

ESTRATEGIAS DE MANEJOS AGRONÓMICOS SUSTENTABLES EN CONDICIONES DE ESCASEZ HÍDRICA

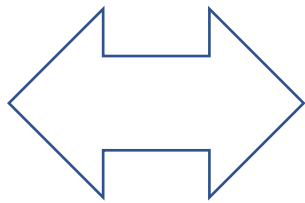
*SUSTENTABILIDAD
DESDE EL RIEGO INTRAPREDIAL*

Dr. Rodrigo Callejas R.
UNIVERSIDAD DE CHILE
rcalleja@uchile.cl



SEMINARIO
SUSTENTABILIDAD, LA CLAVE PARA EL FUTURO DE LA FRUTICULTURA EN
LA REGIÓN DE COQUIMBO
05 SEPTIEMBRE 2023





CERTEZAS



¿Cuál es el plan de acción
DISRUPTIVO / SUSTENTABLE
que tenemos como industria?

➤ No debemos abusar o mal utilizar la palabra “SUSTENTABLE”.

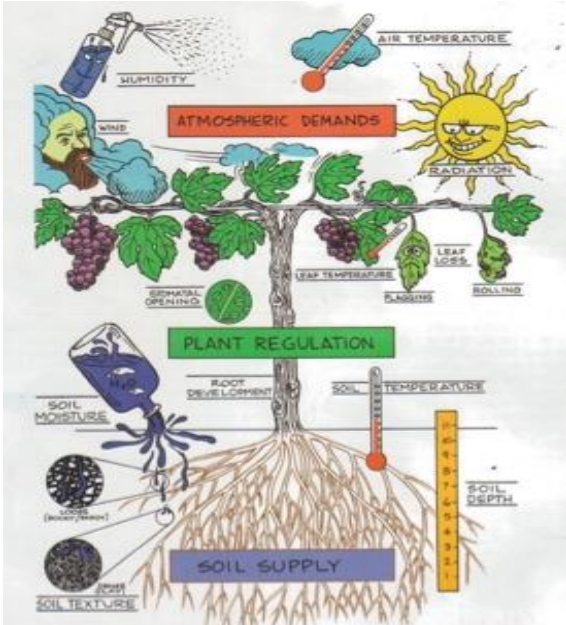
Nuestra fruticultura y los servicios relacionados deben ser realmente un ejemplo a nivel mundial.



SUSTENTABILIDAD DESDE EL RIEGO INTRAPREDIAL



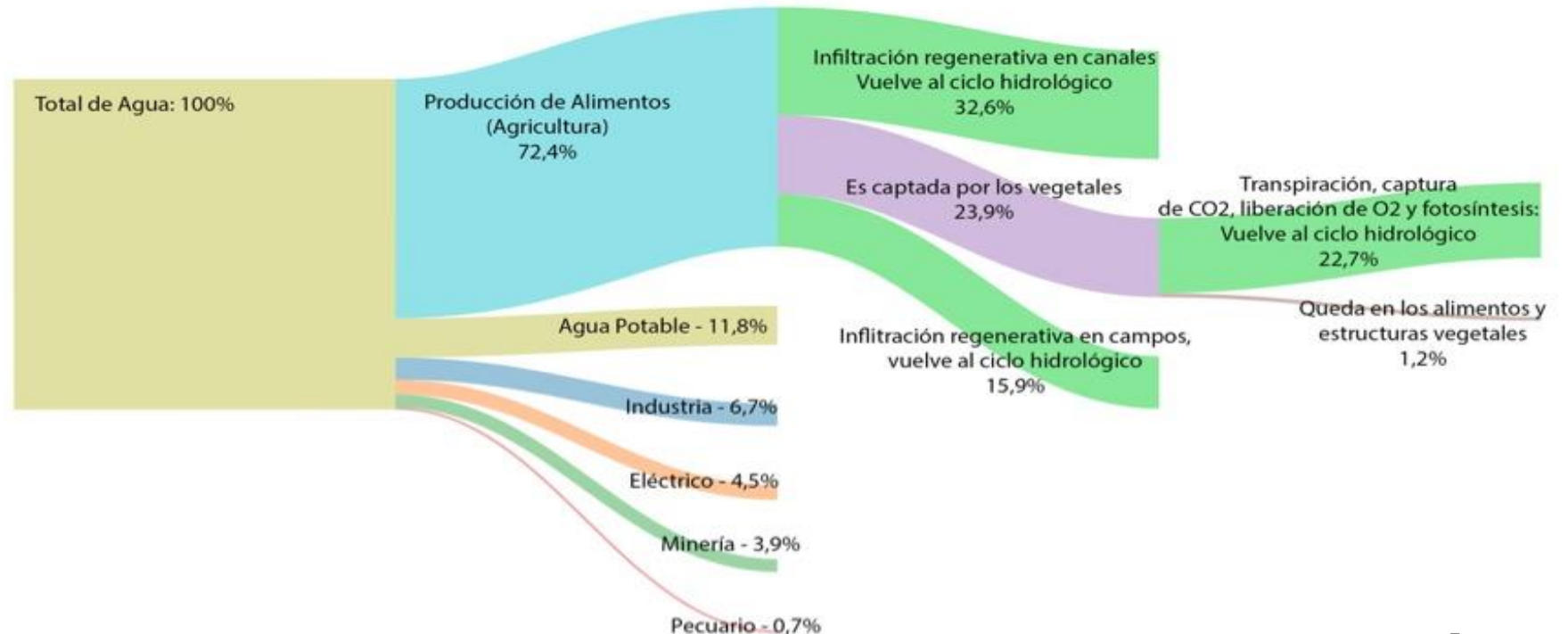
➤ **AMBIENTAL:** *regar en forma inteligente para....*

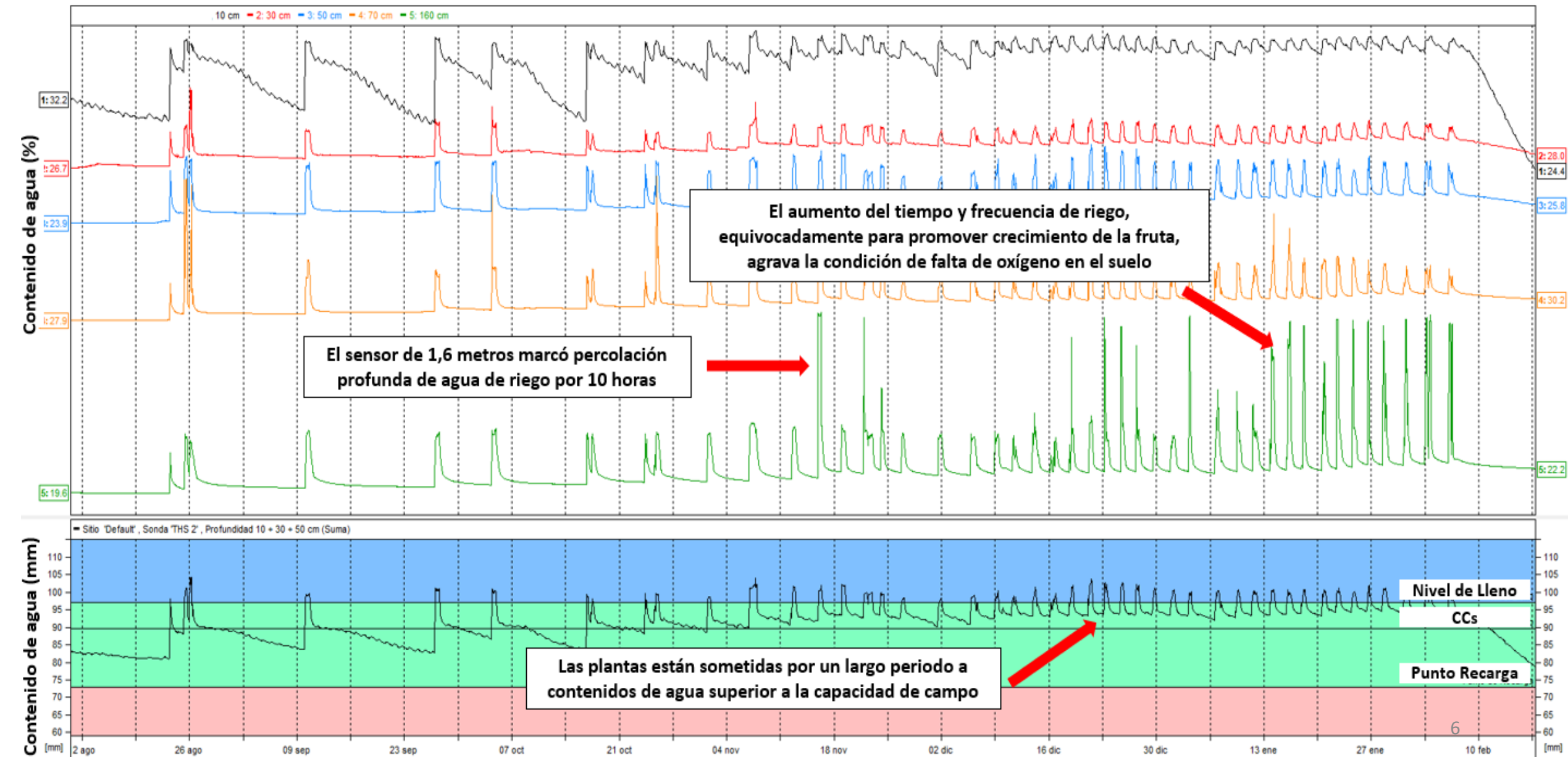


**CONTROLAR
LA PERCOLACIÓN
PROFUNDA DE AGUA
DE RIEGO**

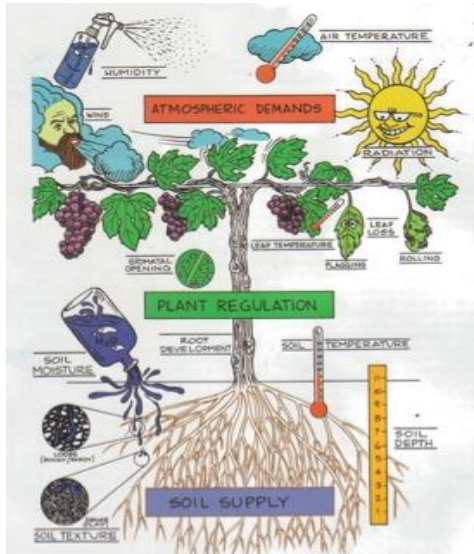
DIAGRAMA DE USO DEL AGUA EN CHILE

Según datos publicados por Rodrigo Callejas R., Ingeniero Agrónomo y doctor en Ciencias Agropecuarias en su columna **"Devoluciones regenerativas de agua dulce al medio ambiente desde la agricultura"**, publicada por el diario El Mostrador el 21 de abril 2022.
<https://www.elmostrador.cl/destacado/2022/04/21/devoluciones-regenerativas-de-agua-dulce-al-medio-ambiente-desde-la-agricultura/>

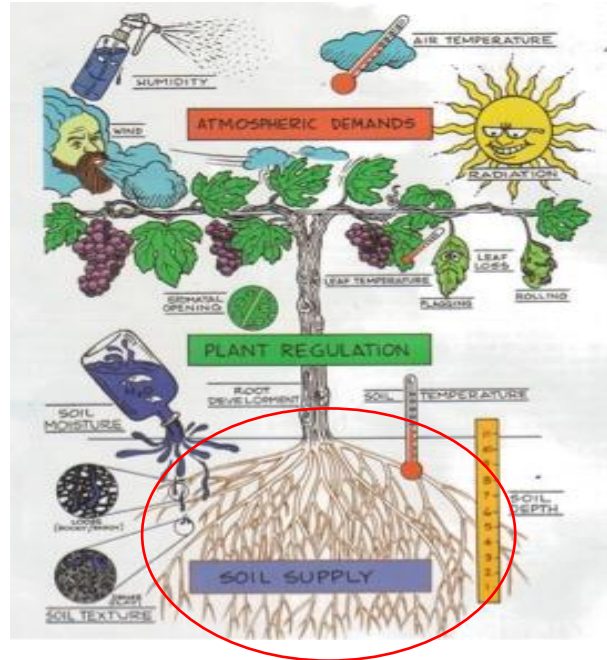




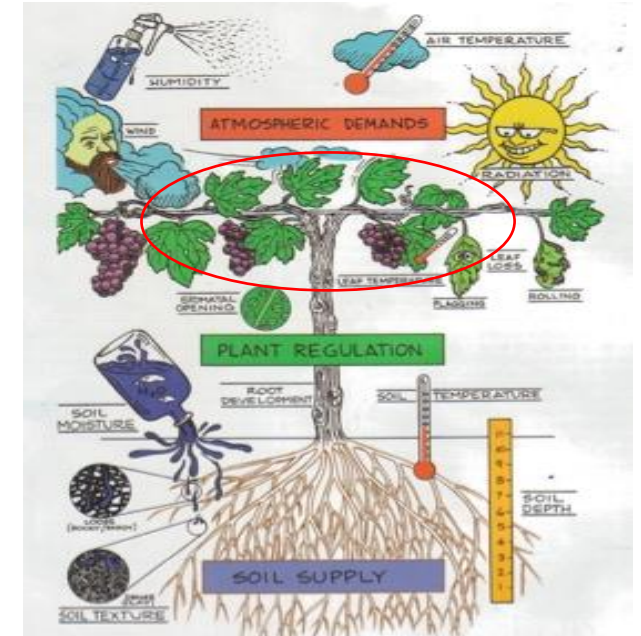
➤ AMBIENTAL: *regar en forma inteligente para....*



**EVITAR
CONTAMINACIÓN
DIRECTA Y/O DIFUSA
DE FERTILIZANTES
(NITRATO)**



**EVITAR EL EXCESO AGUA Y
FALTA DE OXÍGENO
DESTRUCCIÓN DE LA BIOTA DEL SUELO
ALTERACIONES QUÍMICAS DEL SUELO,
etc...**



**FAVORECER LA
CAPTURA DE CO₂**

➤ **SOCIAL:** *regar en forma inteligente para....*

- ✓ Asegurar el consumo humano.
- ✓ Asegurar la alimentación.
- ✓ Fortalecer el PIB agrícola integrado (Cadena de Valor de la fruticultura).
- ✓ Asegurar otras industrias.
- ✓ Respetar aspectos culturales de la zona donde se desarrolla mi proyecto.
- ✓ Asegurar la recreación.

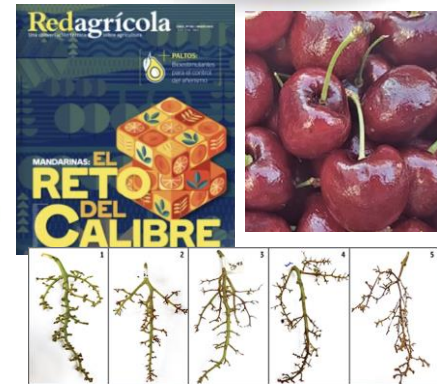
➤ **ECONÓMICA:** *regar en forma inteligente para..*

SER UNA EMPRESA
ECONÓMICAMENTE VIABLE

- ✓ CAMBIO CLIMÁTICO.
- ✓ COMPETENCIA INTERNACIONAL.
- ✓ COMPETENCIA NACIONAL (Chile compite con Chile).



RENDIMIENTOS



CALIDA
% EXPORTACIÓN

BAJAR
COSTOS



PRECIOS DE LA FRUTA



COSTOS



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



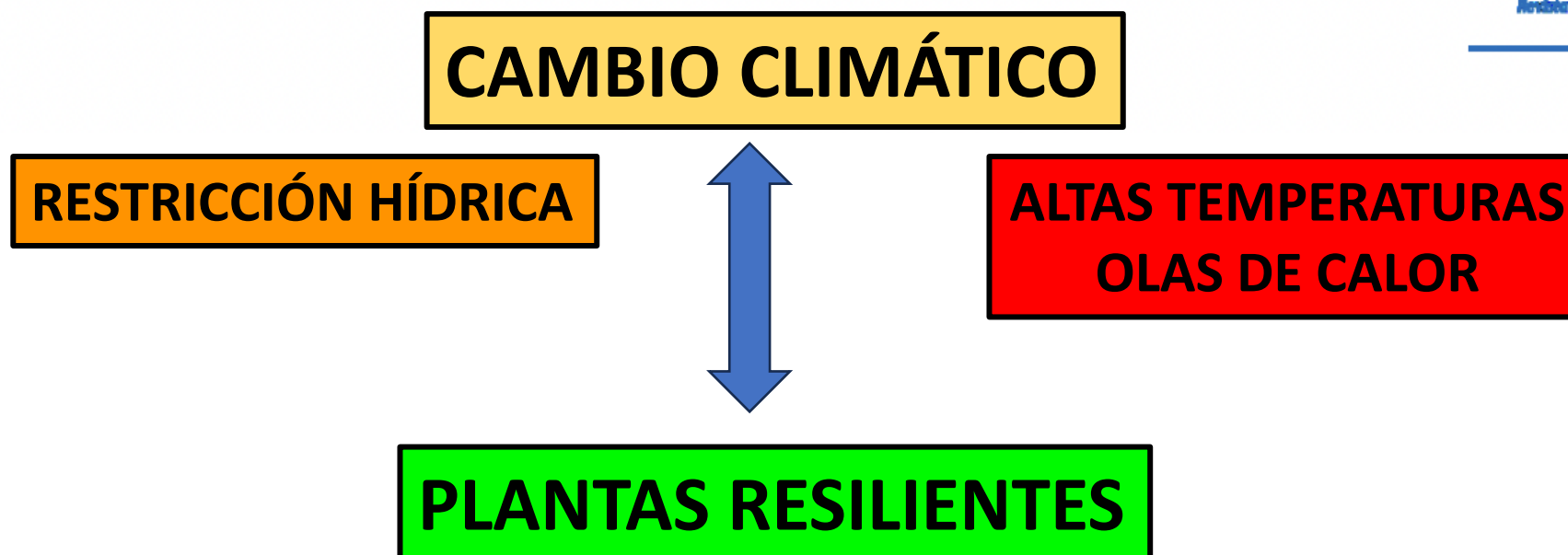
Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Paquete tecnológico UchileCrea para el control inteligente del riego en sistemas frutícolas

UchileCrea technological package for the intelligent control of irrigation in fruit systems

Aqua-LAC

Revista del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe



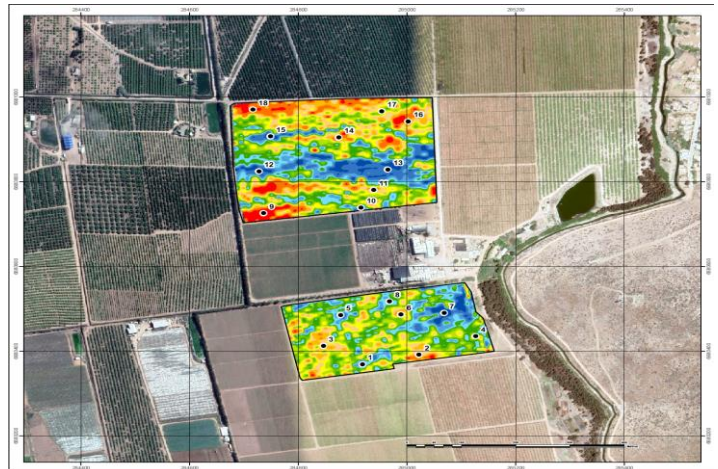


1) ÓPTIMO DISEÑO DE PLANTACIÓN

ANTES DEL RIEGO INTELIGENTE.....



10 y 20% de la superficie asignada no era usada por el sistema de conducción, por lo que Kc real se fijó en 0,85 (Villarruel, 2021)



2) ÓPTIMO DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO



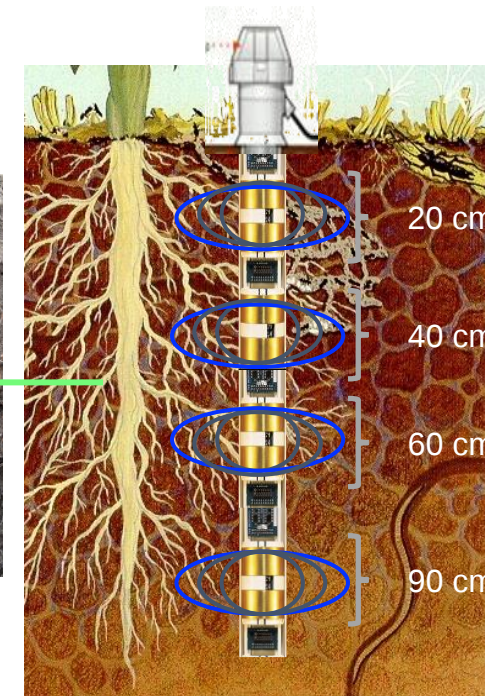
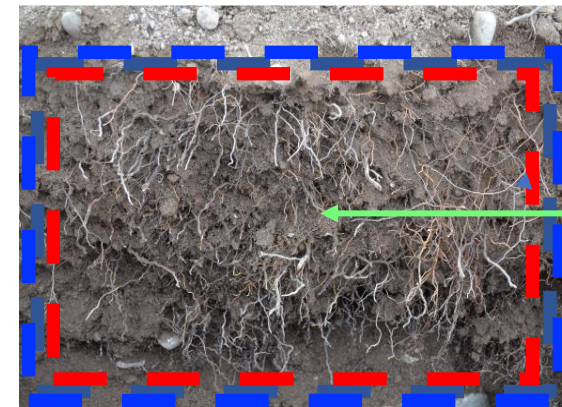
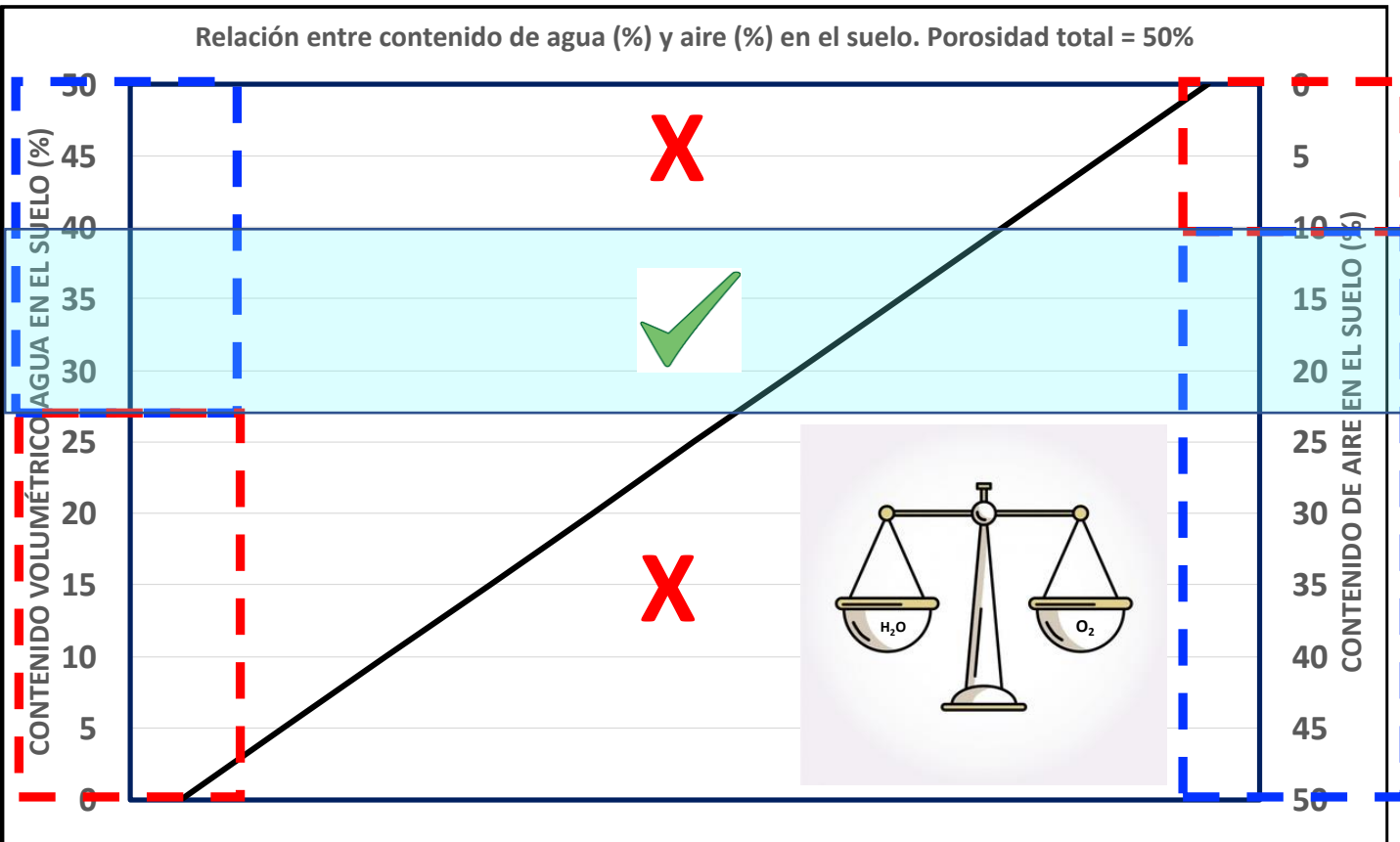
4) SUPERPOSICIÓN EN TODO MOMENTO

RAICES DENSAS
 EQUILIBRIO AGUA / OXÍGENO
 FERTILIZANTE



3) SUELO VIVO

Favorecer la materia orgánica
 Favorecer fertilizantes orgánicos
 Suelo bien estructurado
 Favorecer la vida en el suelo

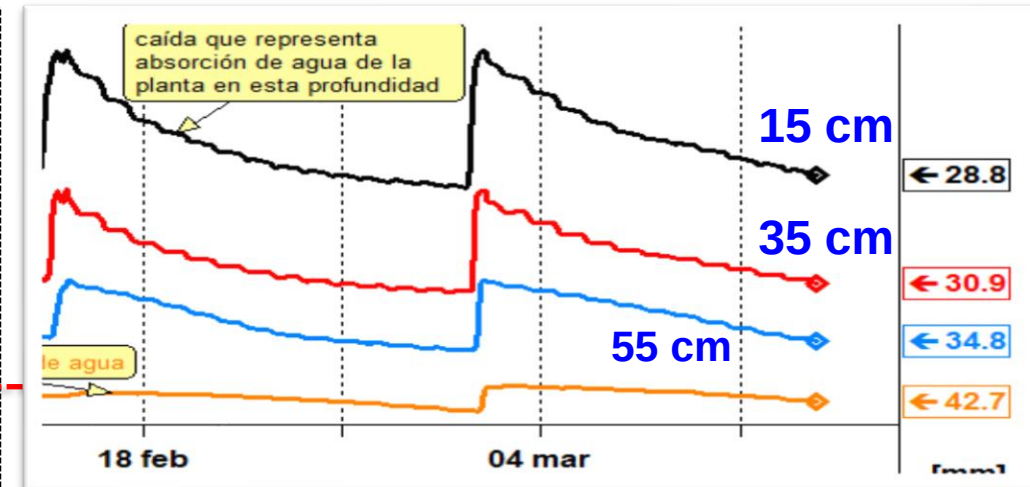
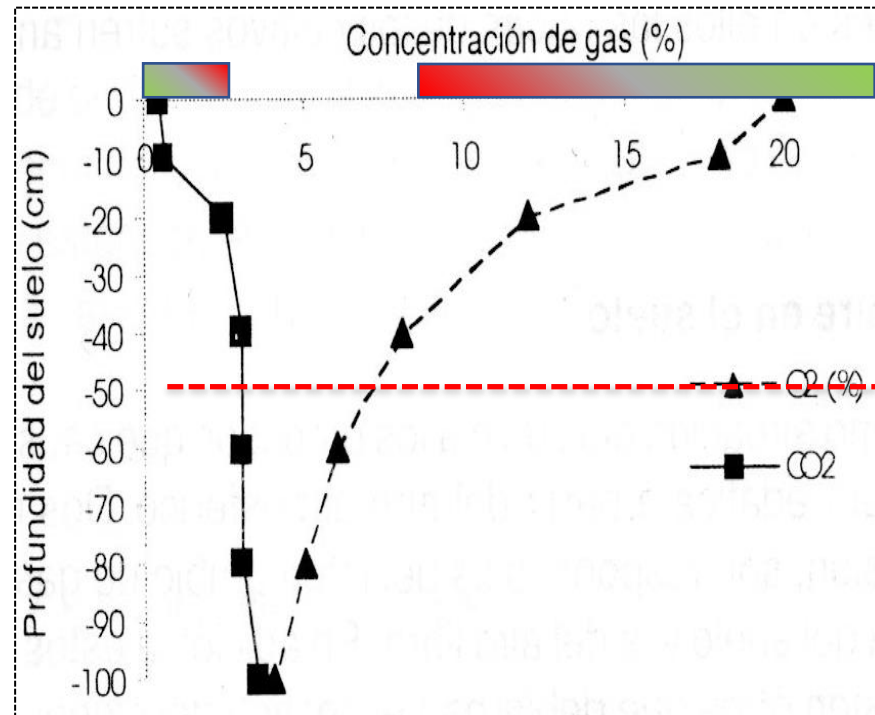


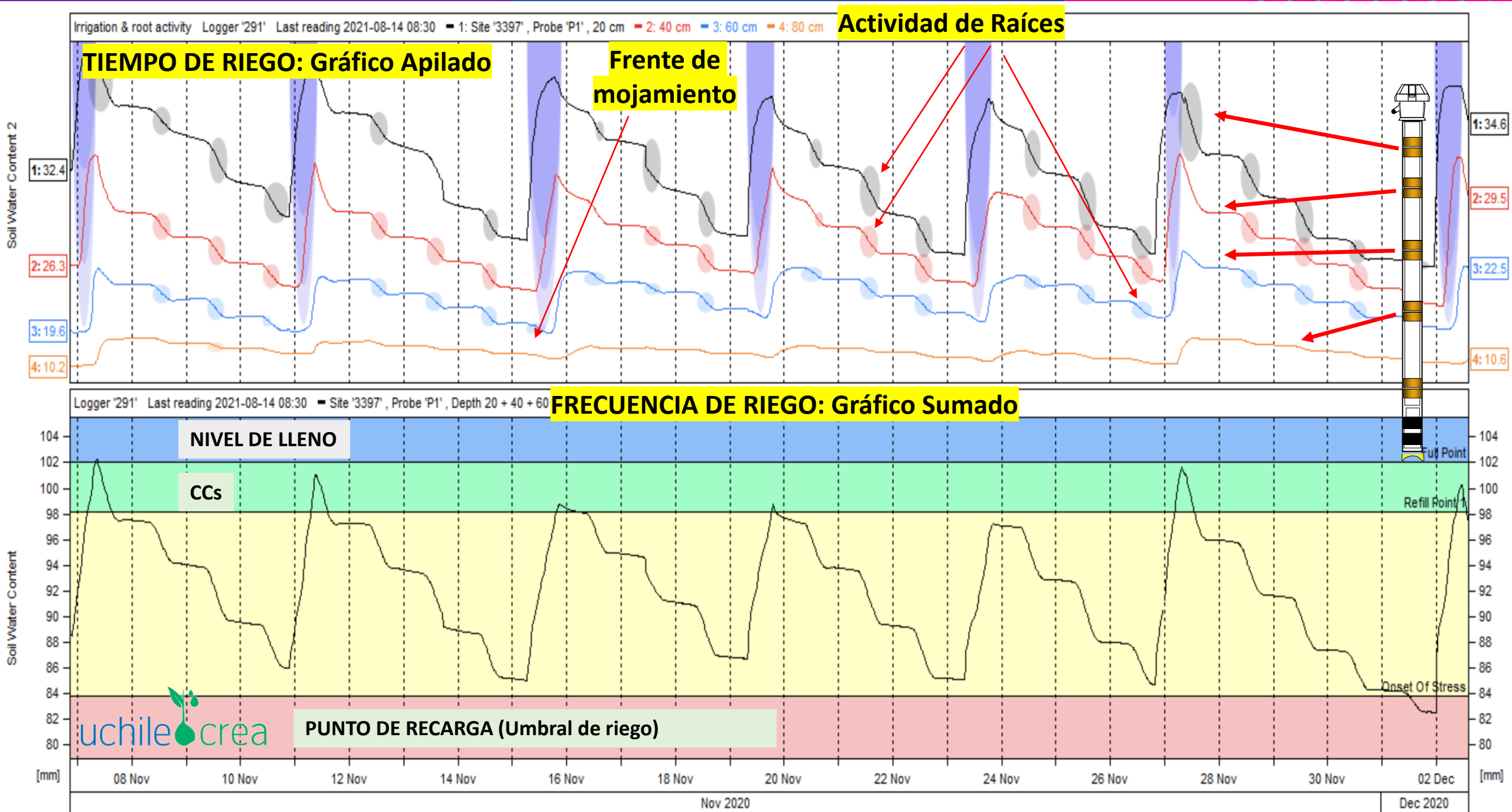
SI NO MEDIMOS/REGISTRAMOS EL H_2O (O_2) EN NUESTRO **BULBO ACTIVO** NO PODEMOS HACER **GESTIÓN EFICIENTE** DEL RIEGO, POR ESO LAS **SONDAS DE CAPACITANCIAS** (Y..LA **PLATAFORMA DE INTERPRETACIÓN**) JUEGAN UN ROL CENTRAL.

¿ POR QUÉ LAS **RAÍCES FUNCIONALES** SE UBICAN EN SUPERFICIE ?

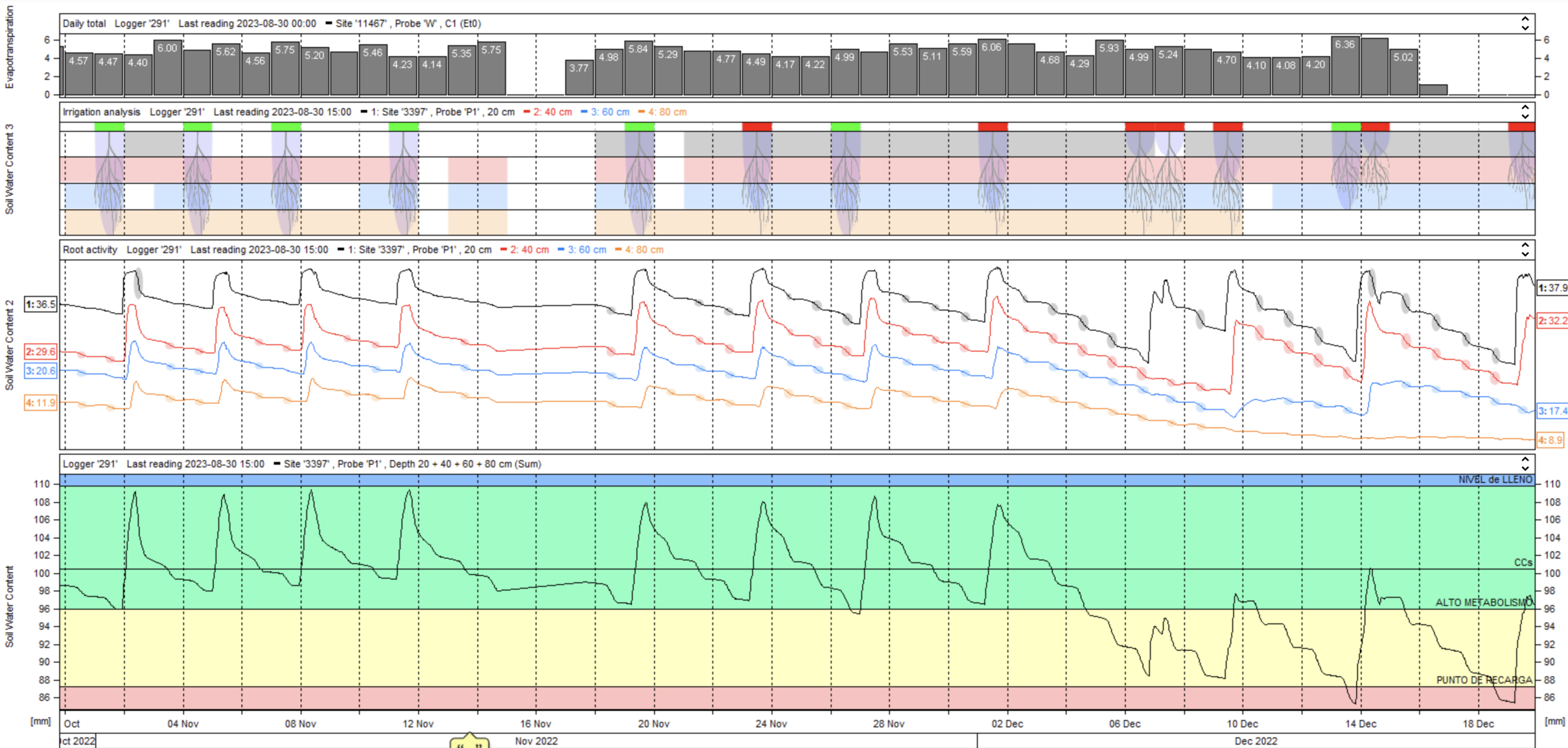
- > Concentración de Oxígeno.
- < Concentración de CO₂.

En profundidad, hay mayores dificultades para la difusión de los gases.





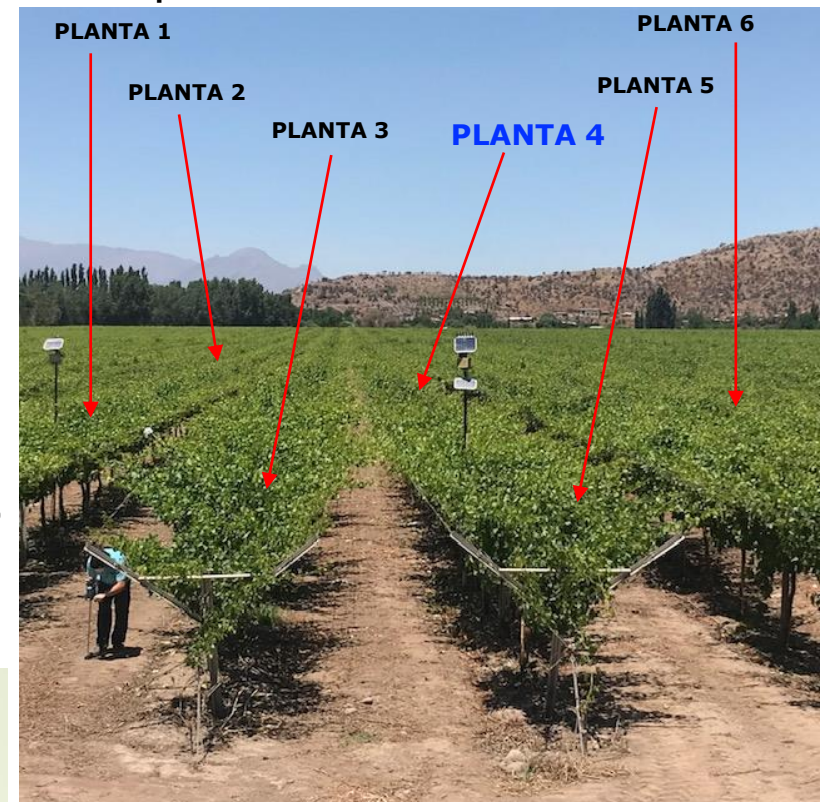
PLATAFORMAS INTELIGENTES PARA FACILITAR LA GESTIÓN DEL RIEGO.....



HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS

Bomba de presión, tipo Scholander, Modelo Pum-Up

- **RATIFICAMOS** adecuado sistema radical en el bulbo activo, basado en la **capacidad de recuperar su estatus hídrico**.
- **RATIFICAR** en el futuro (1 vez al año) que las plantas del cuartel llevan un ritmo similar a la indicadora (con sonda).
- **RATIFICAMOS** las **LÍNEAS DE GESTIÓN** del riego (**tiempo y frecuencia**) que determina la sonda.



SENSIBILIDAD A LOS DÉFICITS HÍDRICOS DE PROCESOS O PARÁMETROS VEGETALES.
 (Azcón-Bieto y Talón, 2000, en Hsiao, 1973 y adaptado por Martín de Santa Olalla et al. 2005)

POTENCIALES

Líneas horizontales: rangos de estrés.

Líneas discontinuas: datos pocos precisos.

Signos: aumento o disminución en el parámetro o proceso.

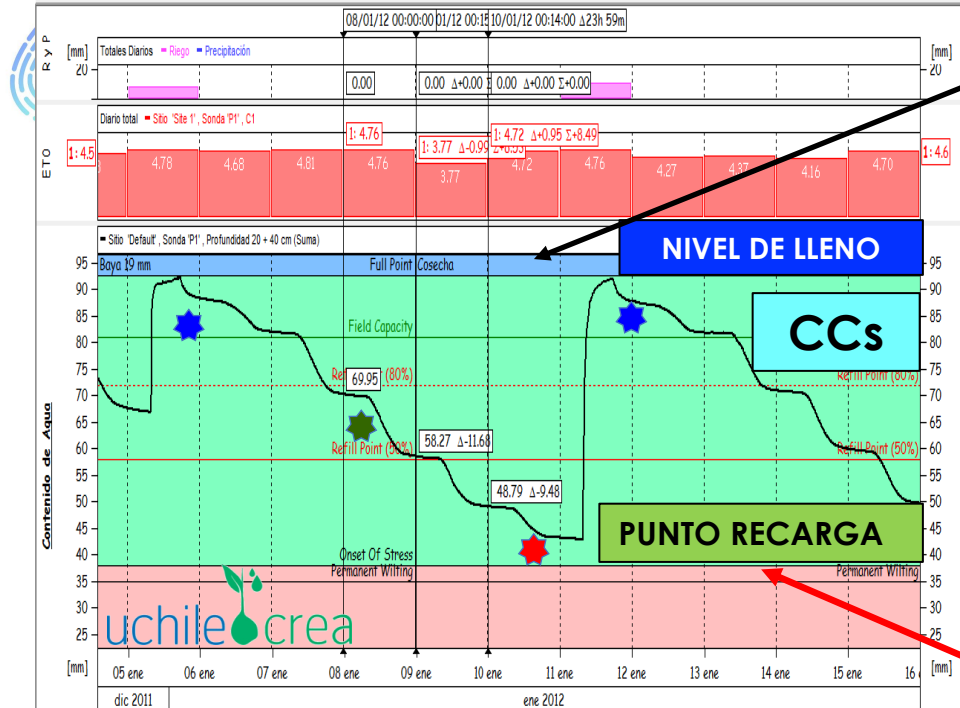
Sensibilidad al estrés

Muy sensible

Relativamente insensible

ψ del tejido que afecta al proceso

Proceso o parámetro afectado	0 MPa	- 1,0 MPa	- 2,0 MPa	Observaciones
Crecimiento celular (-)	-----	-----	-----	Tejido en crecimiento rápido
Síntesis de pared (-)	-----	-----	-----	Tejido en crecimiento rápido
Síntesis de proteínas (-)	-----	-----	-----	Hojas ahiladas
Formación de protoclorofila (-)	-----	-----	-----	
Nivel de nitrato reductasa (-)	-----	-----	-----	
Acumulación de ABA (+)	-----	-----	-----	
Nivel de citoquininas (-)	-----	-----	-----	
Abertura estomática (-)	-----	-----	-----	Depende de la especie
Asimilación de CO ₂ (-)	-----	-----	-----	Depende de la especie
Respiración (-)	-----	-----	-----	
Acumulación de prolina (+)	-----	-----	-----	
Acumulación de azúcares (+)	-----	-----	-----	



SATURACIÓN

AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE

NAP (Nivel de agotamiento permisible)

45 %

35 %

17 %

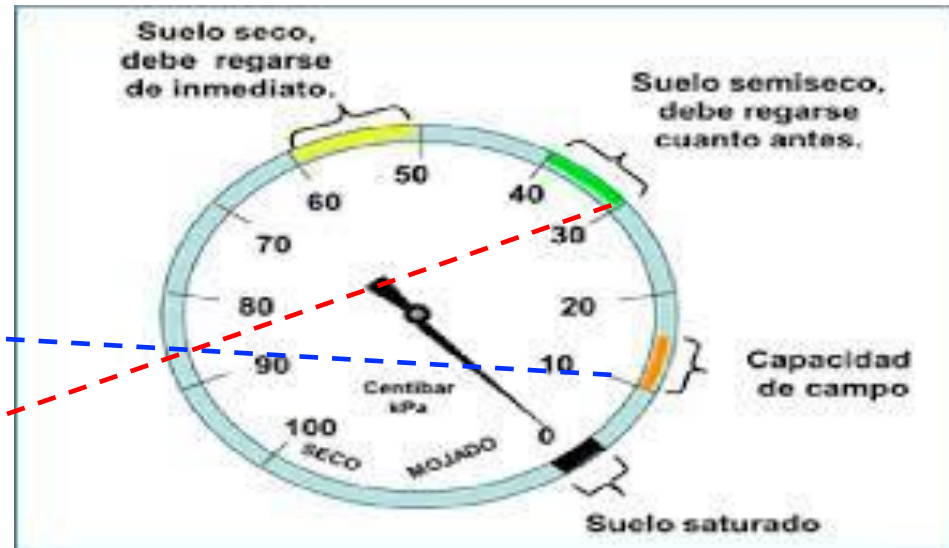
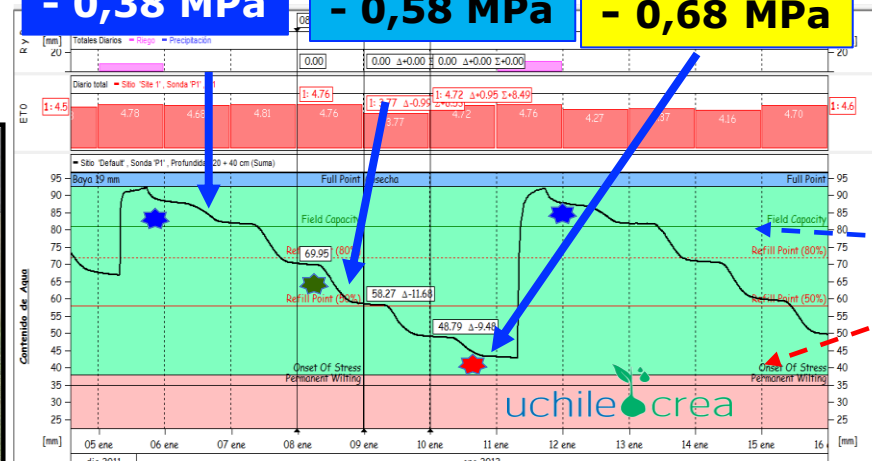
P.M.P.

- AGUA GRAVITACIONAL
- DISPONIBLE
- NO DISPONIBLE

**% HA (??)
Umbral de Riego**

Potencial Hídrico Xilemático

- 0,38 MPa - 0,58 MPa - 0,68 MPa



Tensiómetro (Intagri)



uchile crea

Universidad de Chile



HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS

Sensor de lectura discontinua TDR150 para calicatas

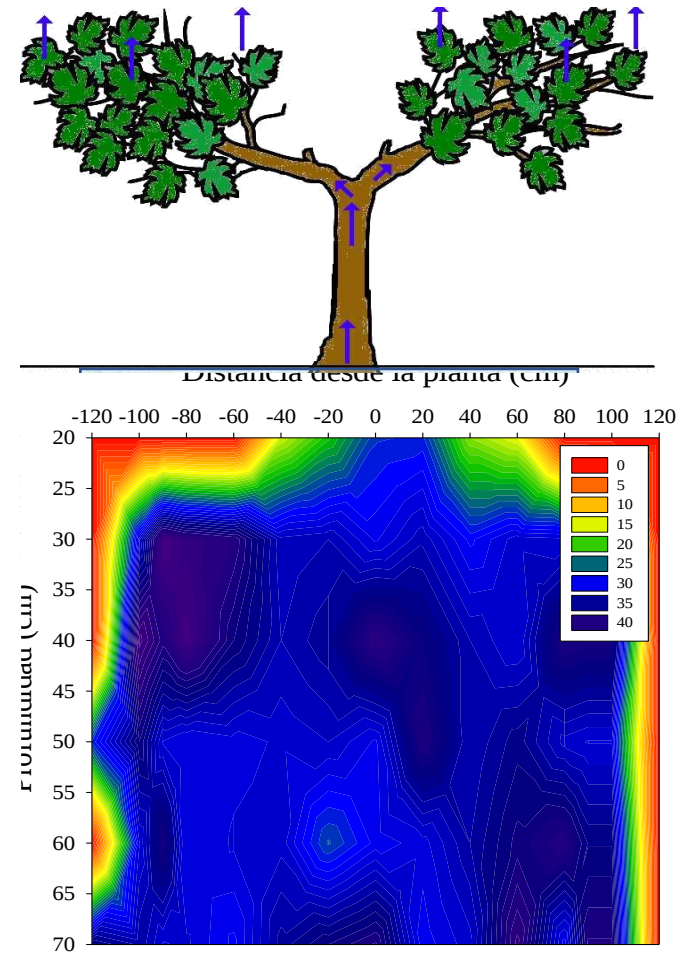


➤ Abertura lateral del bulbo de mojamiento.

➤ Determinación de micro-sectores secos.

➤ Sales en el bulbo de mojamiento.

➤ Mediciones desde la superficie.

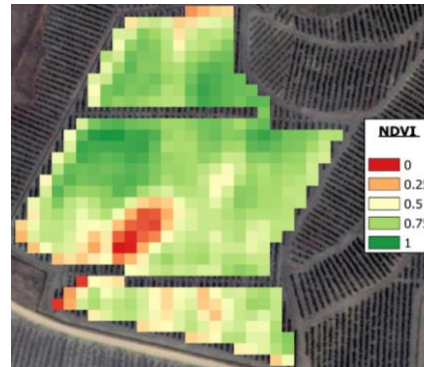
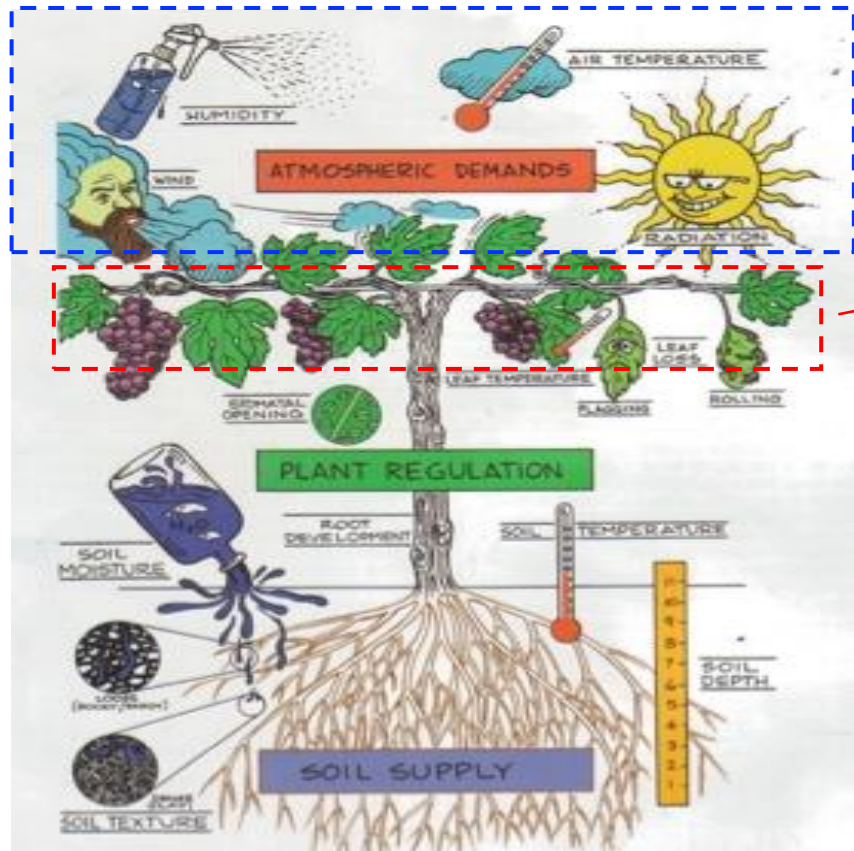


HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS

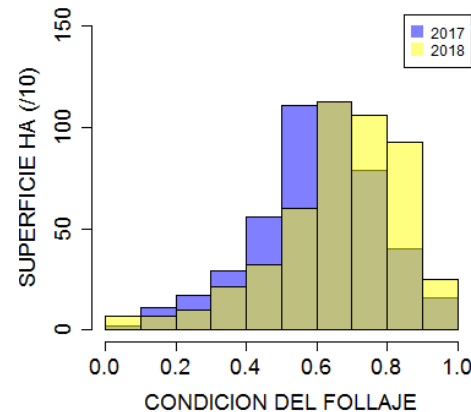
(Aproximación clima)

$$ET_c = E_{To} \times K_c$$

Modelo



2017 v/s 2018

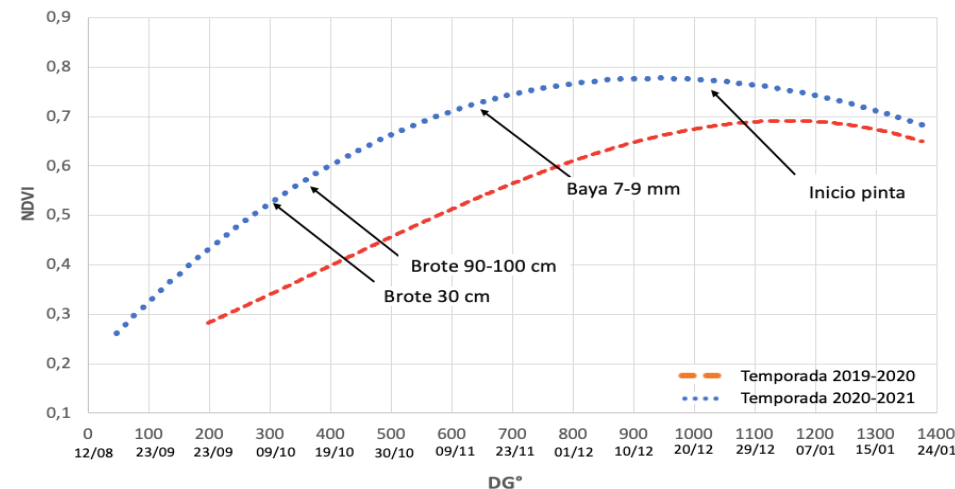


ÍNDICE DE VIGOR (NDVI)

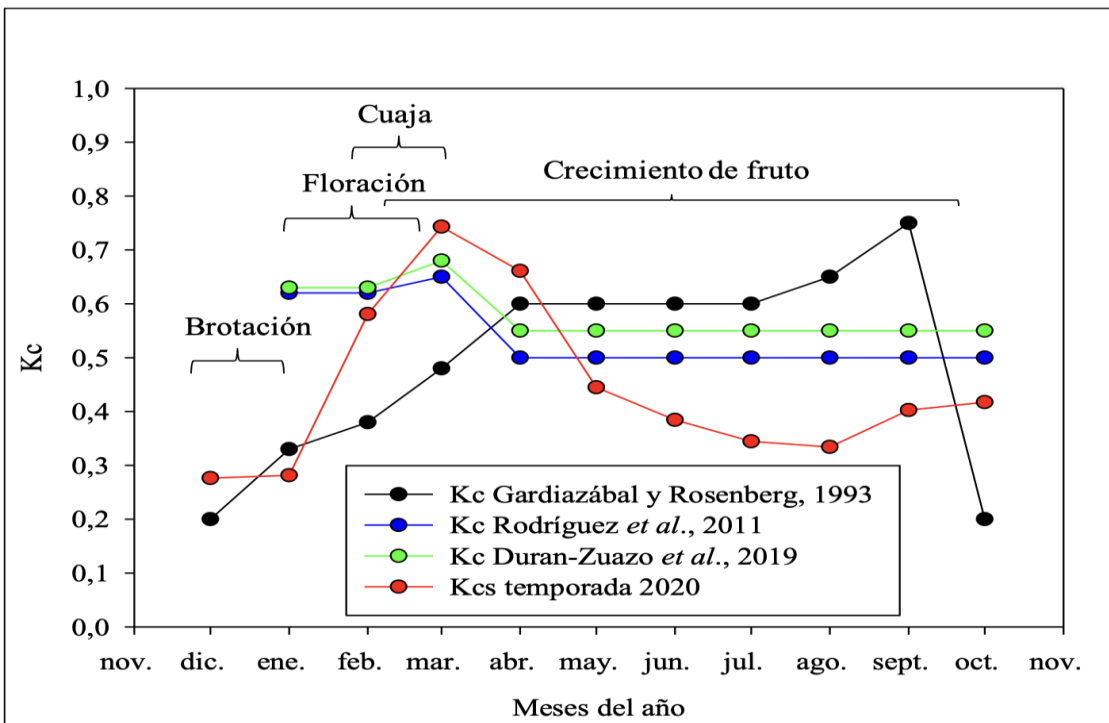
Imágenes satelitales

SEGUIMIENTO TEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE VIGOR

CONTROL DEL POTENCIAL PRODUCTIVO



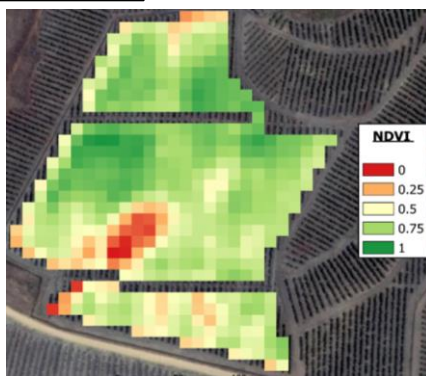
Aproximación clima



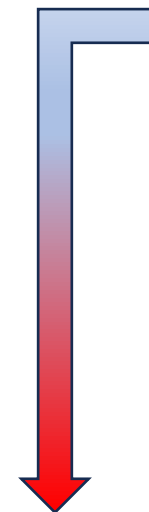
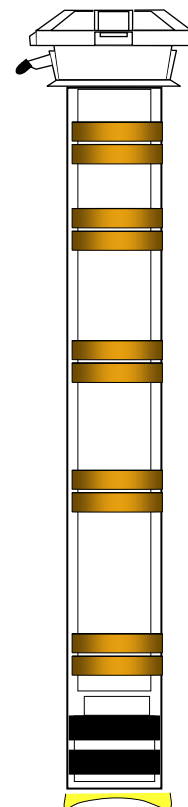
$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Modelo

ÍNDICE DE VIGOR (NDVI)
 Imágenes satelitales



Aproximación planta

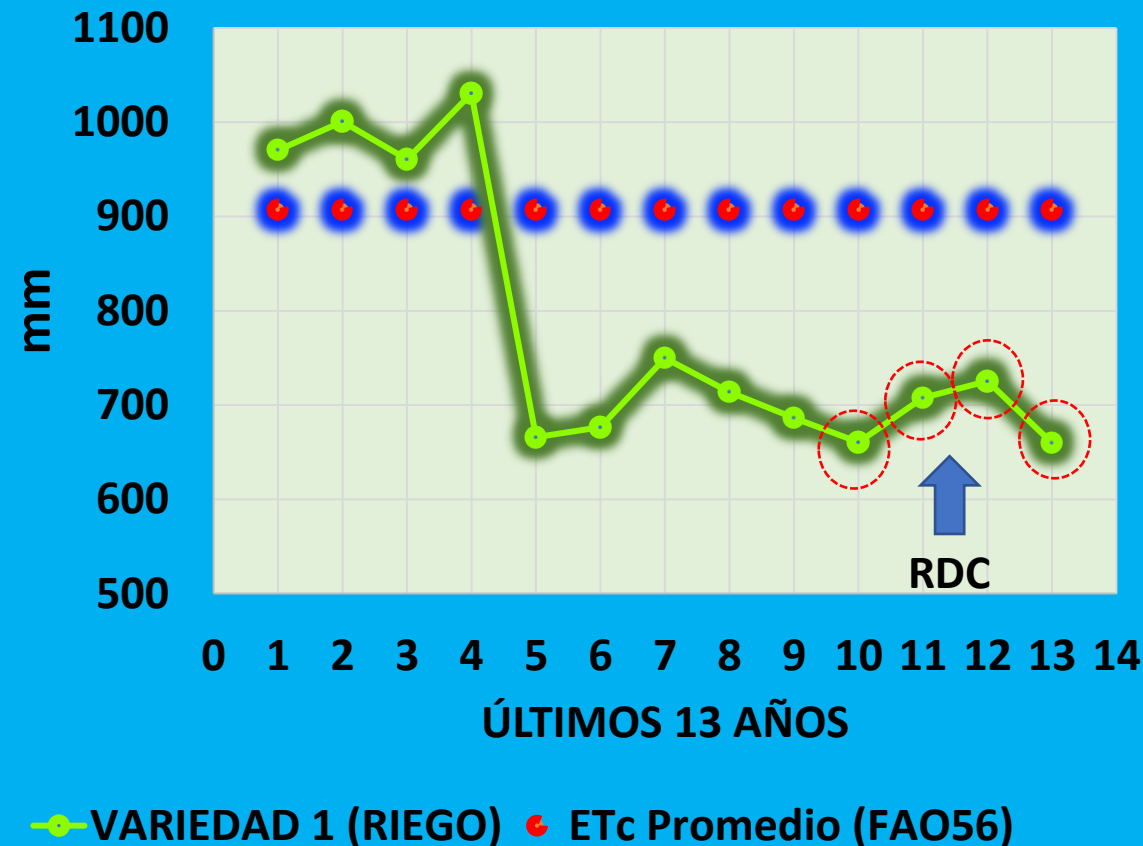


Estudio de caso 1 de riego inteligente (Vid de Mesa).

ÍNDICE PONDERADO
(Rendimiento, Calibres, Precio)
(% respecto del menor año)



VARIEDAD 1 **RIEGO**



❏ Estudio de caso 2 y 3 de riego inteligente (Nuevas variedades)

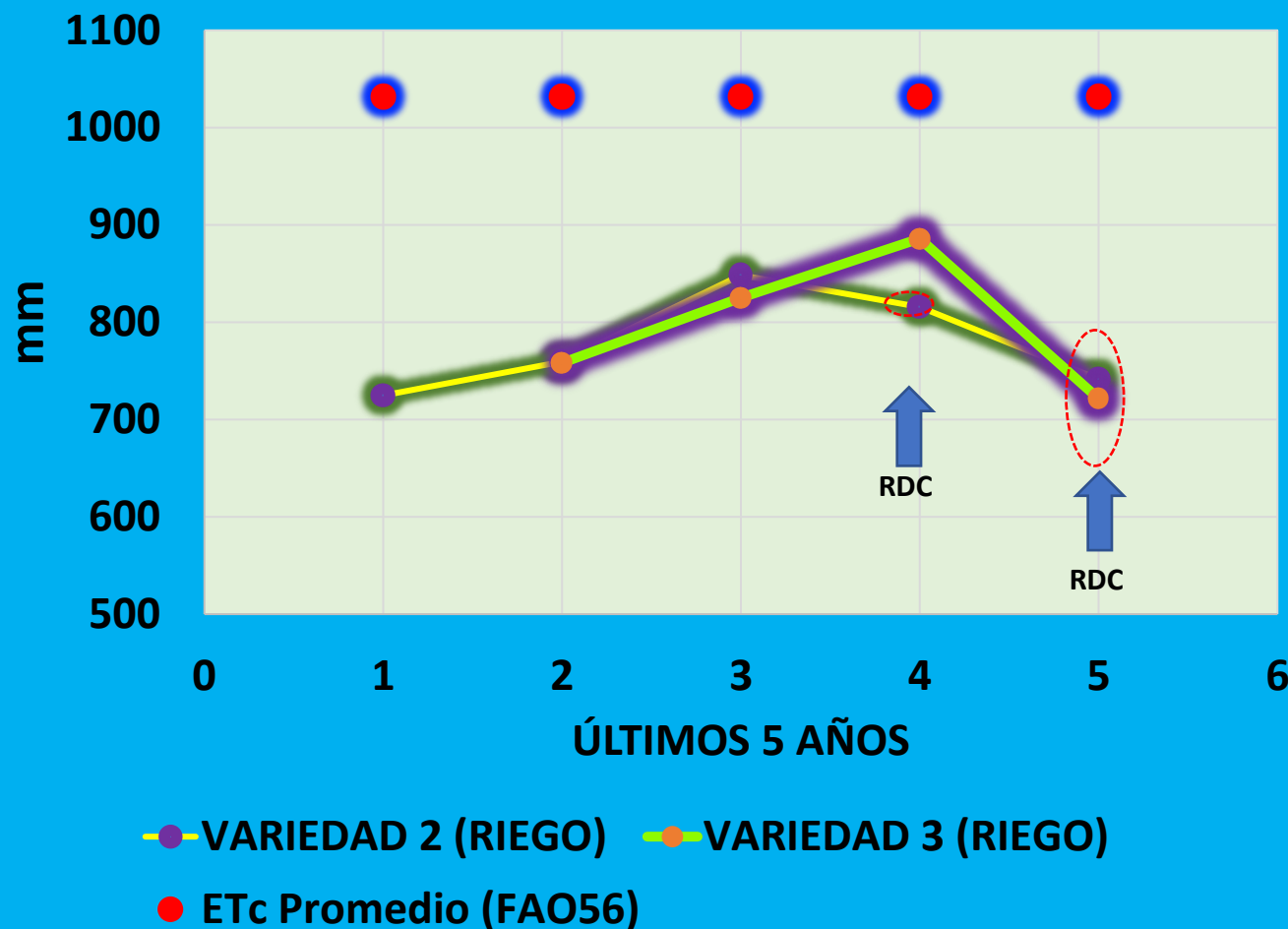
VAR. 2 ÍNDICE PONDERADO
 (Rendimiento, Calibres, Precio)
 (% respecto del menor año)



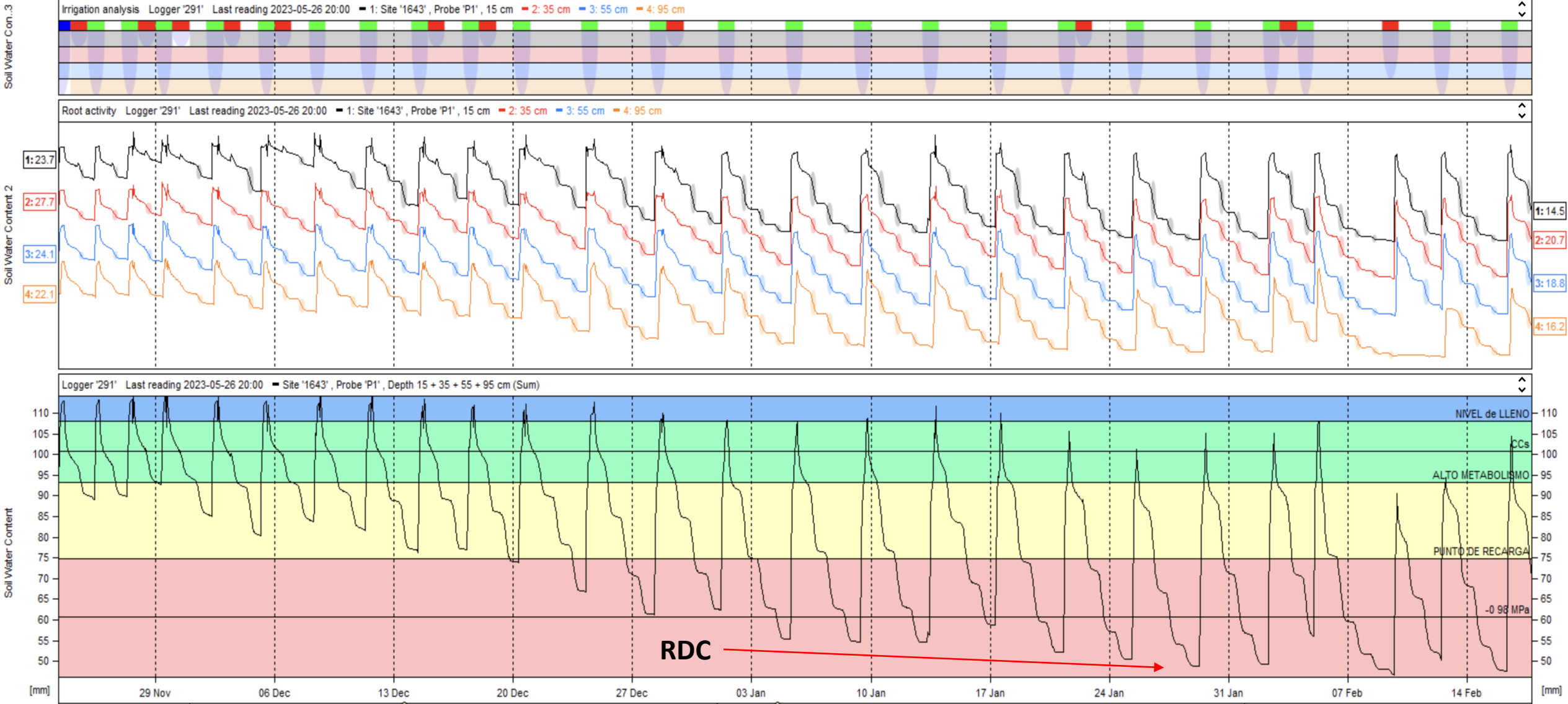
VAR 3 ÍNDICE PONDERADO
 (Rendimiento, Calibres, Precio)
 (% respecto del año 2020)



VARIEDADES 2 y 3 **RIEGO**

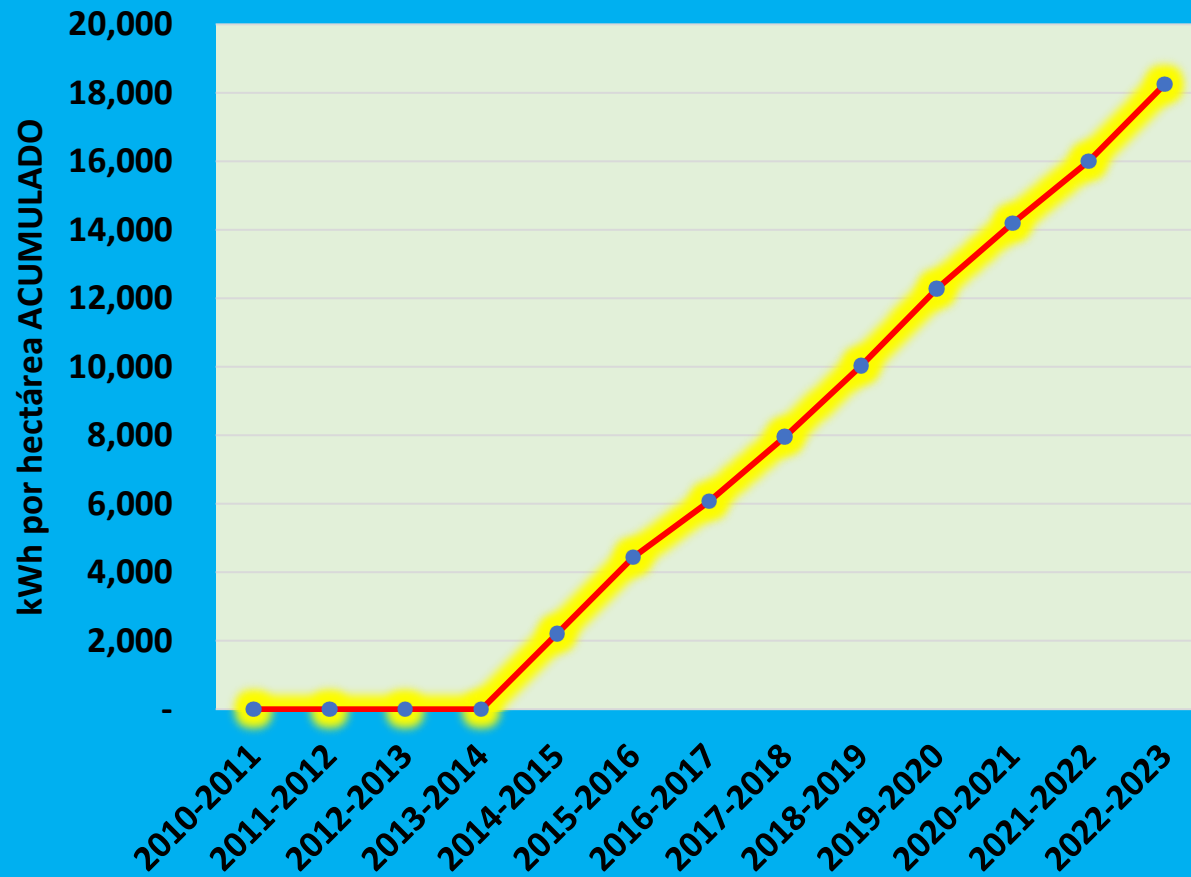


Ejemplo de la gestión del riego utilizados: Variedad 2

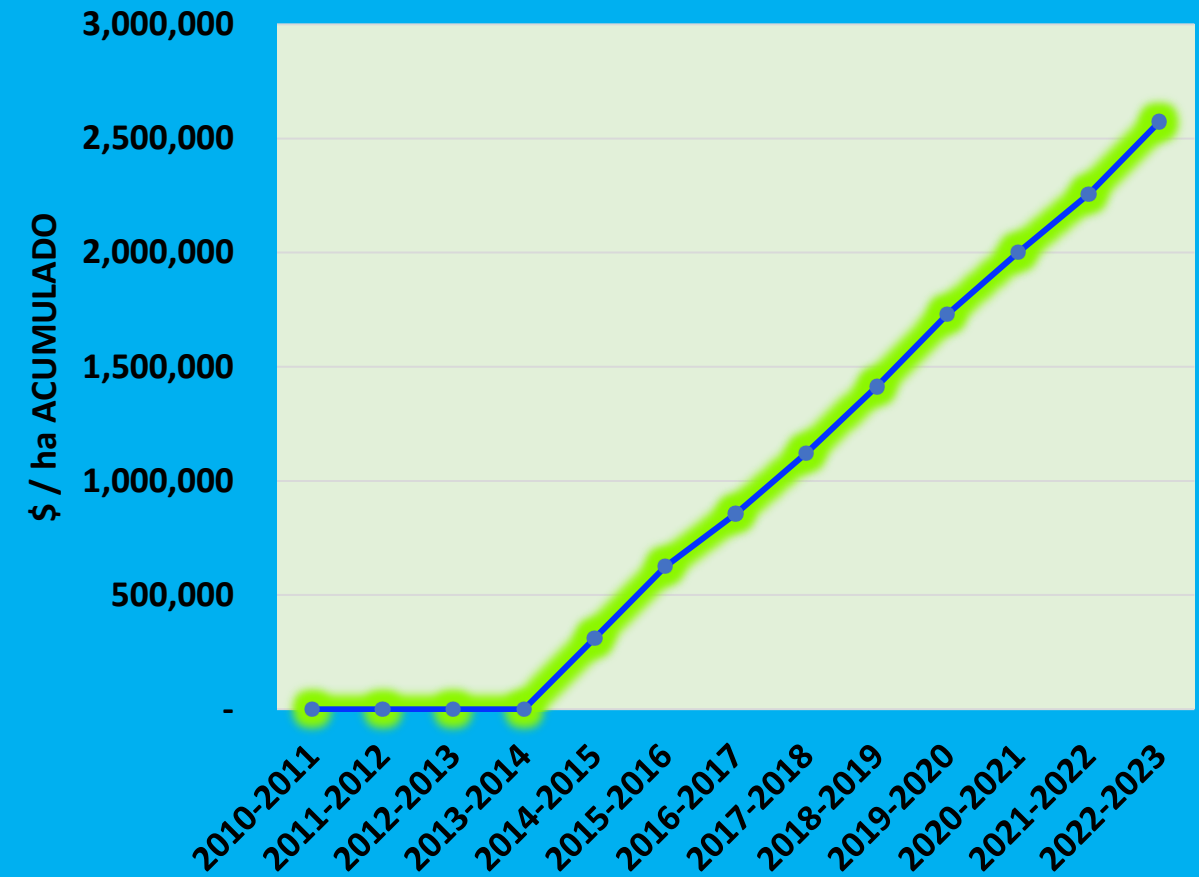


AHORRO Y VALORIZACIÓN

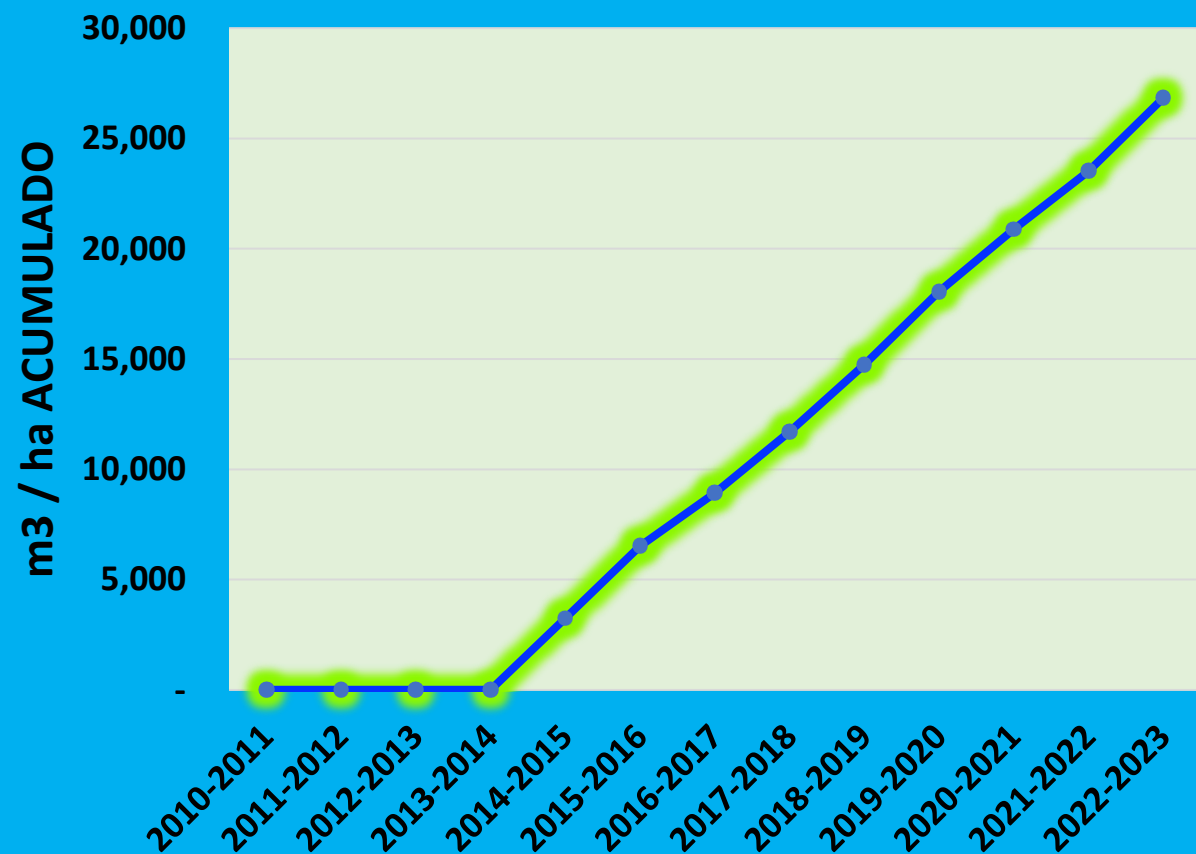
AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



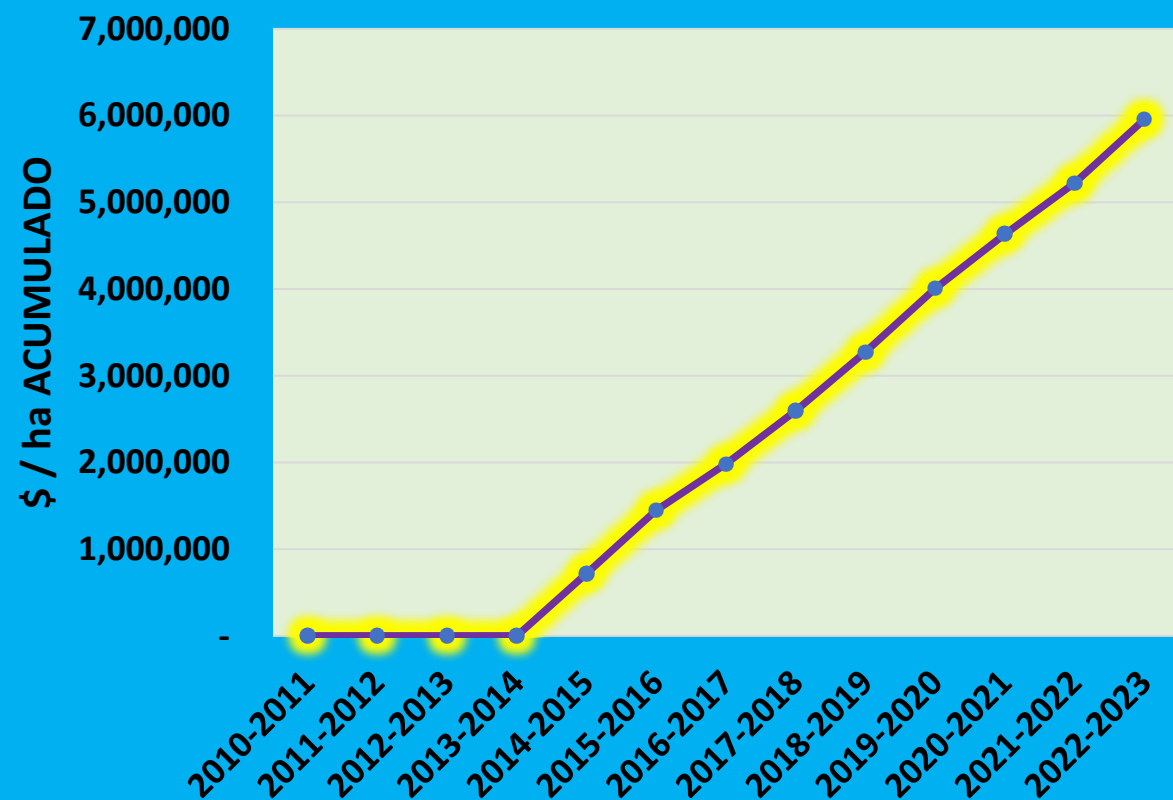
VALORIZACIÓN AHORRO EN ENERGÍA ELÉCTRICA



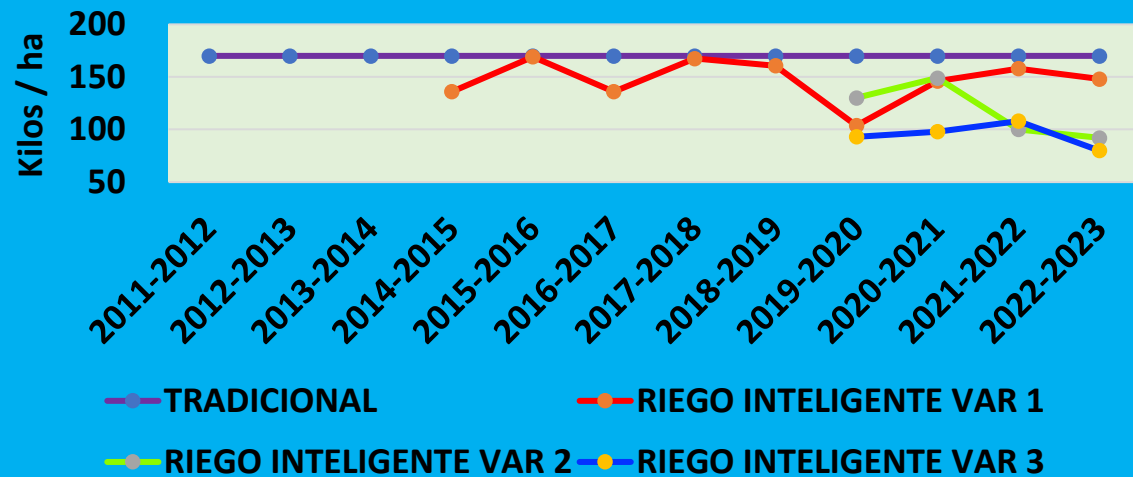
AHORRO DE AGUA DE RIEGO



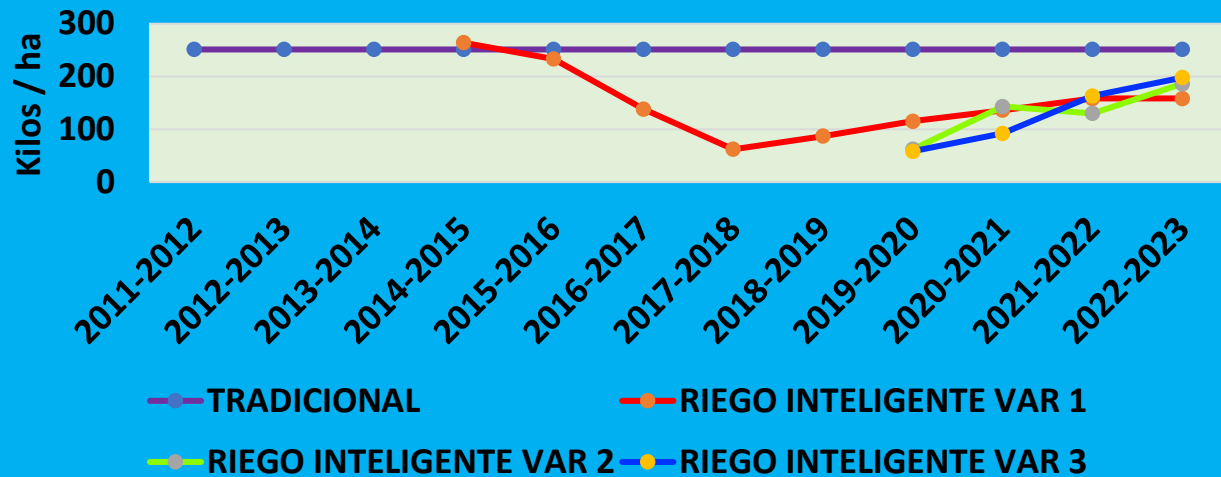
VALORIZACIÓN DEL AGUA AHORRADA POR HECTÁREA



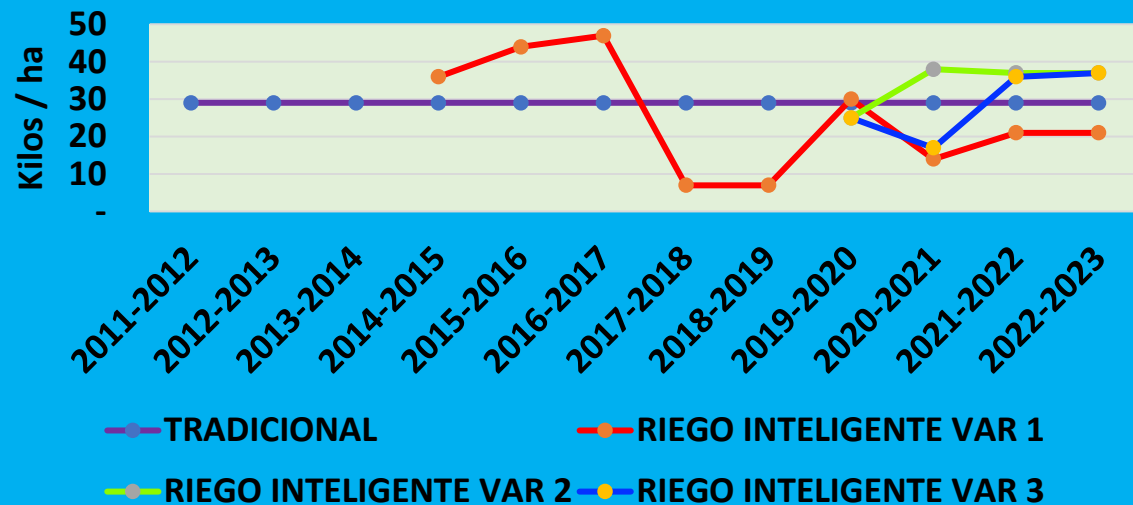
CONSUMO N / ha



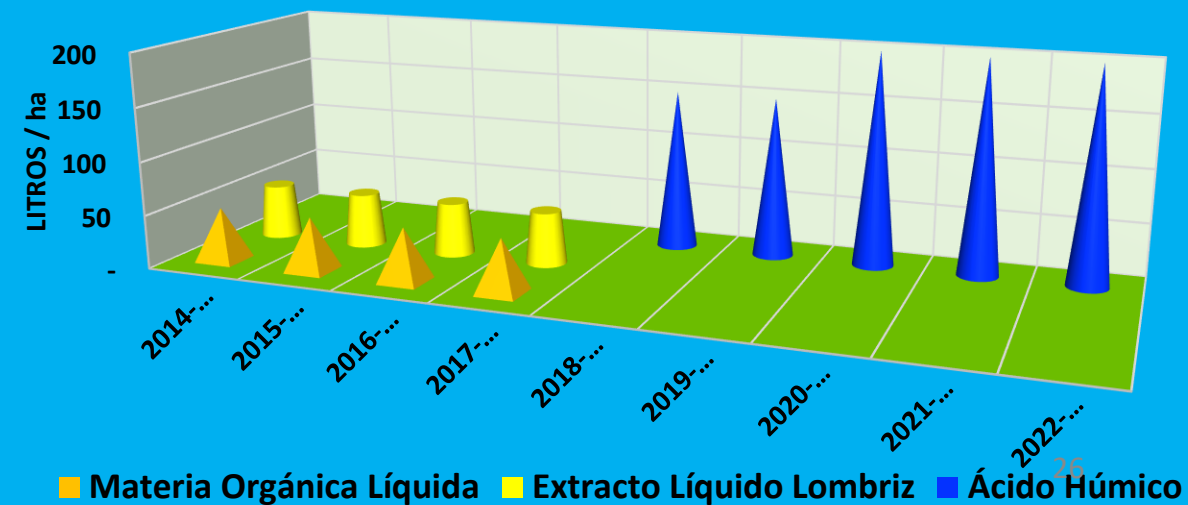
CONSUMO K / ha



CONSUMO P / ha



MATERIA ORGÁNICA LÍQUIDA



En resumen, el Riego Inteligente permite:

TOMA DE DECISIONES CON DATOS

(*data driven decision making*)

INGRESOS EXTRAS POR GESTIÓN DE LOS AHORROS:

- Agua de riego.
- Energía eléctrica.
- Fertilizantes.

INGRESOS EXTRAS POR:

- Mayores rendimiento.
- Mejor calidad producto.
- Mejor calidad del huerto.

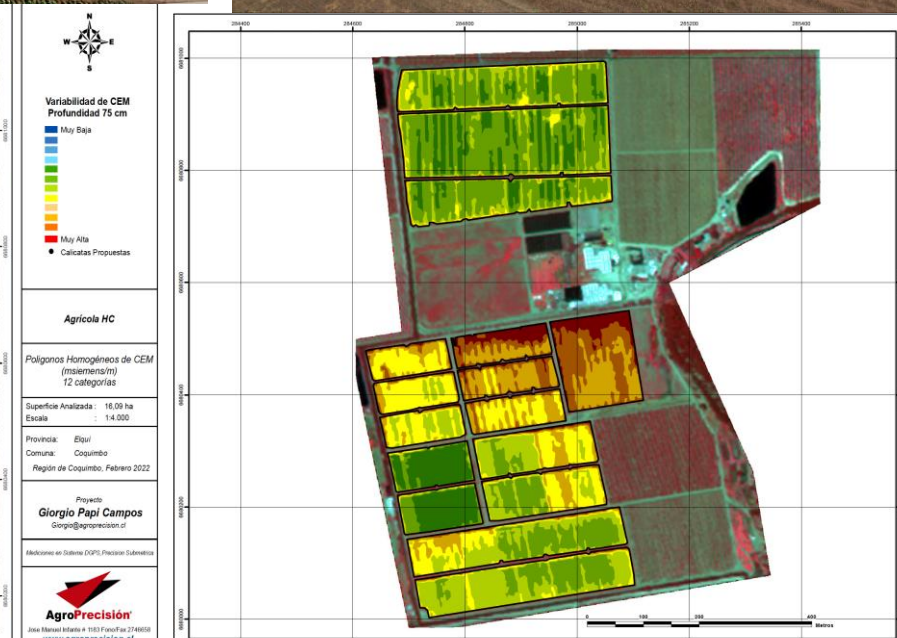
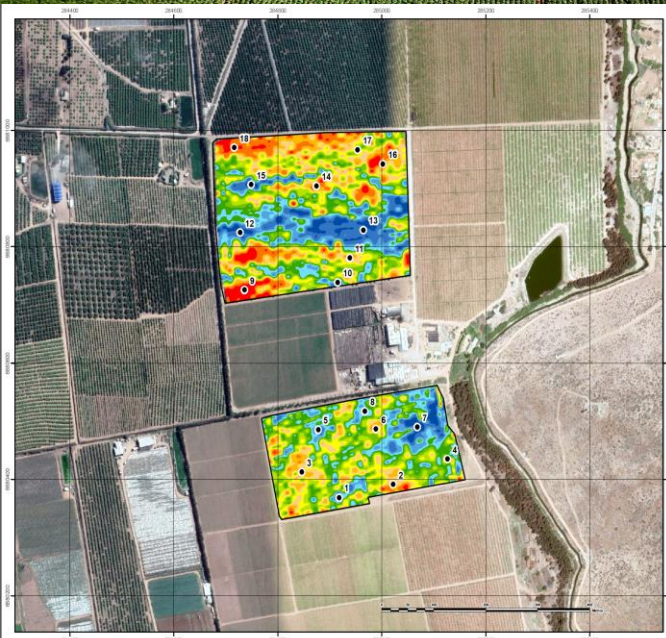
- Ahorro de agua de riego.
- Asegurar la producción de alimento.
- Asegurar la cadena de valor de la fruticultura.



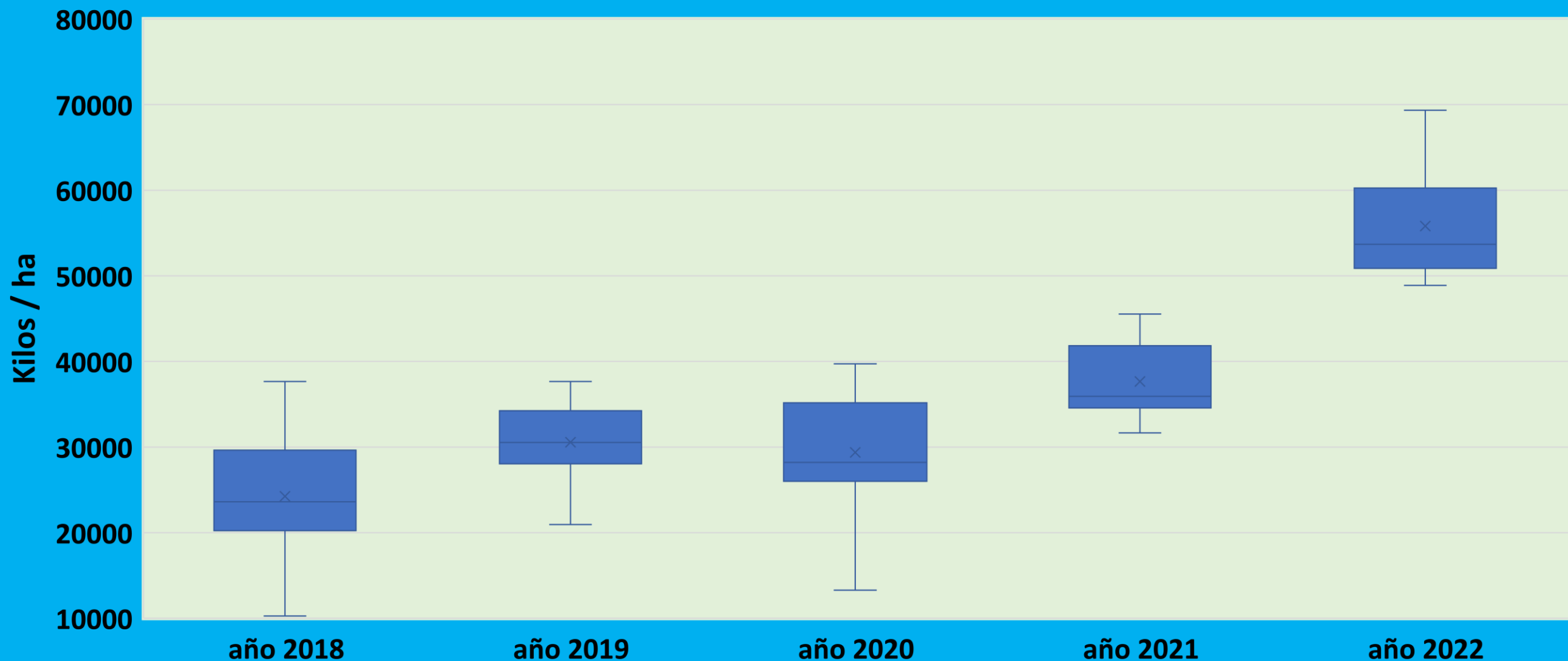
- Menor percolación profunda (lavado y contaminación).
- Mejor equilibrio agua y oxígeno en bulbo de mojamiento (biota del suelo, raíces).
- Secuestro de CO_2 ²⁷

Estudio de caso 4: Riego Inteligente en papas para agroindustria

DE LA EXPERIENCIA DE LA FRUTICULTURA A LOS CULTIVOS

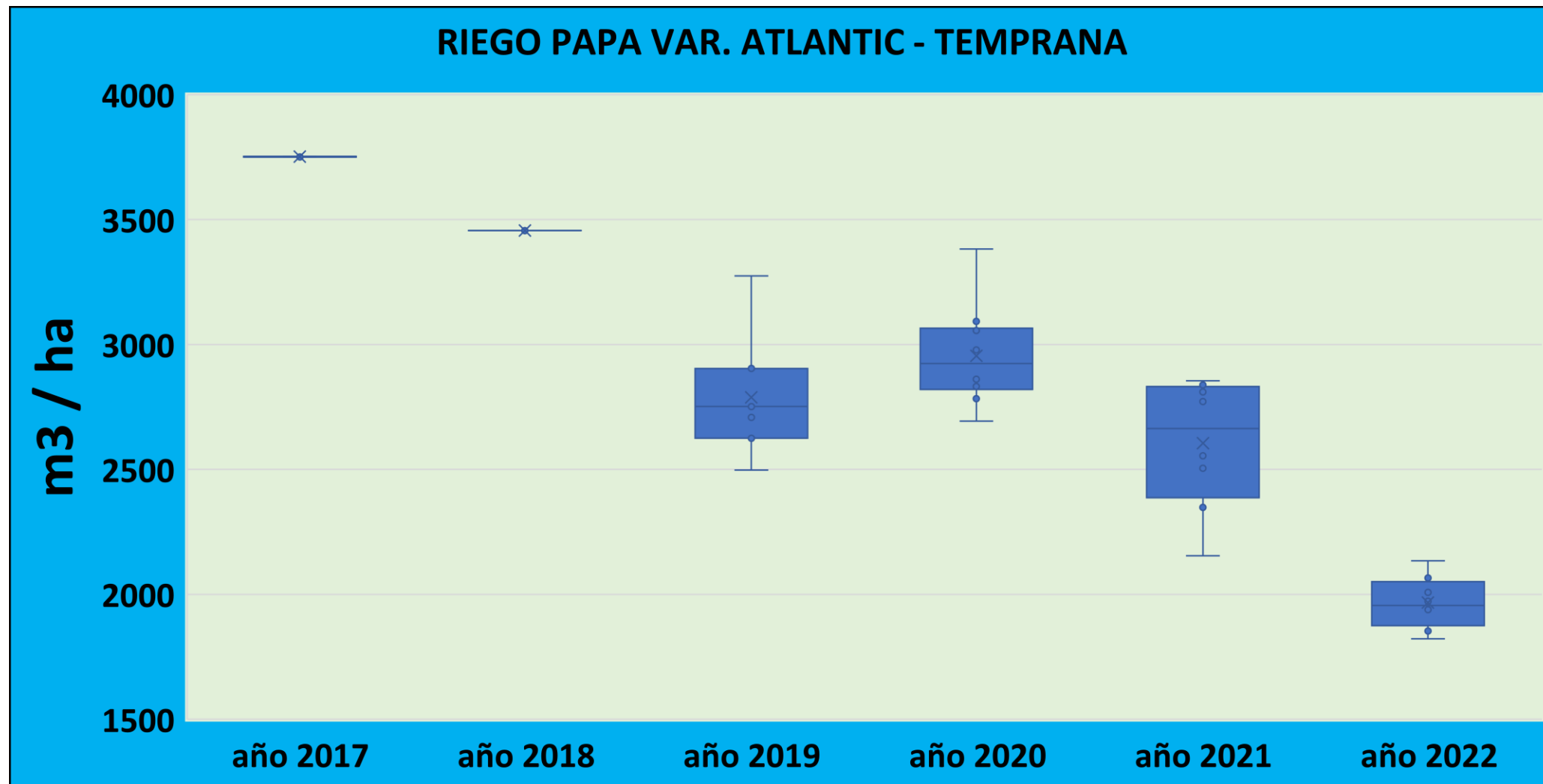


RENDIMIENTO PAPA VAR. ATLANTIC - TEMPRANA



Antes del 2017

Entre 5.500 a 7.000 m³/ha



Gestión del riego durante el cultivo

Inicio Campos Corazón de María Papas Sondas Gestión de Riego Fertirriego Papas

Gráfico Editar Registrador 44.4 días

T° Suelo

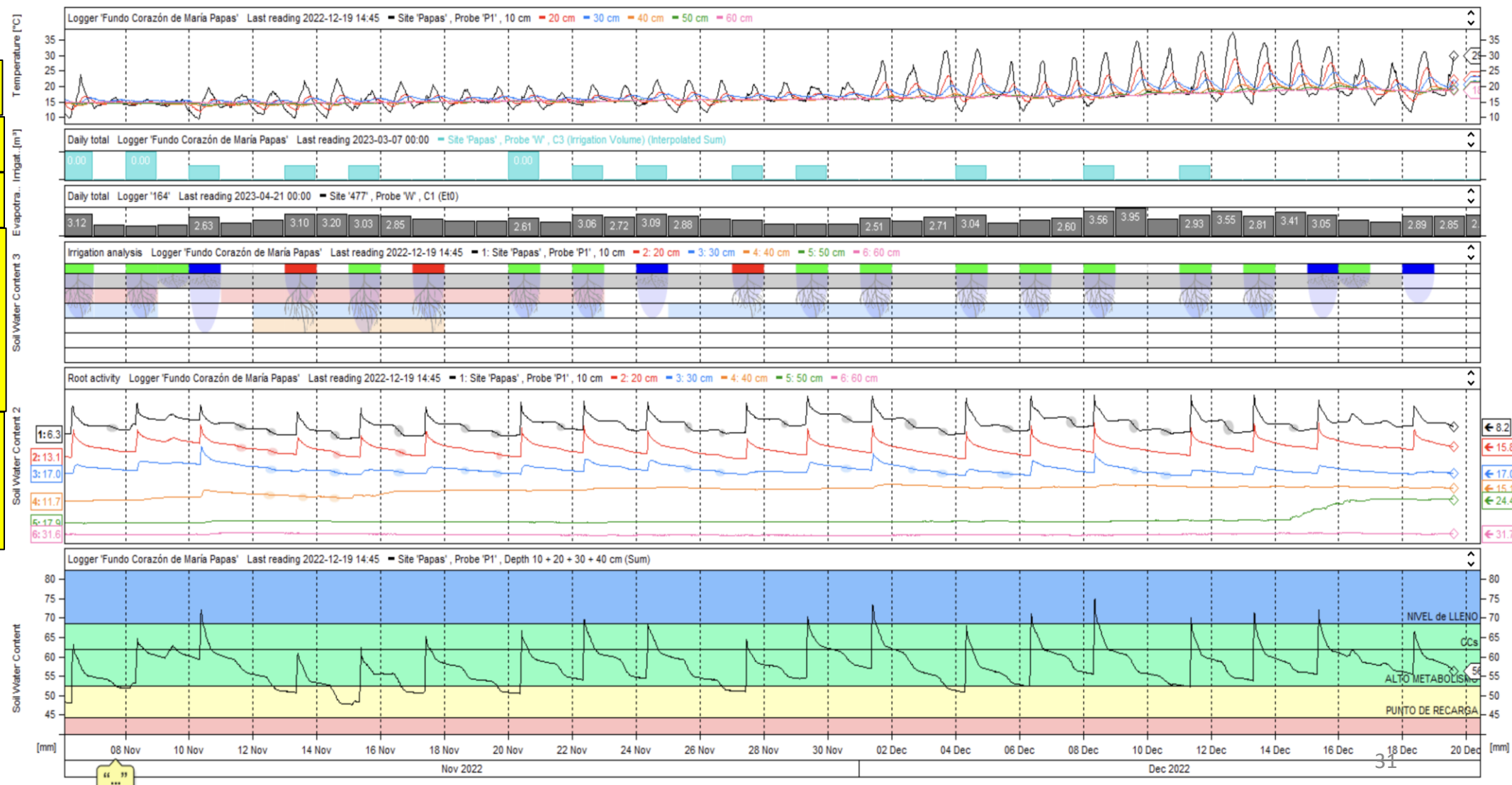
Caudalímetro

ET_o

Gestión del riego
Frente de mojamiento,
actividad de raíces,
exceso, óptimo o falta
de riego

APILADO: todos
los sensores.
Tiempo de riego

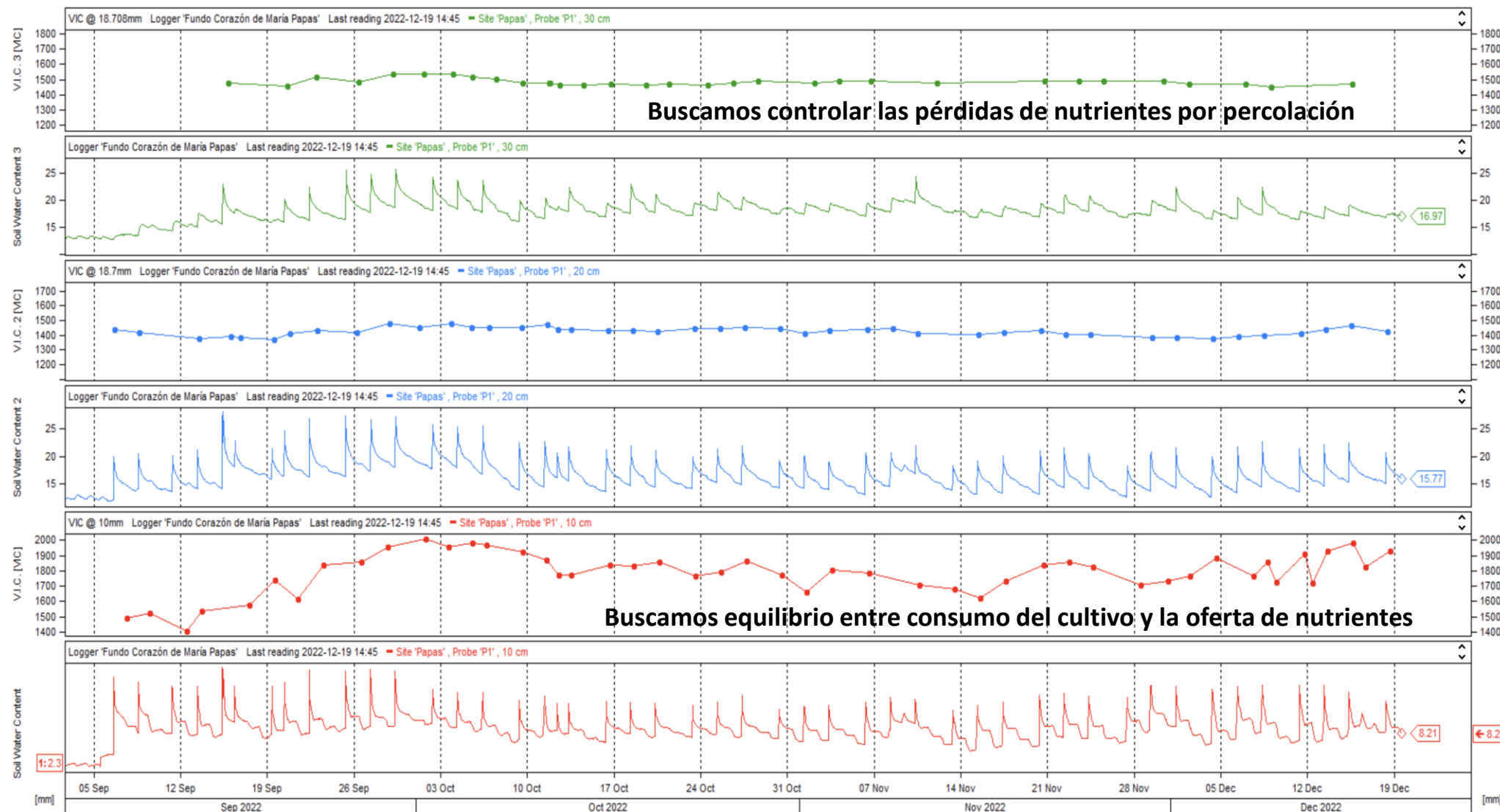
SUMADO:
Frecuencia de
riego.



Control de la concentración del volumen iónico (VIC) usando Sonda TriSkan

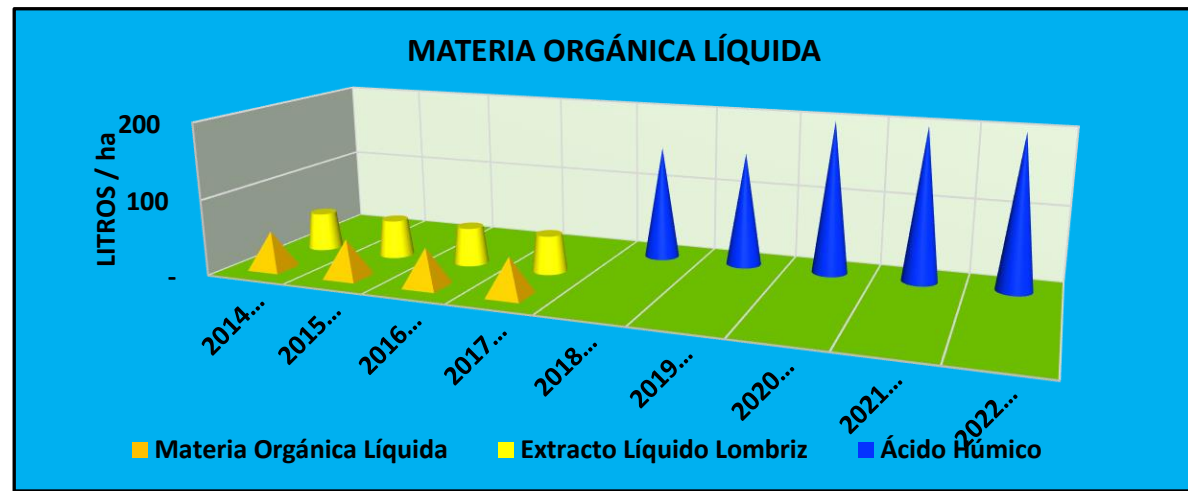
Inicio Campos Corazón de María Papas Sondas Gestión de Riego VIC, fertirrigación

Gráfico Editar Registrador Todo

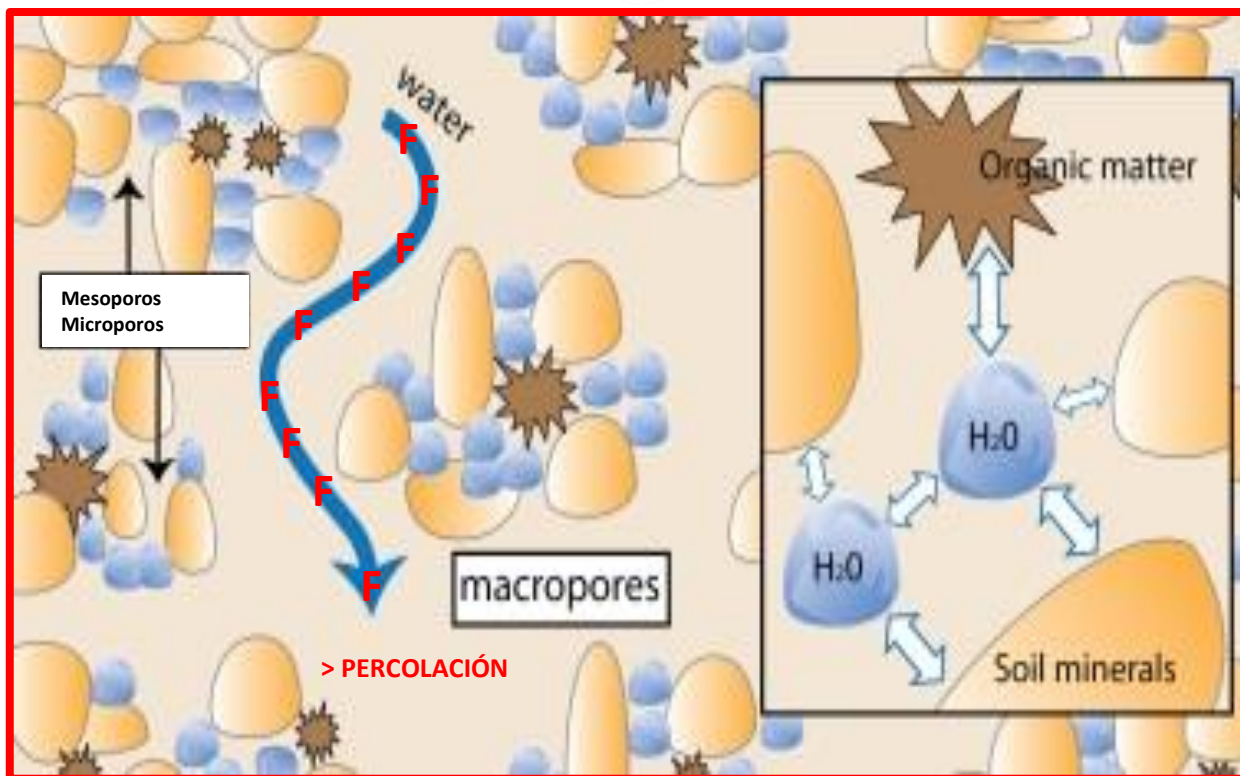


SUSTENTABILIDAD en el manejo de la fertilización

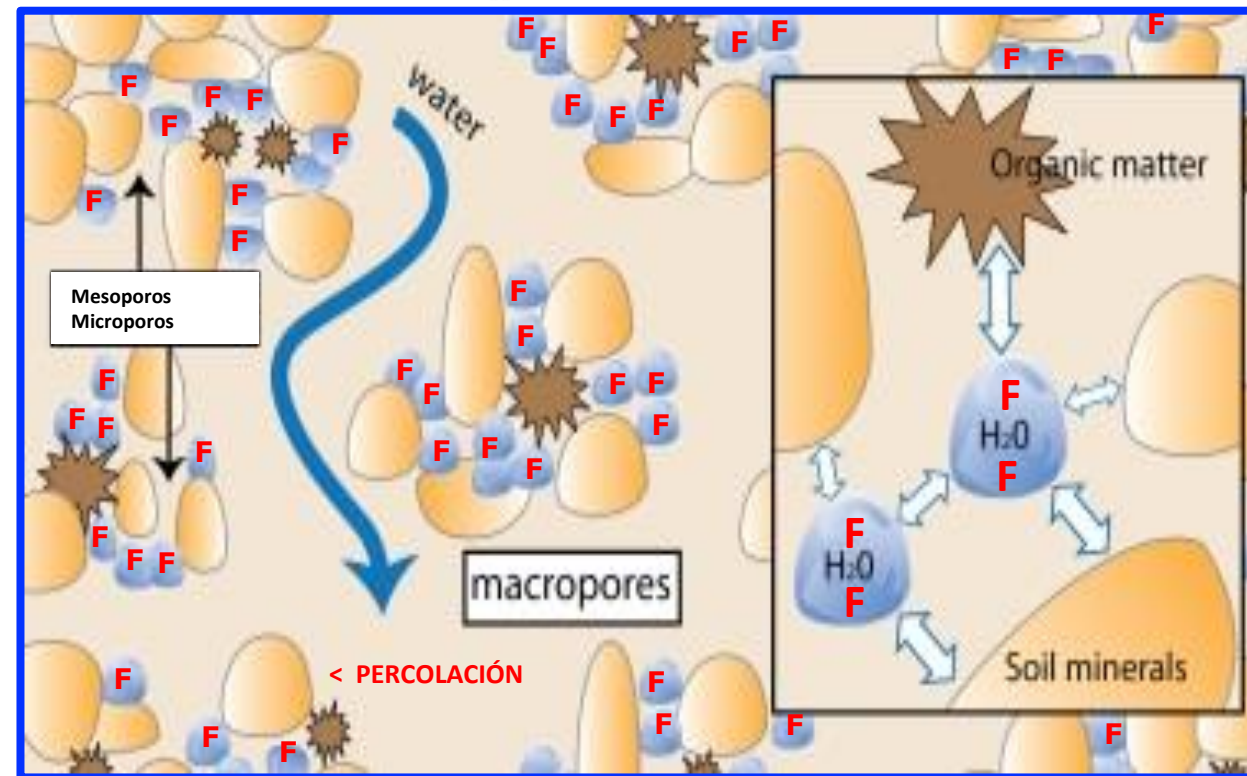
			N	P	K
2018		Siembra	136	69	133
		Cultivo	95	35	159
		Total	231	104	292
2019		Siembra	85	43	83
		Cultivo	95	35	159
		Total	180	78	242
2020		Siembra	47	15	90
	FORTALECER FERTIRRIGACIÓN	Cultivo	188	45	270
		Total	235	60	360
2021		Siembra	22	8,8	90
	FORTALECER FERTIRRIGACIÓN	Cultivo	188	45	270
		Total	210	54	360
2022		Siembra	0	0	0
	TODO FERTIRRIGACIÓN	Cultivo	224	32	257
		Total	224	32	257
2023		Siembra	0	0	0
	TODO FERTIRRIGACIÓN	Cultivo	179,2	25,6	205,6
		Total	179,2	25,6	205,6



FERTIRRIGACIÓN CON MESOPOROS DE ZONA DE RAÍCES (SUPERFICIALES) SATURADOS

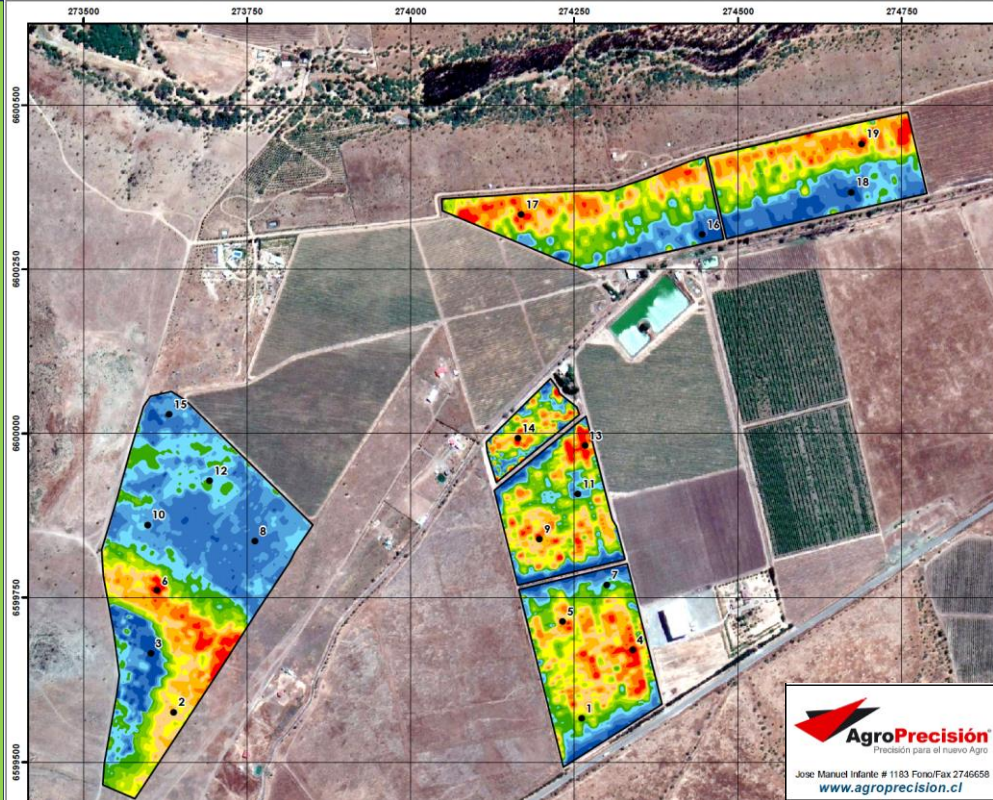


FERTIRRIGACIÓN AL INICIO DEL RIEGO: MESOPOROS DE ZONA DE RAÍCES (SUPERFICIALES) CON NUTRIENTES



NUEVOS DESAFÍOS A LOS SISTEMAS TRADICIONALES

Manejos especiales
(orgánico)



SUSTENTABILIDAD Y MANEJO REGENERATIVO

Nuevos modelos
Nuevas estrategias



EL GRAN DESAFÍO DE LA ESCALA

PEQUEÑOS PRODUCTORES -
Agricultura Familiar Campesina



AGRADECIMIENTO:
*CORES y Gobiernos Regionales de Atacama,
Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins.*

FORTALECER LA FORMACIÓN DE COOPERATIVAS TECNOLÓGICAS

IoT (Internet de las Cosas), Digitalización

UCHILEGESTOR

INICIO

NOSOTROS

HERRAMIENTAS

INNOVACIÓN

CAPACITACIÓN

VIDEOTUTORIALES

INGRESAR

Plataforma diseñada para gestionar el riego y fertilización de pequeños productores

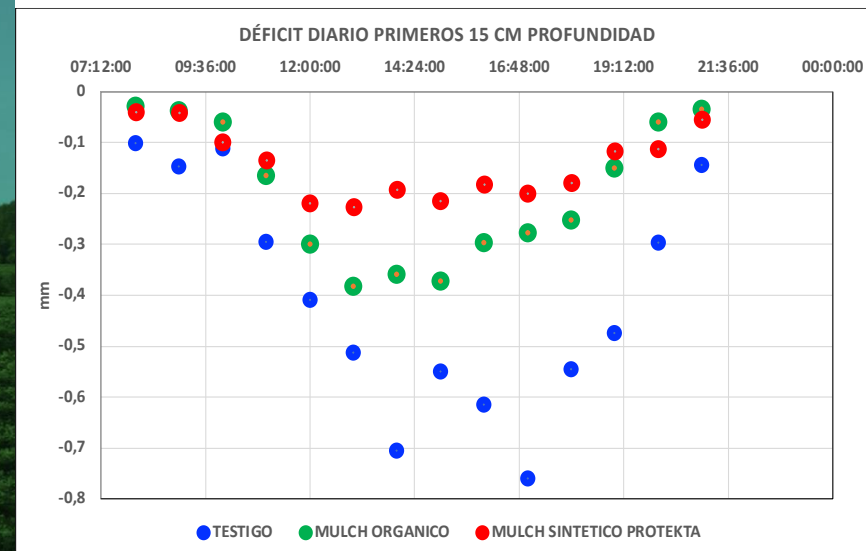
Cooperativa Tecnológica Productores Capel

PROBAR AHORA



Fundación para la Innovación Agraria

TRABAJO EN CONJUNTO CON LA FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA (FIA)



NUESTROS SOCIOS

El internet de las cosas como herramienta para enfrentar la sequía provocada por el cambio climático en la producción de uva para pisco

The internet of things as a tool to confront the drought caused by climate change in the grape production for pisco

Rodrigo H. Callejas ^{1*}, Rolando Saavedra ², Oscar Seguel ¹, Chris Bustamante ², David Camilla ²



Recibido: 2
 Aceptado: 2



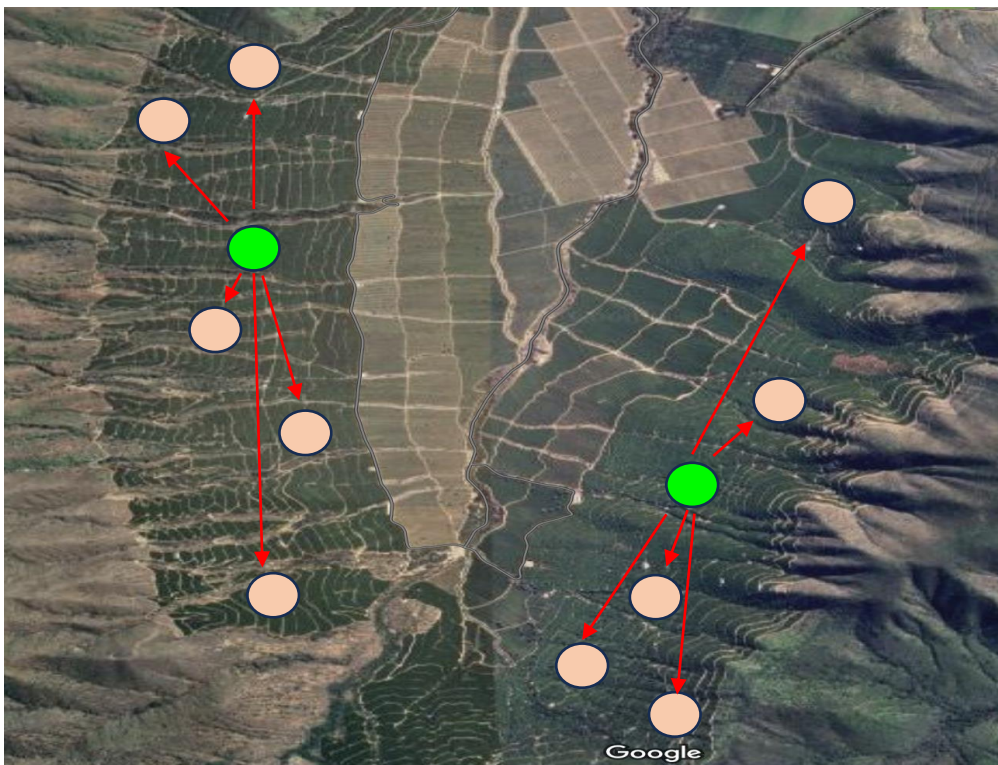
EL GRAN DESAFÍO DE LA ESCALA

GRANDES SUPERFICIES



BASES PARA EL CLUSTERING

MODELACIÓN (algoritmos, funciones)



BLOQUE GUÍA

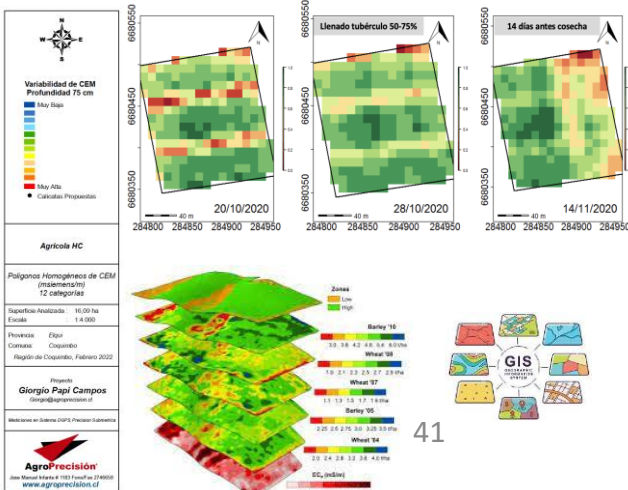
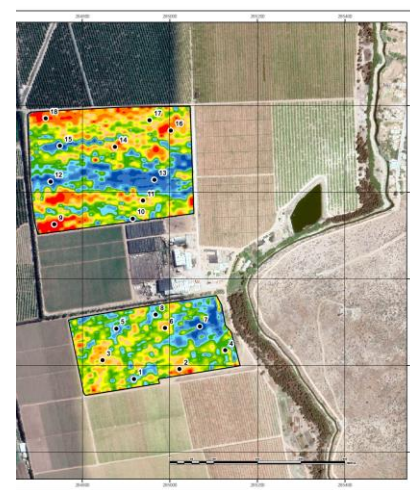
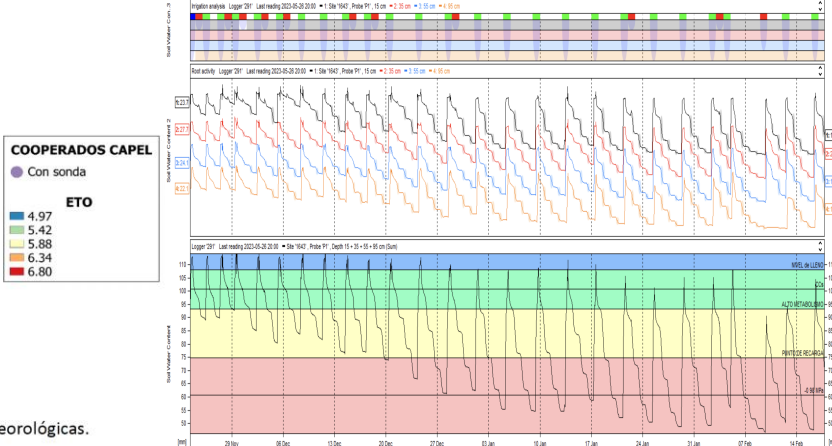
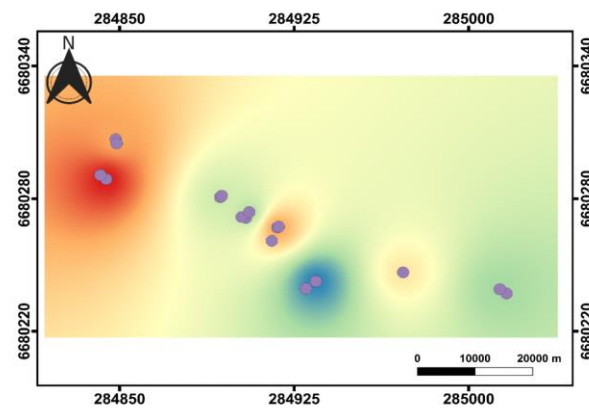
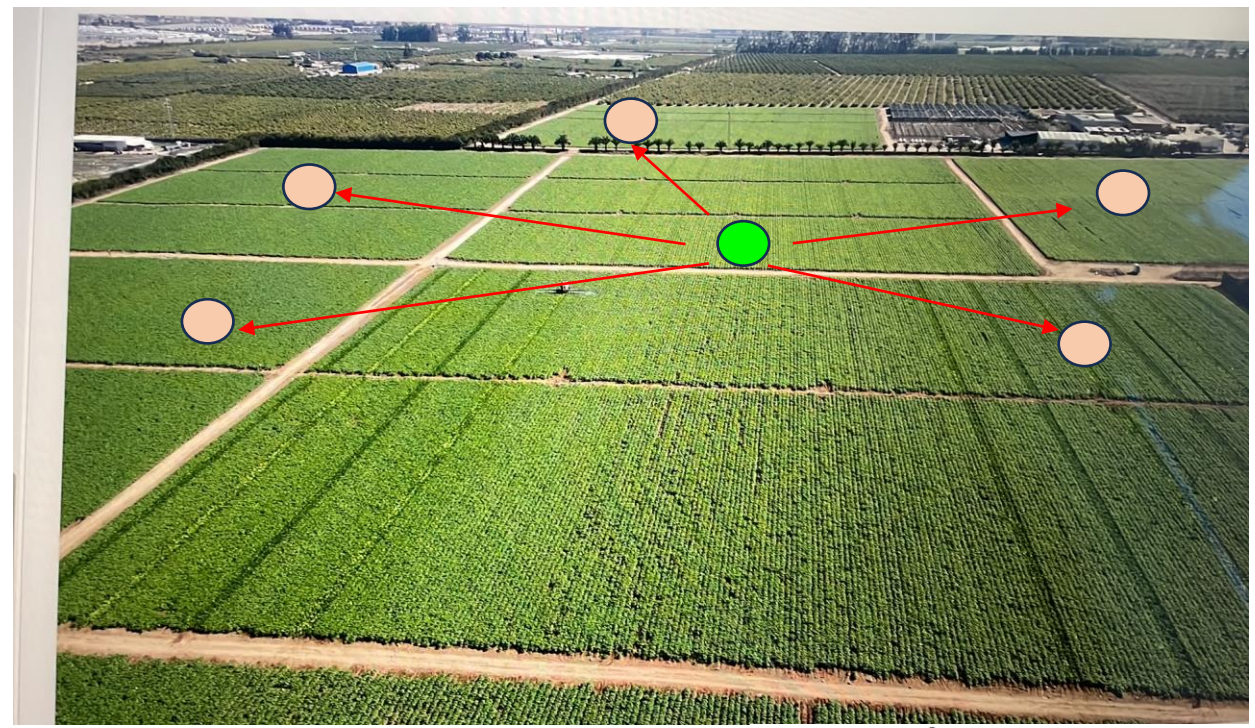


Imagen 2. Mapa de ETo en el valle de Choapa obtenido desde estaciones meteorológicas.

RESUMEN TEMPORADA

RIEGO EFECTIVO (Calicata)	13.889	m3/ha
RIEGO SEGÚN ET _c	11.456	m3/ha
RIEGO INTELIGENTE (80% ET _c)	9.165	m3/ha

AHORROS ANUAL DE AGUA DE RIEGO

RIEGO INTELIGENTE VERSUS:

RIEGO EFECTIVO (Calicata)	4.724	m3/ha
RIEGO SEGÚN ET _c	2.291	m3/ha



ESTIMACIÓN AHORROS \$ / Hectárea

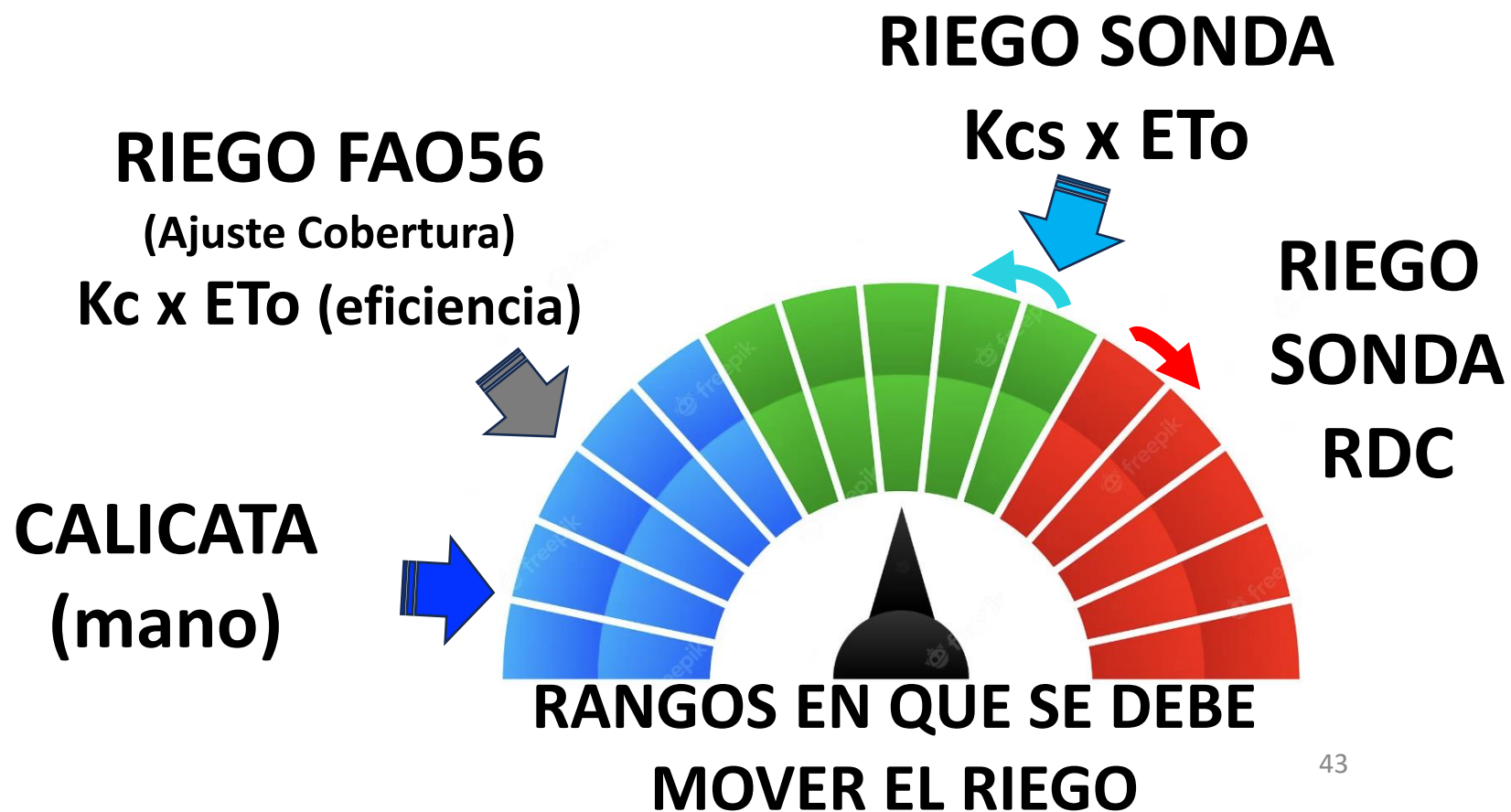
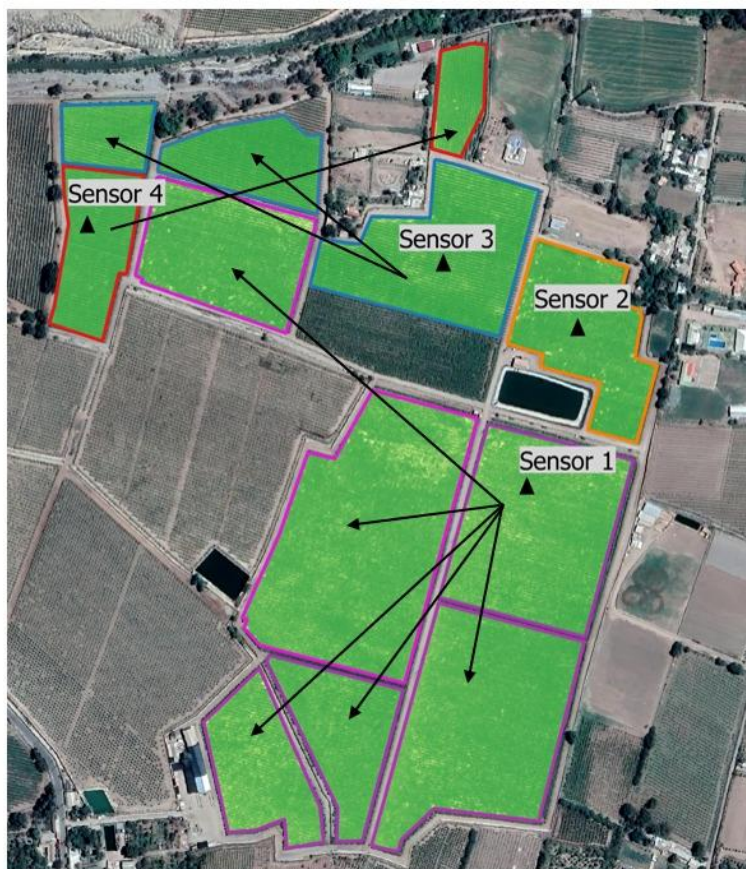
En Energía Eléctrica (\$ 200 / m3 remobilizado a gotero)

ESTIMACIÓN AHORROS \$ / Hectárea			SUPERFICIE (ha)					
			50	100	200	400	800	1600
RIEGO EFECTIVO (Calicata)	\$	944.840	47.242.000	94.484.000	188.968.000	377.936.000	755.872.000	1.511.744.000
RIEGO SEGÚN ET _c	\$	458.240	22.912.000	45.824.000	91.648.000	183.296.000	366.592.000	733.184.000

Kcs: GESTIÓN DEL RIEGO USANDO EL COEFICIENTE DE CULTIVO SONDA **TOMA DE DECISIONES CON DATOS** (data driven decision making)

$$\text{Kcs} = \frac{\text{Riego Sonda}}{\text{ETo}}$$

Este Kcs puede ser definido para la temporada, meses, semanas, días o etapas fenológicas de interés comercial.





uchile  crea

Aqua-LAC Volumen 13 (1) Septiembre 2020 - Marzo 2021

doi: 10.29104/phi-aqualac/2021-v13-1-09 ISSN 1688-2873 Artículo de investigación

Paquete tecnológico UchileCrea para el control inteligente del riego en sistemas frutícolas

UchileCrea technological package for the intelligent control of irrigation in fruit systems



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Intergubernamental



COLEGIO DE
INGENIEROS
AGRÓNOMOS
DE CHILE

Aqua-LAC

Revista del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

LA TECNOLOGÍA ESTÁ DESMANTELANDO LOS MITOS Y SUBJETIVIDADES EN EL MANEJO DEL RIEGO



**RIEGO
INTELIGENTE 4.0
EN FRUTICULTURA**

CICLO DE CHARLAS • POR MUNDOAGRO

TECNOLOGÍA Y FUNDAMENTOS DEL RIEGO EN UN
CONTEXTO DE ESCASEZ HÍDRICA

GRACIAS