



Semi-arid coastal basins as indicators of climate crisis adaptation (SACBAD)

Seminario Final

OE1 Agricultura en semiárido costero

Oscar Melo, Pilar Gil y equipo

Facultad de Agronomía y Sistemas Naturales

Miércoles 24 Junio 2025

Semi-arid coastal basins as indicators of climate crisis adaptation (SACBAD)

Objetivo Específico 1

F Meza †
P Gil
O Melo
V García
V Strappa
V Bravo
E Bustos
C Jordan
F Muñoz
A Cozzi
N Raab
S Tobar

O1: Comprender y modelar el consumo de agua por parte de la agricultura en regiones semiáridas afectadas por el cambio climático.

O2: Comprender los impactos del cambio climático en la fisiología de la vegetación de cuenca y su contribución al ciclo ecohidrológico de las cuencas costeras

O3: Cuantificación del flujo de agua, entrega de sedimentos y cambios en el transporte de solutos en la interfaz costera por encima y por debajo del suelo de cuencas semiáridas como resultado de forzamientos antropogénicos y climáticos y sus implicaciones

O4: Evaluación de la vulnerabilidad de las cuencas costeras semiáridas.

Semi-arid coastal basins as indicators of climate crisis adaptation (SACBAD)

Objetivo Específico 1

F Meza †
P Gil
O Melo
V García
V Strappa
V Bravo
E Bustos
C Jordan
F Muñoz
A Cozzi
N Raab
S Tobar

O1: Comprender y modelar el consumo de agua por parte de la agricultura en regiones semiáridas afectadas por el cambio climático.

Actividades de investigación del O1

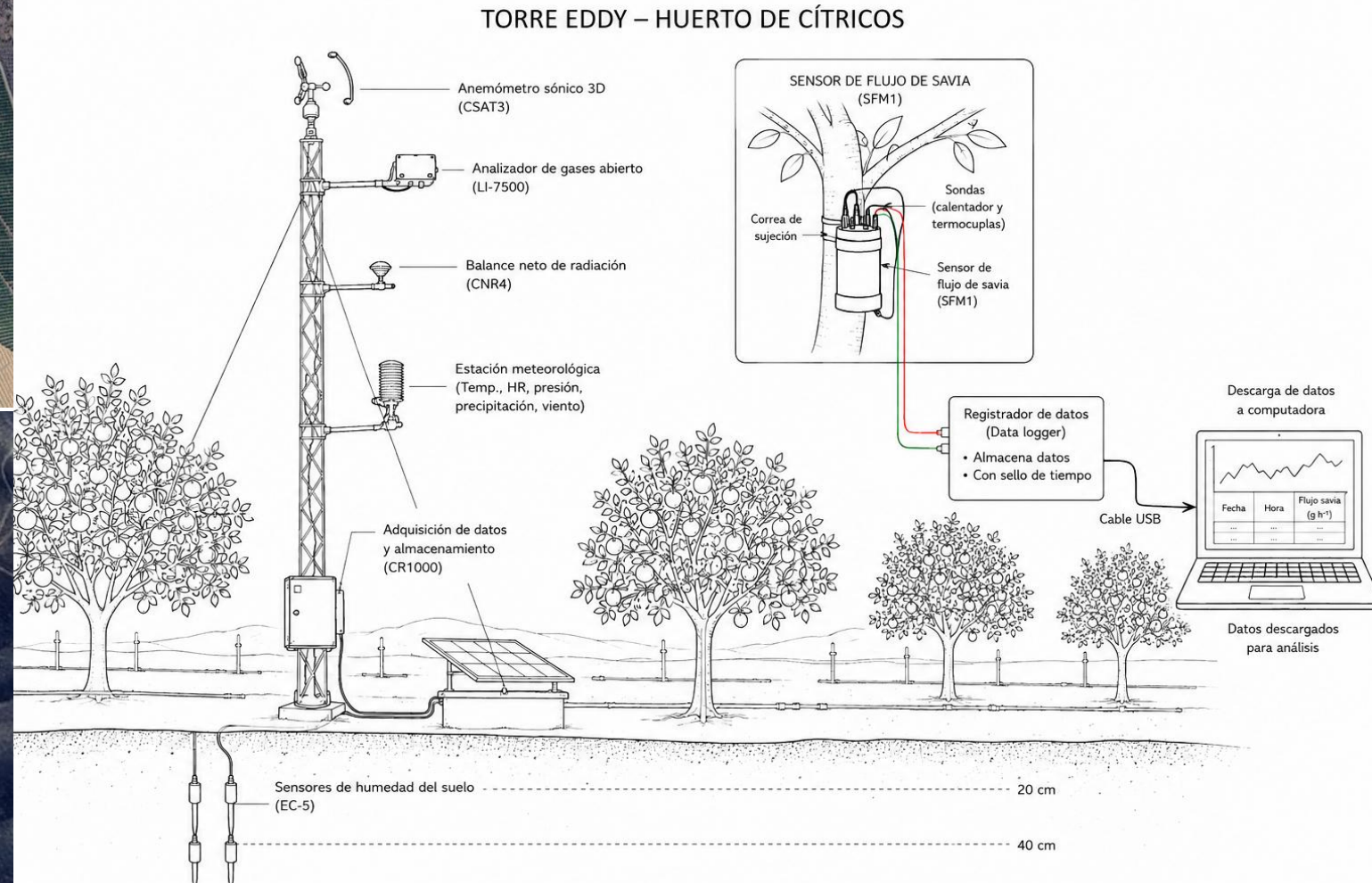
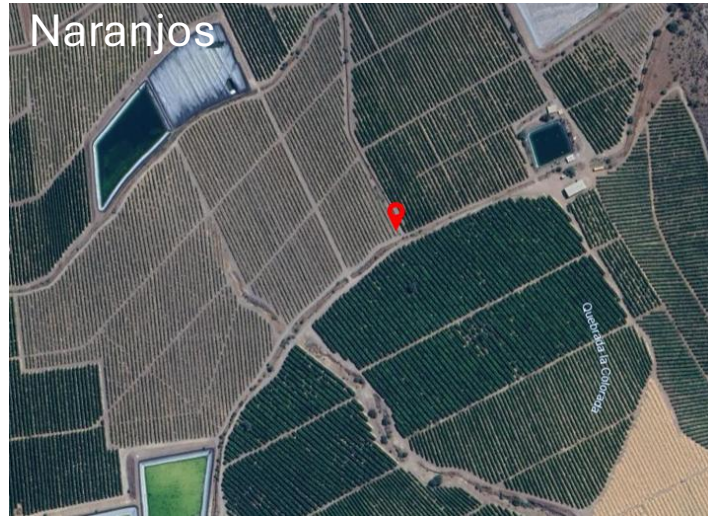
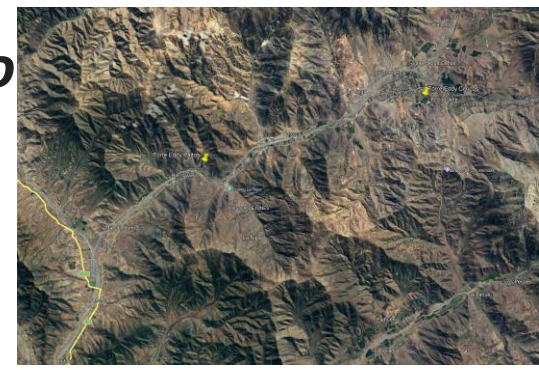
Actividad 1.1: Modelar el consumo de agua de los cultivos y el rendimiento alcanzable

Actividad 1.2: Modelar decisiones relevantes para el uso de agua por parte de agricultores/as

O4: Evaluación de la vulnerabilidad de las cuencas
costeras semiáridas.

Actividad 1.1: Modelar el consumo de agua de los cultivos y el rendimiento alcanzable

Actividad 1.1.1 Estimación de Evapotranspiración-ET (balance de energía) y tasa transpiratoria en huertos frutales



Actividad 1.1.2. Análisis de manejo de riego en huertos comerciales con perfil exportación

Paltos

Antecedentes cultivo y manejo		Palto en Hierro Viejo
Año plantación		2017
Variedad		Flavia (Hass mejorado)
Portainjerto		Mexícola (franco)
Marco de plantación		6,25 m²
Rendimiento		12-19 ton/ha
Cosecha		1/2 noviembre
Conducción		Eje a dos metros
Sistema de riego		Microaspersión 3,2 mm/h
ET0 anual		1.100 - 1.300 mm
ET0 2024		1.493 mm
ET0 2025		1.450 mm
Precipitación promedio anual		120 - 200 mm
Propiedades físicas suelo		
pH		7,6
CE (mS/cm)		0,46
M.O		1,3
Textura		Franco arenosa
Densidad aparente (g cc ⁻¹)		1,76
Capacidad de campo (%vol)		31,3
PMP (%vol)		13,73
Humedad aprovechable (%)		10
Criterios de riego		
Coeficiente cultivo (Kc)		0,7
Reposición ETc		100%
Profundidad de raíces		600 mm
Monitoreo		Calicatas

Cítricos

Antecedentes cultivo y manejo		Naranja en Chincolco
Año plantación		2021
Variedad		Cara Cara
Portainjerto		C-35 (clonal)
Marco de plantación		10 m²
Rendimiento		50 ton/ha
Cosecha		agosto
Conducción		Copa
Sistema de riego		Gotero 2 mm/h
ET0 anual		1.100-1.300
ET0 2024		1.493 mm
ET0 2025		1.450 mm
Precipitación promedio anual		120 - 200 mm
Propiedades físicas suelo		
pH		7,8
CE (mS/cm)		0,35
M.O		1,3
Textura		Franco Arcillo arenosa
Densidad aparente (g cc ⁻¹)		1,61
Capacidad de Campo (%w)		39.9
PMP (%vol)		13
Humedad aprovechable (%)		11,8
Criterios de riego		
Coeficiente cultivo (Kc)		0,8
Reposición ETc		120%
Profundidad de raíces		800 mm
Monitoreo		Calicatas



Resultados

Cítricos

ET y T medidos:

ET: 763,57 mm/año

T: 345,85 mm/año

Monitoreo de humedad de suelo:

Se observan contenidos mayores a CC en la mayor parte del año.

Volúmenes aplicados productor: 14,292 m³ ha⁻¹

Huella azul: 285,8 m³ ton⁻¹

Volúmenes aplicados con programa: 12,443 m³ ha⁻¹

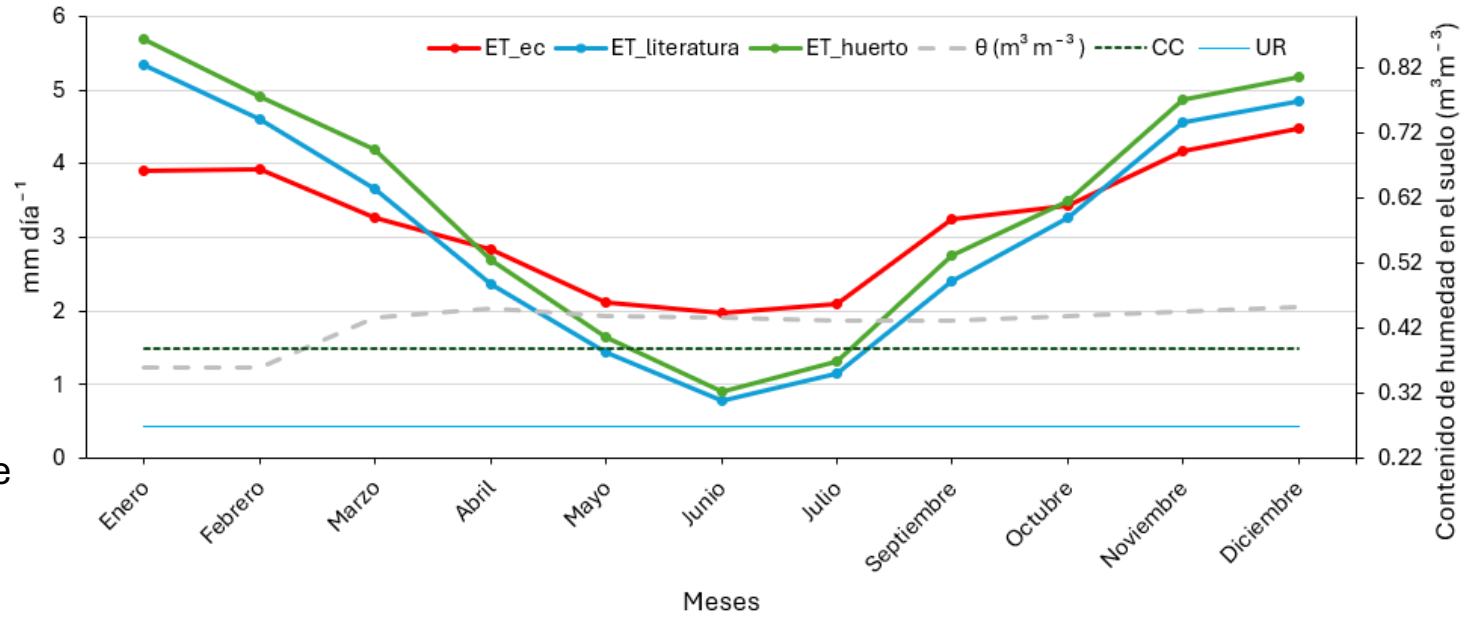
Huella azul: 248,9 m³ ton⁻¹

Volúmenes aplicados con nuevos datos: 8,484 m³ ha⁻¹

Huella azul: 169,68 m³ ton⁻¹

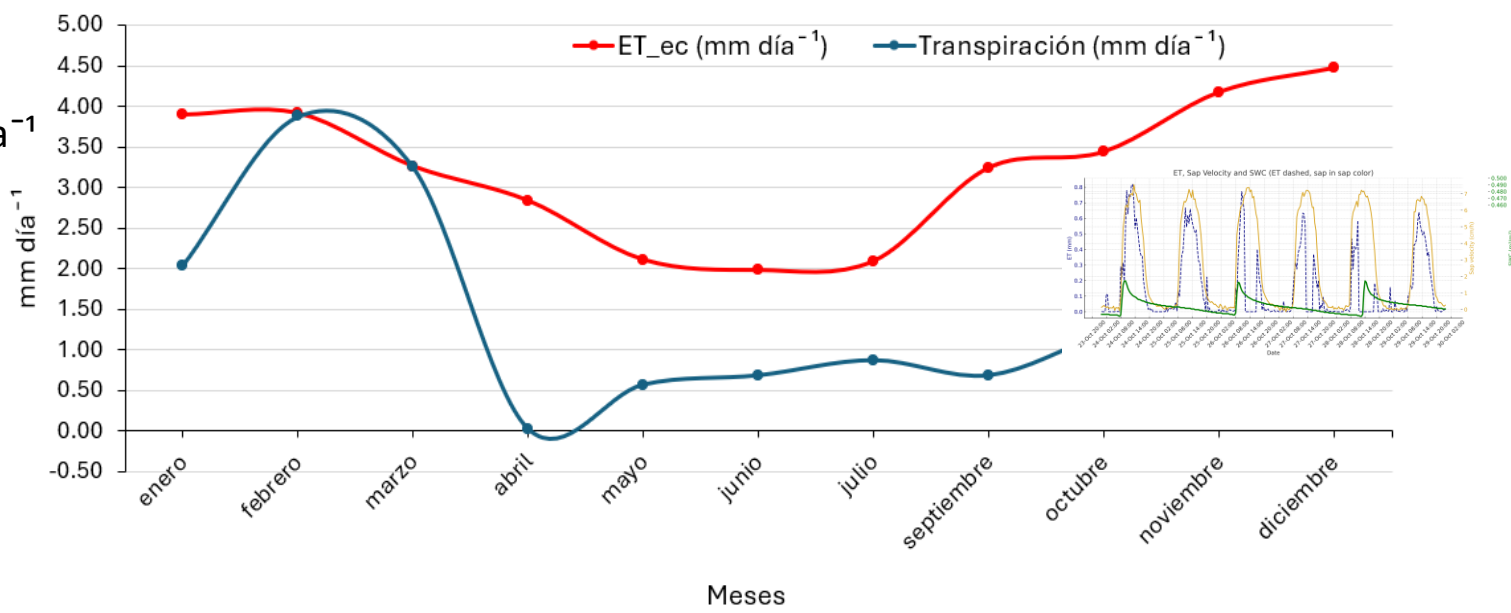
Recomendaciones de mejora:

- Realizar programa de riego
- Mantener humedad entre CC y UR
- De corroborarse los datos de ET podría bajarse el volumen de riego y ahorrar agua y energía (40%)



$$ET_{eb} = \frac{LE}{\lambda}$$

$$ET_{Lit} = ETo \times Kc$$



Resultados

Paltos

ET y T medidos:

ET total (eb)= 848 mm/año (8,477 m³ ha⁻¹)
T total (sapflow)= 1,189 mm/año (11,890 m³ ha⁻¹)

Monitoreo de humedad de suelo:

Se observan contenidos entre CC y UR, sin alcanza

Volúmenes aplicados productor: 10,844 m³ ha⁻¹

Huella azul: 903.6 m³ ton⁻¹ - 570.7 m³ ton⁻¹

Volúmenes aplicados con programa: 12,351 m³ ha⁻¹

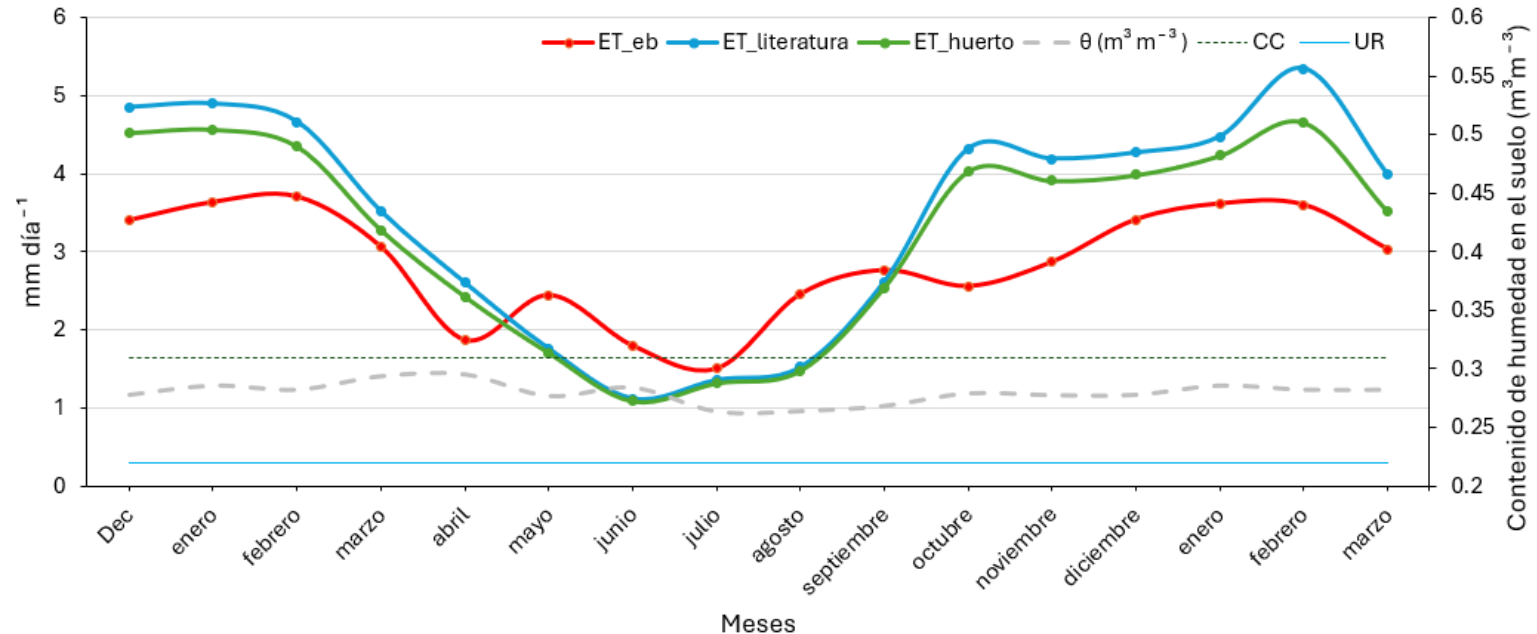
Huella azul: 1029 m³ ton⁻¹ - 650 m³ ton⁻¹

Volúmenes aplicados con nuevos datos ET: 8,477.4 ha⁻¹

Huella azul: 831.1 m³ ton⁻¹ - 524.9 m³ ton⁻¹

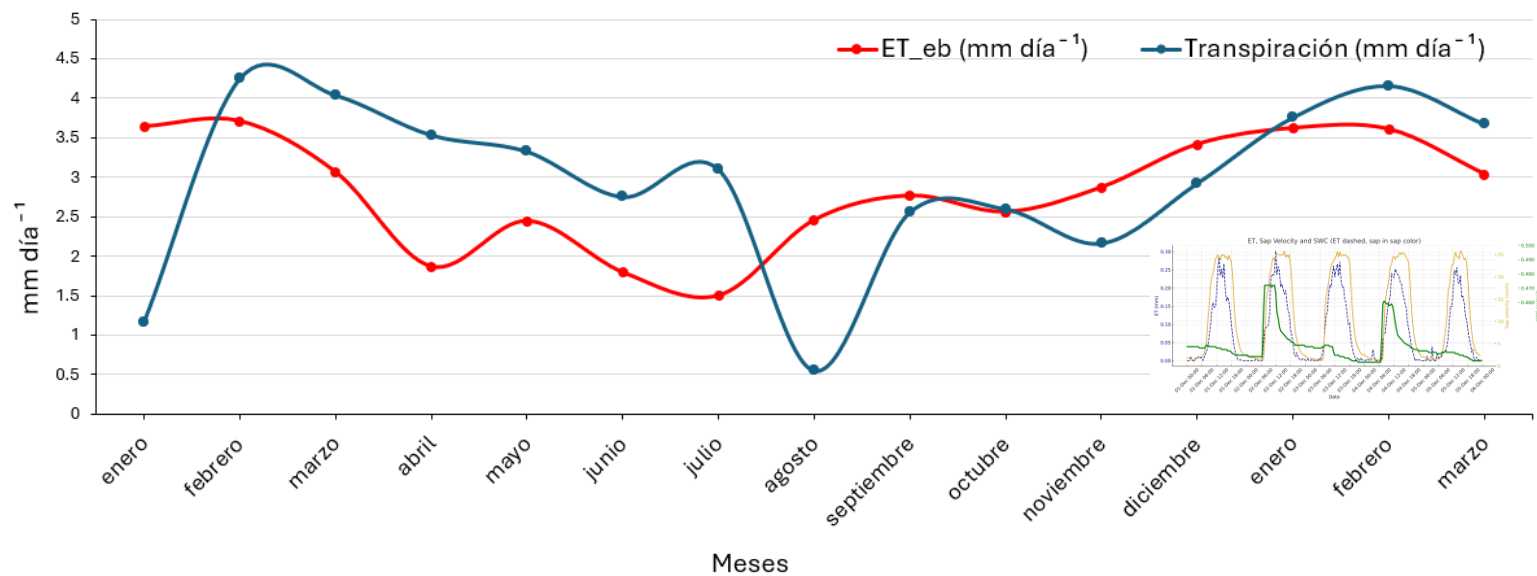
Recomendaciones de mejora:

- Realizar programa de riego
- Mantener humedad entre CC y UR
- De corroborarse los datos de ET podría bajarse el volumen de riego y ahorra agua y energía (22%)



$$ET_{eb} = \frac{LE}{\lambda}$$

$$ET_{Lit} = ETo \times Kc$$



Conclusiones Actividad 1.1

- Pese a alto nivel tecnológico no se observó seguimiento de programas de riego completos.
- Sobre-riego en naranjos y sobrecalibre en fruta (sin valor comercial): oportunidad de ahorro
- En palto riego más restringido: oportunidad mejorar rendimientos
- De corroborarse los datos de ET cuantificados en terreno, podría ajustarse el riego a volúmenes menores (22% palto; 40% en naranjo) y bajar la huella azul (atribuida a riego).
- Para usar tasa de flujo de savia (complementa mediciones de ET) es necesario contar con un “n” mayor y cuantificar la evaporación del suelo.
- A partir de datos de ET (balance de energía) y ETo se pueden determinar Kc locales. Sin embargo es necesario contar con más temporadas de estudio.



Actividad 1.2

Entender y caracterizar las decisiones de consumo de agua en la agricultura, influidas por el cambio climático y la sequía.

Métodos:

Modelo económico para
entender decisiones de riego
y uso de la tierra

Entrevistas a agricultores

Encuesta a agricultores

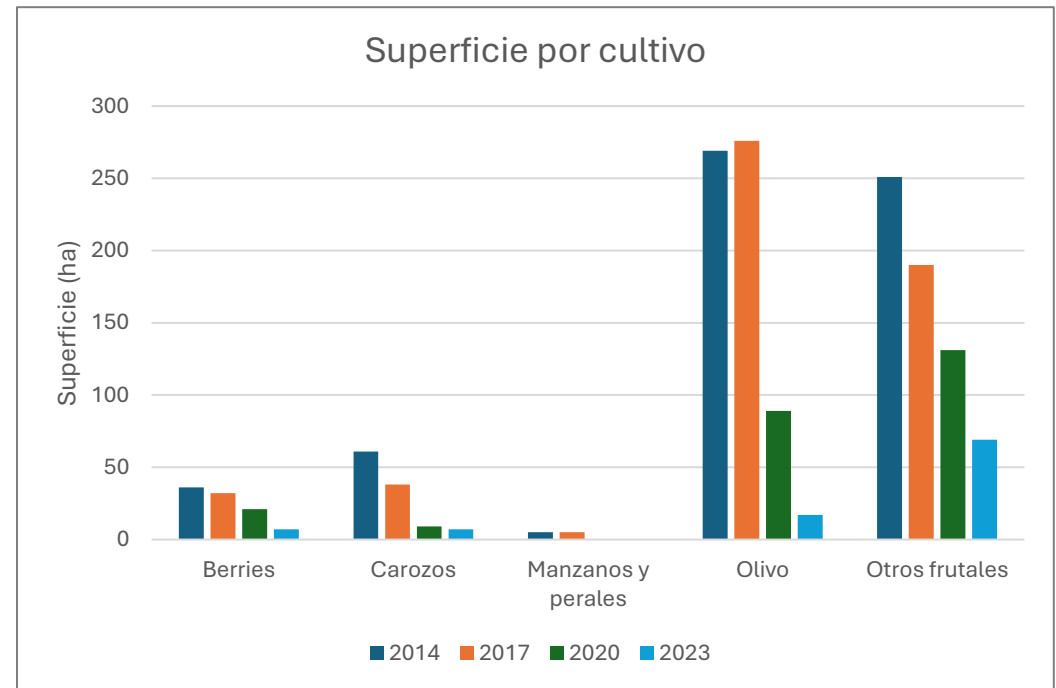
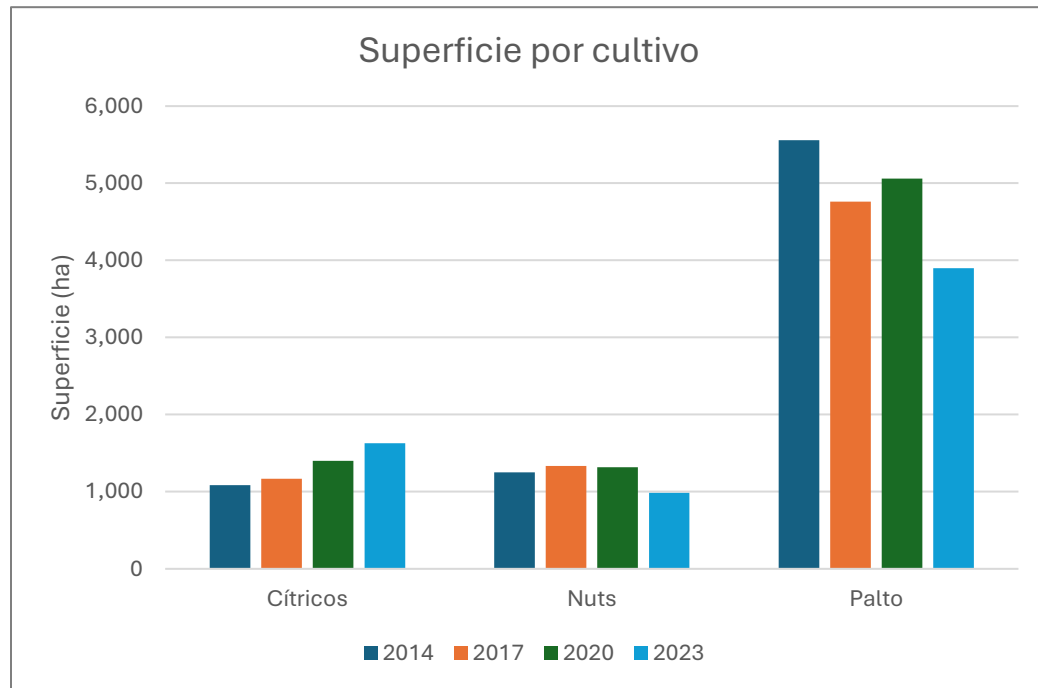


Preguntas de investigación

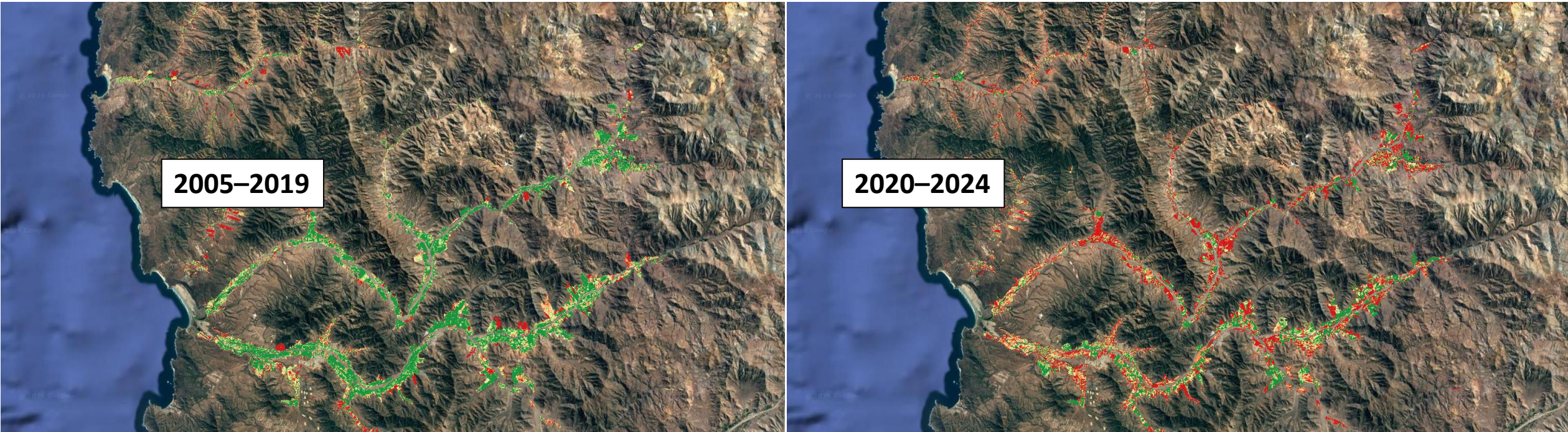
- ¿Existe abandono de cultivos? ¿Por qué un agricultor decide abandonar un cultivo?
 - ¿Porque no tiene agua?
 - ¿Hay diferencias en el comportamiento de agricultores de distintos tamaños?
 - ¿Es una reacción a un año (corto plazo) o a un conjunto de años (efecto acumulado)?
 - ¿Hay efectos de temperaturas/heladas/olas de calor?

Antecedentes

Evolución superficie de frutales para los cultivos en las comunas de Cabildo, La Ligua y Petorca (Catastros ODEPA):



Antecedentes: abandono información Satelital

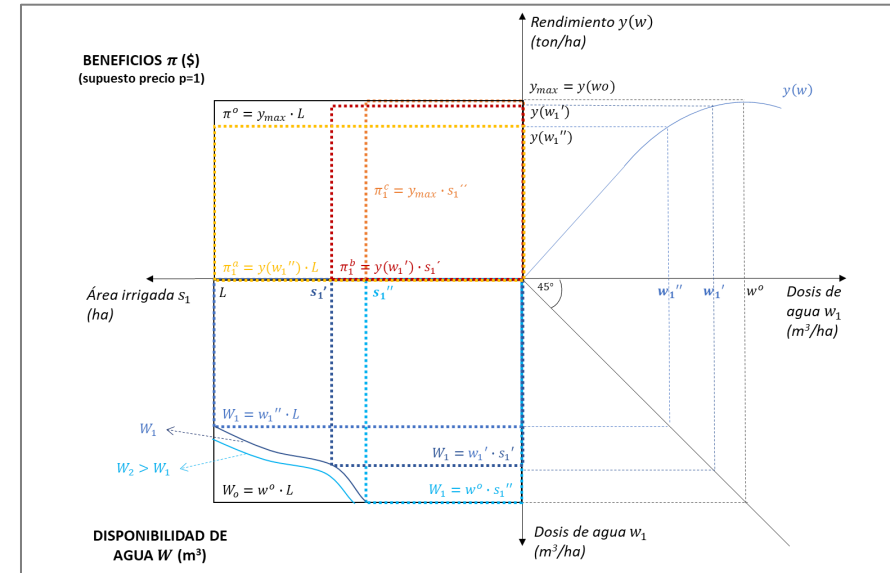


Número de años con cultivos

Actividad 1.2

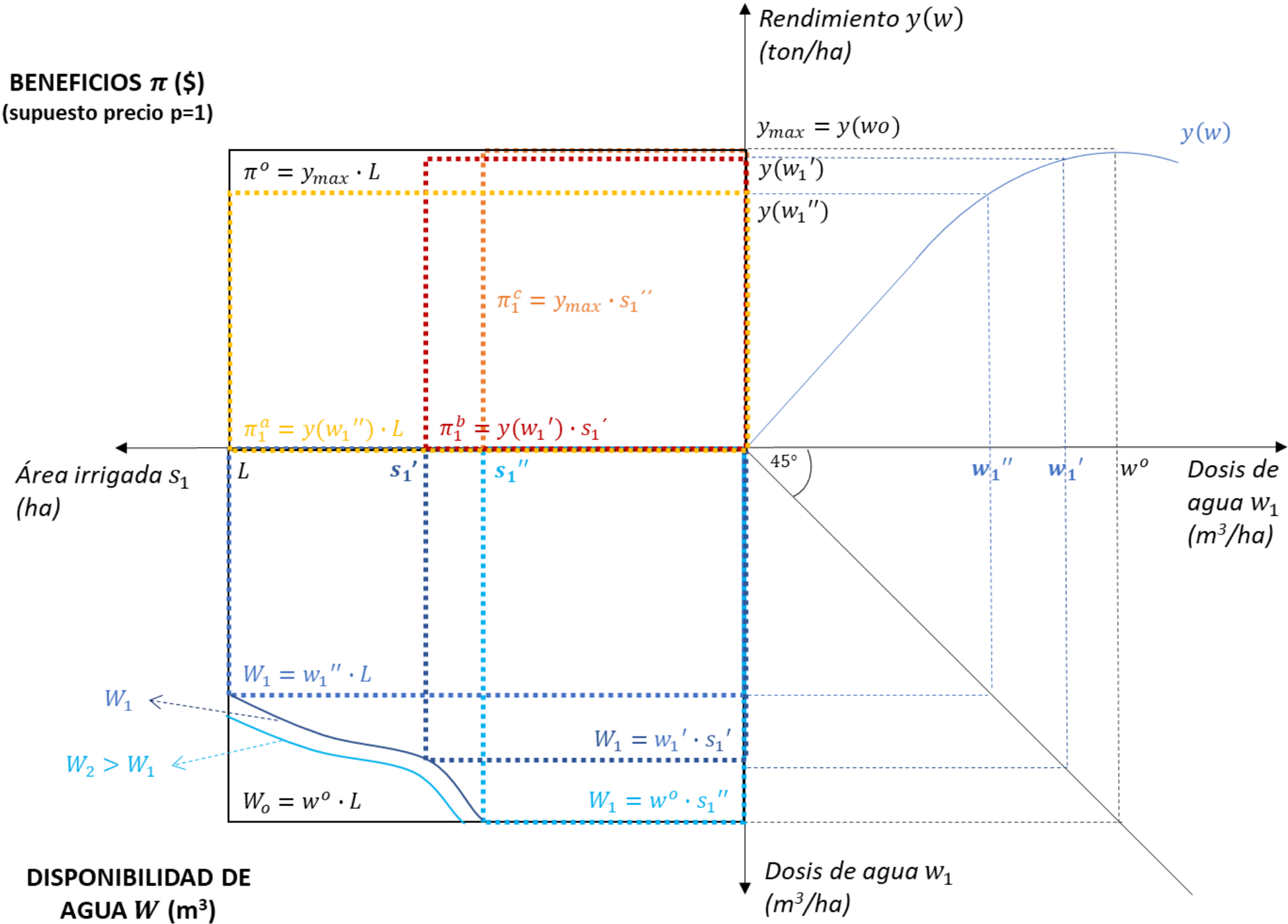
Modelo económico de decisiones de riego y superficie cultivada:

- ✓ busca explicar decisiones de riego y de superficie cultivada (abandono) de cultivos permanentes, en contextos de escasez de agua.
- ✓ balance entre:
 - ✓ regar toda la superficie cultivada con una baja dosis de agua (estrategia extensiva) o
 - ✓ aumentar dicha dosis y regar un porcentaje del área de cultivos menor (estrategia intensiva).



Modelo de decisiones de riego y superficie cultivada:

BENEFICIOS π (\$)
(supuesto precio $p=1$)



Área irrigada s_1
(ha)

DISPONIBILIDAD DE
AGUA W (m^3)

Rendimiento $y(w)$
(ton/ha)

$y_{max} = y(w^0)$

$y(w_1')$

$y(w_1'')$

$y(w)$

45°

w_1''

w_1'

w^0

Dosis de
agua w_1
(m^3/ha)

Dosis de agua w_1
(m^3/ha)

$\pi^o = y_{max} \cdot L$

$\pi_1^c = y_{max} \cdot s_1''$

$\pi_1^a = y(w_1'') \cdot L$

$\pi_1^b = y(w_1') \cdot s_1'$

L

s_1'

s_1''

$W_1 = w_1'' \cdot L$

$W_1 = w_1' \cdot s_1'$

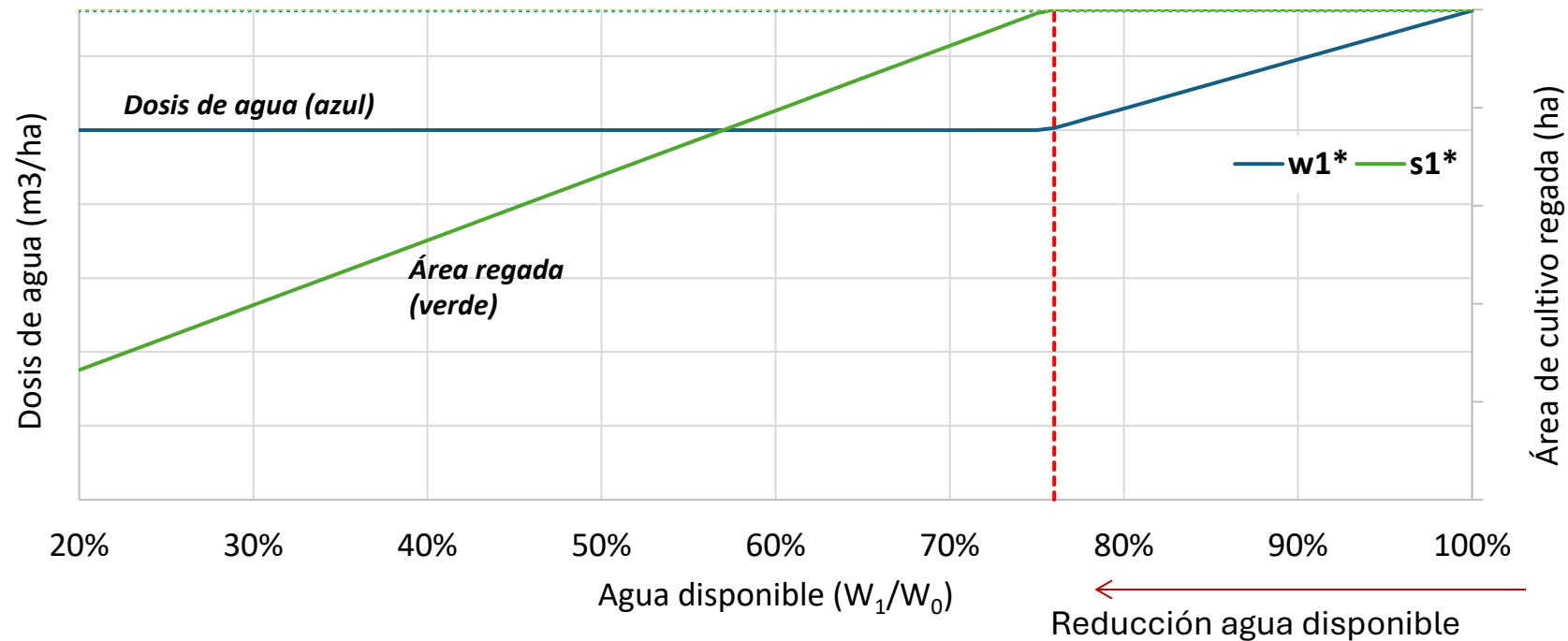
$W_1 = w^0 \cdot s_1''$

$W_o = w^0 \cdot L$

Actividad 1.2

Implicaciones del modelo

Resultados de diferentes escenarios simulados de disponibilidad de agua total (W_1) como un porcentaje del agua esperada (necesaria para regar todo el cultivo permanente de manera óptima, W_0)



Para valores de W_1 sobre el umbral, el área del cultivo se mantiene y el ajuste se produce a través de la dosis de agua aplicada.

Para valores de W_1 bajo el umbral, probablemente en caso de escasez severa, la dosis de agua se mantiene y es el área irrigada del cultivo la que se ajusta.

Actividad 1.2

Entrevistas a agricultores:

- ✓ Información semiestructurada para explorar experiencias y percepciones.
- ✓ Caracterización de la producción fuentes de agua e ingresos.
- ✓ Preguntas sobre impactos del cambio climático y las decisiones agrícolas y productivas de cultivos, manejo de predios y riego.

Período: Agosto 2023-Septiembre 2024.

Alcance: 30 entrevistas.

Localización: cuencas de Ligua, Petorca, Quilimarí, Huaquén.

Tamaño agricultores: grandes (8), medianos (8), pequeños (14).

Fuentes de agua: subterránea (18), superficial (4), mix (8).



Actividad 1.2



Resultados entrevistas:

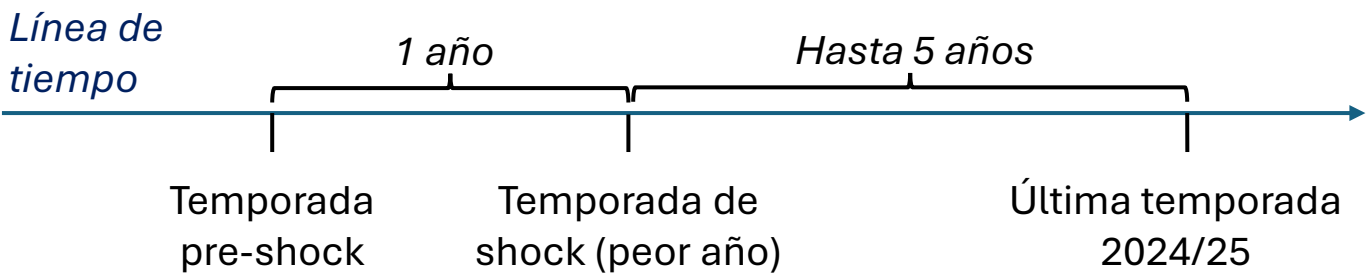
- ✓ En **sequía** se priorizan cultivos permanentes **y abandonan de anuales** pero **también hay abandono de permanentes**
- ✓ Agricultores, grandes y pequeños, reportan haber **profundizado pozos** por sobre los 100 metros
- ✓ Proliferación de **infraestructura para acumular agua intrapredial**, superficial de los turnos, de pozos y también agua comprada a terceros.

Actividad 1.2

Encuesta:

- 200 agricultores encuestados el 2025 en las cuencas de La Ligua y Petorca.
- Con problemas de agua en los últimos 5 años.
- Preguntas centradas en:
 - Decisiones de manejo agrícola y de riego para enfrentar la escasez
 - Cultivos y producción agrícola en la última temporada (2024/25)
 - Cultivos y producción agrícola en el peor año de escasez y la temporada previa a ese año.
- Año con mayor escasez reportado por cada agricultor.

Tamaño de la producción	Comuna			Total
	Cabildo	La Ligua	Petorca	
Entre 1 a 20 hectáreas	59	84	42	185
Entre 20 a 100 hectáreas	2	1	5	8
Entre 100 y 500 hectáreas	3	0	3	6
Más de 500 hectáreas	1	0	0	1
Total	65	85	50	200

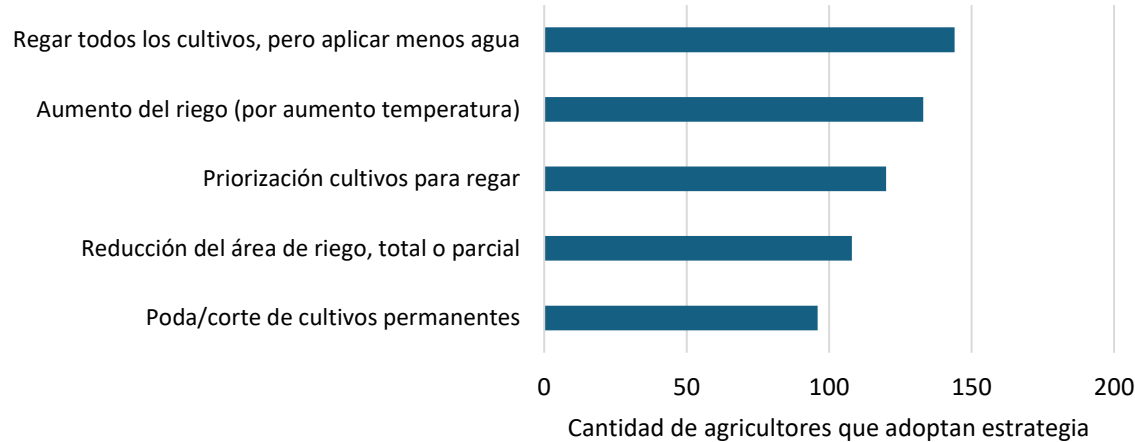


Actividad 1.2

Resultados encuesta:

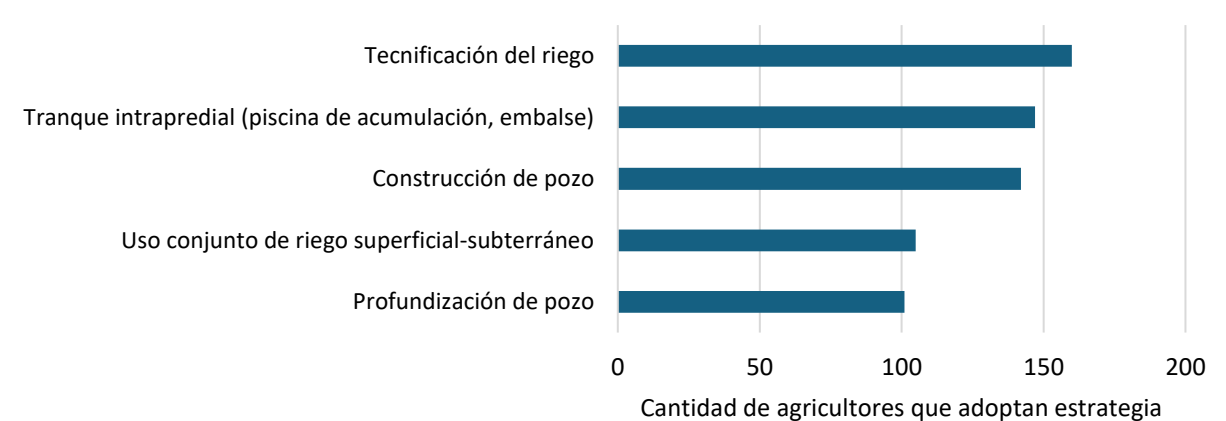
- ✓ Se consultó respecto a qué medidas se habían tomado en los últimos 5 años, distinguiendo algunas de corto y otras de largo plazo.
- ✓ También se detalló si fueron tomadas para lidiar con la sequía o por otros motivos.

Estrategias de corto plazo, para lidiar con la sequía



De corto plazo, las 5 más frecuentes se refieren a algún ajuste en riego, ya sea manteniendo todos los cultivos como priorizando algunos. Se incluye la poda o corte de árboles

Estrategias de largo plazo, para lidiar con la sequía



En el largo plazo, las decisiones han ido hacia la inversión en riego tecnificado, infraestructura de acumulación y pozos.

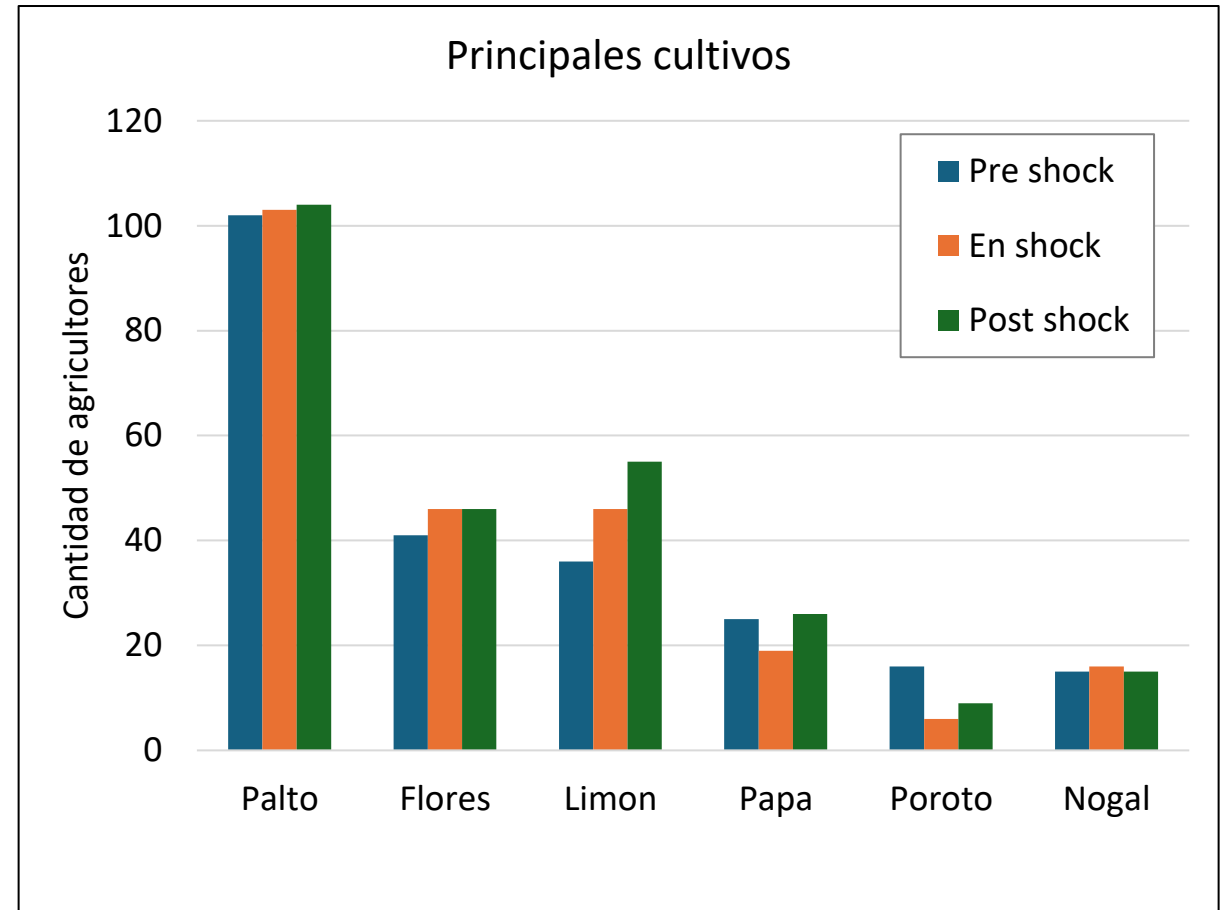
Actividad 1.2

Resultados encuesta:

Los 5 principales cultivos incluyen algunos permanentes y anuales.

La cantidad de agricultores que reportan cultivarlos depende de la temporada:

- Cerca del 50% de agricultores tiene paltos, situación independiente de la temporada.
- Lo siguen las flores con similar comportamiento.
- Limón muestra tendencia al alza.
- Todos los anuales muestran una baja en la temporada de mayor escasez, pero luego repuntan.



Actividad 1.2

Resultados encuesta:

¿Por qué un agricultor decide abandonar un cultivo permanente?

Modelo de regresión logística para analizar la probabilidad de abandono de cultivos permanentes



Probabilidad Abandono	
<u>Variables</u>	<u>Efectos</u>
Experiencia	No significativo
Participación ingreso agrícola	Negativo
Desv. precipitación promedio de 3 años en relación con la histórica	Negativo
Tamaño de predio Entre 5 y 10 ha Entre 10 y 20 ha Sobre 20 ha	No significativo Positivo Positivo
Cultivo Palto	No significativo
Cultivo Limón	Negativo
Acceso a fuentes superficiales	No significativo
Acceso a fuentes subterráneas	No significativo
<u>Modelo global</u>	
N	129
Wald χ^2 (p)	23.38, p=0.0094
Pseudo R ²	0.19

Actividad 1.2

Conclusiones

- Resultados consistentes con la literatura de escasez de agua moderada,
- Pero caracterizamos **escasez profunda**, donde:
 - Aparece *trade-off* entre dosis de agua y superficie regada.
 - Se insinúa **umbral** de cambio de estrategia: intensiva a extensiva.
- La experiencia, y acceso a fuentes de agua no reduce probabilidad de abandono
- Agricultores tomarían decisión de abandono considerando cambio de mediano plazo en precipitaciones
- Mayor dependencia del ingreso agrícola presentan menor probabilidad de abandono
- Mayor tamaño de predio (medianos) aumenta abandono
- Esto implicaría actividad mas comercial tienda a abandonar mas, por mayor exposición al riesgo?





Semi-arid coastal basins as indicators of climate crisis adaptation (SACBAD)

Seminario Final

OE1 Agricultura en semiárido costero

Oscar Melo

Facultad de Agronomía y Sistemas Naturales

Miércoles 24 Junio 2025