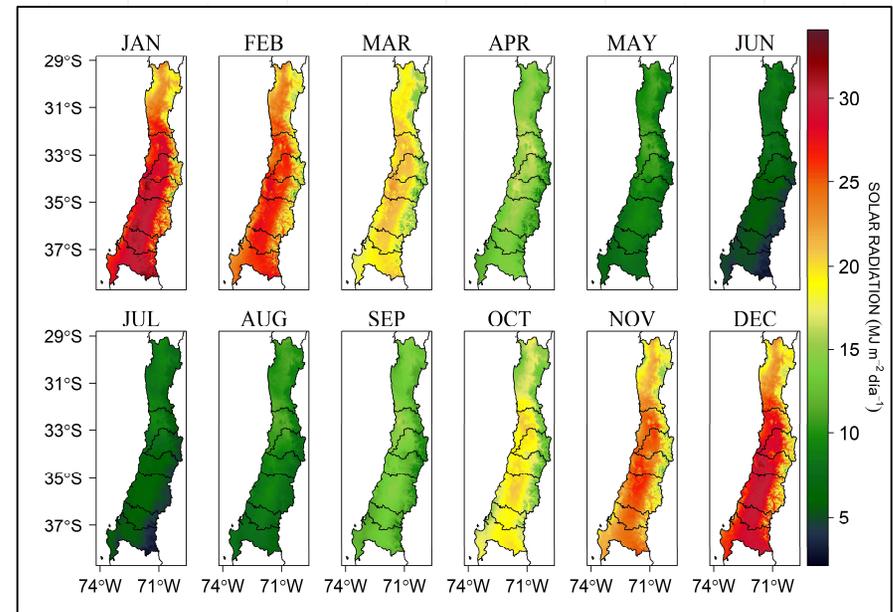
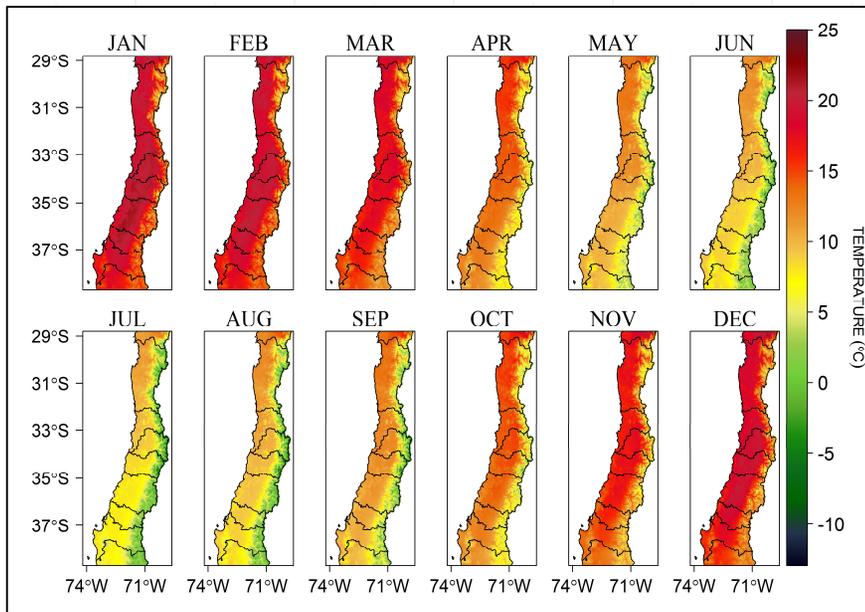
Datos  
Meteorológicos Validados  
RAN

Espacialización  
Variables meteorológicas  
(1 km resolución espacial)

Se generan mapas  
espacializados de las variables  
meteorológicas a escala  
diaria:  
Temperatura máxima,  
temperatura mínima,  
radiación solar,...



# Cartografía histórica

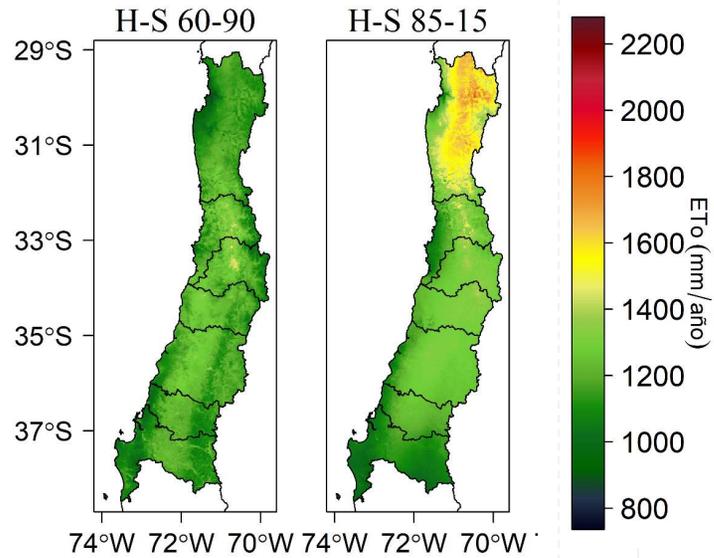


Valores climatológicos de Temperatura media mensual a 1 km (1985-2015)

Valores climatológicos de Radiación solar mensual a 1 km (1985-2015)



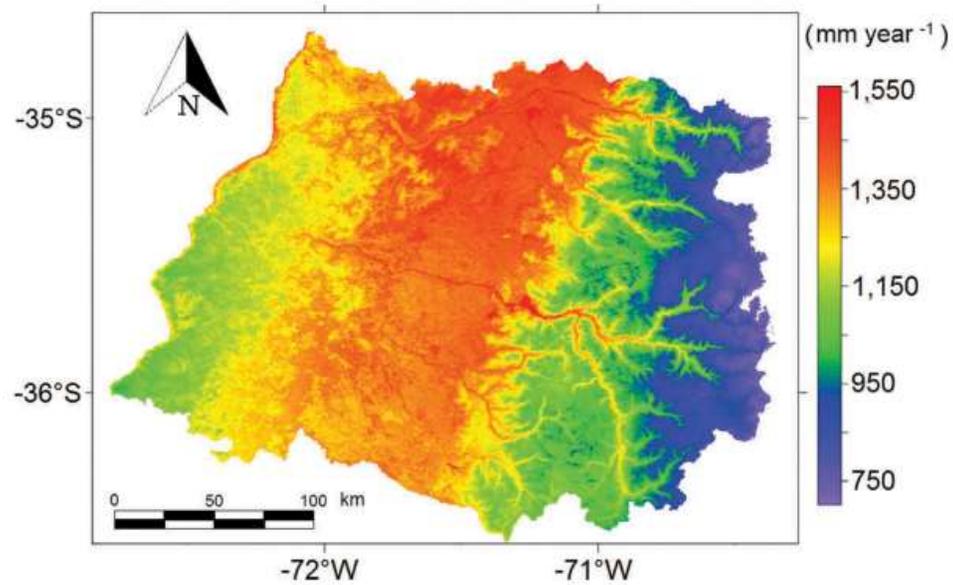
# Cartografía histórica



Evapotranspiración potencial del área de estudio para los periodos 1960-1990 y 1985-2015 a nivel anual mediante el método de Hargreaves-Samani y GWR.



# Cartografía histórica



Evapotranspiración potencial Región del Maule 1985-2015





**Solución tecnológica**

Plataforma web ETo

[www.eto.utralca.cl](http://www.eto.utralca.cl)



# Plataforma web ETo

**CITRA**  
UNIVERSIDAD DE TALCA

Ingreso Usuario

Usuario

Contraseña

**Registrarse**

Acceder

NOTA para usuarios nuevos: su USUARIO es la parte del mail antes de la @

Evapotranspiración de Referencia

Ministerio de Agricultura  
GOBIERNO DE CHILE

INIA

UNIVERSIDAD DE TALCA  
UNIVERSIDAD DE CHILE

TALCA  
UNIVERSIDAD  
CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad  
de Concepción

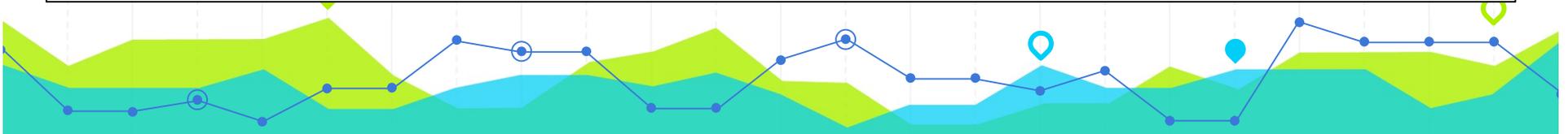
CNR  
Comisión Nacional de Riego  
GOBIERNO DE CHILE

MÁS Y MEJOR  
RIEGO PARA CHILE

FIA  
Fundación para la  
Innovación Agraria

cnid  
Consejo Nacional  
de Innovación  
para el Desarrollo

CIDERH



# Plataforma web ETo

**CITRA**  
UNIVERSIDAD DE TALCA

Inscripcion de Usuario

NOTA: su USUARIO será la parte del mail antes de la @ y espere que el Administrador le envíe un mail avisando la activación de su cuenta

nombre

apellido

Correo electronico

Contraseña

Verificacion Contraseña

Enviar Datos Registro

Evapotranspiracion de Referencia

Ministerio de Agricultura  
Gobierno de Chile

INIA

TALCA  
UNIVERSIDAD  
CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad  
de Concepción

CIRA  
Ministerio de Agricultura  
Gobierno de Chile

MÁS Y MEJOR  
RIEGO PARA CHILE

FIA  
Fundación para la  
Innovación Agraria

cnid  
Consejo Nacional  
de Innovación  
para el Desarrollo

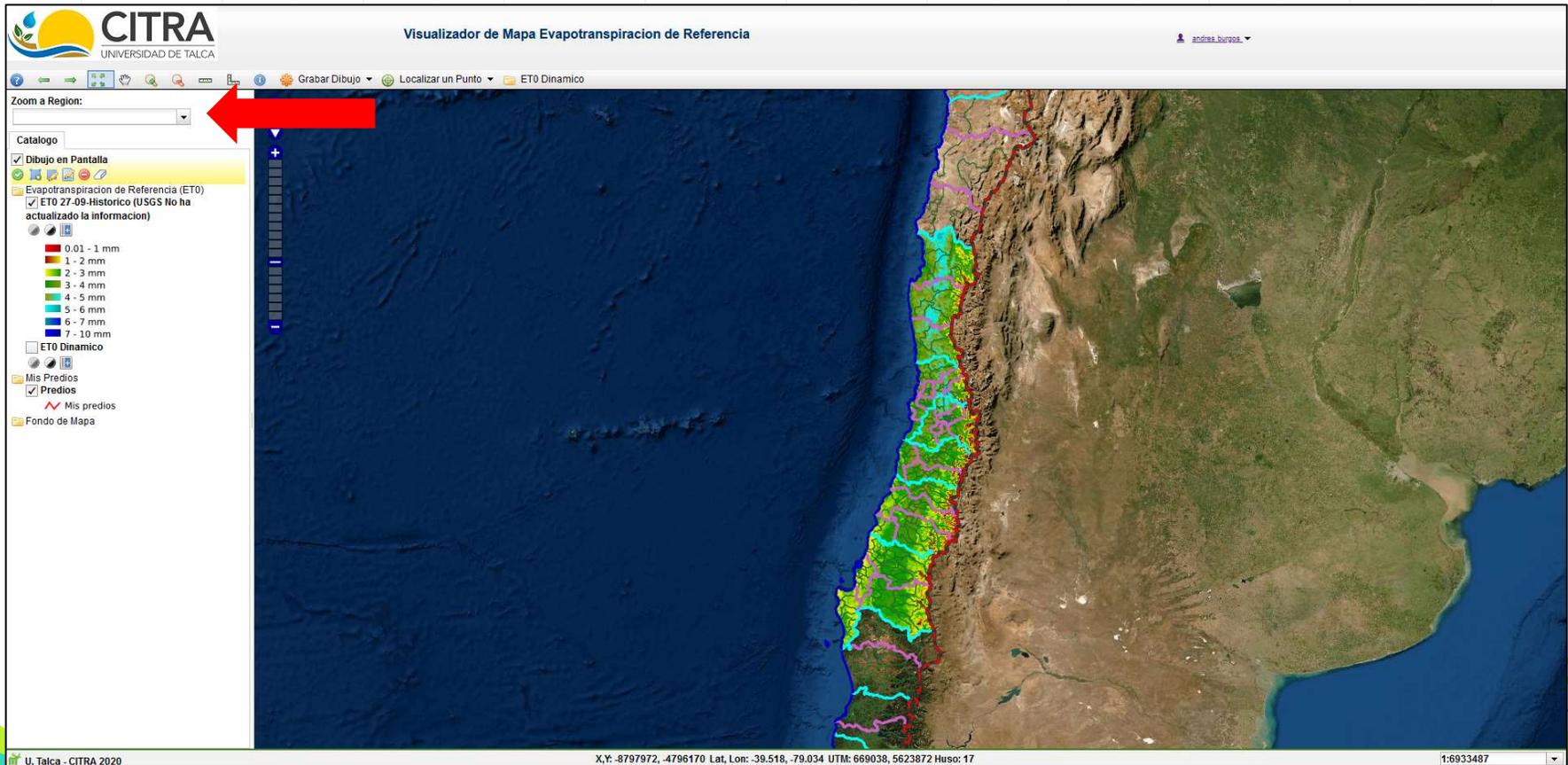
CIDERH



# Plataforma web ETo

The screenshot displays the 'Visualizador de Mapa Evapotranspiracion de Referencia' interface. The top header includes the CITRA logo (UNIVERSIDAD DE TALCA) and the user name 'andrea.burpoa'. The main map area shows a satellite-style view of Chile with various colored overlays representing different evapotranspiration data layers. A red arrow points to the 'Evapotranspiracion de Referencia (ET0)' section in the left-hand 'Catalogo' panel, which contains sub-options for 'ET0 27-09.Historico (USGS No ha actualizado la informacion)', 'ET0 Dinamico', and 'Mis Predios'. The bottom status bar provides coordinates: 'X,Y: -8299826, -4476169 Lat, Lon: -37.265, -74.559 UTM: 539137, 5875591 Huso: 18' and a scale of '1:6933487'.

# Plataforma web ETo



# Plataforma web ETo



# Plataforma web ET0

The screenshot displays the CITRA web platform interface. At the top left is the logo for CITRA (UNIVERSIDAD DE TALCA). The main title is "Visualizador de Mapa Evapotranspiracion de Referencia". The user is logged in as "andrea.burpoa".

The interface includes a toolbar with options like "Grabar Dibujo", "Localizar un Punto", and "ET0 Dinamico". A "Zoom a Region:" dropdown is present. On the left, there are panels for "Catalogo", "Identify", and "Volver a Parametros".

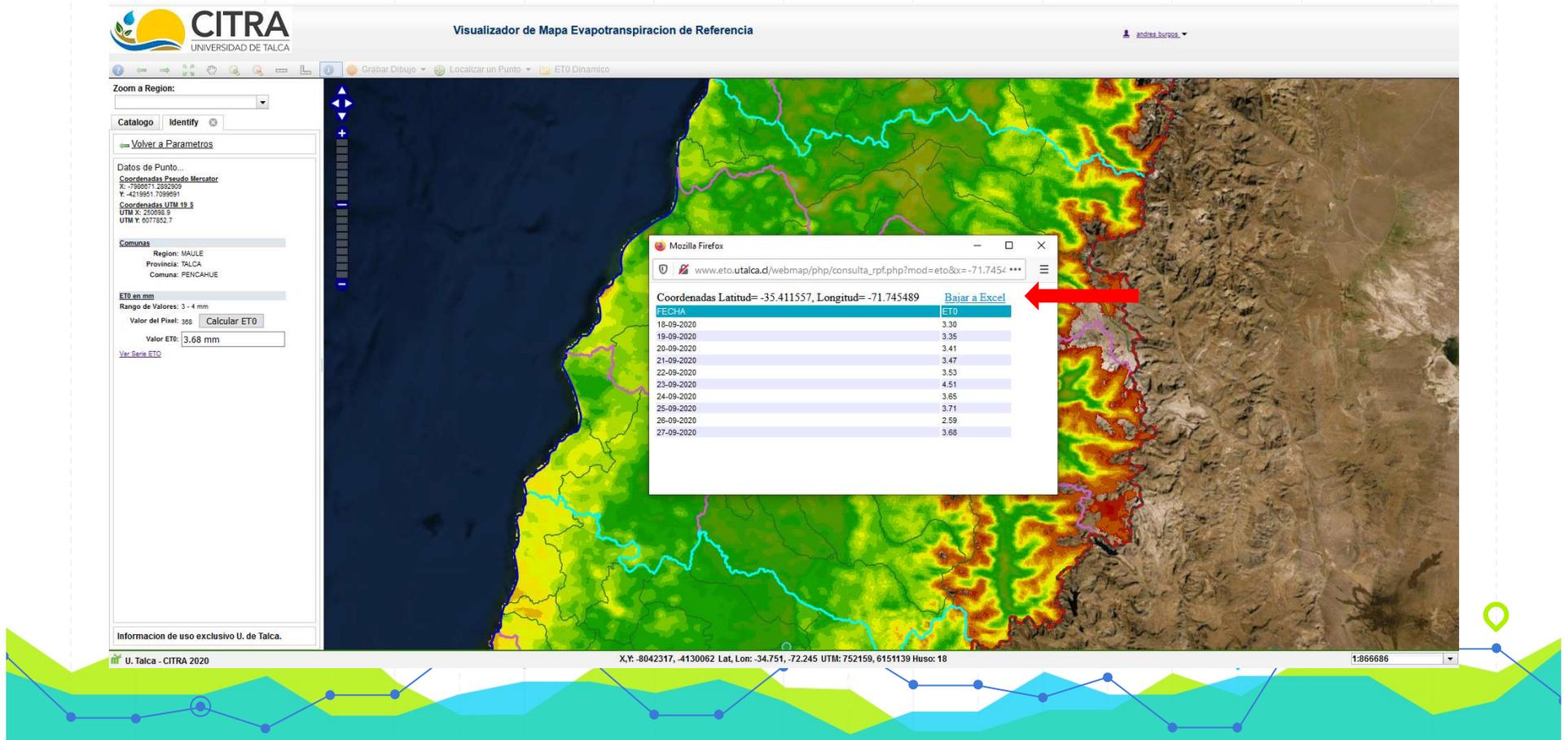
The central map shows a reference evapotranspiration map with a color scale from green (low) to red (high). A red arrow points to a specific location on the map. Another red arrow points to the "Valor ET0" field in the left panel, which displays "3.68 mm". A black arrow points upwards from the bottom of the left panel.

The left panel contains the following information:

- Datos de Punto...**
  - Coordenadas Pseudo Mercator:
    - X: -786071.282309
    - Y: -421951.709991
  - Coordenadas UTM 19 S:
    - UTM X: 20098.9
    - UTM Y: 6077862.7
- Comunas**
  - Region: MAULE
  - Provincia: TALCA
  - Comuna: PENCAHUE
- ET0 en mm**
  - Rango de Valores: 3 - 4 mm
  - Valor del Pixel: 358
  - Valor ET0: 3.68 mm
  - [Ver Serie ET0](#)

At the bottom, there is a footer with "U. Talca - CITRA 2020", coordinates "X,Y: -806062, -4287522 Lat, Lon: -35.905, -72.410 UTM: 733721, 6023518 Huso: 18", and a scale of "1:866686".

# Plataforma web ETo



# Plataforma web ETO

The screenshot displays the Microsoft Excel interface with a data table. The table has two columns: 'FECHA' (Date) and 'ETO'. The data rows show dates from 18-09-2020 to 27-09-2020 and corresponding ETO values ranging from 2.59 to 3.68. The Excel ribbon is visible at the top, and the status bar at the bottom shows the file name 'eto\_e71f2a2b85f0a6d84a06e19f16f' and a zoom level of 200%.

FECHA	ETO
18-09-2020	3.3
19-09-2020	3.35
20-09-2020	3.41
21-09-2020	3.47
22-09-2020	3.53
23-09-2020	4.51
24-09-2020	3.65
25-09-2020	3.71
26-09-2020	2.59
27-09-2020	3.68

## Plataforma web ETo

Contacto:

**ayuda.eto@utalca.cl**



**Facultad de Ciencias  
Agrarias UTalca**



# Agradecimientos

## PYT-2017-0877

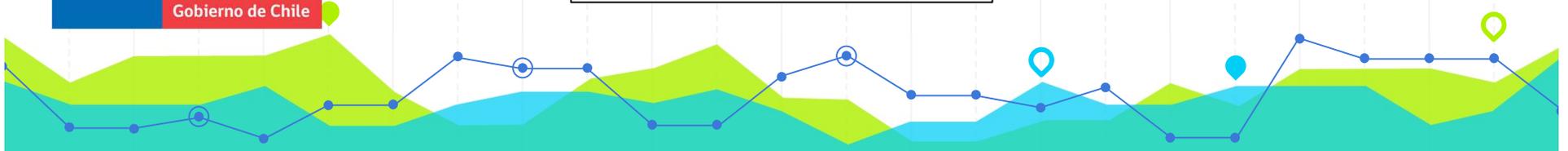
Mapa dinámico a escala diaria de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) para determinar las necesidades de riego en Chile.



Fundación para la  
Innovación Agraria



Sección de Inteligencia  
Fitosanitaria





## Determinación de las necesidades de riego en Chile: Mapa dinámico de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)



**Samuel Ortega Farías**  
Director CITRA  
Ing. Agr. MSc. Ph.D.



**Luis Morales**  
Físico. MSc. Dr.



**Camilo Riveros**  
Ing. Agr. Dr.