



INFORME TÉCNICO FINAL

Nombre del proyecto	Desarrollo y validación de un prototipo de sensor portátil de fácil uso para establecer oportunidad de riego en frutales y hortalizas midiendo variables alrededor y de la planta
Código del proyecto	PYT-2018-0068
Informe final	Informe final
Período informado (considerar todo el período de ejecución)	desde el 17 de abril 2018 hasta el 31 de agosto 2021
Fecha de entrega	14 de septiembre 2021

Nombre coordinador	Dvora Laio Wulfsohn
Firma	

INSTRUCCIONES PARA CONTESTAR Y PRESENTAR EL INFORME

- Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.
- Sobre la información presentada en el informe:
 - Debe dar cuenta de todas las actividades realizadas en el marco del proyecto, considerando todo el período de ejecución, incluyendo los resultados finales logrados del proyecto; la metodología utilizada y las modificaciones que se le introdujeron; y el uso y situación presente de los recursos utilizados, especialmente de aquellos provistos por FIA.
 - Debe estar basada en la última versión del Plan Operativo aprobada por FIA.
 - Debe ser resumida y precisa. Si bien no se establecen números de caracteres por sección, no debe incluirse información en exceso, sino solo aquella información que realmente aporte a lo que se solicita informar.
 - Debe ser totalmente consistente en las distintas secciones y se deben evitar repeticiones entre ellas.
 - Debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero final y ser totalmente consistente con ella.
- Sobre los anexos del informe:
 - Deben incluir toda la información que complemente y/o respalde la información presentada en el informe, especialmente a nivel de los resultados alcanzados.
 - Se deben incluir materiales de difusión, como diapositivas, publicaciones, manuales, folletos, fichas técnicas, entre otros.
 - También se deben incluir cuadros, gráficos y fotografías, pero presentando una descripción y/o conclusiones de los elementos señalados, lo cual facilite la interpretación de la información.
- Sobre la presentación a FIA del informe:
 - Se deben entregar tres copias iguales, dos en papel y una digital en formato Word (CD o pendrive).
 - La fecha de presentación debe ser la establecida en el Plan Operativo del proyecto, en la sección detalle administrativo. El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 0,2% del último aporte cancelado.
 - Debe entregarse en las oficinas de FIA, personalmente o por correo. En este último caso, la fecha válida es la de ingreso a FIA, no la fecha de envío de la correspondencia.
- El FIA se reserva el derecho de publicar una versión del Informe Final editada especialmente para estos efectos.

3 CONTENIDO

CONTENIDO	2
ANTECEDENTES GENERALES	4
EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO	4
RESUMEN EJECUTIVO	5
OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)	7
RESULTADOS ESPERADOS (RE)	9
CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO	20
ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO	23
POTENCIAL IMPACTO	25
CAMBIOS EN EL ENTORNO	26
DIFUSIÓN	26
PRODUCTORES PARTICIPANTES	28
CONSIDERACIONES GENERALES	29
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	30
ANEXOS	31
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	32

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	Geco Enterprises Ltda
Nombre(s) Asociado(s):	Aurora Space SpA
Coordinador del Proyecto:	Dvora Laio Wulfsohn
Regiones de ejecución:	O'Higgins
Fecha de inicio iniciativa:	17 de abril de 2018
Fecha término Iniciativa:	31 de agosto de 2021

2. EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto	
Aporte total FIA	
Aporte Contraparte	Pecuniario
	No Pecuniario
	Total

Acumulados a la Fecha	
Aportes FIA del proyecto	
1. Aportes entregados	Primer aporte
	Segundo aporte
	Tercer aporte
	Cuarto aporte
	Quinto aporte
2. Total de aportes FIA entregados (suma N°1,2,3,4,y5)	
3. Total de aportes FIA gastados	
4. Saldo real disponible (N°1 – N°5) de aportes FIA	
Aportes Contraparte del proyecto	
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario
	No Pecuniario
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario
	No Pecuniario
	Pecuniario

3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes Contraparte	No Pecuniario	\$	0-
--	---------------	----	----

3. RESUMEN EJECUTIVO

3.1 Resumen del período no informado

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante el período comprendido entre el último informe técnico de avance y el informe final. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

Mayo 2021 – Agosto 2021

Término de ensayos de validación del sistema Optiriego con 3 productores de la zona de San Vicente de Tagua Tagua.

Análisis de consumo de agua, rendimiento y calidad de fruta cosechada por Optiriego versus riego tradicional de los productores

Ajustes al diseño de la carcasa del sensor pensando en su uso en terreno por productores

Mejoras y ajustes a la aplicación celular.

Análisis económico-operacional comparando el sistema Optiriego versus la bomba de Scholander.

Difusión en un taller dirigido a productores y profesionales agrícolas.

Difusión en un publrreportaje en red agrícola dirigidos a la industria y productores agrícolas.

Informe final.

3.2 Resumen del proyecto

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante todo el período de ejecución del proyecto. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

La agricultura es el área que tal vez sufrirá los mayores problemas ocasionados por el cambio climático. A medida que se reducen las precipitaciones, la tecnología de riego, las prácticas y el tipo de cultivos deberán responder a esa menor disponibilidad de agua.

Existen variadas técnicas y tecnologías para establecer los requerimientos de agua de parte de las plantas. La bomba de presión de tipo “Scholander”, a la fecha, se considera la herramienta más precisa ya que determinan el potencial xilemático y por medio de esto el estado hídrico del cultivo. No obstante, son de alto costo de adquisición, mantención y uso de mano de obra.

En el proyecto “Optiriego” se trabajó en el diseño, evaluación y validación de un prototipo de sensor portátil capaz de capturar datos de temperatura (ambiente y hoja), humedad relativa y luz PAR que llega a la hoja; datos con los cuales se calcula un índice del estado hídrico, en este caso para tomates. Se trabajó con tomates por tratarse de una especie ampliamente plantada en la región y en Chile además de cultivarse todo el año. Este tipo de índice, conocido como CWSI empírico (“crop water stress index” en inglés) compara la temperatura del follaje con la temperatura de un cultivo siempre bien hidratado y la temperatura de un cultivo con alto estrés, que no transpira. En la práctica común, requiere que el productor mantenga algunas plantas regadas y trata otras hojas para prevenir su transpiración, y estas plantas sirven como referencias para el cálculo del índice. Uno de los objetivos principales de este proyecto fue desarrollar modelos matemáticos para predecir las temperaturas de plantas de referencia, para que no sea necesario mantener de éstas en el campo o invernadero.

Considerando que la Bomba de Scholander es muy precisa, esta se utilizó para determinar el estado hídrico de las plantas de los primeros ensayos y para calibrar la decisión del modelo usado en OPTIRIEGO de cuándo regar.

En la primera etapa, usando una serie de pruebas en cultivos bajo invernadero y en aire libre, se establecieron los rangos de SWP (‘stem water potential’ – el potencial hídrico del tallo de la planta) bajo un amplio rango de condiciones ambientales (de temperatura, humedad relativa, y luz PAR) y niveles de riego para producir distintos niveles de estrés hídrico, desde bien regada hasta alto estrés, incluyendo hojas sin transpiración. También se tomaron mediciones de hojas de las mismas plantas con el prototipo sensor para usar en el modelamiento. Se identificaron niveles de SWP asociado con estrés hídrico según la cantidad y calidad de frutas cosechadas de los distintos tratamientos. En siguientes pruebas de campo, se ocuparon las mediciones de SWP y el modelo de líneas base para calibrar y validar los modelos de líneas base y el CWSI.

Las pruebas de campo se llevaron a cabo con el apoyo de productores de tomates de la zona de Pichidegua y San Vicente de Tagua Tagua quienes facilitaron sus plantaciones donde se establecieron las unidades experimentales al objeto de desarrollar y validar los modelos y finalmente de comparar la toma de decisión del productor bajo su criterio tradicional con el uso del sensor OPTIRIEGO.

Los ensayos demostrativos se condujeron en los meses de marzo y abril de 2021, en que se regaron hileras según lo indicado por el sensor Optiriego y otras hileras según la práctica de riego de los productores. Se cosecharon las hileras de los ensayos separados y además se tomaron muestras de frutas para medir la calidad de la fruta bajo los dos tratamientos. Se demostró que utilizando el sensor se logró ahorrar un 30% o más del agua aplicada en el cultivo, sin afectar el rendimiento y calidad de cosecha de los tomates.

Para usar el sensor se estableció un método de muestreo de fácil aplicación que el productor debe seguir para ir evaluando las plantas y hojas que corresponda, es decir algo así como ***preguntarle al cultivo en qué estado hídrico se encuentra***. El método consiste en poner el sensor en contacto tan solo por unos segundos con cada hoja de la muestra siendo el dispositivo el encargado de tomar los datos desde la planta y transmitirlos vía Bluetooth a una aplicación instalada en el celular del productor. Es en

esta aplicación donde se realizan los cálculos del índice de stress de las plantas y lo va comparando contra un valor crítico de stress que es para cada especie y que en este caso se determinó para tomates. La aplicación muestra de forma amigable los datos que van ingresando para que el productor sepa que está registrando los datos.

Al término de las mediciones el sensor entrega una recomendación de regar o no regar, la cual dependerá de la estrategia hídrica que defina el productor y le asigne al sensor, para esto el OPTIRIEGO cuenta con 3 estrategias:

1. Mantener el cultivo en estado bien hidratado (sin stress hídrico)
2. Balanceado
3. Ahorro de agua (sin afectar la producción)

La difusión de los resultados del proyecto a productores y la industria agrícola se inició con un taller de cierre dirigido a productores hortaliceros de la Región con la participación de 36 personas entre agricultores y asesores además de un publireortaje en la revista Red Agrícola edición 122 de septiembre 2021.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Diseñar, construir, calibrar y validar un sensor prototipo de fácil uso para monitorear el estado hídrico de la planta, que permita una adecuada gestión del recurso hídrico sin afectar la producción.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

5.1 Porcentaje de Avance

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula luego de determinar el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Descripción del OE	% de avance al término del proyecto ¹
1	Diseñar y construir un prototipo de sensor que permita medir a nivel de hojas los parámetros que determinan el estado hídrico de la planta, incluyendo calibración de los sensores, en particular, el de luz PAR.	100%
2	Evaluar y comparar los valores reales medidos con el prototipo con un valor de referencia que represente las condiciones de una planta bien regada en diferentes estados fenológicos	100%

¹ Para obtener el porcentaje de avance de cada Objetivo específico (OE) se promedian los porcentajes de avances de los resultados esperados ligados a cada objetivo específico para obtener el porcentaje de avance de éste último.

3	Desarrollo de un modelo matemático que permita relacionar los datos medidos con la condición hídrica de la planta	100%
4	Convertir el modelo matemático en decisiones de cuándo y cuánto regar, a partir de pruebas en terreno	95%
5	Incorporar los modelos en el hardware y software para la decisión de cuándo y cuánto regar para presentarlo al productor de forma amigable facilitando su toma de decisión	100%
6	Validación económica a través de la comparación del costo de inversión y operación entre la bomba de Scholander y Optiriego	100%

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

Para cada resultado esperado debe completar la descripción del cumplimiento y la documentación de respaldo.

6.1 Cuantificación del avance de los RE al término del proyecto

El porcentaje de cumplimiento es el porcentaje de avance del resultado en relación con la línea base y la meta planteada. Se determina en función de los valores obtenidos en las mediciones realizadas para cada indicador de resultado.

El porcentaje de avance de un resultado no se define según el grado de avance que han tenido las actividades asociadas éste. Acorde a esta lógica, se puede realizar por completo una actividad sin lograr el resultado esperado que fue especificado en el Plan Operativo. En otros casos se puede estar en la mitad de la actividad y ya haber logrado el 100% del resultado esperado.

	Nº RE	Resultado Esperado ² (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real ⁸	% de cumplimiento
			Nombre del indicador ³	Fórmula de cálculo ⁴	Línea base ⁵	Meta del indicador ⁶ (situación final)	Fecha alcance meta programada ⁷		
1	1	Prototipo sensor-suite de hoja con sensores calibrados		T° amb, T° hoja, HR, Luz PAR, Velocidad viento	0	1	Agosto 2018	Marzo 2019	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									

² Resultado Esperado (RE): corresponde al mismo nombre del Resultado Esperado indicado en el Plan Operativo.

³ Nombre del indicador: corresponde al mismo nombre del indicador del Resultado Esperado descrito en el Plan Operativo.

⁴ Fórmula de cálculo: corresponde a la manera en que se calculan las variables de medición para obtener el valor del resultado del indicador.

⁵ Línea base: corresponde al valor que tiene el indicador al inicio del proyecto.

⁶ Meta del indicador (situación final): es el valor establecido como meta en el Plan Operativo.

⁷ Fecha alcance meta programada: es la fecha de cumplimiento de la meta indicada en el Plan Operativo.

⁸ Fecha alcance meta real: es la fecha real de cumplimiento al 100% de la meta. Si la meta no es alcanzada, no hay fecha de cumplimiento.

Se diseñaron, desarrollaron, integraron y programaron diferentes versiones del prototipo de sensor.

En una primera instancia se realizó un diseño de prueba para determinar el funcionamiento de los diversos sensores candidatos a usar como principales en un prototipo más avanzado. En aquel diseño, se lograron probar sensores de humedad, temperatura, luz PAR, viento y de posición, junto con el software que controla todo el sistema de adquisición de datos. En las versiones siguientes del prototipo del sensor, por ejemplo, se decidió no incluir el sensor de viento por su precio y tamaño, así también se definió que la carcasa, para su rápido despliegue en pruebas, sería realizada usando la tecnología de impresión 3D. Completada esta etapa de definiciones se avanzó hacia la construcción de una versión ya más definitiva (portable y liviana) del sensor y de la carcasa adecuada.

Durante etapas posteriores del proyecto, a partir de la información levantada en campo por parte de los evaluadores, se determinó que era necesario hacer un nuevo diseño del dispositivo el cual consistió en dividir el sensor en dos partes que fueran intercambiables y ajustables entre ellas y, consecuentemente, se necesitó un nuevo diseño de la carcasa.

En términos de mediciones, a partir de los datos obtenidos en campo, se descubrió que el sensor de luz PAR se saturaba bajo condiciones de luz en el mediodía solar (aproximadamente) lo que requirió una modificación adicional al primer diseño de la carcasa para depositar una capa de material (del mismo usado para la impresión) sobre el sensor de luz PAR con tal de disminuir la intensidad de la luz. Esta modificación implicaba que cada unidad fabricada debía ser calibrada individualmente debido a las variaciones que ocurren en el proceso propio de impresión 3D. Para evitar esta dificultad, se decidió incorporar un difusor de luz comercial - de parámetros fijos y bien conocidos - sobre el sensor de luz para evitar su saturación.

Los primeros difusores adquiridos no disminuyeron suficientemente la intensidad de luz. Se logró por prueba y error elegir un filtro adecuado. Este punto resulta de importancia puesto que el modelo de Optiriego utiliza la luz PAR como una variable fundamental para predecir el estado hídrico de la hoja. El último diseño cuenta con un filtro físico de Edmunds Optics con transmisibilidad baja que permite asegurar mediciones sin saturación hasta $4000 \text{ umol/m}^2/\text{s}$.

En términos de firmware del sensor Optiriego, se incorporó - aparte de la funcionalidad básica y necesaria de la toma de datos - la capacidad de hacer configuraciones locales mediante un archivo en la memoria microSD y la posibilidad de efectuar mediciones continuas cada un segundo, esto con la finalidad de tener un conjunto de mediciones "simultáneas en un mismo punto" para obtener una estadística de los datos recolectados.

Se trabajó, en paralelo y de forma adicional, en la creación de una aplicación para celulares que facilita el uso al usuario del dispositivo.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)
 Se debe considerar como información de respaldo: gráficos, tablas, esquemas y figuras, material gráfico, entre otros, que permitan visualizar claramente los antecedentes que sustentan las conclusiones y recomendaciones relevantes del desarrollo del proyecto.

Anexo 1 -- Sensor

Nº O E	Nº R E	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real	% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		
2	2	Modelo de clasificación de una planta (con estrés, sin estrés hídrico) de fácil uso, basado en mediciones con el prototipo portátil con un grado de precisión similar al de la bomba Scholander	Error de clasificación	$\text{Error de clasificación} = \frac{(\#FP + \#FN)}{\text{Total de plantas}}$ (#FP= número de falsos positivos #FN= número de falsos negativos)	na	≤ 15%	Junio 2019	Abril 2021	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

El proceso del desarrollo constó de las siguientes etapas:

- (1) Desarrollo de un protocolo para medir SWP ('stem water potential' – el potencial hídrico del tallo de la planta) de plantas de tomate usando la bomba de Scholander.
- (2) Una serie de experimentos con tomates en campos de productores en aire libre y bajo cubierta en 2019 para establecer valores de SWP medidos con una bomba de

Scholander con distintos niveles de estado hídrico: desde 'bien regada' (sin estrés hídrico) hasta 'sin transpiración' (estrés hídrico máximo) y el rango intermedio entre los dos extremos.

(3) Desarrollo de modelos para predecir las relaciones (líneas base, "baselines") entre mediciones de la planta, y las dos condiciones referenciales de 'bien regada' (línea base inferior, T_w) y 'sin-transpiración' (línea base superior, T_D) según los rangos establecidos en los experimentos utilizando la bomba de Scholander. Reemplazando la necesidad del productor de mantener plantas de referencia en su predio.

(4) Definir un índice de estado hídrico del cultivo del tipo CWSI (Crop water stress index)

$$SI = (T_{hoja} - T_w) / (T_D - T_w)$$

y establecer la primera estimación de un valor crítico del índice, entre estados sin- y con-estrés hídrico, para tomates. T_{hoja} es la temperatura de la hoja obtenida por el sensor Optiriego. En teoría el SI tiene rango entre 0 (sin estrés) y 1 (máximo estrés), en la práctica puede salir de este rango por variaciones en las temperaturas medidas y los modelos

Típicamente para las decisiones de riego se usa el VPD en lugar de HR como una variable de medioambiente, con valores de desde menos de 1 a 6; con los experimentos desarrollados en este proyecto se lograron condiciones ambientales y fisiológicas amplias (VPD entre 0.5 a 5.5 kPa) así como se logra confirmar y precisar el modelo de línea base que relaciona en qué valores de bomba de Scholander está estresada la planta (VPD v/s SWP).

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Anexo 2 – Modelo
Anexo 3 – Protocolo bomba de Scholander para tomates

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					% de cumplimiento	
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		Fecha alcance meta real
3	3	Modelo matemático (basado en un 'crop water stress index')		100% x (g-tomate/L-agua promedio planta)		12%	Noviembre 2019	Abril 2021	100

		predecido usando el sensor) para decidir cuándo y cuánto regar que aumente la productividad de la planta, respecto al riego convencional		regada según Optiriego – g/L con riego convencional) / g/L con riego convencional					
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
<p>En esta etapa se continuó el desarrollo del modelo en la siguiente manera:</p> <p>(5) Extender el análisis del índice de estrés basándose en múltiples mediciones (muestras) distribuidas sobre distintas plantas y hojas de un cultivo (sector de riego), tomando en cuenta la alta variabilidad biológica que se puede encontrar para predecir el estado hídrico del <i>cultivo</i>.</p> <p>(6) Considerando la alta variabilidad de SI calculados para distintas hojas de un cultivo, definir “estrategias de riego”, que junto con las estadísticas de la distribución de SI se ocupan para dar una recomendación de regar o no regar. Se definieron tres estrategias: (i) “mantener hidratado” es decir mantener niveles bajos de SI para todo el cultivo, (ii) “maximizar el ahorro de agua”, es decir, aceptar que un porcentaje menor de las hojas del cultivo pueden superar el valor crítico del estado hídrico para ahorrar agua, pero sin perder rendimiento o calidad de la cosecha, y (iii) “balanceado”, una estrategia intermedia entre las dos anteriores.</p> <p>(7) Desarrollar y validar un método de auto calibración del modelo para poder obtener índices hídricos relevantes a un cultivo específico, dado que el modelo fue desarrollado basado en datos de distintas variedades, etapas fenológicas y condiciones de clima y cultivo (bajo cubierta o aire libre).</p> <p>(8) En 2020 se condujeron experimentos en campo adicionales en Pichidegua y en El Tambo para mejorar y validar los modelos. En 2021, como se explica en la próxima sección, se condujeron ensayos de riego en campos de productores para validar el sistema y cuantificar su potencial. En todos estos ensayos, los de riego también, se tomaron algunas mediciones con la bomba de Scholander adicionalmente al sensor Optiriego para validación de datos y del modelo.</p>									

--

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Anexo 2 -- Modelo

Nº O E	Nº R E	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real	% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		
4	4	Ahorro de agua resultado de manejo de riego usando el prototipo respecto a riego convencional	Agua ahorrada por tomate producido	$100\% \times (L\text{-agua/ha promedio aplicada con Optiriego} - L\text{/ha promedio aplicada con riego convencional}) / (L\text{/ha promedio aplicada con riego convencional})$	0	8% o más	Marzo 2020	Abril 2021	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Debido a la situación por coronavirus, se extendió la duración del proyecto y demoro las actividades demostrativas con productores hasta marzo 2021.

En marzo y abril se condujeron ensayos con 3 productores de San Vicente de Tagua Tagua, con 3 variedades distintas, dos bajos cubiertos, y uno al aire libre.

En la ejecución del proyecto se permitió que los productores regaran de acuerdo con su práctica habitual de riego ya descrita; y para la evaluación de Optiriego se instalaron válvulas on/off que permitieran cortar el paso del agua según las mediciones con Optiriego en las zonas de evaluación. Con este experimento lo que se buscó fue conocer si se puede ahorrar agua sin afectar la calidad de la cosecha. En las fechas de cosecha, profesionales de Geco ayudaron en la cosecha de las hileras dedicadas a los ensayos, y para registrar el número de cajas cosechadas por hilera, pesarlas, y tomar muestras de frutas maduras para la medición de calidad (grados Brix, firmeza Durofel, peso y calibre). En el caso de

un productor que tiene un packaging con una máquina clasificadora para separar frutas por calibre antes de su inspección manual por defectos y color, también se registró el rendimiento final de frutas para venta en supermercados y mercados locales, clasificado por calibre y color.

Los ensayos terminaron al fin de abril cuando se terminó la cosecha de las frutas aptas para el mercado de destino. Resultados de los experimentos mostraron que se ahorró 29% de agua en un caso, 45% en el otro caso, en ambos sin afectar el rendimiento en términos de cantidad y calidad.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

Anexo 4 – Ensayos de validación con productores

Nº O E	Nº R E	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real	% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		
5	5	Prototipo con input y output de fácil uso que indique cuándo y cuánto regar		Porcentaje de usuarios que evalúan positivamente la utilidad del prototipo y su visualización		85%	Diciembre 2019	Agosto 2021	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
<p>Se desarrolló una app que permite la captura vía Bluetooth, almacenamiento y procesamiento de los datos del sensor, y que implementa el modelo de SI entregando decisiones de regar o no regar en tiempo-real, actualizándose cada vez que se toma una medición del cultivo. En ello trabajó el equipo de Aurora Space.</p> <p>La app tiene 4 “pestañas”.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Ambiente <ol style="list-style-type: none"> a. Iniciar y terminar las mediciones del ambiente (T, HR, PAR) b. Mostrar los valores de las mediciones en vivo y pulsando un botón, los promedios c. Despliegue de clima actual retirado con un API de clima (Openweather) 2) Planta <ol style="list-style-type: none"> a. Iniciar y terminar las mediciones del cultivo (T, HR, PAR) b. Mostrar los valores de las mediciones en vivo y pulsando un botón, los promedios c. Botón para terminar la sesión y actualizar el base de datos de irrigación 3) Irrigación <ol style="list-style-type: none"> a. Presenta el promedio de SI calculado por el cultivo b. Presenta el estado hídrico precedido por el modelo c. Botones para guardar los resultados del modelo d. Exportación de los datos del sensor a un archivo 									

- e. Gráfico de SI promedio de la sesión actual y su evolución sobre hasta 6 fechas
- 4) Información del Cultivo
- Elegir el predio
 - Creación de predios
 - Modelo (tomate)

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Anexo 5 – Aplicación Optiriego

Nº O E	Nº R E	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real	% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		
6	6	El costo de inversión de Optiriego es menor al de la Bomba de Scholander (bS)	Costo inversión	Costo inversión \$ Optiriego) / (Costo inversión \$ bS)		≤ \$2.000.000	Marzo 2020	Agosto 2021	100

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Para la comparación se utilizó el modelo de bomba de Scholander de menor costo en el mercado nacional y en lo que respecta al cálculo de costos de fabricación de Optiriego

Sobre la base de ello se concluye que el costo de inversión de Optiriego es menor al de la Bomba de Scholander

Bomba PMS de Pie / Pump Up Chamber

Optiriego

No se consideró el valor del teléfono celular, ya que todos los productores y trabajadores casi sin excepción utilizan celulares.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Anexo 6 – Análisis económico

Nº O E	Nº R E	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					Fecha alcance meta real	% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada		
7	7	El costo de operación de Optiriego es menor al de la Bomba de Scholander (bS)	Costo operación	Costo operación \$ Optiriego) / (Costo Operación \$ bS)		< 1	Marzo 2020	Agosto 2021	100
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
<p>Se determinaron los costos de operación de la bomba de Scholander y Optiriego en los ensayos de campo para lo cual se estandarizó sobre una superficie de 1 ha de tomates en zona riego uniforme, 10 plantas a muestrear, lo que dio cuenta de costo de operación del sensor Optiriego menor al de la bomba de Scholander, ello debido a lo rápido y simple que es el monitoreo de las hojas con el sensor desarrollado que no requiere de preparaciones especiales. Sumado a lo anterior, el equipo es pequeño con no más de 128 gr de peso respecto del PMS de pie de 3,4 kilos así como la ventaja del registro digital de datos</p> <p>Costo operación Bomba PMS de Pie / Pump Up Chamber Optiriego</p>									

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Anexo 6 – Análisis económico

6.2 Análisis de brecha.

Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos.

Lamentablemente el Covid determine además de extender suspender actividades en campo, lo cual afectó en el proceso de poder establecer con actividades prácticas de campo el poder dar respuesta con el uso del sensor al cuanto regar, aspecto que se abordó de forma teórica de cuanto regar visto que necesitara de input del productor y de estaciones meteorológicas de la red de Chile.

7. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO

Especificar los cambios y/o problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto. Se debe considerar aspectos como: conformación del equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Se eliminó el sensor de viento dentro de los sensores a colocar en el prototipo	Cambios en el diseño de la carcasa y de la placa electrónica	Se modificó el diseño pensado para la carcasa considerando, ahora, una estrategia para mitigar los efectos del viento en las mediciones y de esta forma no incluir el sensor de viento. Se hicieron pequeñas modificaciones en la placa electrónica.
El sensor de luz satura en condiciones de luz solar directo	Requiere una capa de vidrio o plástico sobre el sensor para atenuar la luz. También requiere que se calibra el sensor de luz para cada sensor fabricado, con la carcasa puesto.	Primero se modificó el diseño de la carcasa para tener una capa de plástico sobre el sensor. En desarrollos siguientes se decidió poner difusores o filtros ópticos en lugar de la capa de plástico para obtener características estables y una curva de calibración común para cada tipo de filtro.
Creación de una aplicación para visualización de datos.	Se requiere de mayor tiempo para la programación.	No se debe ajustar nada en el proyecto. Esta nueva característica agrega facilidad de uso al equipo. Se decidió incorporar el modelo y la visualización de la recomendación Optiriego en esta misma app. Por los mayores tiempos requeridos de programar para android, solo se desarrolló un prototipo básico de la app en este proyecto.
Retraso propagación y por ende en la plantación por bajas temperaturas	No vemos efecto de ello	Evitar las fechas de riesgo climático, inició plantación en noviembre 2018.
Resultó muy difícil obtener mediciones razonables con la bomba de	No se logró obtener mediciones utilizables para el desarrollo del modelo con la bomba de Scholander durante las primeras	Se logró después de varios experimentos y consultando el Prof. Ken Shackel de UCD, desarrollar un protocolo de mediciones que presenta

Scholander en tomate. Falta de información para el cultivo en la literatura científica y de los fabricantes.	etapas fenológicas de los cultivos plantados en noviembre de 2018.	valores de presión de agua en la planta razonables. Se obtuvieron mediciones para las primeras etapas fenológicas de tomate en un segundo cultivo en invierno.
Mediciones en invernadero en 2019 entregan rangos de valor angosto	Evaluación prototipo en campo serie II solo podrán ser consideradas como útiles una vez que se realice la validación del modelo	Se evaluó extender el periodo del proyecto en 3 meses para poder alargar el periodo de mediciones en tomates que incluye aire libre e invernadero simultáneamente. Las mediciones llevadas a cabo tanto en invernadero como en la plantación experimental permitieron obtener un rango más amplio
Medición de temperatura en condiciones de alta temperatura e iluminación solar intenso y directo calientan el prototipo en desarrollo	Mediciones de temperatura incorrectas	Se expande el firmware para poder tomar mediciones continuas y se modificó el protocolo de toma de datos de obtener la temperatura de ambiente promedio como primer parte del protocolo La diferencia de temperatura entre la temperatura medida por el sensor y la temperatura ambiental es una variable que se incorporó en los modelos de temperatura de hoja.
Estallido social (Oct 2019 - enero 2020) y COVID-19 (febrero 2020 a la fecha)	Imposibilidad de realizar trabajo en terreno Dificultad para movilización del equipo de Aurora Space	Nos focalizamos en trabajos posibles de realizar desde la casa: desarrollo de modelos, diseño y programación de la app, actualización remota del firmware. Se plantó una pequeña plantación de tomates (5 hileras, 10 plantas por hilera) en casa, con instrumentación de temperatura y humedad de aire y suelo para soportar el desarrollo del modelo y su validación. Se traslado la estación meteorológica desde el sitio en Pichidegua hasta la casa. Se solicitó la extensión de plazos hasta agosto 2021
Altas precipitaciones en la zona en enero 2021	Pérdida de cultivos	Reemplazo de productores con invernadero o al aire libre con cultivo en desarrollo.

Sin posibilidades de aislar la conducción principal de agua para riego a las hileras de Optiriego y las hileras restantes.	La fecha, duración y hora de riego solo bajo el control del productor y trabajadores.	Era posible regar con volúmenes de agua iguales o menores que el productor, pero no fue posible regar días en que el productor decidió no regar. Por lo tanto, los ensayos de validación se enfocaron en la posibilidad de ahorrar agua con Optiriego sin dañar la calidad y cantidad de la cosecha. No se logró evaluar la propuesta de cuanto regar.
Uso de cultivo en desarrollo para las pruebas demostrativas consecuencia de las lluvias torrenciales de enero 2021.	Había entre 1 a 4 cosechas antes de empezar los ensayos. Además, no se logró estar en los campos durante 1-2 cosechas del productor, cosechas que se completaron antes de la fecha por decisiones hechas en el día por presión de clima o mercado.	El análisis de rendimiento y consumo de agua por kilo producido Optiriego vs Tradicional del Productor fue calculado en términos de periodos entre cosechas monitoreados y la duración de los ensayos, y no basado en la temporada completa.

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

- Desarrollo de electrónica y firmware del sensor, calibración de sensores y evaluación de variabilidad, operación
- Desarrollo de varias versiones de la carcasa
- Calibración del sensor de luz PAR con diferentes filtros ópticos, buscando el óptimo, que toma en cuenta parámetros programados como el tiempo de integración del sensor de luz
- Desarrollo del protocolo para el uso de la bomba de Scholander en tomates, debido a la falta de información práctica para este cultivo
- Pruebas con tomates en invernadero, bajo malla y en aire libre, 3 variedades, para inducir diferentes niveles de estrés hídrico, monitoreando el suelo y ambiente (temperatura, humedad, luz, viento), y haciendo mediciones con el prototipo del sensor y la bomba de Scholander para desarrollar líneas de base para cultivos de referencia (plantas sin estrés, plantas con estrés hídrico) y el índice de estrés del cultivo
- Desarrollo de modelos para predecir la temperatura de plantas de referencia bajo las condiciones ambientales que se enfrenten
- Pruebas con tomates bajo malla y en aire libre para alimentar y validar los modelos de referencia
- Desarrollar los protocolos de medición con el sensor Optiriego
- Pruebas de riego con productores de tomates para comparar el ahorro de agua y el rendimiento usando Optiriego y el manejo tradicional del productor
- Validación del CWSI predicho y las recomendaciones (regar o no regar) del modelo Optiriego vs la bomba de Scholander en ensayos con productores de tomates
- Desarrollo del prototipo de una aplicación celular (android) para acompañar el sensor y que tiene integrado los modelos. Recibe los datos del sensor vía bluetooth, los guarda en memoria, corre el modelo, y presenta las predicciones de estado hídrico del cultivo y la recomendación de regar al usuario.
- Análisis económico-operacional comparando Optiriego con la bomba de Scholander.
- Taller para productores con charlas y una demostración del sensor y app.
- Difusión en publrreportajes dirigidos a la industria y productores agrícolas

8.2 Actividades programadas y no realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

Si bien no se trata de actividades, es importante mencionar que debido al covid el feedback esperado de parte de los productores acerca de la App se vio restringido tan solo a los usuarios del proyecto.

Así como las pruebas y propuesta de cuanto regar a partir del uso del sensor visto que en los periodos que se podían realizar estábamos con severas restricciones sanitarias

8.3 Analizar las brechas entre las actividades programadas y realizadas durante el período de ejecución del proyecto.

Todos los plazos se modificaron a causa de las restricciones producto del Covid para trabajar en terreno.

9. POTENCIAL IMPACTO

9.1 Resultados intermedios y finales del proyecto.

Descripción y cuantificación de los resultados obtenidos al final del proyecto, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias; ventas y/o anuales (\$), nivel de empleo anual (JH), número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios; nuevos empleos generados por efecto del proyecto, nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas.

Sobre la base de los resultados obtenidos se espera

Beneficio productivo:

- Optimizar el uso del agua a nivel intra-predial en a lo menos 20 a 30%
- Mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos a partir del uso optimo del agua evitando además problemas radiculares por exceso de esta.
- **Beneficio económico ,sociales y comerciales**
- Contar con una herramienta de costo razonable que permita apoyar la toma de decisión de cuando regar y en el futuro cuanto regar
- Para los productores con riego tecnificado, optimizar la cuenta de energía eléctrica
- Para los productores que pagan por litro consumido Ej convento viejo, ahorro cuenta de agua.
- Desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas en el país.
- Adquisición de data micro climática a partir de mediciones de campo realizados por los productores.
- Generación de nuevos puestos de trabajo en: desarrollo, fabricación y mantención de los sensores
- Mejorar calidad de vida y Garantizar seguridad alimentaria del país.

Beneficio mediambiental

- Mitigar el deficit de agua de riego
- Al usar menos agua se reducirá la contaminación por fertilizantes y plaguicidas usados en los cultivos
- Mejorar la diversidad ecológica de ríos, lagos, mar y suelo
- El excedente de agua no usado abastecerá las napas y caudales ecológicos como fuente de agua dulce
- Disponer de canales de regadío con menor contaminación

10. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno que afectaron la ejecución del proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo y otros, y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

Sequía El 20 agosto 2019 el ministro de Agricultura, Antonio Walker, declara de emergencia agrícola por escasez hídrica del 70%, para todas las comunas de la Región de O'Higgins. Condición que se mantiene a la fecha independiente del agua caída a fin de enero. Generando oportunidades para OPTIRIEGO visto la importancia de establecer de forma objetiva y precisa las necesidades de riego,

Fluctuaciones del valor del dólar: En dos periodos del proyecto se eleva sobre los \$800 afectando el costo de los insumos requeridos para la fabricación.

Déficit de materias primas: Elevando los costos y retrasando los plazos de fabricación

COVID19 desplazamiento de las fechas programadas, limitación por aforo de las actividades en sala y campo por los que se solicita un mayor plazo a FIA y se restringen actividades presenciales reemplazándolas por virtuales o en número de participantes

11. DIFUSIÓN

Describa las actividades de difusión realizadas durante la ejecución del proyecto. Considere como anexos el material de difusión preparado y/o distribuido, las charlas, presentaciones y otras actividades similares.

	Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
1	31/08/2021	Restorán El Tambo	Taller	36	Presentaciones PowerPoint, Lista de asistencia (Anexo 7)
2	29/08/2021	LinkedIn	Difusión por FIA en reportesostenible.cl	NA	http://reportesostenible.cl/blog/optiriego-el-sensor-portatil-que-permitiria-ahorrar-hasta-un-30-de-agua-en-cultivo-de-hortalizas-y-frutales/
3	Sep 2021	Redagrícola (edición 221)	Publicación digital y en papel	NA	Publicación de Noticia (Anexo 7)
			Total participantes	36	

12. PRODUCTORES PARTICIPANTES

Complete los siguientes cuadros con la información de los productores participantes del proyecto.

12.1 Antecedentes globales de participación de productores

Debe indicar el número de productores para cada Región de ejecución del proyecto.

Región	Tipo productor	Nº de mujeres	Nº de hombres	Etnia (Si corresponde, indicar el Nº de productores por etnia)	Totales
O'Higgins	Productores pequeños	0	2		3
	Productores medianos-grandes		3		2
	Productores pequeños				
	Productores medianos-grandes				
Totales					5

12.2 Antecedentes específicos de participación de productores

Nombre	Ubicación Predio			Superficie há.	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		
Luis Carreño Silva	VI	Pichidegua	Camino Las Rosas s/n, Patagua Orilla	1,5	2018
Fabian Bahamonde	VI	Pichidegua	Patagua Cerro, Parcela 46	4	2018
Samuel Acevedo, Camilo Henríquez	VI	San Vicente TT	Ruta H-674, Zuñiga	30	2021
Jaime Iván Lagos	VI	San Vicente TT	Ruta H-674, Zuñiga	20	2021
Luis Quintanilla	VI	San Vicente TT	Tunca y Medio s/n	11	2021

13. CONSIDERACIONES GENERALES

13.1 ¿Considera que los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto?

Si,

13.2 ¿Cómo fue el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

La relación entre equipos técnicos y asociados ha sido muy buena aspecto que ha permitido sobrellevar los largos periodos con restricciones sanitarias

13.3 A su juicio, ¿Cuál fue la innovación más importante alcanzada por el proyecto?

Contar con un sensor de fácil uso , digital que da respuesta a una de las preguntas mas importantes del manejo de agua a nivel predial Cuando regar

13.4 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

Fuimos contactado por un periodista de la Revista de Campo, El Mercurio, que nos informó que debido a lo interesante del proyecto tenían interés en publicar un reportaje, lo que se concretó a partir de una entrevista por correo electrónico. Have Heard nothing since. Leave out?

Se ha recibido manifestaciones de interés por avanzar con el desarrollo hacia otras especies , tal es el caso de Viñas – Undurraga, Luis Felipe Edwards; Uva de Mesa – Agrícola La Isla; Cerezas Frual.

6

14. CONCLUSIONES

Realice un análisis global de las principales conclusiones obtenidas luego de la ejecución del proyecto.

Con el uso de OPTIRIEGO será posible en una plantación de tomate ahorrar entre un 20 a 30 % de agua .

15. RECOMENDACIONES

Señale si tiene sugerencias en relación a lo trabajado durante el proyecto (considere aspectos técnicos, financieros, administrativos u otro).

16. ANEXOS

- Anexo 1** Sensor Optiriego
- Anexo 2** Desarrollo del Modelo
- Anexo 3** Protocolo de uso de la bomba de Scholander en tomates
- Anexo 4** Ensayos demostrativos con productores
- Anexo 5** Aplicación Optiriego
- Anexo 6** Análisis económico-operacional
- Anexo 7** Difusión

17. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Abou Hadid, A.F., El-Beltagy, A.S., Smith, A.R., & Hall, M.A. (1986). Effect of water stress on tomato at different stages of development. *Acta Hort.* 190, 405-415.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1994). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome

Bostock, R.M., Pye, M.F., & Roubtsova, T.V. (2014). Predisposition in plant disease: Exploiting the nexus in abiotic and biotic stress perception and response. *Annual Review Phytopathology* 52, 517-549.

Calderon, A. (2013). Opinión: Uso de la bomba de tipo "Scholander" como indicador de estrés hídrico. *PortalFruticola.com*, 23 febrero 2013.

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2013/02/22/opinion-uso-de-la-bomba-de-tipo-scholander-como-indicador-de-estres-hidrico/>

Cerekovic, N., Todorovic, M., Snyder, R.L., Boari, F., Pace, B., & Cantore, V. (2010). Evaluation of the crop coefficients for tomato crop grown in a Mediterranean climate. In: Lopez-Francos, A. (comp), Lopez-Fracos A. (collab.), Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ICARDA / GDAR / CEIGRAM / MARM (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 95), p. 91-94.

Anon. Measuring crop water status in orchard crops. University of California Cooperative Extension. Resource 20516. <http://cete.hama.ucanr.edu/files/20516.pdf>

Deloire, A., Pellegrino, A., & Rogiers, S. (2020). A few words on grapevine leaf water potential. *IVES Technical Reviews vine & wine*. June 2020.

DOI: <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2020.3620> <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/3620>

R. Dhillon, V. Udompetaikul, F. Rojo, J. Roach, S. Upadhyaya, D. Slaughter, B. Lampinen, K. Shackel
Dhillon, R., Udompetaikul, V., Rojo, F., Roach, J., Upadhyaya, S.K., Slaughter, D., Lampinen, B., & Shackel, K. (2014). Detection of plant water stress using leaf temperature and microclimate measurements in almond, walnut, and grape crops. *Transactions of the ASABE*, 57(1), 297-304.

Gianquinto, G., Ceccon, P., & Giovanardi, R. (1990). Evapotranspiration, growth and yield of fresh market tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) at two irrigation levels. *Acta Horticulturae*, 278, 579-586.

Harel, D., Sofer, M., Broner, M., Zohar, D., & Gantz, S. (2014). Growth-stage-specific KC of greenhouse tomato plants grown in semi-arid Mediterranean region. *Journal of Agricultural Science*, 6(11), 132-142.

Idso, S.B., Jackson, R.D., & Reginato, R.J. (1977). Remote sensing of crop yields. *Science*, 196, 19-25.

Idso, S. B., Jackson, R.D., Pinter, P.J. Jr., Reginato, R.J. & Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.*, 24, 45-55.

Ismail, H., Abubakar, S.Z., Oyebode, M.A., Shanono, N.J., & Dalhat, M. K. (2014). Crop water stress of tomato as affected by irrigation regimes. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 10, 25-39.

Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., & Pinter Jr., P.J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4), 1133-1138.

Jackson, R.D., Kustas, W.P., & Choudhury, B.J. (1988). A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation Science*, 9(4), 309-317.

Jones, H.G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.*, 55(407), 2427-2436.

Maes, W.H., & Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4671-4712.

Nahar, K., & Ullah, S.M. (2017). Fruit quality and osmotic adjustment of four tomato cultivars under drought Stress. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2, 1-8. 10.9734/AJSSPN/2017/36861.

Ortega-Farias, S., Leyton, B.H., Valdés, H., & Paillán, H. (2003). Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomates de invernadero producido en primavera-verano. *Agricultura Técnica*, 63(4), 394-402.

Scholander, P., Bradstreet, E., Hemmingsen, E., & Hammel, H. (1965). Sap pressure in vascular plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Simonne, E.H., & Barrett, C.E. (2020). 2020–2021 *Vegetable Production Handbook*: Chapter 3. Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables. Publication CV297, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CCCV%5CCV29700.pdf>

Anexo 1 – Sensor

Desarrollo del sensor

El desarrollo del sensor se inició con la búsqueda de los sensores ambientales idóneos para el proyecto, es decir, se establecieron rangos de medición, precisión, interfaces de comunicación, entre otras características, y se buscaron alternativas que fuesen accesibles económicamente y de tamaño pequeño para ser integradas dentro de un sensor pequeño también. Esto llevó al desarrollo de una primera placa electrónica de evaluación que se puede ver en la figura 1.1

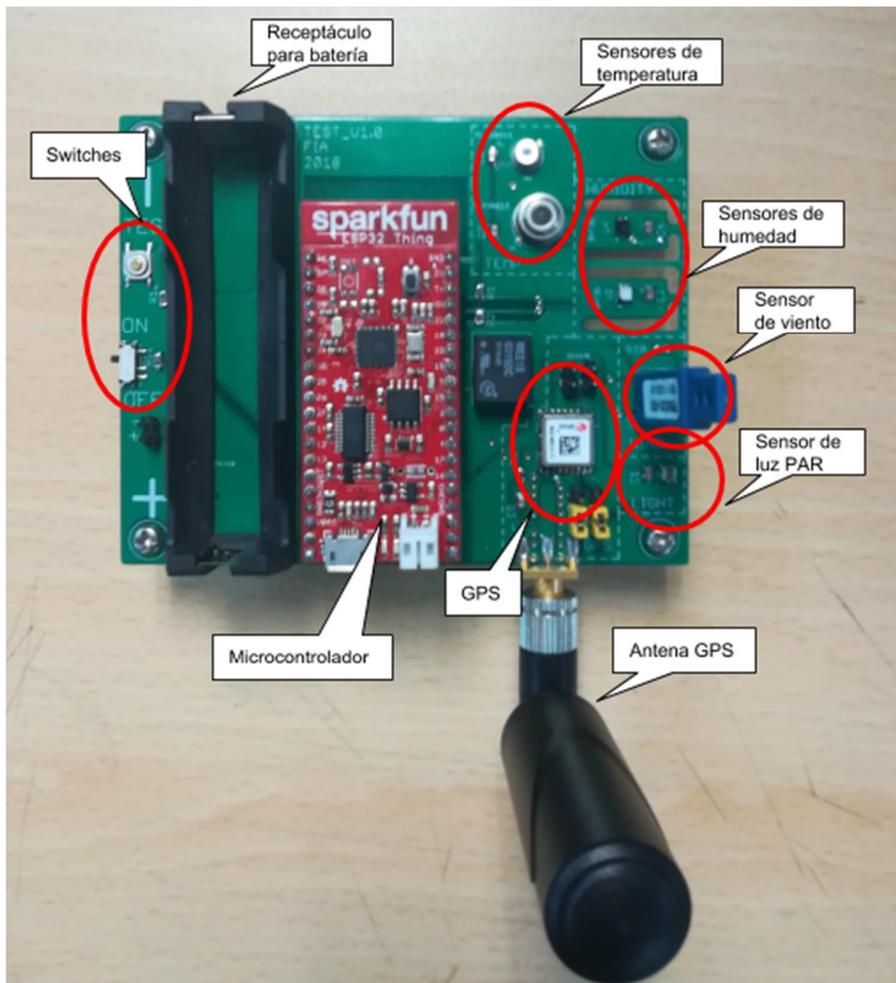


Figura 1.1 - Primera placa de desarrollo y prueba de sensores ambientales

Esta placa permitió registrar, evaluar, y validar medidas ambientales y de posición para poder tomar la decisión sobre qué sensores ocupar para el resto del proyecto, así como también probar la funcionalidad de interruptores y botones en el ámbito de la usabilidad.

En un siguiente paso, se diseñó una placa electrónica que fuese más “portable” - acorde al objetivo del proyecto - y que tuviera todo lo necesario para poder funcionar de forma autónoma. Esto llevó al diseño que aparece en la figura 1.2



Figura 1.2 - Primera versión portable del sensor

Paralelamente, se diseñó una carcasa que fuese adecuada para el manejo de este sensor en terreno y que lo protegiera frente a las condiciones en aquellas salidas. Esta primera versión se muestra en la figura 1.3



Figura 1.3.- Primer diseño de carcasa para el sensor

Luego de someter el sensor a pruebas de uso, tanto en condiciones ideales como en condiciones reales, se decidió hacer un cambio mayor para mejorar la durabilidad, posibilidad de actualización y versatilidad del sensor, el cual consistió en separar la parte de los sensores con respecto de la parte del microcontrolador y electrónica restante, haciendo posible que, por ejemplo, se puedan cambiar los sensores si estos sufren algún daño o se puedan actualizar a versiones mejores sin tener que desechar todo. Esta modificación en el diseño de las placas electrónicas también significó la realización de un nuevo diseño de la carcasa. Las nuevas placas electrónicas y la carcasa impresa se pueden ver en la figura 1.4

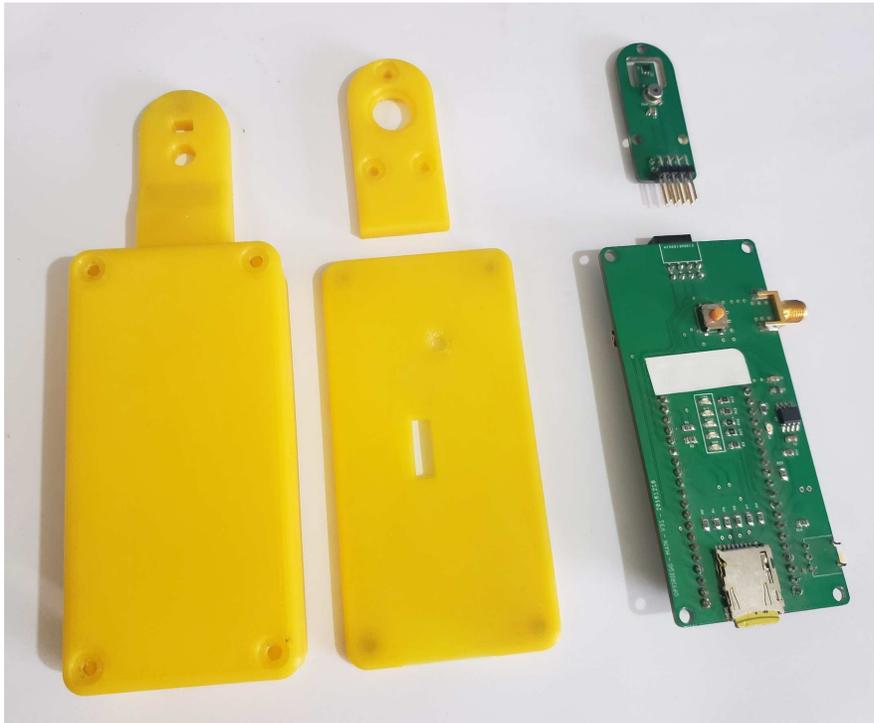


Figura 1.4 .- Diseño mejorado y con nueva arquitectura que separa sensores del resto de la electrónica.

Esta versión fue la más usada en terreno y demostró durabilidad en las pruebas y en variadas condiciones ambientales

Finalmente, pequeñas modificaciones fueron hechas a la carcasa para obtener una versión mejorada del sensor completo que se muestra en la figura 1.5. Esta versión incluye un nuevo material (resina) y cobertura de áreas abiertas para minimizar la entrada de polvo o agua hacia la electrónica.



Figura 1.5.- Versión actual del prototipo del sensor

Filtro para el sensor de luz

En la segunda versión del sensor, se agregó un difusor para limitar la entrada de luz hacia el sensor de este mismo tipo con tal de no saturar y obtener mediciones correctas. Resultado que la transmisión del 30% de luz era demasiado alta. Calculamos comparando las mediciones con el difusor versus la versión de cáscara sólida indican que una transmisividad de 5% será recomendado y pedimos filtros ND con 5% transmisividad (Fig. 1.6). Los filtros ND fueron instalados en los prototipos versión 3 del sensor (Fig. 1.7).

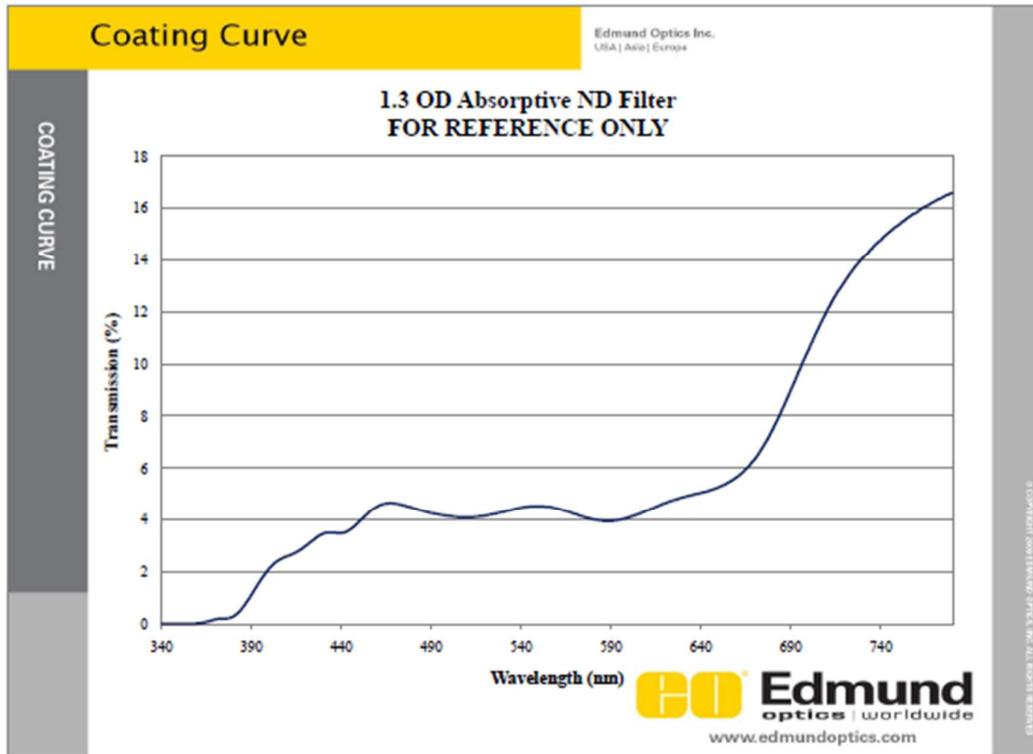


Figura 1.6.- Transmisividad del filtro de vidrio tipo “densidad neutral absorbente” (absorptive ND Filter) con densidad óptica (OD) 1.3 y transmisividad promedio 5%.



Figura 1.7.- Filtro ND instalado en la pieza cabeza de la carcasa.

Con ese filtro, se logró mediciones de luz solar hasta aproximadamente $2000 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ sobre que uno de los canales del sensor se saturó (en comparación, el sensor de luz se saturó alrededor de $1300 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ con una capa de PETG). Es más, descubrimos durante las pruebas de primavera y verano, que la intensidad de luz solar del mediodía superó $2000 \text{ umol/m}^2/\text{s}$ y el sensor de PAR comercial que ocupamos como referencia solo mide hasta 2000, típico de los sensores PAR portátiles que se venden para la agricultura. Requerimos un sensor capaz de medir luz PAR más intenso y juntos con ese, se requiere un filtro con



menos transmisibilidad. Concluimos que un filtro ND reflectivo con un OD de al menos 2.0 (una transmisividad promedio de 1% o menos) será necesario para acompañar mediciones de luz solar sobre 3000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. La figura 1.5 muestra la nueva cascara del sensor con un filtro ND reflectivo con 1% transmisibilidad. Además, para calibrar el sensor con el nuevo filtro en el rango de condiciones de iluminación que enfrentamos en Chile, conseguimos el Apogee SQ-313 PAR meter que es capaz de medir PAR hasta 4000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y es compatible con los dataloggers que ya tenemos (Decagon EM50 y Meter ZL6).

Calibración del sensor de luz

Del procedimiento propiamente tal, visto que no se encontró laboratorio para que realizara la calibración, se procedió a realizar la calibración con capacidades propias del proyecto considerando que el medidor de PAR comercial que adquirimos (LightScout Quantum Meter 3415FSE, Spectrum Technologies) ya está calibrado, para lo cual se utilizó como equipo de referencia. Las mediciones se llevaron a cabo exponiendo el LightScout a luminosidad al aire libre, una vez que se estabiliza se accionaba ON del sensor a calibrar lo que queda registrado en la memoria del Sensor en desarrollo registrando los valores de los dos canales que dispone (CH0 y CH1). Dichas mediciones se realizaron bajo diferentes condiciones de luz durante el mes de noviembre 2019.

La Figura 1.8 muestra la calibración del sensor de luz con el filtro OD 1.3. Hubo más ruido (fluctuaciones) en la luz del sol con altas intensidades por condiciones atmosféricas. Sin embargo, se logró obtener una relación lineal entre los datos del sensor de luz y la PAR referencial hasta 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ con coeficiente de determinación $R^2 = 0.939$. Es decir, el 93.9% de la variación de los datos se puede explicar por el modelo; una calibración de laboratorio se puede dar por sobre el 99%. Sobre los 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ era necesario extrapolar la calibración. Para eso, se ocupó la relación entre los dos canales (CH0 y CH1) del sensor de luz (Fig. 1.9), y se asume que se puede extrapolar esta relación en una manera lineal para intensidades más altas. Se construyó las calibraciones normalizada por el tiempo de integración del sensor de luz (T_{int} , un variable de la configuración del sensor), así están válidas para distintas T_{int} . Esta relación tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.998$.

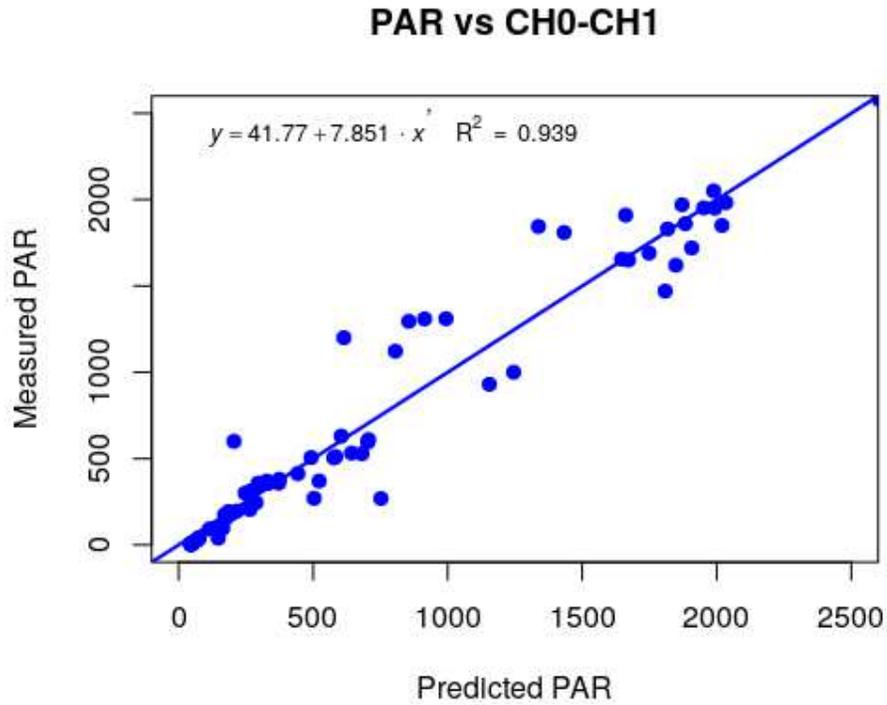


Figura 1.8.- Relación de calibración del sensor de luz con un filtro OD 1.3, hasta 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

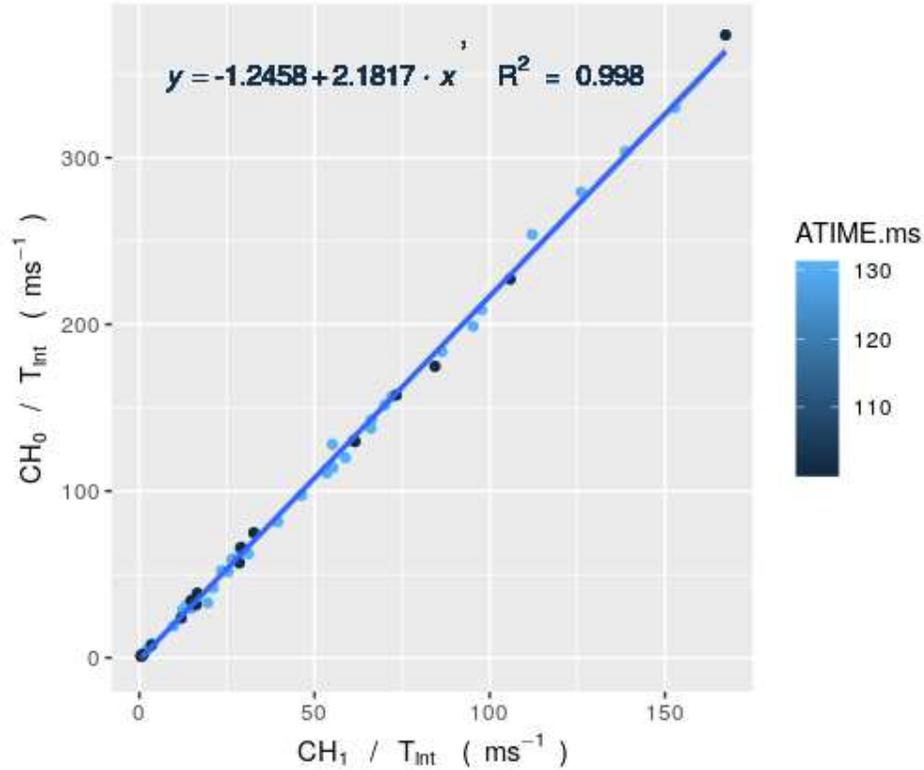


Figura 1.9.- Relación entre los dos canales (CH0 y CH1) del sensor de luz, con un filtro OD 1.3 y distintos tiempos de integración, obtenido bajo condiciones hasta 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.



Actualizaciones de firmware y mejoras al sensor

Archivo de configuración

Es posible usar un archivo en la memoria micro SD del sensor para efectuar algunas configuraciones a los parámetros de funcionamiento del dispositivo. El archivo debe llamarse “conf.txt” y puede contener los siguientes parámetros

light_int_time: Tiempo de integración del sensor de luz.

light_gain: Ganancia del sensor de luz [

temp_emiss: emisividad del objeto medido por el sensor de temperatura infrarrojo

sens_samples: Número de muestras a tomar en el modo continuo

Modo continuo

En este modo es posible tomar un número determinado de muestras, cada un segundo, de forma continua. El valor por defecto es 10, pero se puede cambiar usando la variable **sens_samples** del archivo de configuración explicado en la sección anterior.

Para acceder al “modo continuo”, se debe hacer lo siguiente:

- Presionar el botón de toma de muestras
- Esperar a que se prenda el led azul
- Presionar nuevamente el botón de toma de muestras

Con lo anterior, el sensor efectuará el número de mediciones determinado y vibrará al efectuar la última medición.

Actualización remota de firmware

La actualización remota de firmware permite cargar, en el dispositivo, binarios previamente compilados, lo cual extiende la funcionalidad del sensor y corrige posibles problemas detectados durante la operación.

Consideraciones previas

Para la actualización del integrado ESP32 se contará con un archivo binario YA COMPILADO. La versión de este programa se explicita usando el hash del commit correspondiente a la



compilación. Su valor se pondrá en el nombre del binario y además se podrá observar al iniciar el sensor visualizando los datos de debug a través del puerto USB

La actualización varía según el sistema operativo, pero, para todos los casos se consideran los siguientes parámetros

- **Ruta al archivo binario de bootloader (bootloader.bin):**
Archivo que contiene información para el inicio de las funcionalidades básicas del chip
- **Ruta al archivo de particiones (partitions_singleapp.bin)**
Archivo que contiene información de la partición de la memoria del chip
- **Ruta al archivo del programa (.bin)**
Archivo que contiene el programa específico a correr en el chip
- **Puerto serial**
Puerto en el cual se conectará el ESP32 para ser programado. En Windows la ruta es del estilo COMX y en Linux es del estilo /dev/ttySX o /dev/ttyUSBX, donde X denota un número. Este puerto tiene asociada una velocidad de transferencia que, comúnmente, es 115200 bps
- **Puerto de programación SPI**
Este puerto se ocupa para programar la memoria flash del integrado ESP32. Tiene asociado un modo y una velocidad
- **Memoria FLASH**
Memoria en la cual se guarda un programa. Tiene un tamaño determinado en Mbits
- **Cristal**
Es un dispositivo que determina la frecuencia de operación del chip. Tiene asociada una frecuencia en MHz

Sistema operativo

Windows

Para el sistema operativo Windows, se ocupa un programa llamado “Flash Download Tool”, disponible en <http://espressif.com/en/products/hardware/esp32/resources>

Una vez ejecutado, se verá la siguiente pantalla

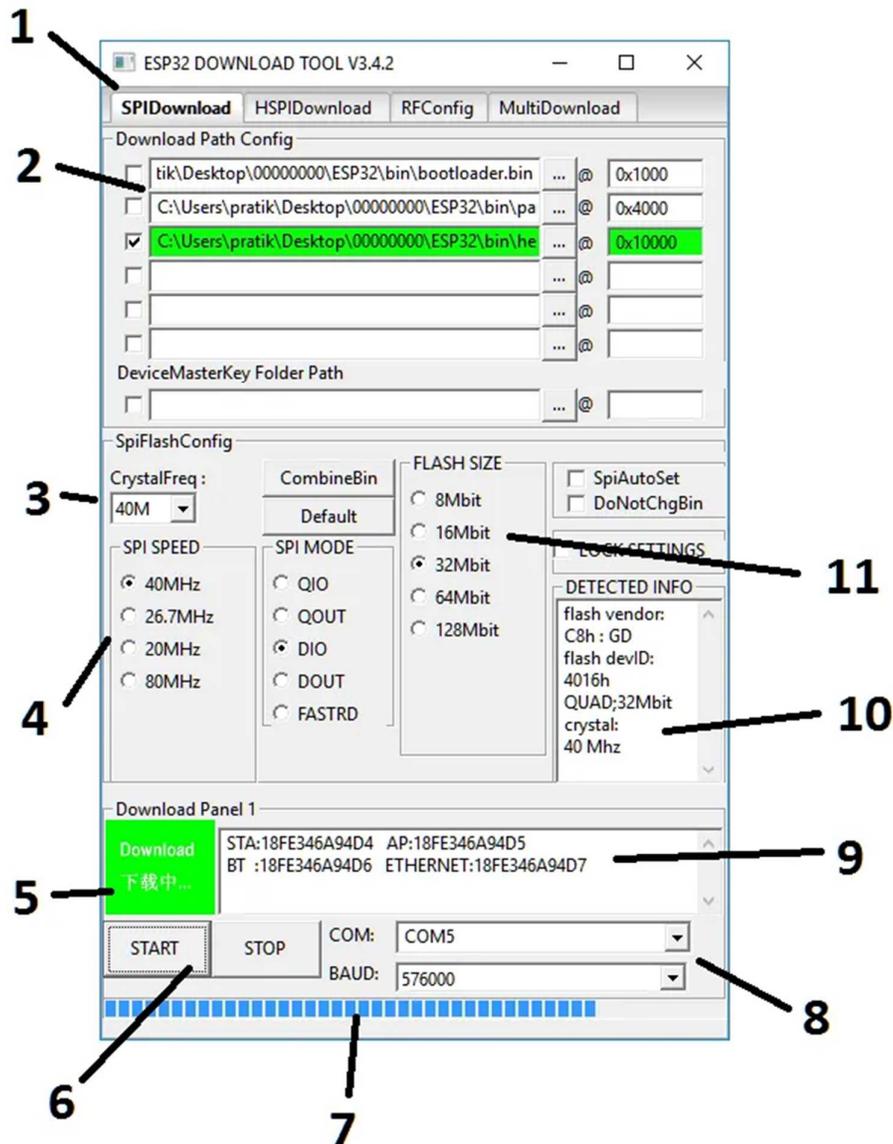


Figura A1.10.- Interfaz del programa “Flash Downloader Tool”

Para programar el chip ESP32, ocupar los siguientes parámetros según los números que aparecen en la figura A1.10.

- 1.- Modo de descarga: SPIDownload
- 2.- Archivos (SELECCIONAR LOS ARCHIVOS EN LOS RECUADROS DE LA IZQUIERDA)
 - 2.1.- bootloader.bin, dirección: 0x1000
 - 2.2.- partitions_singleapp.bin, dirección: 0x8000
 - 2.3.- programa.bin, dirección: 0x10000
- 3.- Frecuencia del cristal: 40 MHz
- 4.- SPI
 - 4.1.- Velocidad: 40 MHz



4.2.- Modo: DIO

8.- Puerto serial donde está conectado el sensor

BAUD 115720

11.- Tamaño de la memoria flash: 32 Mbit.

Una vez ingresados los parámetros, presionar el botón “START”, indicado por el número 6. La barra de progreso (7) comenzará a avanzar y el indicador (5) mostrará la acción actual.

El recuadro indicado en el número 10 mostrará la información seleccionada, y el recuadro 9 indica parámetros propios del chip.

Más detalles se pueden encontrar en la siguiente página <http://iot-bits.com/esp32/esp32-flash-download-tool-tutorial/> (en inglés)

Linux

Para el sistema operativo Linux, se debe ocupar la herramienta esptool, hecha en python. Se debe contar con python 2.7 o python 3.4 o superior para su ejecución.

Para instalarlo, ejecutar el siguiente comando

pip install esptool

Para programar un chip ESP32, ocupar la siguiente línea de comandos

```
esptool --chip esp32 --port /ruta-al-puerto-serial  
--baud 115200 --before default_reset --after hard_reset write_flash  
-z --flash_mode dio --flash_freq 40m --flash_size detect 0x1000  
/ruta-al-archivo-bootloader/bbootloader.bin 0x10000 /ruta-al-  
archivo-del-programa/main-sensor-hoja.bin 0x8000 /ruta-al-archivo-  
de-particiones/partitions_singleapp.bin
```

En la línea de comando anterior, se han destacado en **negrita**, los parámetros que DEBEN ser modificados por el usuario. Antes de ejecutar el comando, REVISAR BIEN que todo esté en orden.

Detalles de la herramienta esptool se encuentran en la siguiente página <https://github.com/espressif/esptool> (en inglés)

Anexo 2 – Desarrollo del Modelo para Tomates

En este reporte se presenta el modelo de clasificación desarrollado con cinco series de experimentos, 3 en invernadero y 2 en aire libre. En Anexo 4 se presenta una serie de experimentos más, conducido en campos de productores, en cual se aplicó el sensor con su modelo para determinar cuánto regar y se comparó el rendimiento y calidad de fruta con el programa de riego tradicional del productor.

El proceso del desarrollo constituyó en las siguientes etapas:

- (1) Desarrollo de un protocolo para medir SWP ('stem water potential' – el potencial hídrico del tallo de la planta) de plantas de tomate usando la bomba de Scholander (Anexo 3).
- (2) Una serie de experimentos con tomates en aire libre y bajo malla para establecer valores de SWP medidos con una bomba de Scholander con distintos niveles de estado hídrico: desde 'bien regada' (sin estrés hídrico) hasta 'sin transpiración' (estrés hídrico máximo) y el rango intermedio los dos extremos.
- (3) Establecer y validar relaciones (líneas base, "baselines") entre mediciones de la planta y su ambiente por el sensor, y las dos condiciones extremas de 'bien regada' (línea base inferior) y 'sin-transpiración' (línea base superior) basado en los experimentos (1) y experimentos en campo adicionales.
- (4) Definir un índice de estado hídrico del cultivo basado en múltiples mediciones de un cultivo (sector de riego) con el sensor y establecer valores críticos entre estados sin- y con-estrés hídrico, tomando en cuenta la alta variabilidad biológica que se puede encontrar.
- (5) Desarrollar y validar un método de auto calibración del modelo para distintas variedades, etapas fenológicas y condiciones de cultivo (invernadero o aire libre).
- (6) Implementar y validar el sistema en campos de productores (Anexo 4).

Los ensayos

Los experimentos fueron diseñados con el propósito de crear un rango de condiciones de estado hídrico para el modelo y su validación. Se ocupó los resultados de los primeros experimentos 1 (invernadero) y 2 (aire libre) para identificar los rangos de valores de SWP asociados con distintos estados hídricos en tomates, debido a la escasez de datos e información en la literatura sobre esta especie.

Se sumó a estos primeros experimentos tres ensayos adicionales con propósito de crear un amplio espectro de condiciones de estrés hídrico en distintas etapas de desarrollo de la planta para el desarrollo del modelo y para tener nuevos datos para la validación del modelo.

Tabla 2.1 – Resumen de ensayos en campo

Ensayo	Cultivo	Variedad	Fecha inicio	Fecha termino	Ubicación (Productor)
1	aire libre	Colona (injertada)	20-11-2018	12-04-2019	Pichidegua (LC)
2	invernadero	888 (injertada)	13-11-2018	15-04-2019	Pichidegua (FB)
3	bajo malla	Alamina injertada sobre Maxifort	18-10-2019	10-12-2019	Pichidegua (FB)
4	bajo malla	Alamina injertada sobre Maxifort	19-12-2019	09-03-2020	Pichidegua (FB)
5	aire libre	Besuto (franco)	21-03-2020	13-06-2020	El Tambo (Geco)

Productores y localidades

Productor Luis Carreño

El huerto del productor Luis Carreño se encuentra ubicado en Camino Las Rosas, Patagua orilla, Pichidegua de la provincia de Cachapoal, en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Latitud: 34°17'27.67"S, Longitud: 71°21'58.25"O



Figura 2.1. Ubicación huerto Luis Carreño. (Google Earth, 2018).

El ensayo consta de 12 sectores de riego los que están distribuidos aleatoriamente en una sola hilera. Cada sector consta de 20 plantas con una distancia de 30 cm sobre hilera. La variedad cultivada fue “Colona” y fue trasplantada el día 20 de noviembre de 2018 y su inicio de cosecha el 18 de febrero de 2019. En el siguiente cuadro se muestra los distintos tratamientos y sus repeticiones (Aire Libre).

Productor Fabián Bahamonde

El huerto del productor Fabián Bahamonde se encuentra ubicado en Pataguas Cerro, Parcela 46, Pichidegua de la provincia de Cachapoal, en la VI Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Latitud: 34°18'19.68"S, Longitud: 71°22'0.84"O



Figura 2.2. Ubicación huerto Fabián Bahamonde. (Google Earth, 2018).

El ensayo consta de 16 sectores de aproximadamente los que se encuentran distribuidos de manera aleatoria en 3 hileras. Cada sector consta de 20 plantas las que tienen una distancia de plantación de 40 cm sobre hilera. La variedad cultivada fue “888” y fue trasplantada el día 13 de noviembre de 2018 y su inicio de cosecha el 13 de febrero de 2019. En el siguiente cuadro se muestra los distintos tratamientos y sus repeticiones (Invernadero):

Estación meteorológica (productor José Carreño)

La estación meteorológica se ubicó en el predio de José Carreño, ubicado en ruta H-76, Los Romos, Pichidegua de la provincia de Cachapoal, en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Latitud: 34°20'23.8"S, Longitud: 71°20'38.3"O



Figura 2.3. Estación meteorológica. Huerto José Carreño.

Trabajando con la Bomba de Scholander

Se desarrolló los protocolos de manejo de la bomba de Scholander, carga de nitrógeno, uso de la bomba en campo, así como un programa de riego según ET_c y mediciones con los sensores y la bomba de Scholander.

La bomba de Scholander se incluyó una manguera y válvula para la recarga de su estanque de nitrógeno. El estándar de válvula ocupado en EEUU (que viene con el equipo) no coincide con el tipo de válvula ocupado en Chile. Fue necesario cambiar la válvula, incluyendo la modificación del hilo para poder conectarlo al estanque. En la

Durante el desarrollo de las mediciones con la bS se encontró problemas en la medición con la bomba de Scholander en tomates por su condición de tener un peciolo succulento. Debido a ese, no logramos tomar datos confiables con la bomba durante las primeras semanas de los experimentos 1-2 (plantas en crecimiento), otra razón por conducir otros experimentos 3-5. Hubo una revisión de la poca literatura disponible para tomates. La literatura consultada no reveló ninguna descripción detallada de como medir en tomates, las recomendaciones del fabricante en EEUU fueron de carácter general; no obstante, con una serie de experimentos propios con la bS y consultas con Dr Ken Shackel de la Universidad de California Davis, experto en el uso de la bomba de Scholander, logramos establecer como usar la bS en tomates y obtener mediciones

consistentes.

Se presenta el protocolo de uso de la bomba en tomate que se desarrolló, en el Anexo 3.

1. Modificaciones a las bolsas estándares de SWP (tipo foil) para facilitar obtener mediciones precisas con la bS.
2. Selección y preparación de hojas en la planta (ubicación en la planta y porción de la hoja compuesto, duración de guardia en la bolsa de SWP) aptas para las mediciones.
3. Velocidad de aplicación de presión con la cámara de la bS en tomate.
4. Reconocimiento del “punto final” para a medición de presión de agua en la hoja.



(a)



(b)

Figura 2.4. Bomba de Scholander. (a) Bolsa de SWP para la preparación de una hoja para la bomba de Scholander (b) Insertando la hoja y bolso en la cámara de presión de la bomba de Scholander (modelo 615D, PMS Instruments Co.)

Identificación de estrés hídrico en los tratamientos experimentales

En terminso de la cosecha total (numero de frutas y kg por planta) se encontro diferencias menores entre los tratamientos; los efectos de los tratamientos de riego fueron mas notables por la calidad de frutas – contenido de solidos solubles ($^{\circ}$ Brix). Basado en los resultados de las cosechas, principalmente en los valores de Brix, se definio los tratamientos como indicada en la tabla 2.2.

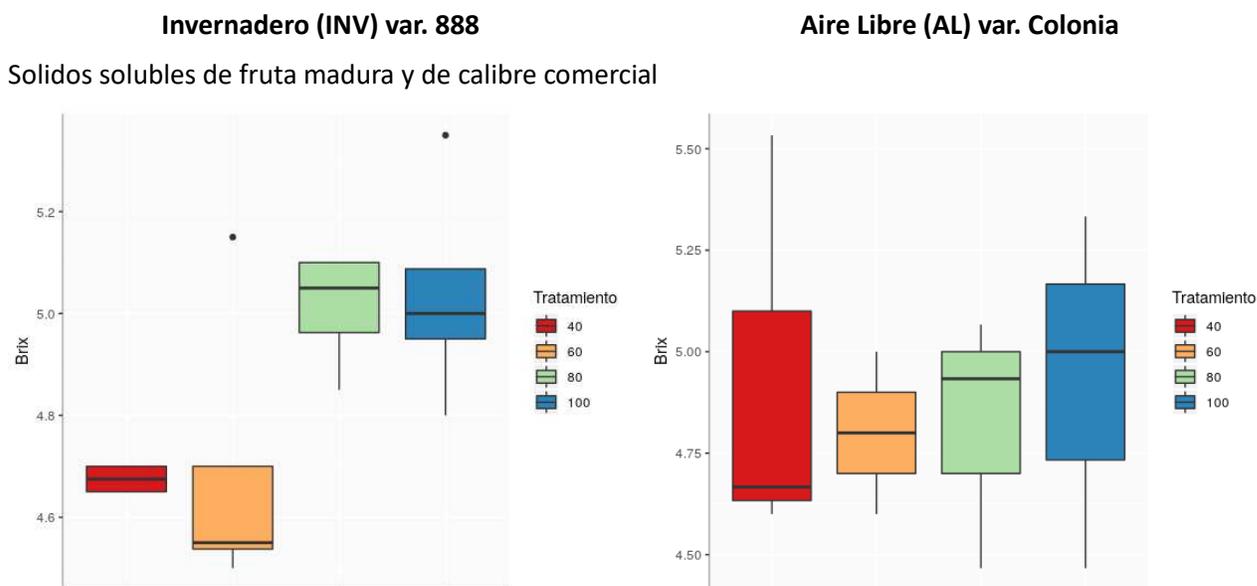


Figura 2.5: Soluble solidos de frutas maduras segun cultivo (en invernadero o aire libre) y tratamiento (riego)

Tabla 2.2: Classification de estres hidrico de los tratamientos

Tratamiento	Invernadero	Aire Libre
“40%”	Con estres hidrico	Con estres hidrico
“60%”	Con estres hidrico	Estres hidrico moderado
“80%”	Sin estres hidrico	Estres hidrico bajo
“100%”	Sin estres hidrico	Sin estres hidrico

Desarrollo de referencias “baseline”

Basado en los resultados de los cinco ensayos, se propone las líneas bases y categorías de estrés según las mediciones con la bomba de Scholander, que se ocuparan como la referencia para validar el modelo de estrés según el sensor Optirriego (Figura 2.1).

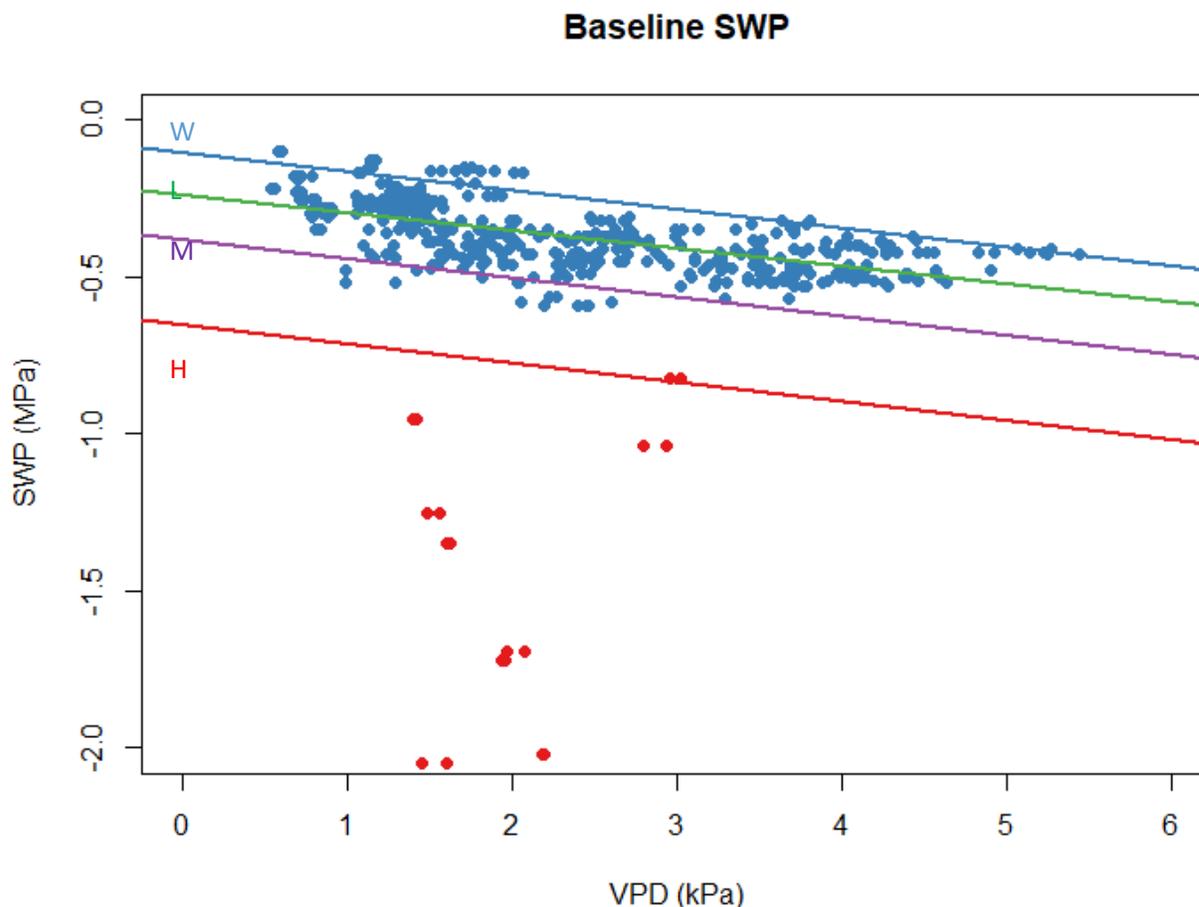


Figura 2.6: Propuestas (actualizadas) de límites de SWP (stem water potential) y categorías de estrés hídrico para una planta con transpiración máxima (—), una planta con alto estrés hídrico (—) y una planta sin transpiración (—). La línea verde (—) es el modelo de regresión para una planta bien hidratada. ● datos de hojas de plantas bien hidratadas de los cinco experimentos, dos en aire libre y tres en invernaderos ● datos de las hojas quebradas. Asignación de nivel de estrés de una planta o cultivo: “W” = transpiración máxima, “L” estrés bajo, “M” estrés moderado, “H” estrés alto, “D” estrés muy alto hasta seco.

Índice de Estado Hídrico

Nuestro modelo de estrés está basado en el concepto de índice de estrés CWSI (crop water stress index); se puede escribir en la forma

$$SI = \frac{T_{hoja} - T_W}{T_D - T_W}$$

donde T_{hoja} es la temperatura de una hoja o follaje, T_W es la temperatura que se muestra una planta transpiración máxima (condición de referencia bien regada o “wet”) que sirve como el límite bajo de temperatura y T_D es la temperatura de una hoja sin transpiración (seca o “dry”) que sirve como el límite alto de temperatura de hoja o follaje.

Es común usar un índice de estrés como el CWSI con sectores del cultivo mantenido siempre con máximo transpiración (riego sin ahorros) y unas hojas donde no se permite transpiración (ej. aplicando jaleo de petróleo a la hoja) para establecer las temperaturas de la hoja – bajo las condiciones ambientales del día – de una hoja con transpiración máximo y una hoja sin transpiración. Este método no es práctico para la producción en campo por eso un enfoque importante de esta etapa fue desarrollar modelos para predecir el T_W y el T_D bajo las condiciones del día. Un modelo preliminar fue desarrollado basado en ensayos 1 y 2. En este periodo se ocupó los datos de todos los ensayos para calibrar (construir) y validar los modelos, usando 50% de los datos para calibración y otro 50% para validación.

Temperatura de hoja bien hidratada

Se desarrolló un modelo regresión con interacciones para predecir la temperatura de una hoja de una planta bien hidratada en términos de $T_W = f(\text{PAR}, T_A, dT_{amb}, \Delta^{-1})$, donde T_A es la temperatura de aire alrededor de la hoja medido por el sensor, dT_{amb} es la diferencia de esta temperatura con la temperatura ambiental, y D es el pendiente de la relación entre la presión vapor saturada (saturation vapour pressure) y T_{amb} . La diferencia dT_{amb} se ocupó para poder funcionar con condiciones en plena luz solar (aire libre) cuando se encontró que hubo calentamiento del sensor dependiente en la intensidad de luz y su duración. El modelo logro un coeficiente de determinación $R^2 = 0.839$ y un error estándar de residuales (rse) de 1.75°C . La figura A2.2 muestra los gráficos de calibración y validación del modelo.

Temperatura de hoja seca

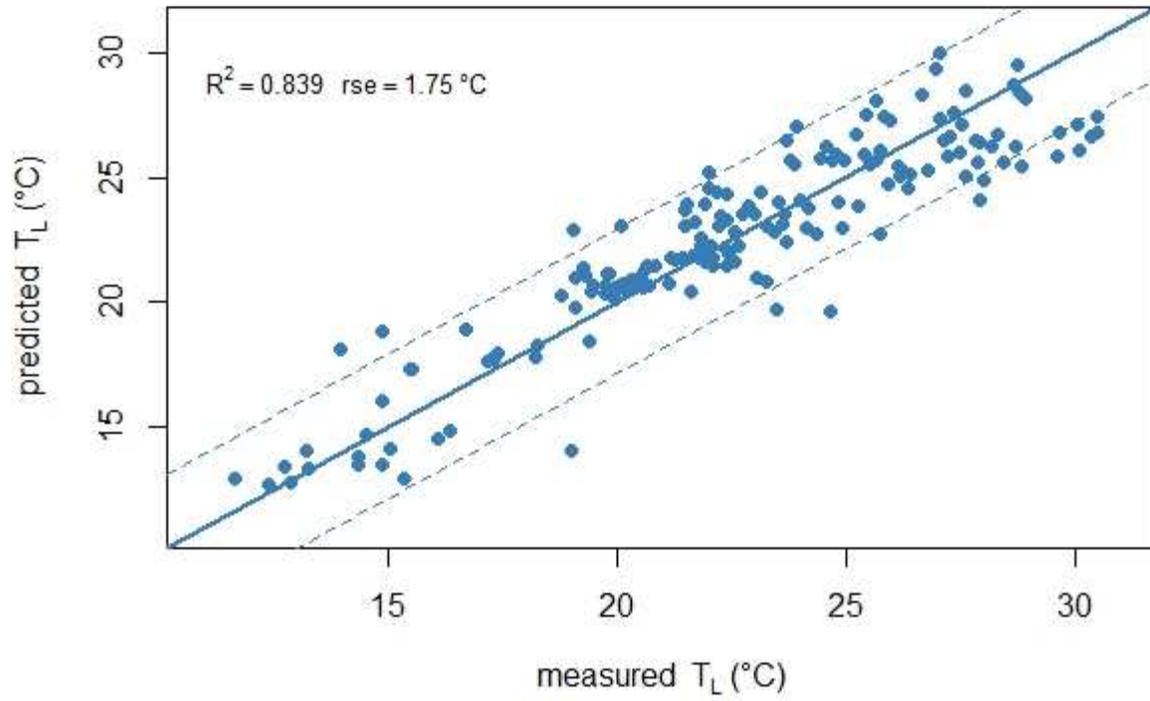
También se presento un modelo de forma $T_D = f(dT_{amb}, PC_1(\text{VPD}, T_{amb}, \Delta^{-1}))$ donde $PC_1 = 1^a$ componente principal, es superior del modelo simple, para un rango de intensidades de luz más amplio. El nuevo modelo de T_D tiene $R^2 = 0.862$ y $\text{rse} = 1.6^\circ\text{C}$.

Comparación de modelo de estrés con la bomba de Scholander

La Figura 2.9 presenta un resumen de la predicción de CWSI usando mediciones con el sensor y el modelo desarrollado comparados con los niveles de estrés hídrico (W, L, M, H, D) según las mediciones con la bomba de Scholander y la delineación mostrada en la Figura 2.1. Se ve que hay una tendencia positiva, pero hay mucha variabilidad y además por culpa de variaciones en mediciones (que pueden ser sobre o abajo la línea del modelo de regresión) es posible obtener valores de CWSI afuera del rango teórico de 0-1.

Basado en los datos de los ensayos, y algo pensando por principio en este proyecto, se desarrolló un protocolo de clasificación de un cultivo basado en múltiples mediciones para capturar la variabilidad biológica que se encuentra en un cultivo. La Figura 2.10 presenta un resumen de CWSI versus nivel de estrés para el ensayo 4 “mediciones de canopia” hecho en 3 fechas en marzo 2020. El poder de detección es muy bien, pero observamos que es difícil establecer un nivel de CWSI fijo entre cultivos sin o con estrés hídrico para todos los ensayos, posiblemente porque son tan diversos con 4 variedades. Por eso, se desarrolló una metodología par auto-calibrar el protocolo no solo por variedad y etapa fenológica pero también según su historia de riego (periodo con o sin estrés hídrico). Basado en los rangos de datos del ambiente y de las hojas en el día, se define los “bordes” de las límites de una hoja “seca” T_D y de una hoja “bien hidratada” T_W . No se pretende “optimizar” la calibración, más que decidir entre dos posibles límites.

Well watered leaf model



Well watered leaf model (Validation)

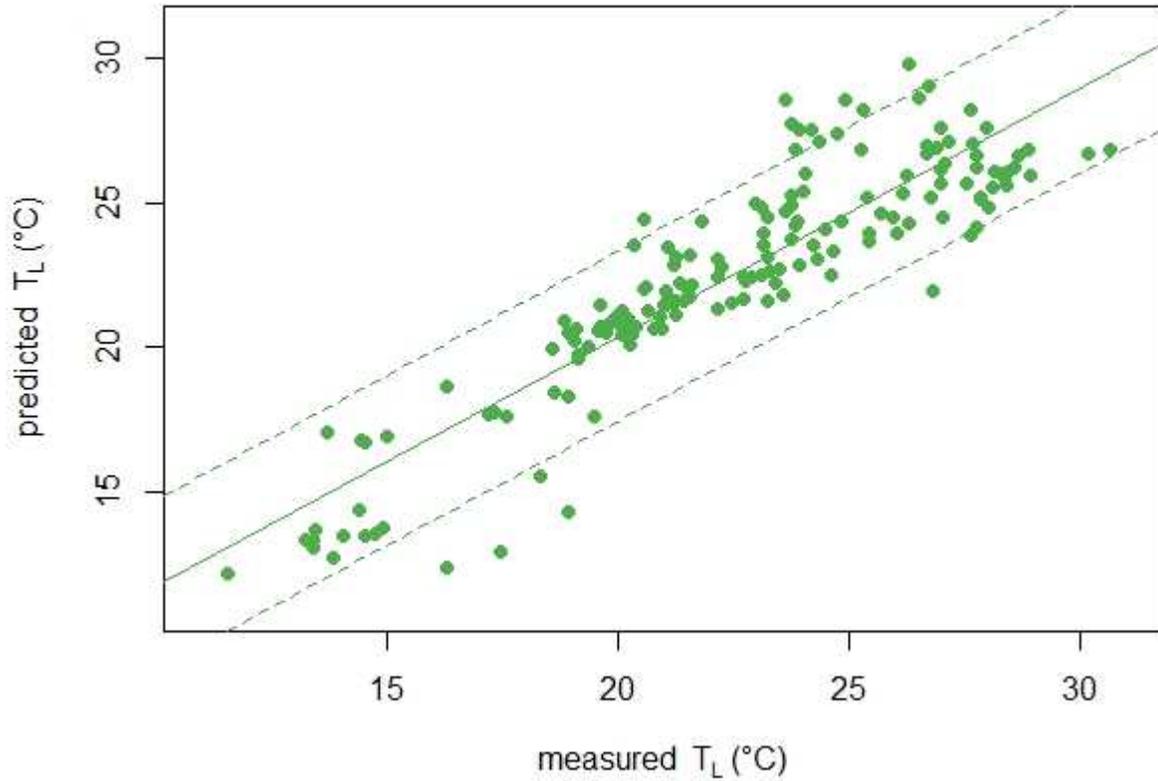


Figura 2.7: Comparación de T_w predichos por el modelo $f(D^{-1}, T_a, PAR, dT_{amb})$ y la T_{hoja} medido por el sensor, para tratamientos bien hidratada de los cuatro experimentos con tres variedades de tomates y bajo cultivación en invernaderos y en aire libre. (a) Calibración con 50% de los datos. (b) Validación con los 50% restantes de los datos.

Hydric Stress Baselines

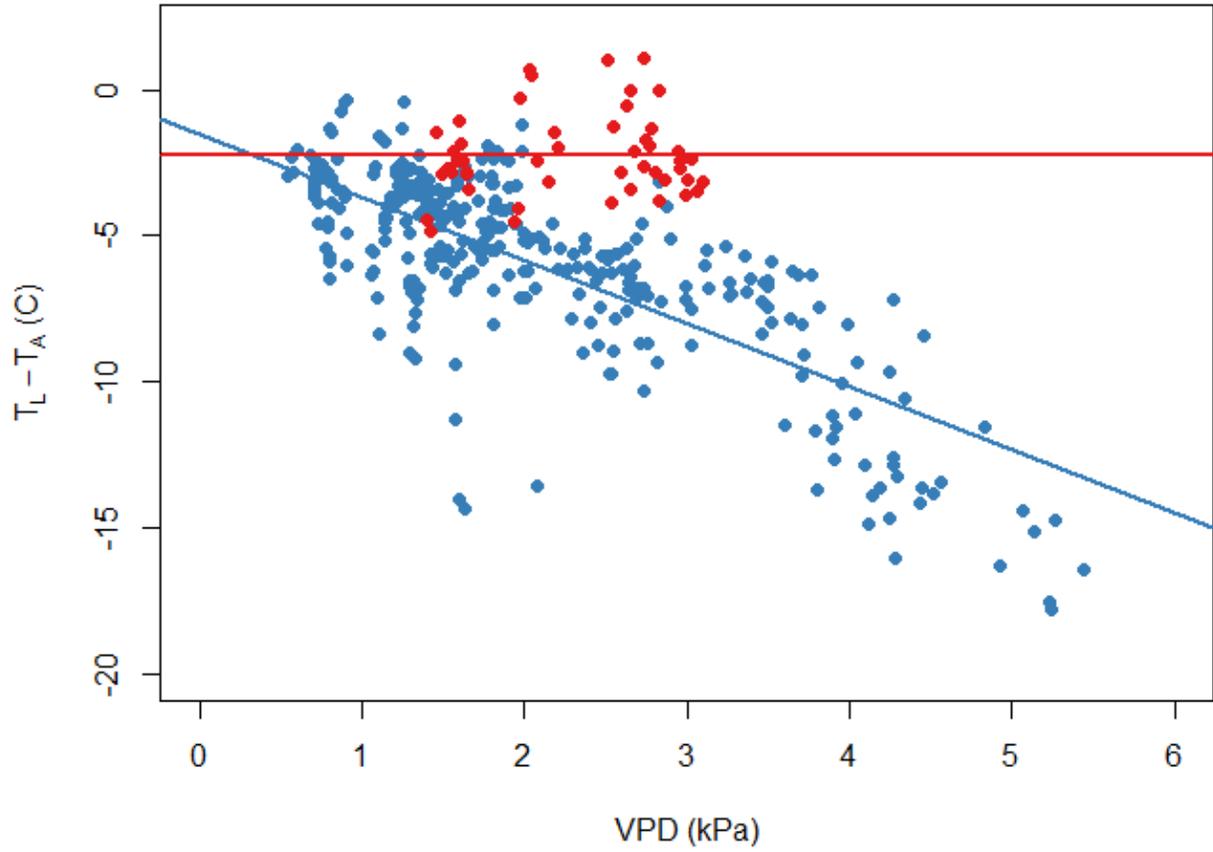


Figura 2.8: Los modelos de base presentados como $(T_w - T_A)$ y $(T_D - T_A)$ (líneas solidas) versus VPD y los datos de condiciones sin estrés y estrés alto obtenidos en ensayos 1 a 5.

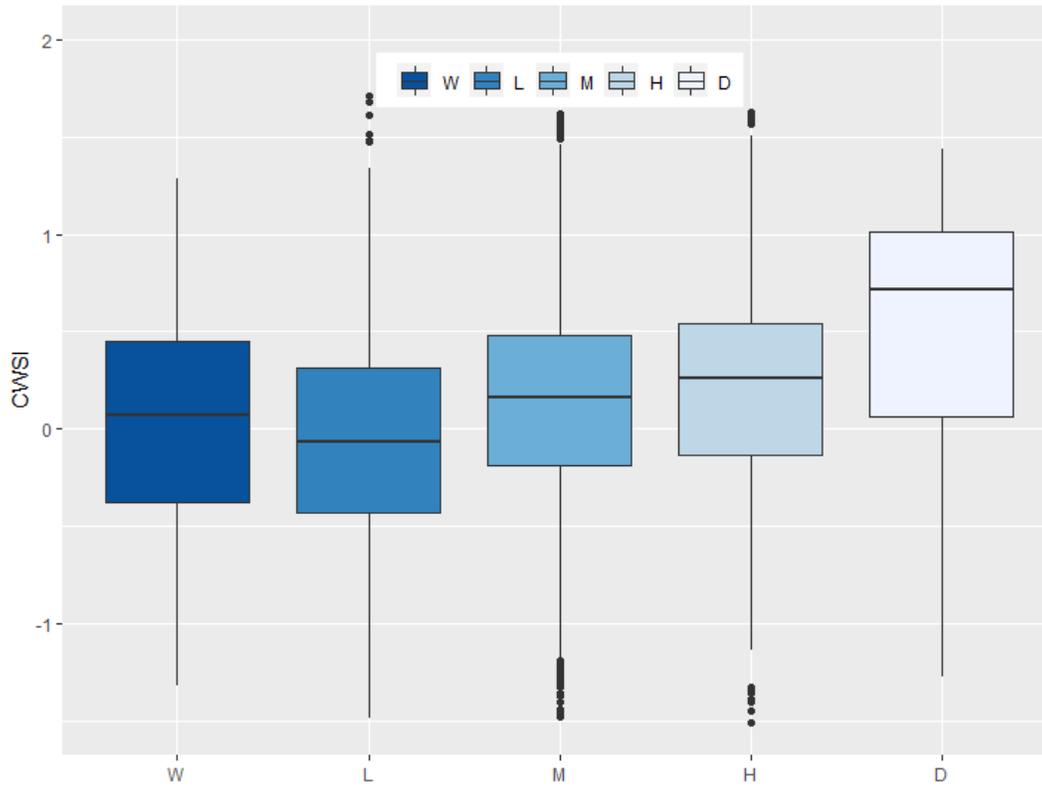


Figura 2.9: Índices de estrés (CWSI) calculado por el modelo de estrés versus el nivel de estrés hídrico según mediciones con la bomba de Scholander y la clasificación de BWSP. Se incluye los datos de ensayos 1 a 5 (mediciones de hojas de una planta y la medición con bomba de Scholander que se acompaña. No se incluye las mediciones de “canopia”) en esta figura.

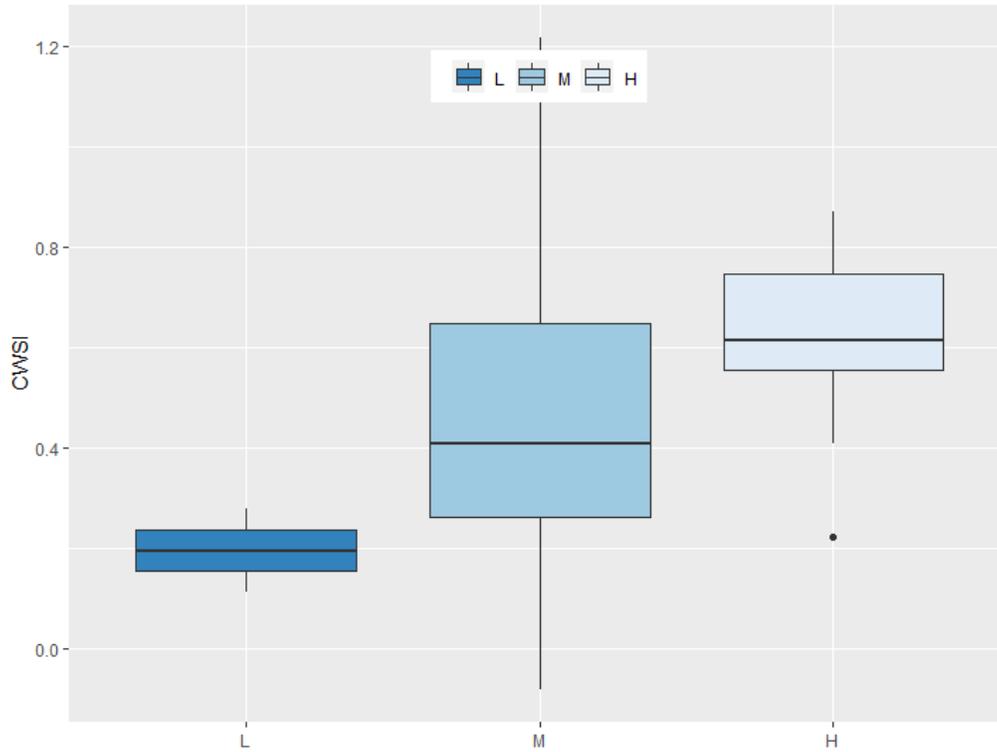


Figura 2.10: Resumen de los índices de estrés (CWSI) calculado por el modelo de estrés versus el nivel de estrés hídrico según mediciones múltiples de la canopia (20 mediciones por hilera) y comparado con la clasificación de nivel de estrés según la bomba de Scholander (solo 2 mediciones en dos plantas por hilera cada día) en tres mediciones. Datos de la última semana de ensayo 4, tomado en tres fechas, 3, 6 y 9 de marzo 2020.

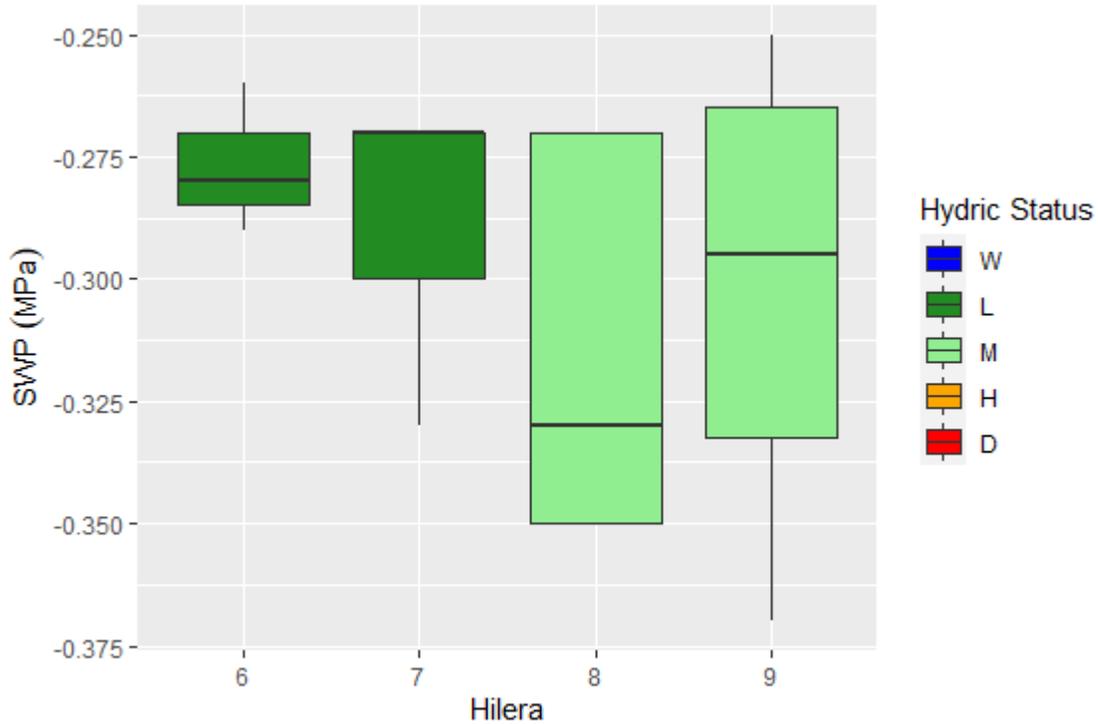


Figura 2.11: Valores de SWP medido por la bomba de Sholander. Datos del ensayo con el productor Sr. Samuel Acevedo, var. Montoya (Anexo 3). “W” = transpiración máxima, “L” estrés bajo, “M” estrés moderado, “H” estrés alto, “D” estrés muy alto hasta seco. Estado hídrico según el modelo Fig. A2.1.

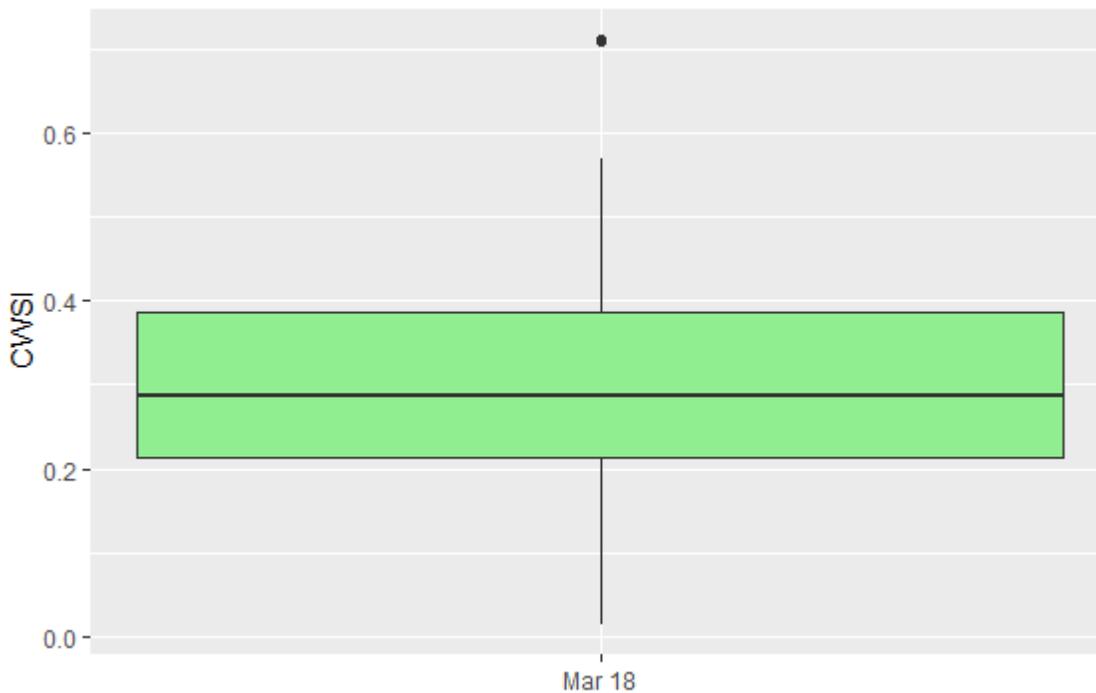


Figura 2.12: La distribución de CWSI (modelo calibrado), según Optiriego (4 hileras). El rango de CWSI indica que la mayor parte del cultivo esta sin estrés hídrico, de acuerdo con las mediciones de SWP. Según el

promedio para el cultivo, se clasifica el cultivo como 'sin estrés hídrico'. Datos del ensayo con el productor Sr. Samuel Acevedo, var. Montoya (Anexo 4).

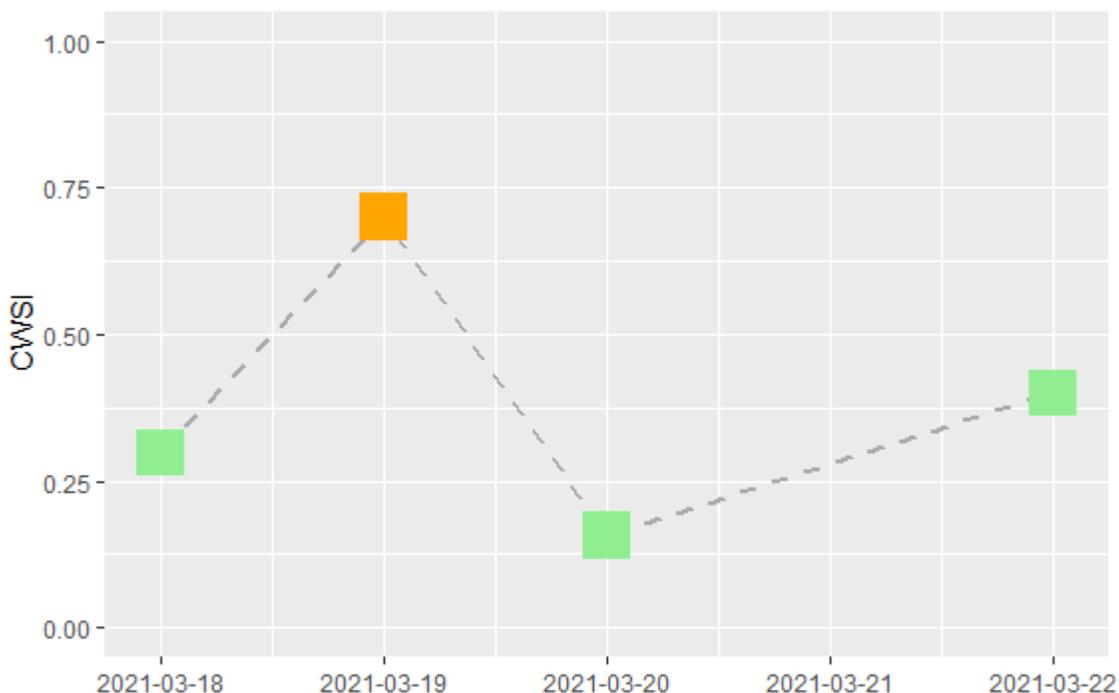


Figura 2.13: Evolución de CWSI, según Optiriego (4 hileras) en cuatro fechas de mediciones. Datos del ensayo con el productor Sr. Samuel Acevedo, var. Montoya (Anexo 4).

¿Cuándo Regar?

Se propuso 3 estrategias de riego que aportan la decisión de regar o no regar basado en un SI crítico para el cultivo y la dispersión de valores de SI obtenido. Las tres estrategias son: “mantener hidratada” (es decir, mantener los valores de SI de bajo del SI crítico), “maximizar ahorro de agua” (es decir, permitir que una proporción de los valores de SI serán sobre el valor crítico, pero sin reducir el rendimiento o calidad de la fruta), y “balanceada” entre las dos estrategias anteriores.

En las tablas 2.3-2.6 se presenta 4 casos seleccionados dentro los ensayos de validación con productores (informados en Anexo 4). En 3 fechas por dos de los productores, y una fecha para el tercero productor, se tomó mediciones con la bomba de Scholander en 3-4 plantas y 2-3 hojas por planta de las hileras regadas según Optiriego, y mediciones con el sensor en las mismas plantas para validar el modelo y recomendación. (La interpretación de SWP depende también en las condiciones ambientales, la Figura 2.6). Existe alta variabilidad ambos en las mediciones de distintas hojas con la bomba y con el sensor, porque las plantas están sensibles a sus microclimas en ambiente y suelo. En todos los casos, el modelo dio una recomendación compatible con una decisión que se tomara para el cultivo usando la bomba. Los casos presentados en estas tablas incluyen casos con cultivos hidratados (día nublado y día despejado), un caso con alto estrés (debido a problemas con nematodos en el predio del productor), y un caso intermedio. Se presenta otro caso en forma grafico en las figuras 2.6 y 2.7. La correlación Spearman entre los valores de SWP y del índice hídrico

precedido por el modelo para los 7 casos de las pruebas de validación (marzo-abril 2021) era $\rho = 0.857$ que es una correlación significativa ($P < 0.05$).

Tabla 2.3: Caso 1 – Cultivo sin síntomas de estrés hídrico

Fecha	Clima y cultivo	T _{amb} (C)	HR _{amb} (%)	VPD _{amb} (kPa)	PAR* (umol/m ² /s)	u _v (km/h)
18 marzo 2021	Nublado var. Alamina Malla anti áfidos	22.7	46.3	1.37	258 ± 100	0

Bomba Scholander		Predicción del Índice y Recomendación Optiriego ¿Regar?			
SWP (bar tensión) (n _{pl} = 6, n _h = 10)	Estado hídrico del cultivo	SI (n _{pl} = 6, n _h = 32)	Mantener hidratada	Balanceada	Maximizar ahorro
2.63 ± 0.23	Bien hidratado	0.18 ± 0.23	no	no	no

Tabla 2.4: Caso 2 – Cultivo sin estrés hídrico

Fecha	Clima y cultivo	T _{amb} (C)	HR _{amb} (%)	VPD _{amb} (kPa)	PAR* (umol/m ² /s)	u _v (km/h)
1 abril 2021	Despejado después de la niebla var. Montoya Bajo malla	26.5	54.3	1.58	247 ± 154	< 0.1

Bomba Scholander		Predicción del Índice y Recomendación Optiriego ¿Regar?			
SWP (bar tensión) (n _{pl} = 6, n _h = 10)	Estado hídrico del cultivo	SI (n _{pl} = 6, n _h = 32)	Mantener hidratada	Balanceada	Maximizar ahorro
3.84 ± 0.60	Sin estrés	0.22 ± 0.11	no	no	no

Tabla 2.5: Caso 3 – Cultivo con estado hídrico intermedio

Fecha	Clima y cultivo	T _{amb} (C)	HR _{amb} (%)	VPD _{amb} (kPa)	PAR* (umol/m ² /s)	u _v (km/h)
-------	-----------------	----------------------	-----------------------	--------------------------	-------------------------------	-----------------------

28 abril 2021	Despejado var. Alamina Malla anti áfidos	27.5	51.3	1.79	246 ± 165	< 0.1
------------------	--	------	------	------	-----------	-------

Bomba Scholander		Predicción y Recomendación Optiriego ¿Regar?			
SWP (bar tensión) ($n_{pl} = 6$, $n_h = 13$)	Estado hídrico del cultivo	SI ($n_{pl} = 6$, $n_h = 52$)	Mantener hidratada	Balanceada	Maximizar ahorro
4.21 ± 0.92	Intermedio	0.45 ± 0.15	si	si	no

Tabla 2.6: Caso 4 – Cultivo con estrés hídrico

Fecha	Clima y cultivo	T_{amb} (C)	HR_{amb} (%)	VPD_{amb} (kPa)	PAR* ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	u_v (km/h)
13 abril 2021	Despejado Racheado Var. Gladiador Aire Libre	33.8	27.7	3.80	650 ± 736	0 – 3.9

Bomba Scholander		Predicción y Recomendación Optiriego ¿Regar?			
SWP (bar tensión) ($n_{pl} = 4$, $n_h = 11$)	Estado hídrico del cultivo	SI ($n_{pl} = 4$, $n_h = 28$)	Mantener hidratada	Balanceada	Maximizar ahorro
6.68 ± 1.53	Estresado	0.51 ± 0.23	si	si	si

¿Cuánto Regar?

El método preferido de ajustar el riego de un cultivo ha sido según la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y un señar de humedad o tensión hídrico del suelo (Zotarelli et al., 2020). El ET_c se calcula usando la evapotranspiración de un cultivo de referencia (el ET_0) y un coeficiente de cultivo, K_c , que depende en la etapa de desarrollo del cultivo, y es especie- variedad- y sitio-específico. Se aplica ajustes adicionales por el tipo de riego y suelo (coeficientes de eficiencia de riego). El FAO () ha publicado valores típicos de K_c . Hay varios estudios en distintas condiciones para determinar K_c más adecuadas a una zona climática y las variedades nuevas que son más eficientes en sus usos de agua (ej. Gianquinto et al., 1990; Cerekovic et al., 2010; Harel et al., 2014). No hemos encontrados valores de K_c para tomates desarrollados en Chile.

En la aplicación celular que acompañar el sensor (Anexo 5) se presenta graficas de la evolución del SI durante la última semana (hasta 5 fechas de mediciones), similar a la figura 2.13, y además descargar el valor de ET_0 según una estación meteorológica cercana. Con esa información, el productor puede ver la respuesta del cultivo al riego que aplico, y ajustar el volumen riego dependiente en la capacidad del cultivo a responder al riego según el SI calculado.

Se contempla en futuros desarrollos la opción para que el productor ingresa cuanto rego (en mm o en duración) a la aplicación recomendara *cuanto* regar según el SI de hoy día y la historia del cultivo. Esta funcionalidad requiere input sistemático y confiable por parte del productor. Una vez que hay suficientes usuarios del sistema Optiriego y la acumulación de datos de riego, variedad, SI y clima, se contempla la aplicación de técnicas de Machine Learning para perfeccionar el procedimiento de auto-calibración del modelo y las recomendaciones de riego.

Bibliografía

Cerekovic, N., Todorovic, M., Snyder, R.L., Boari, F., Pace, B., & Cantore, V. (2010). Evaluation of the crop coefficients for tomato crop grown in a Mediterranean climate. In: Lopez-Francos, A. (comp), Lopez-Fracos A. (collab.), Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ICARDA / GDAR / CEIGRAM / MARM (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 95), p. 91-94.

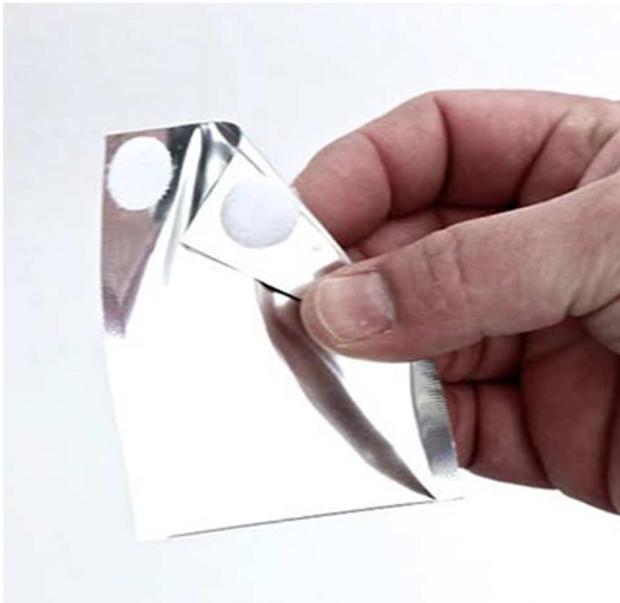
Harel, D., Sofer, M., Broner, M., Zohar, D., & Gantz, S. (2014). Growth-stage-specific KC of greenhouse tomato plants grown in semi-arid Mediterranean región. *Journal of Agricultural Science*, 6(11), 132-142.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Simonne, E.H., & Barrett, C.E. (2020). 2020–2021 *Vegetable Production Handbook*: Chapter 3. Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables. Publication CV297, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CCV%5CCV29700.pdf>

Anexo 3 – Protocolo para Medición de SWP (Potencial Hídrico del Tallo) en plantas de tomate utilizando bomba de Scholander



Se debe seleccionar una hoja de la parte media-baja de la planta de tomate, se recomienda ser una hoja terminal que contenga su ápice principal y dos folíolos laterales (como se muestra en la imagen a la izquierda), si existen pequeños folíolos que interfieran la postura del pecíolo en la válvula de la cámara, pueden ser removidos cuidadosamente y este sector debe quedar de un largo del pecíolo que sea cómodo ponerlo en la apertura de la válvula de la cámara. La ubicación donde se sacó los pequeños folíolos puede ser posicionada justo en la parte donde se presiona el pecíolo en la válvula de la cámara. Importante que no sea necesario a forzar el pecíolo en el ingreso hacia el hoyo de la apertura a la cámara.



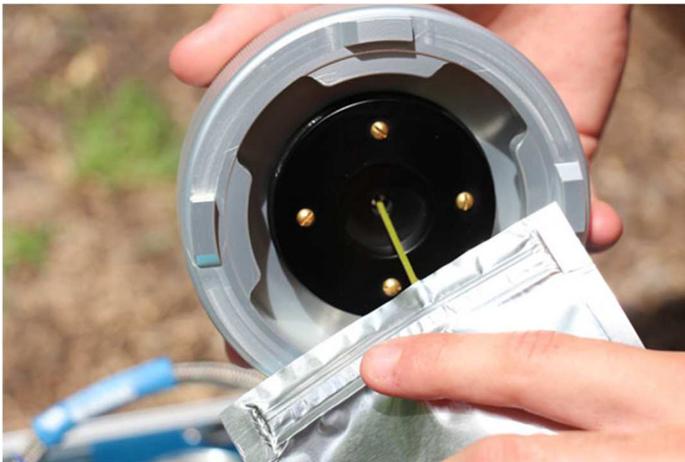
Una vez seleccionada la hoja, se debe introducir dentro de la bolsa de aluminio que tenga las dimensiones aptas para ingresar de manera fácil dentro de la cámara de la bomba de Scholander, luego se cierra durante 15 minutos antes de cortarla. La hoja muestra no debe quebrarse ni arrugarse, sólo doblarse.

La imagen a la izquierda muestra un modelo de bolsa apta



Con un cuchillo o una navaja de afeitar, corte el pecíolo (tallo) de la hoja.

El corte debe ser muy preciso y siempre ser un corte recto (no en 45°) y muy plano ya que de lo contrario se dificultará la correcta observación de la emergencia de sabia.



La bomba de Scholander debe estar lista para mover la muestra inmediatamente a la cámara. Es decir, con el cilindro de N₂ abierto (medio giro es suficiente, se debe indicar presión en el manómetro) y el control todavía en posición **OFF**.

Deslice el pecíolo en el fondo de la cámara.



Apriete el pecíolo en su lugar girando el "Anillo o válvula" negro en el sentido de las agujas del reloj y apretando la junta hacia abajo en el pecíolo.

El pecíolo cortado debe ingresar fácilmente en la válvula de la cámara y quedar una pequeña parte fuera de esta, por donde se observará la sabia. Se debe apretar bien la válvula para evitar la salida de gas de la cámara, pero también es importante que no sea lo suficiente como para dañar la xilema o romper el pecíolo.



Coloque la hoja y la bolsa juntas en la cámara.

Se puede enrollar y doblar la hoja muestra, pero no quebrar.



Presione la tapa hacia abajo y gírela hasta la posición de bloqueo.

La válvula de velocidad ya debe estar configurada a una velocidad de 8 bar por segundo o más lento de ese.

Gire la "válvula de control" a la posición "Chamber"



Mire el extremo del pecíolo (tallo) para detectar que salga agua.

Busque el momento exacto donde emerja el fluido a través del corte

Este es el punto final "oficial" para la medición. Cuando se vea que el agua sube, habrá un cambio en el color de la xilema tornándose blanco y el agua fluirá. **Debe cerrar inmediatamente la válvula de control en este momento.** Este es el punto final oficial. Leer la medición en el display digital.



Si se mantiene la presión sobre la hoja, el agua comenzará a formarse en una gota. Si permite que la presión continúe, técnicamente estará más allá del punto final y el agua formará una gota en la parte superior del extremo cortado del pecíolo.

Si se parece que se fue demasiado lejos y no registró correctamente el punto final: Libere solo un poco del gas de la cámara (1 bar) y observe el final del pecíolo. El agua debe retroceder y volver a ingresar a la xilema. Posteriormente, se puede volver a presurizar el instrumento y mirar más de cerca la segunda vez. Esto no afectará la medición **si se hace inmediatamente**. Si se espera, la tensión comenzará a acumularse en la hoja, ya que ya no está conectada a la planta.

Si se observan burbujas saliendo del pecíolo, significa que existe aire, en este caso se debe secar la muestra y volver a observar, si sigue saliendo agua (puede ser con burbujas) significa que alcanzó su punto de medición, si por el contrario al secar la muestra no sale agua quiere decir que aún no se alcanza el punto de medición correcta y se debe seguir presurizando y observando.



Anexo 4 – Ensayos de demostración en campos de productores

El objetivo de esa serie de ensayos era implementar programación de riego con Optiriego y comparar el consumo de agua y condición de la cosecha con los resultados obtenidos con el riego tradicional usado por el productor.

Los ensayos con los tres productores a la fecha del informe no se han terminado las cosechas y nos encontramos en proceso de análisis de datos. En este anexo se presentan los ensayos y los resultados.

Descripción de las parcelas de los productores

Se trabajó con productores con cultivos de tomates en desarrollo ya que los que tenían cultivos juveniles contemplados a evaluar, perdieron sus plantaciones, a causa de las altas precipitaciones de fin de enero con más de 50 mm en un día. Se trabaja con 3 productores de la zona de San Vicente de TT; en la tabla 4.1 se presenta un resumen: 3 variedades distintas, dos bajos cubiertos, uno en aire libre. Dos de los productores (SA y LQ) ya han realizado 5 cosechas y quedarán 4-6 semanas más de por cosechar. Un productor (JIL) plantó en febrero, por lo cual a la fecha del inicio las evaluaciones el 18 de marzo 2021 había realizado una cosecha.

Todos ellos usan cintas de riego de 16 mm y como sistema de distribución en la cabecera con mangas del tipo layflat.

Tabla 4.1 – Resumen de campos de productores de la zona de San Vicente TT. Tratamiento “O” = riego según Optiriego, “P” = riego tradicional del productor. Fecha inicio = inicio de ensayos con Optiriego.

Productor	Sector	Lat / Lon	Cultivo	Variedad	Tratamientos	Fecha plantación	Fecha inicio
Samuel Acevedo y Camilo Henriquez	Monte Lorenzo Arriba	-34.355977° -71.130643°	Cubierta (malla ráchele)	Montoya / Fortamina	4 hileras “O” 4 hileras “P”	Noviembre 2020	18-03-2021
Jaime Iván Lagos	Monte Lorenzo Arriba	-34.353528° -71.130401°	Cubierta (malla anti-áfidos)	Alamina / Kaiser	3 hileras “O” 3 hileras “P”	Febrero 2021	18-03-2021
Luis Quintanilla	Tunca del Medio	-34.388476° -71.091180°	Aire Libre	Gladiator	Monitoreo de un sector de 16 hileras (0.25 ha)	Noviembre 2020	18-03-2021

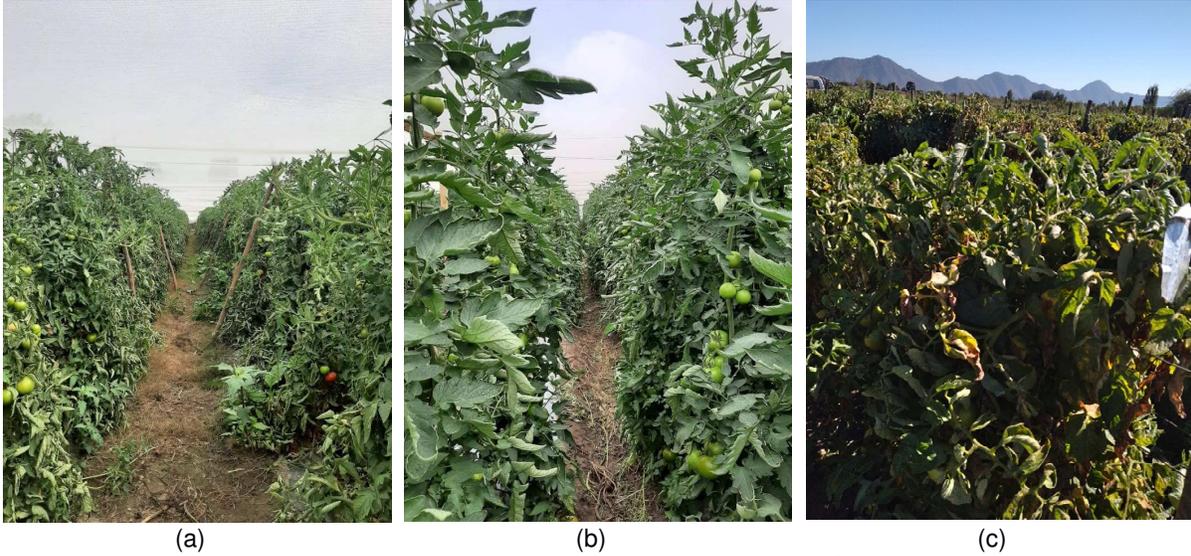


Figura 4.1: Fotos de los cultivos del ensayo. (a) Samuel Acevedo (var. Montoya / Fortamina). (b) Jaime Lagos (var. Alamina / Kaiser). (c) Luis Quintanilla (var. Gladiador)

Estrategias de riego tradicionales

Zotarelli et al. (2020) describe 5 niveles de manejo de riego, donde 1 es “adivinación” (no recomendado) y 5 (el método preferido) es ajustar el riego según ET_c y un sensor de humedad o tensión hídrico del suelo. Nivel 2 es riego sistemático, ej. 1 hr cada día por media.

De acuerdo con la información consultada a los productores utilizan un sistema de manejo de riego sistemático, es decir cada cierta cantidad de horas o días (Tabla 4.2). Carla Orellana, responsable del riego en la plantación de J. Lagos, de forma práctica riega para asegurar poner la fertilización programada por el asesor y realiza evaluaciones manuales de la humedad del suelo para definir el tiempo de duración del riego, es decir dar más minutos o no. En ambos casos el agua de riego la extraen de una noria.



Figura 4.2: Centro de irrigación, campo Samuel Acevedo



Figura 4.3: Centro de irrigación, campo Jaime Iván Lagos

El productor Luis Quintanilla riega día por medio con un tiempo fijo de riego. En el caso de Samuel Acevedo si bien señala que riega de lunes a sábado 1 a 2 horas a la semana el manejo de riego tuvo una programación errática con excesos y déficit. El agua se extrae del canal de riego.

En todos los casos, ocupan motores de combustible para bombear, con sistemas muy básicos, sin control preciso de presión ni del flujo. Los responsables por riego ajustan el motor (revoluciones) por sonido. Pensamos en instalar flujómetros, pero ello requería de ajustes importantes a las tuberías, por no tener largos suficientes (10 x diámetro) que se requiere para evolucionar flujo sin turbulencia alrededor del medidor.

En campo se realizó además el aforo con probeta milimétrica y cronometro del sistema de riego para establecer la pluviometría del sistema de riego implementado por el productor (Fig. 4.4, Tabla 4.2).

Tabla 4.2 – Distancias plantación y volumen de agua aplicado por el sistema de riego (nominal)

Productor	Variedad	Distancia Plantación (nr hileras)	Cinta (distancia emisores) – 2 por hilera	Capacidad Riego		Programa de riego (nominal)
				L h ⁻¹ plant ⁻¹	mm h ⁻¹	
Samuel Acevedo	Montoya / Fortamina	1.75 m x 0.7 m (4 hileras de 60 m largo por tratamiento)	16 mm (0.2 m)	4.6	3.7	Lunes a sábado entre 1 a 2 horas / día.
Jaime Iván Lagos	Alamina / Kaiser	1.40 m x 0.6 m (3 hileras de 50 m largo por tratamiento)	16 mm (0.2 m)	5.0	6.0	Lunes a sábado entre 40 a 60 mins / día según programa de fertirrigación del agrónomo y la humedad del suelo (a tocar).. 4 veces por semana (día por medio) lunes a sábado, 1 hora/sector
Luis Quintanilla	Gladiador	1.40 m x 0.9 m (16 hileras de 115 m largo)	16 mm (0.2 m)	-	-	



Figura 4.4: Estimación de la pluviometría de un sistema de riego

En la ejecución del proyecto se permitió que los productores regaran de acuerdo con su práctica habitual de riego ya descrita; y para la evaluación de Optiriego se instaló válvulas on/off que permitiera cortar el paso del agua según las mediciones con Optiriego en las zonas de evaluación. Con este experimento lo que buscamos es conocer si podemos ahorrar agua sin afectar la calidad de la cosecha.

En la plantación de Samuel Acevedo se instalaron las válvulas en las hileras 6, 7, 8 y 9 y para comparar la cosecha y calidad de fruta se comparó con las hileras manejadas por el productor 4, 5 v/s 6 y 7 y 10 y 11 v/s 8 y 9.

En la plantación de Don Jaime Lagos se instalaron válvulas en las hileras 16, 17 y 18 y se comparó con las hileras vecinas manejadas por el productor visto que existía una separación física entre los sectores.

Para la plantación de L Quintanilla se utilizó para monitoreo y evaluaciones del comportamiento del sensor.

En tres fechas (S Acevedo, J Lagos) y en una fecha (L Quintanilla) se tomó mediciones con la bomba de Scholander adicionalmente a el sensor Optiriego para validación de datos y del modelo. Los resultados de esta validación se presentan en el Anexo 2.

El protocolo de mediciones con la bomba de Scholander y el sensor Optiriego fueron similares al protocolo usado para ensayos informado en Anexo.

Se cosecho las frutas pintadas y maduras cada 7 a 10 días aproximadamente, dependiente en el mercado y el clima. Entramos juntos con los trabajadores de las empresas para cosechar separadas las hileras del ensayo (los dos tratamientos, “Optiriego” y “Productor”), contar la cantidad de cajas cosechadas por hilera y pesar (una muestra de) las cajas de frutas para estimar los kilos cosechadas, y tomar muestras de 2 frutas por hilera para medir calidad (peso, calibre, contenido de solidos solubles, y firmeza). Las frutas que tomamos para mediciones de calidad eran todo de tamaño mediano y maduras. Productor Jaime Lagos tiene un packing con sorting por calibre (Fig. 4.5) y color (manualmente) y vende sus frutas de calibre 7 y 8 a supermercado Jumbo. Separa la fruta sin defectos para el mercado según calibre (6, 7 (mediana) y 8 (grande)) y color (pintón y maduro) (Fig. 4.5). En algunas fechas los cosechadores entraron para cosechar en una fecha más anticipado que los que nos informamos, y no podemos seguir la cosecha en estas fechas. Sin embargo, entramos en varias fechas para hacer unas estimaciones de cosecha usando la metodología de Pronofrut (pronofrut.cl).



Cosechando frutas pintonas y maduras las hileras del ensayo donde Jaime Lagos. Cajas negras son del tratamiento O, cajas azules del tratamiento P.



Procesamiento de las cosechas O y P en el packing de Lagos. La máquina sortea por calibre y la gente separan las frutas por color (pintón o maduro) y sacan los desechos.



Se conto y peso las cajas cosechadas de los dos tratamientos según calibre y color.



Cosecha de frutas de las hileras del ensayo donde Samuel Acevedo y Camilo Henríquez.

El packing de Acevedo y Henríquez.

Figura 4.5: Evaluación de las cosechas en las hileras de los ensayos en los campos de dos de los productores de tomates.



Figura 4.6: Mediciones de calidad de las frutas de los ensayos; peso con una balanza, calibre con un calibrador Vernon, solidos solubles con un refractómetro, y firmeza con un sensor electronica de tipo Durofel (Agrosta 100USB Digital Firmness Tester).

Resultados

A continuación, se muestra la ET_0 y Precipitación diaria en la zona de influencia climática de los ensayos al objeto de conocer la evapotranspiración del cultivo ($ET_0 \times K_c$). No existe K_c para tomate hecho en Chile, por tanto se usó el de Harel (2014) que corresponde a un valor por debajo de la media de los publicados (ej. Gianquinto et al., 1990 adoptado por Ortega-Farias et al., 2003) y sobre el valor publicado por el FAO y ajustes a ese (Cerekovic et al., 2010), usándose un valor de 0.8 (y sin un ajustarlo para la eficiencia de riego), ello debido a que con las nuevas técnicas genéticas de variedades los K_c estarían bajando de acuerdo a la literatura (Cerekovic et al., 2010), sin embargo no afecta los porcentajes de ahorro de agua ya que se basa en cuantas horas se aplica el agua.

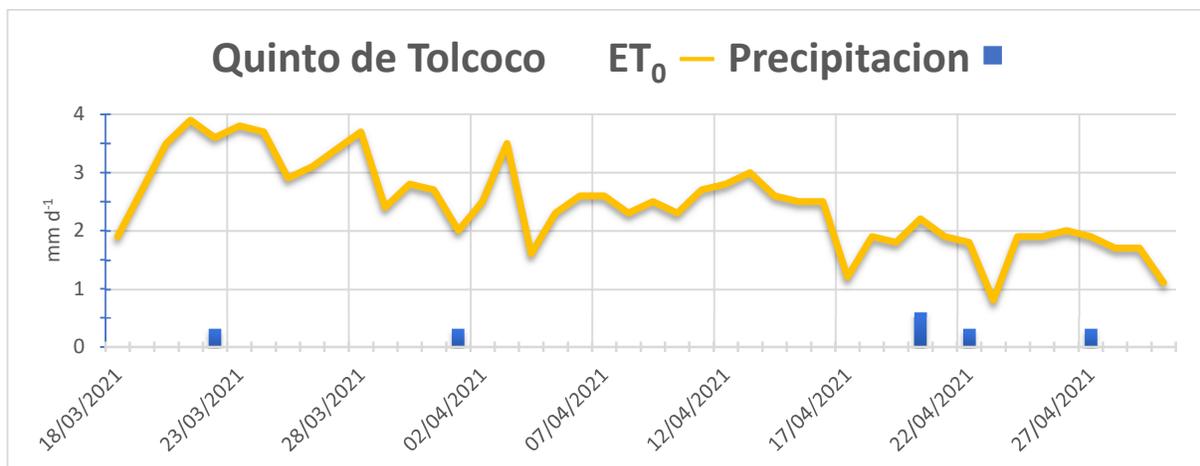
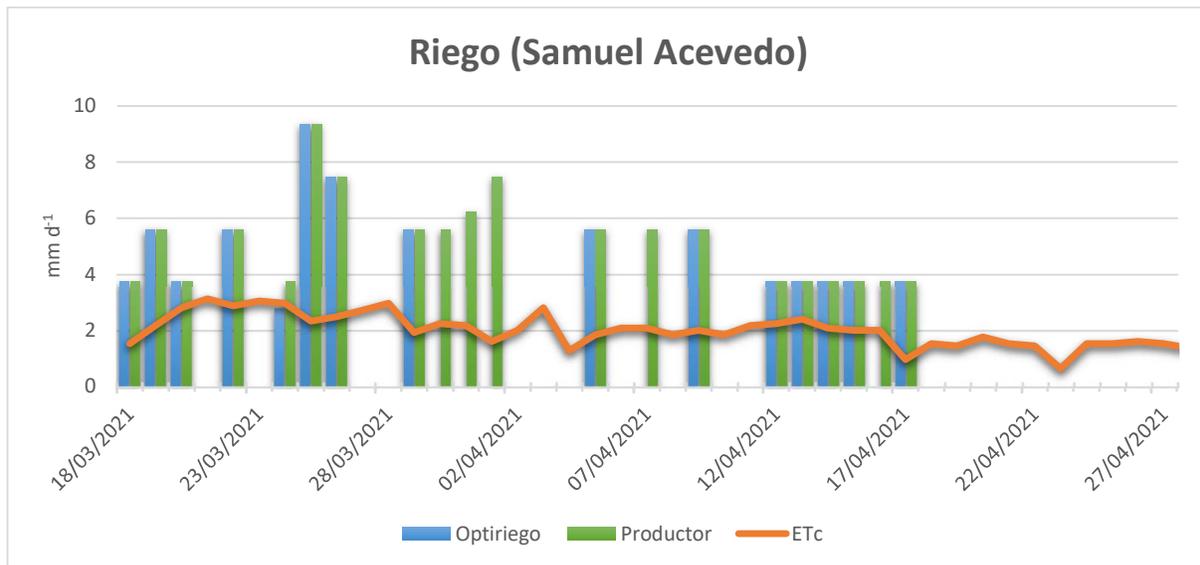
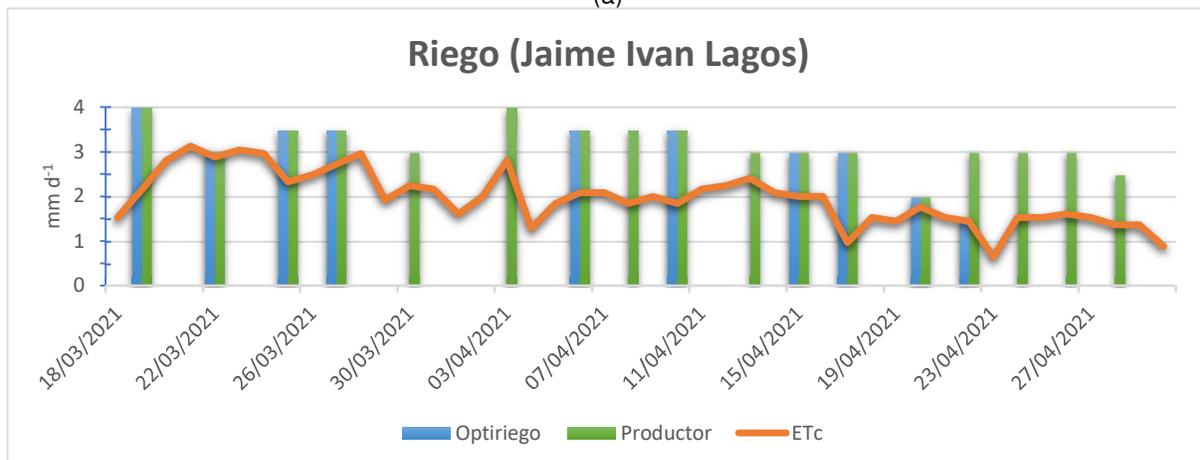


Figura 4.7: Evaporación potencial y precipitación registrado por la estación meteorológica ubicada en Quinto de Tolcoco durante el periodo de los ensayos. Fuente: <https://www.agromet.cl/datos-historicos>



(a)



(b)

Figura 4.8: Evaporación del cultivo (ET_c, mm d⁻¹), y el riego aplicado por Productor y Optiriego (mm d⁻¹) durante el periodo informado. (a) Samuel Acevedo. (b) Jaime Iván Lagos.

Las figuras 4.8 dan cuenta del riego en mm/día aplicado por el productor al cultivo respecto de la Evapotranspiración del cultivo estimado. La Tabla 4.3 da cuenta del ahorro en porcentaje de consumo de agua para igual periodo de riego de los dos productores Samuel Acevedo y Jaime Lagos de 29% o más.

La última columna de Tabla 4.3 presenta el promedio de Litros de agua aplicada por kg de cosecha 'verde a madura', calculado como el volumen de agua regado entre dos fechas de cosecha dividido por los kilos de fruta cosechada en la segunda fecha para dar otra medida de la eficiencia de riego. En cada cosecha, sacan las frutas con color rojo o inicio de color en el punto de base de la fruta. No sacan frutas verdes. Por lo tanto, todas las frutas cosechadas en una fecha, eran frutas verdes en la fecha anterior de cosecha. No fue posible calcular los litros por kilo de la temporada completa, porque no tenemos datos detallados por las cosechas donde no logramos participar.

Tabla 4.3 – Resumen de consumo y ahorros de agua (desde 18 de marzo a 28 de abril 2021). Tratamiento “O” = riego según Optiriego, “P” = riego tradicional del productor.

Productor	Variedad	ET ₀ prom. (mm/d)	ET _c prom. (mm/d)	Tratamiento	Riego prom. (mm/d)	Riego %ET _c	%Consumo agua “O” vs “P”	L/kg ‘verde a maduro’
Samuel	Montoya	2.5	2.0	Productor	2.5	122%		23,8
Acevedo				Optiriego	1.0	87%	- 29%	16,5
Jaime Iván	Alamina	2.5	2.0	Productor	1.3	64%		18,3
Lagos				Optiriego	0.7	36%	- 43%	11,9

Los registros de rendimiento cosechadas se presentan en las tablas 4.4 y 4.5. Se empezó a regular el riego en cada predio *después* de la primera fecha de cosecha indicado, así si hay diferencias en estas fechas no se puede atribuirlos a Optiriego, y también sirven para determinar si las diferencias entre las hileras de los dos tratamientos, si existen, persisten durante los ensayos. No fue posible separar frutas de los ensayos en el packing de SA, así los rendimientos indicados son estimaciones basados en la cantidad de cajas cosechadas (sin los desechos de campo, pero pueden incluir frutas con daños menores y frutas con tamaños no comerciales) y pesos de muestras de cajas de cada hilera de los ensayos. En casos de las frutas de JIL, colaboraron para procesar las frutas de los ensayos separado del resto de la cosecha, y se registra en la table 4.5 frutas comerciales. Se puede concluir que no se detectó una reducción de rendimiento bajo el manejo por Optiriego. Las personas responsable por la cosechas y los productores no observaron diferencias en el número total de cajas cosechadas por Optiriego en las fechas donde no pudimos atender. El valor de **kg/planta** ajusta el rendimiento por diferencias en cantidad de plantas en las hileras del ensayo de SA y es el valor más relevante para la comparación entre tratamientos.

Tabla 4.4 –Cosecha de fruta de las hileras de los ensayos en campo Samuel Acevedo. Los datos son de la cosecha total, sin los desechos de campo. Los kilos estimados están basados en pesos de una muestra de cajas y la cantidad de cajas, pero antes de pasar por el packing y calibración de fruta.

Fecha	Cajas		Kilos		kg / planta en promedio	
	Productor	Optiriego	Productor	Optiriego	Productor	Optiriego
24-03-2021*	41.7	38.3	616	581	1.76	1.61
06-04-2021	24.3	21.0	398	344	1.14	0.96
19-04-2021	51.8	50.5	847	826	2.42	2.30

* día 0 – antes de empezar el tratamiento de riego Optiriego

Tabla 4.5 –Cosecha de fruta de las hileras de los ensayos en campo Jaime Lagos. Los datos son de packing, frutas comerciales de calibres medianas y grandes.

Fecha	Kilos maduros		Kilos pinton		kg / planta en promedio	
	Productor	Optiriego	Productor	Optiriego	Productor	Optiriego
20-03-2021*	397.5	397.9	109.1	153.2	2.11	2.30
29-03-2021	154.3	174.0	127.8	160.7	1.18	1.39
06-04-2021	Sin datos					
15-04-2021	199.9	301.4	161.1	157.9	1.50	1.91
28-04-2021	Sin datos					

* día 0 – antes de empezar el tratamiento de riego por Optiriego

Se presenta el resumen de las mediciones de calidad de fruta en las tablas 4.6 y 4.7. El día “0” coincide con la primera fecha de cosecha en cada predio, antes de que empezamos regular el riego de las hileras de tratamiento “Optiriego”. Así, sirve como una línea de base para la comparación de diferencias entre los tratamientos, si existen. Los resultados demuestran que no se detectó ninguna reducción de calidad de las frutas por culpa de los ahorros de agua bajo el sistema Optiriego.



En conclusión, se logró ahorros de 30% y más de agua regando según el sensor y modelo Optiriego en comparación al riego tradicional de los productores, sin afectar el rendimiento o calidad de fruta en una manera negativa.

Tabla 4.6 – Comparación de la calidad de fruta (Samuel Acevedo). Día “0” es el 24 de marzo 2021 y presenta propiedades “iniciales” de muestras de fruta de las hileras asignadas a los dos tratamientos (O y P), antes de empezar programar el riego según Optiriego.

Característica	Día	Tratamiento	Promedio	Dev. estándar	Diferencia
Brix (%)	0	P	--	--	--
		O	--	--	--
	14	P	4.0	0.3	nd
		O	3.8	0.2	
	41	P	3.2	0.9	nd
		O	3.6	0.6	
Firmeza (Durofel %)	0	P	88.2	3.4	P < 0.1
		O	85.2	2.7	
	14	P	82.7	6.5	P < 0.05
		O	76.4	4.1	
	41	P	81.6	7.0	nd
		O	84.0	5.5	

Tabla 4.7 – Comparación de la calidad de fruta (Jaime Lagos). Día “0” es el 21 de marzo 2021 y presenta propiedades “iniciales” de muestras de fruta de las hileras asignadas a los dos tratamientos (O y P), antes de empezar el programa del riego según Optiriego.

Característica	Día	Tratamiento	Promedio	Dev. estándar	Diferencia
Brix (%)	0	P	3.7	0.2	P < 0.05
		O	4.3	0.4	
	11	P	4.4	0.1	nd
		O	4.4	0.3	
	26	P	4.5	0.9	nd
		O	4.5	0.2	
	44	P	3.5	0.3	P < 0.05
		O	4.0	0.2	
	55	P	4.0	0.2	nd
		O	4.2	0.4	
Firmeza (Durofel %)	0	P	89.5	4.2	nd
		O	89.5	1.7	
	11	P	85.5	4.2	nd
		O	86.8	2.5	
	26	P	96.5	4.5	nd
		O	92.2	5.4	
	44	P	91.7	3.5	nd
		O	91.0	3.6	
	55	P	80.8	5.6	P < 0.05
		O	88.4	3.4	



Literatura

Cerekovic, N., Todorovic, M., Snyder, R.L., Boari, F., Pace, B., & Cantore, V. (2010). Evaluation of the crop coefficients for tomato crop grown in a Mediterranean climate. In: Lopez-Francos, A. (comp), Lopez-Fracos A. (collab.), Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ICARDA / GDAR / CEIGRAM / MARM (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 95), p. 91-94.

Gianquinto, G., Ceccon, P., & Giovanardi, R. (1990). Evapotranspiration, growth and yield of fresh market tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) at two irrigation levels. *Acta Horticulturae*, 278, 579-586.

Harel, D., Sofer, M., Broner, M., Zohar, D., & Gantz, S. (2014). Growth-stage-specific KC of greenhouse tomato plants grown in semi-arid Mediterranean región. *Journal of Agricultural Science*, 6(11), 132-142.

Ortega-Farias, S., Leyton, B.H., Valdés, H., & Paillán, H. (2003). Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomates de invernadero producido en primavera-verano. *Agricultura Técnica*, 63(4), 394-402.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Simonne, E.H., & Barrett, C.E. (2020). 2020–2021 *Vegetable Production Handbook*: Chapter 3. Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables. Publication CV297, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CCV%5CCV29700.pdf>

Anexo 5 – Aplicación Celular Optiriego App

Introducción

La aplicación **OptiriegoApp** es un programa de Android cuyo objetivo es obtener, compartir y procesar los datos obtenidos por el sensor **Optiriego**. También implementa un modelo para detectar si el cultivo o planta se encuentra con o sin estrés hídrico. La aplicación ocupa **Bluetooth 4.0+** (BLE) y ha sido desarrollada para funcionar en **Android 7.0**, sin embargo, se ha probado en versiones más antiguas tales como **Android 5.1**.

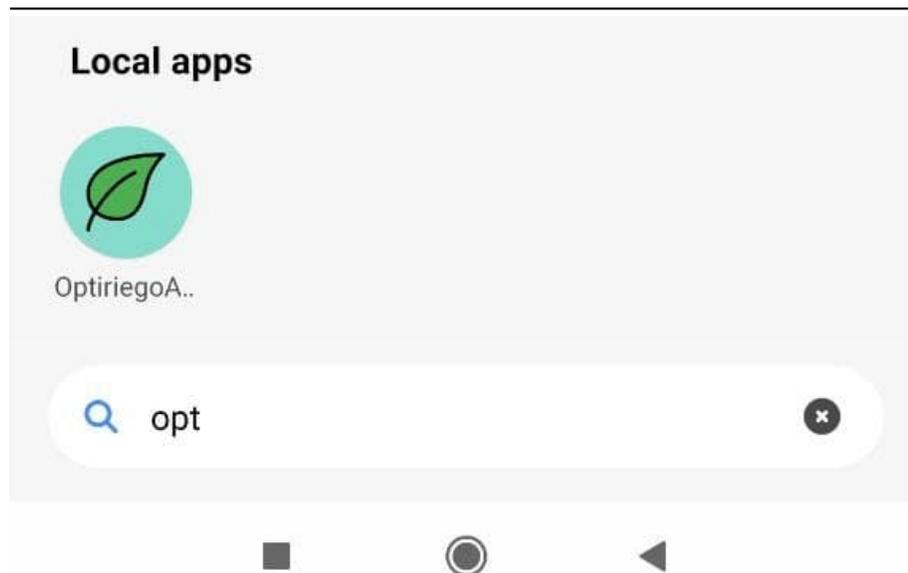


Figura A5-1: OptiriegoApp desde el panel de ejecución de aplicaciones

Instalación

La aplicación debe ser instalada desde su archivo APK. El archivo puede encontrarse en el Drive del proyecto. Antes de instalar el archivo APK es necesario habilitar la **Instalación de Aplicaciones por Fuente de Terceros**. Para esto, revisar las instrucciones específicas de su móvil para habilitar el **Modo Desarrollador** y la **Instalación de Fuentes Desconocidas**. Una vez instalada la aplicación se puede acceder a ella desde el panel de ejecución de aplicaciones con el nombre **OptiriegoApp**.

Conexión y Menú

Para el correcto uso y conexión de la aplicación con el sensor **Optiriego** es necesario activar Bluetooth en el celular y dar el permiso correspondiente a la aplicación. En caso de no tener Bluetooth prendido al comenzar la aplicación se requerirá su permiso en la primera inicialización de **OptiriegoApp**. Una vez concedido el permiso la Aplicación realiza un scan de los dispositivos cercanos, al encontrar el sensor de Optiriego, automáticamente intentará iniciar el enlace.

La pantalla de la aplicación puede ser dividida en tres segmentos: 1) la cabecera, donde se despliegan datos de conexión; 2) el cuerpo en donde se muestran las diferentes secciones de la aplicación; y 3) el menú para navegar entre secciones.

Figura A5-2: Arriba, pantalla de permisos de Bluetooth. Abajo, pantalla dividida en tres segmentos: cabecera, cuerpo y menú

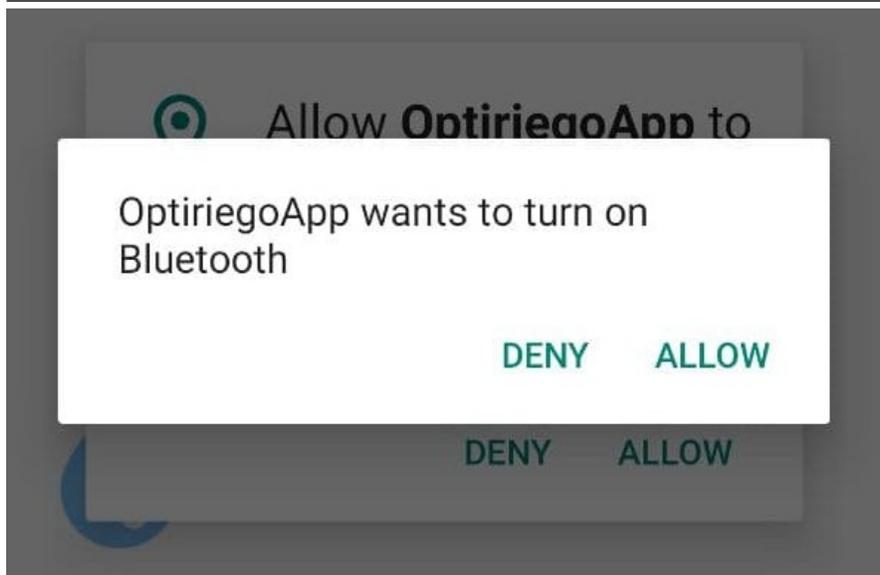
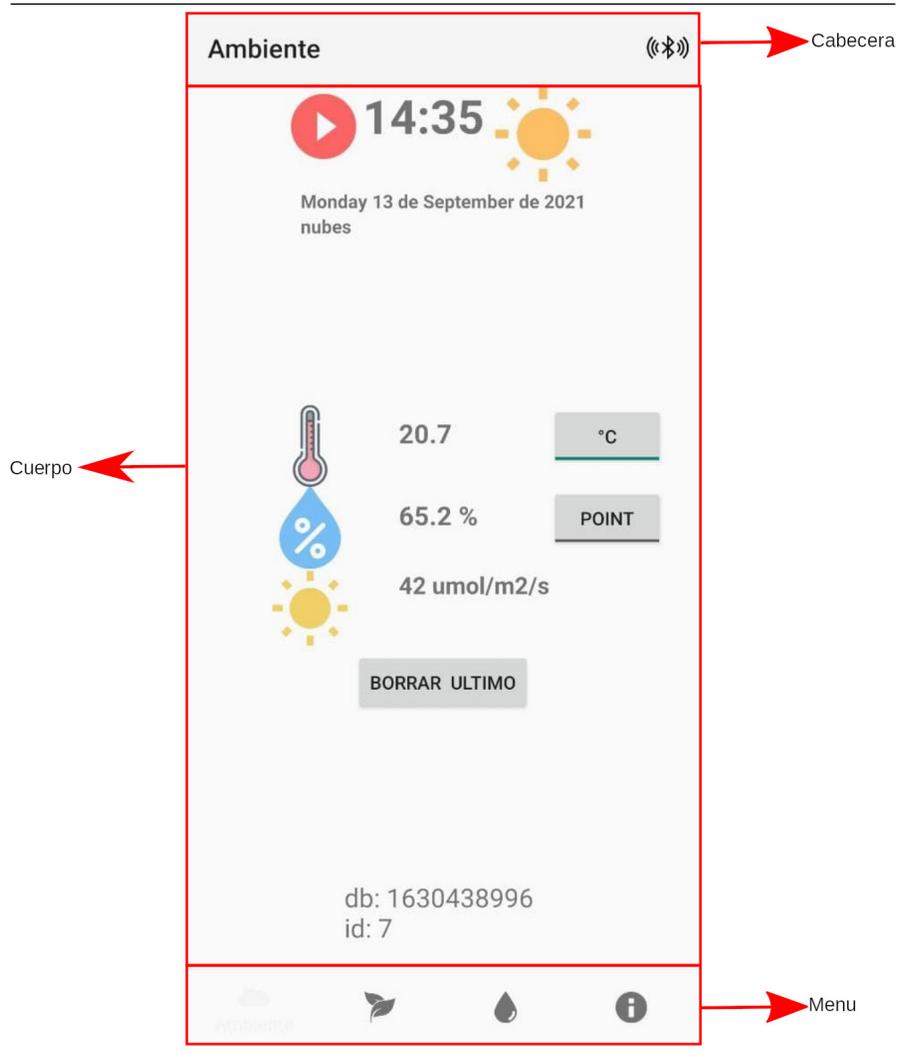


Figura A5-2: Arriba, pantalla de permisos de Bluetooth. Abajo, pantalla dividida en tres segmentos: cabecera, cuerpo y menú



Descripción de Secciones

La aplicación funciona como **DataLogger** de los datos enviados por el sensor. Cada medición se almacenará en el disco duro interno del celular y se utilizarán para crear un modelo hídrico de la planta objetivo. Desde el menú es posible navegar a 4 secciones diferentes:

1. **Sección de Ambiente:** En esta sección se desplegarán los datos asociados al ambiente de la planta. Para que la aplicación asocie las mediciones

al ambiente, es necesario presionar el botón (PLAY), una vez presionado pasará a mostrar (STOP) lo cual significa que la app está configurada para recibir datos de ambiente. La sección mostrará la fecha, hora y clima de la localización geográfica del GPS. También mostrará los valores de ambiente de temperatura, porcentaje de humedad e intensidad solar del último valor obtenido o el promedio de todos de acuerdo con el valor del checkbox point/mean (puntual/promedio).

- **Sección de Planta:** La sección de planta es parecida a la sección de ambiente, la diferencia radica en que en esta sección se mostrarán los datos asociados a mediciones de la planta. Al igual que la sección anterior se mostrarán los valores de temperatura, humedad e intensidad solar de la última medición o promediados. En esta sección también se permitirá terminar la sesión de datos para iniciar una nueva muestra de irrigación.
- **Sección de Irrigación:** En la sección de irrigación se mostrará de forma simplificada el modelo hídrico de la planta creado con mediciones obtenidas. La estimación del modelo hídrico categoriza la planta en tres estados de estrés: Alto, Medio y Bajo. En esta sección se mostrara una recomendación sobre si se requiere regar el predio o no. La recomendación se realizara de acuerdo el *Índice de Estrés (SI)* calculado. En el grafico de lineas, también se desplegara la media de los SI tomados por día, en días anteriores.
- **Sección de Información:** En la sección de información se le permitirá al usuario elegir el productor/predio, el especies y variedad de cultivo que se desea utilizar y el tipo de suelo. También se mostrará un botón verde si la hora actual se encuentra dentro de los márgenes deseables alrededor del mediodía solar para la toma de datos.

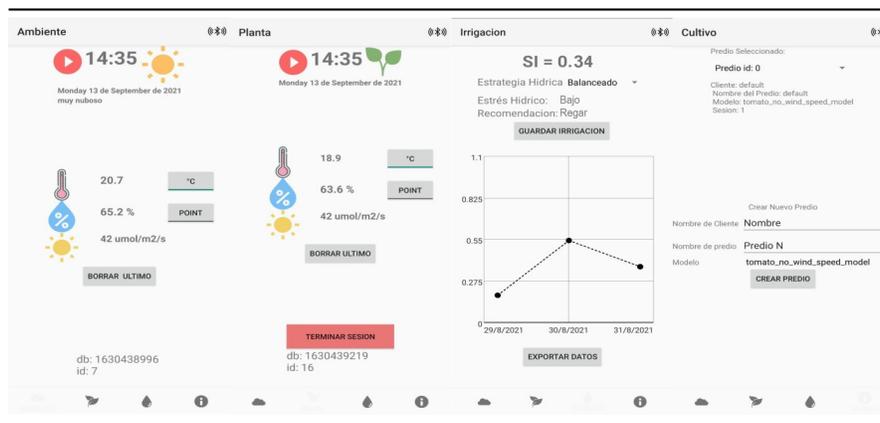


Figura A5-3: Las 4 secciones de la aplicación. De izquierda a derecha, secciones de: Ambiente, Planta, Irrigación e Información. De la información desplegada en las secciones se extrae que la aplicación está tomando mediciones de planta y se encuentra en gran estrés hídrico

Anexo 6 – Análisis Económica

Costos

Costos del sensor

Para estimar los costos fijos y variables del sensor, se considerarán compras necesarias para construir mil (1000) de estos equipos. Se asume que la compra se hará de una sola vez para poder ahorrar en costos de envío y posibles trámites en aduanas, ya que la mayoría de los componentes se encuentran en el extranjero. Se determinó una cantidad de 1000 unidades dado a que es la cifra que aparece como referencia - en la propuesta - para estas estimaciones y por ser una cantidad adecuada en términos de inversión para una primera ola de fabricación.

Se ha establecido como los costos fijos del proyecto los que se muestran en la tabla 6.1, visto que se ha fijado la cantidad de unidades para la evaluación.

Tabla 6.1. Costos fijos asociados a la producción del sensor

Item	Total (1000 ud)	Total (1 ud)	Empresa Proveedor	País
	[USD]	[USD]		
Placas electrónicas	1414.40	1.41	PCBWay	China
Componentes electrónicos	80012.12	80.01	Digikey	EEUU
Antena GPS	36800.00	36.80	Symmetry Elec	EEUU
Filtro de luz	35520.00	35.52	Edmund Optics	EEUU
Carcasa		28.85	Prototype	Chile
Misceláneo		20.00		
Batería		16.67	MCI	Chile
Ensamble placa		20.00		
Ensamble final		41.25		

Respecto al desglose de los ítems, se espera adquirir las **“Placas electrónicas”** y los **“Componentes electrónicos”** junto con el **“Ensamble placa”** todo en un mismo lugar con tal de ahorrar costos y tiempo debido a que las empresas que se dedican a prestar estos servicios tienen economías de escala mucho mayores y puede significar un ahorro considerable en varios de los dispositivos electrónicos a adquirir, considerando, además, el hecho de una posible reducción en costos de envío por estar más cerca de las fábricas. Se estima que la producción de las mil (1000) unidades podría

tomar de uno a tres meses (31 a 93 días) dependiendo de la disponibilidad de componentes electrónicos, puesto que al día de hoy - agosto de 2021 - se experimenta una masiva escasez de semiconductores lo cual genera poca disponibilidad de equipos y largos tiempo de espera para más unidades.

El ítem de “**Ensamble final**” considera el armado de la unidad final más la prueba del equipo, esto para asegurar una mínima funcionalidad. Esta prueba de funcionalidad debe ser realizada localmente y de forma manual, por lo que no es posible automatizarla del todo. Para la realización de esta tarea se asume la contratación de un técnico electrónico y se estima que podría completar dos sensores cada tres horas, es decir, 0,667 de un sensor, por hora. En teoría, asumiendo una jornada laboral de 8 horas diarias, una vez con todos los componentes en nuestro país, tomaría un tiempo de 188 días adicionales en completar las mil unidades a una tasa de, aproximadamente, 5 a 6 sensores por día. En la tabla 6.2 se ejemplifican tiempos de desarrollo (mínimos y máximos) según cantidad de trabajadores

Tabla 6.2.- Tiempos de completitud mínimos y máximos para 1000 unidades de sensores

Armado de 1000 unidades [días]	Trabajadores			
	1	2	3	5
Mínimo	218.5	124.75	93.5	68.5
Máximo	280.5	186.75	155.5	130.5

En cuanto a los costos variables, se considera la contratación de un ingeniero informático para la actualización de la app de acuerdo a la retroalimentación y reporte de los usuarios.

Sobre la base de estos antecedentes se concluye que el costo neto del equipo alcanza a US\$ 280,51 con un valor comercial estimado neto de US\$ 600/unidad.

Vida útil

Es difícil estimar la vida útil del sensor puesto las condiciones en los que va a ser usado varían drásticamente en el tiempo, sin embargo, en condiciones nominales, el sensor debería durar - mínimo - tres (3) años tiempo en el cual se pueden ejecutar actualizaciones de firmware y cambio de batería para extender aún más su vida útil. Se considera, además, que dada la arquitectura del sensor (con una parte desmontable), en caso de haber falla en alguno de los sensores ambientales, esta parte se puede reemplazar sin alterar el funcionamiento del sensor y a un costo mucho menor que una unidad nueva completa.

Cálculos de costo operacional (mano de obra) Bomba Scholander v/s Optiriego

Para el análisis se consideró la práctica de campo con personal con experiencia en el uso de Bomba de Scholander y Optiriego, labor que se desarrolló durante el proyecto. No se consideró el valor del teléfono celular, ya que todos los productores y trabajadores casi sin excepción utilizan celulares.

Bomba PMS de Pie/Pump Up Chamber

Calculo del Costo de operación a partir del tiempo ideal requerido para uso de bomba Modelo PMS Pump Up Chamber, muestra 10 plantas de tomate

Actividad	minutos /planta	total plantas	total min/muestra
Poner bolsa a la hoja (10 seg)	0.20	10	2
Recorrido poner bolsas			20
Toma de muestra (recorte de hoja)	0.2	10	2
Medicion (según estado hidrico planta; se asume 6 pump x 0,5 bar)	1	10	10
Recorrido para medicion (3,4 kg)			15
Registro de datos			10
		Total minutos	59
		Total Horas	0.98
		\$/jornada 8h	25 000
		Costo \$ JH	3 073



Superficie 1 ha tomates, 10 plantas superficie homogénea y 1 hoja / planta
No considera recambio de hojas por daño de estas.

OPTIRIEGO

Calculo del Costo de operación a partir del tiempo ideal requerido para uso de Optiriego , muestra 10 plantas de tomate

Actividad	minutos /planta	total plantas	total min/muestra
poner bolsa	0.20	0	0
recorrido poner bolsas			0
Toma de muestra (recorte de hoja)	0.16	0	0
medicion y registro manual	0.5	0	0
Recorrido para medicion (250 gr sensor + celular)		10 a 20	15
Registro datos			0
		Total minutos	15
		Total Horas	0.25
		\$/jornada 8h	25 000
		Costo \$ JH	781



*Superficie 1 ha tomates , minimo 10 plantas superficie
No considera recambio de hojas por daño de estas*

Cuadros comparativos Bomba Scholander v/s Optiriego

Considerando que Optiriego utiliza como método de calibración la Bomba de Scholander en búsqueda de entregar una herramienta de menor costo y fácil uso a los agricultores, a continuación, se presentan las ventajas y desventajas del sensor Optiriego respecto de una Bomba de Scholander.

BOMBA DE SCHOLANDER Bomba PMS de Pie / Pump Up Chamber	
Qué mide	Información directa sobre el estado hídrico de la planta a partir la presión necesaria requerida para extraer el agua del tallo. Se mide en Bar a mayor valor mas stress, a menor valor mas hidratada la planta.
Cómo medir	SWP Stem water potential la mas recomendada, se realiza a medio día y requiere que la hoja este al menos 15 minutos (en caso de tomates) en la bolsa de aluminio para impedir la transpiración de la hoja, estabilizar el potencial hídrico del tallo y la hoja. El SWP es más sensible a los déficits hídricos leves o los déficits hídricos en suelos con humedad heterogénea del suelo (en interacción con el enraizamiento de la vid) que la medición del potencial hídrico antes del amanecer.
	LWP Leaf water potential 2 horas antes de amanecer, cuando el estado hídrico de la vid es máximo. Se mide la tensión de la hoja, para ello se pone la hoja en una bolsa plastica, se corta y mide en el pedicelo de la hoja, sin haber llegado a equilibrio con el tallo. Pueden llevar a una subestimación del déficit hídrico. Nota se puede hacer a medio día MLWP pero no se recomienda.
Ventajas	Menor variabilidad debido a condiciones ambientales, especialmente cuando se mide estrés en tallo.
	Son muy sensibles a diferencias en la aplicación de agua de riego, lo que permite establecer con precisión donde hay situaciones de sequía dentro de un huerto.
	Equipo con mas de 44 años de uso.
Desventajas	Alto costo, dependiendo del modelo; en este ejemplo valor neto \$2.223.573. El modelo de comparación es por bombeo manual, donde cada bombeo representa una variación de 0,5 bar.
	Peso 3,5 kilos
	Como los datos se deben capturar cada vez, no permite monitoreos continuos.
	Require habilidad manual, para cortar la hoja, insertarla con su bolsa en la cámara y sellar la pedicula de la hoja sin dañar y cortarla en corto tiempo.
	El modelo de comparación utiliza medición por aguja en manómetro, no digital; requiere de buena visión y se debe registrar el resultado
Altamente intensiva en el uso de mano de obra: \$3.073 para una muestra de 10 plantas	

OPTIRIEGO	
Qué mide	Información indirecta sobre el estado hídrico de la planta, a partir de su temperatura; calibrado con bomba de presión a partir de SWP de plantas en buen estado hídrico y stressada. A cada hoja que se monitorea se calcula su Índice de stress hídrico SI que va entre 0 a 1 y se presenta el promedio de este valor
Cómo medir	<p>Se considera monitorear un mínimo de 10 plantas y 2 hojas / planta por zona homogénea de riego, el sensor se pone en contacto por unos segundos con la hoja para capturar los datos de temperatura (ambiente y hoja), humedad relativa y luz PAR que llega a la hoja y los transmite vía blue tooth a una aplicación instalada en el celular m donde se realizan los cálculos del Índice de Stress de las plantas (SI) y lo va comparando contra un valor crítico de stress que es para cada especie, actualmente se dispone para tomates.</p> <p>Al término de las mediciones el sensor entrega una recomendación de regar o no regar, la cual dependerá de la estrategia hídrica que defina el productor y le asigne al sensor, para esto el OPTIRIEGO cuenta con 3 estrategias:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Minimizar el stress hídrico 2. Balanceado 3. Ahorro de agua (sin afectar la producción)

Ventajas	Bajo precio se estima US\$ 600/unidad.
	Bajo peso, 128 gramos.
	Digital, permite registro de resultados en forma inmediata con capacidad para miles de datos.
	Se puede visualizar los índices de estado hídrico de las últimas 6 mediciones, permitiendo ver evolución y ayudar al productor a ajustar el cuanto regar.
	Alta precisión ya que está calibrado contra valores de B Scholander
	Bajo uso de mano de obra \$781 para una muestra de 10 plantas
Desventajas	Como los datos se deben capturar cada vez, no permite monitoreos continuos.
	Equipo nuevo tecnología.
	Requiere de un celular de apoyo para cargar la App.



Resultados finales

Sobre la base de los antecedentes antes mencionados se concluye que el costo de inversión de Optiriego es menor al de la Bomba de Scholander

Bomba PMS de Pie / Pump Up Chamber	\$ 2.223.573
Optiriego US\$ 600 (t/c 785)	\$ 471.000

Así también, se concluye que para evaluar 1 ha de tomates zona riego uniforme 10 plantas a muestrear el costo de operación del sensor Optiriego es menor al de la bomba de Scholander

Costo operación Bomba PMS de Pie / Pump Up Chamber	\$ 3.073
Optiriego	\$ 781

Anexo 7 – Difusión

Taller (31 de agosto 2021)

Invitación oficial y programa



INVITACIÓN

La Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y Dvora Laio Wulfsohn de Geco Enterprises Limitada, invitan a usted a participar en el taller **"Resultados de Optiriego: Sensor para medir el estado hídrico de la planta"**, en el marco del Proyecto apoyado por FIA "Desarrollo y validación de un prototipo de sensor portátil de fácil uso para establecer oportunidad de riego en frutales y hortalizas midiendo variables alrededor y de la planta". En la oportunidad habrá una charla y demostración del sensor y su uso en tomates.

La actividad se realizará el martes 31 de Agosto, desde las 14:30 a 16:30 horas, en el Restorán "El Tambo", Parcela 156, El Tambo, San Vicente de Tagua Tagua, Región de O'Higgins.

Confirmar asistencia al teléfono: (56-9) 7879 6422 o al e-mail: jpavez.geco@gmail.com

FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA





Programa de la actividad

"Resultados de Optiriego: Sensor para medir el estado hídrico de la planta"

- 14:00 a 14:30 hrs: Registros y Bienvenida**
- 14:30 a 15:00 hrs: Situación del agua de riego en la región de O'Higgins.**
Expone: Ines Zamora L., Ingeniero agrónomo MSc
- 15:00 a 15:30 hrs: Presentación del proyecto: Objetivos, actividades realizadas y resultados**
Expone: Dvora Laio Wulfsohn, Ingeniero civil agrícola PhD
- 15:30 a 16:00: Uso del sensor**
Expone: Camilo Rojas, Ingeniero civil electrónico MSc
- 16: 00 hrs en adelante: Coctel de cierre.**

Lugar: Restorán "El Tambo", Parcela 156, Ruta I-90H, El Tambo, San Vicente de Tagua Tagua, Región de O'Higgins.

1

Teléfono Contactos: (56) 9 7879 6422, 9 7879 6253, 9 7769 9291



GECO ENTERPRISES LTDA, CENTRO DE I+D
Ruta I-90H, Parcela 163, El Tambo, San Vicente TT, Región de O'Higgins, Chile
Teléfonos +56-9-7879 6422 (secretaria) 9-7879 6253 9-7769 9291 E-mail jpavez.geco@gmail.com



BIENVENIDOS, NO OLVIDAR



Mantener distancia física de al menos un metro.



Lavado frecuente de manos.



No saludar de manos, besos o abrazos.



Estornudar o toser con el antebrazo o en un pañuelo desechable.

- Durante el coctel , evitar desplazarse de lugar en lugar y retirar del bufet su consumo.

Presentaciones técnicas (2)



Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

FIA
Fundación para la Innovación Agraria

Geco

AURORA SPACE

Situación del agua de riego en la región de O'Higgins 2021

Ines Zamora Lagos
Ingeniero agrónomo MSc

31 de agosto 2021

CODIGO DE INICIATIVA
PYT-2018-0068

www.freepptbackgrounds.net

Temas a tratar

- Introducción
- Disponibilidad de agua para la Temporada
- Efecto cambio climático en O'Higgins (20 a 30 años)
- Comentarios de contexto
- Conclusiones

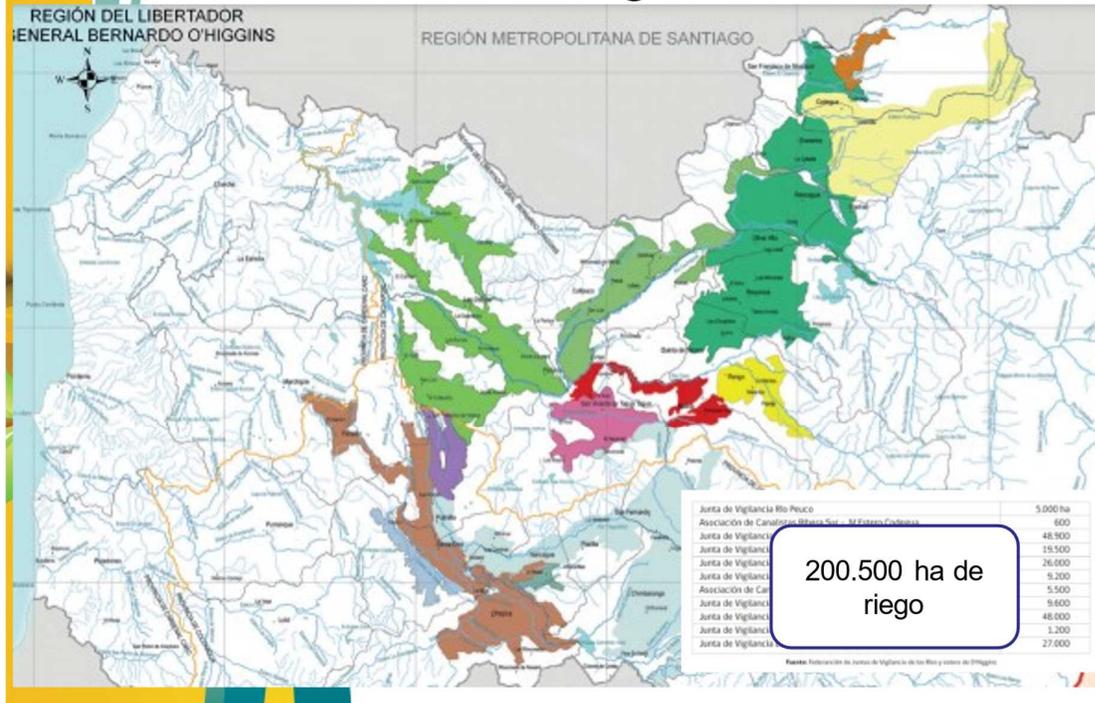


Fuentes de agua de riego, **beber** e industria Región O'Higgins



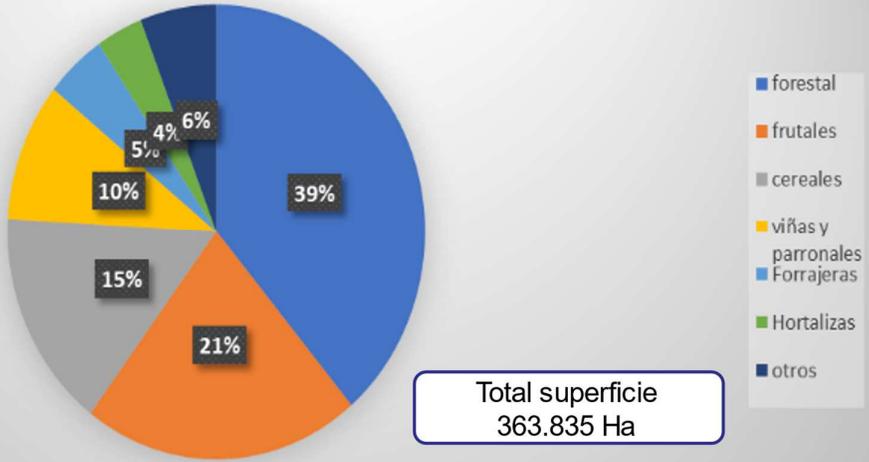
49 Identificados pero con escasos estudios

Mapa regional de Juntas de vigilancia





**Distribucion de la Superficie (%)
por rubro silvoagropecuario en O'Higgins**



Superficie con riego por provincia y sistema de riego (ha) O'Higgins

Provincia	Tendido	Surco	Otro Tradicional	Aspersión tradicional	Carrete o pivote	Goteo o cinta	Micro aspersión y microjet
Cachapoal	24.247,3	65.163,9	2.192,5	532,1	128,6	27.113,1	3.402,8
Colchagua	24.032,0	36.731,1	357,9	253,1	577,4	18.671,1	1.852,5
Cardenal Caro	357,7	645,9	37,3	369,8	951,9	5.511,1	46,4
Región	48.637,0	102.540,9	2.587,7	1.155,0	1.657,9	51.295,4	5.301,7

Fuente: Elaborado por Odepa a partir de información del VII Censo Nacional Agropecuarios y Forestal: Odepa - INE, 2007.

El bajo grado de tecnificación hace que en origen ya se pierda aproximadamente un 30% del agua de riego disponible.

Disponibilidad de agua para la temporada

Que parámetros importan para saber si viene buena la temporada de riego?

1. **Nieve**, Cantidad y Calidad – Flujo de agua
2. **Aguas Subterráneas** – Stock de agua en el subsuelo
3. **Almacenaje Embalses**, Convento viejo
4. **Pluviometría** -Agua caída (lluvia)

1. Acumulación de nieve

Región	Ruta	20 Agosto 2019 (cm)	20 Agosto 2020 (cm)	13 agosto 2021	20 agosto 2021	23 agosto 2021
Coquimbo	El Soldado	3	37	0	3	2
Valparaíso	Nacimiento del Sobrante	10	63	0	8,7	2
	Portillo	22	105	0	41	52
Metropolitana	Laguna Negra	45	76	0	36	37
	Las Melosas	19	110	16	93	59
	Las Hualtatas	*	*	6	7	6
O'Higgins	Quebrada La Negra	*	*	0	89	49
	Termas del Flaco	53	165	3	131	125
Maule	Paso Vergara	41	142	10	-	-
	Nueva Lo Aguirre	80	221	3	95	98
	Los Cóndores	259	344	68	141	151
	Nevado Longavi	71	204	0	-	-
Ñuble	Volán Chillán	43	147	-	31	21
Biobío	Alto Mallines	172	198	21	109	135

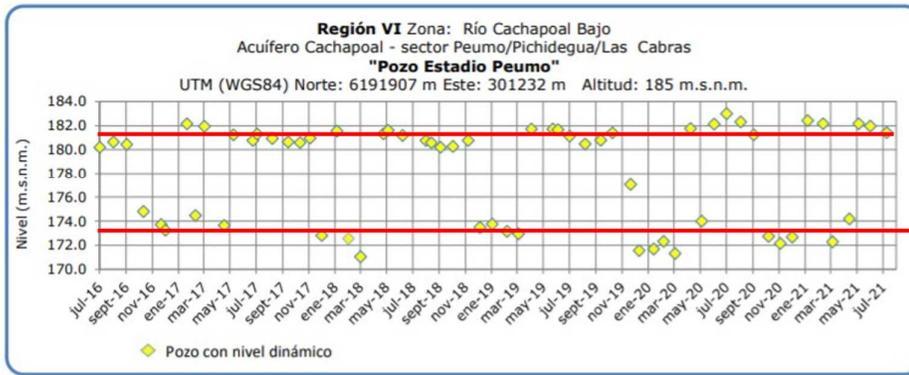
Similar al 2019
Déficit al 2020 un 24%
Déficit histórico 32,5%

1.1 Pronóstico de deshielo Flujo de agua

- DGA dará a conocer el pronóstico de los caudales de deshielo Fin Septiembre a inicio de Octubre. -Calidad
- Tras el paso del frente la acumulación de nieve se mejoro
- Se redujo respecto del déficit histórico del **-41 al -32,5%**.
- En relación al año pasado se mantiene un registro menor **(-19% a -24%según altura)**.
- Se espera un menor flujo toda la temporada

2. Aguas subterráneas

- Niveles Medios de pozos
- * Gráficos de últimos cinco años



2.1 Aguas subterráneas



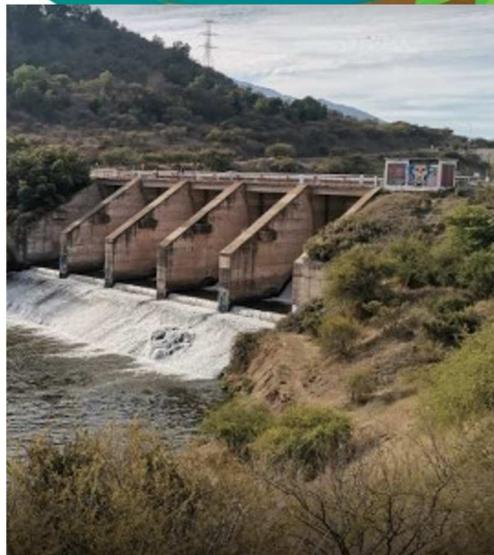
En la Región de O'Higgins según los datos que hay, los acuíferos mantienen niveles y fluctuaciones que están dentro de lo normal, **sin embargo hay preocupación por la calidad de las mediciones**

3. Embalses

- **Rapel** Uso Generación, Subió el volumen acumulado de agua de 398,2 a 578,4 millones de metros cúbicos, es decir del 57,3 al 83,2% de su capacidad.
- **Convento viejo**

3.1 Embalses

- **Convento Viejo**
- Uso riego
- Beneficia a los agricultores de los valles de Nilahue, Chimbarongo, Las Toscas y Guirivilo; 237 millones m³
- Volumen al 100% de la capacidad disponible podrá llevar agua a Chimbarongo y Lolol



4. Pluviometría, agua caída 2021

San Fernando

Comuna San Fernando

Región Lib. Bdo.OHiggins

Precipitación: Evolución diaria

Precipitación diaria (mm) - 31 de julio al 29 de agosto																														
Días	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
mm / día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	22	54	25	-	13	-	1	-	-	-	-	-	

Agosto :138 mm

33% déficit a la fecha
respecto año anterior

Precipitación acumulada

Precipitación acumulada mensual (mm) - Temporada 2021

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
mm. acumulada temporada actual	59,0	59,5	60,4	62,9	77,9	102,6	113,6	252,9	252,9
mm. acumulada temporada anterior	7,3	16,2	16,2	19,8	48,2	265,0	358,7	377,9	383,7

NOTA: En el caso de no existir acumulación mensual de precipitaciones, se mantendrá el valor anterior acumulado.

San Vicente TT

Comuna San Vicente

Región Lib. Bdo.OHiggins

Precipitación: Evolución diaria

Precipitación diaria (mm) - 31 de julio al 29 de agosto																														
Días	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
mm / día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	15	55	22	-	10	-	1	-	-	-	-	-	

Agosto :121 mm

27% déficit a la fecha
respecto año anterior

Precipitación acumulada

Precipitación acumulada mensual (mm) - Temporada 2021

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
mm. acumulada temporada actual	45,2	45,5	46,3	50,9	66,2	105,2	117,9	241,5	241,5
mm. acumulada temporada anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	234,6	315	329,2	333,8

NOTA: En el caso de no existir acumulación mensual de precipitaciones, se mantendrá el valor anterior acumulado.

Placilla Chacarilla Comuna Placilla
Región Lib. Bdo.O'Higgins

Precipitación: Evolución diaria

Precipitación diaria (mm) - 31 de julio al 29 de agosto																														
Días	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
mm / día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-	-	-	-	-	26	20	41	9	-	21	-	-	-	-	-	-	-	

Agosto :122 mm

Precipitación acumulada

17% déficit a la fecha
respecto año anterior

Precipitación acumulada mensual (mm) - Temporada 2021									
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
mm. acumulada temporada actual	59,9	59,9	61,1	85,2	100,8	150,4	177,3	301,4	301,4
mm. acumulada temporada anterior	0,0	0,0	2,0	12,5	30,1	251,1	338,3	362,4	375,3

NOTA: En el caso de no existir acumulación mensual de precipitaciones, se mantendrá el valor anterior acumulado.



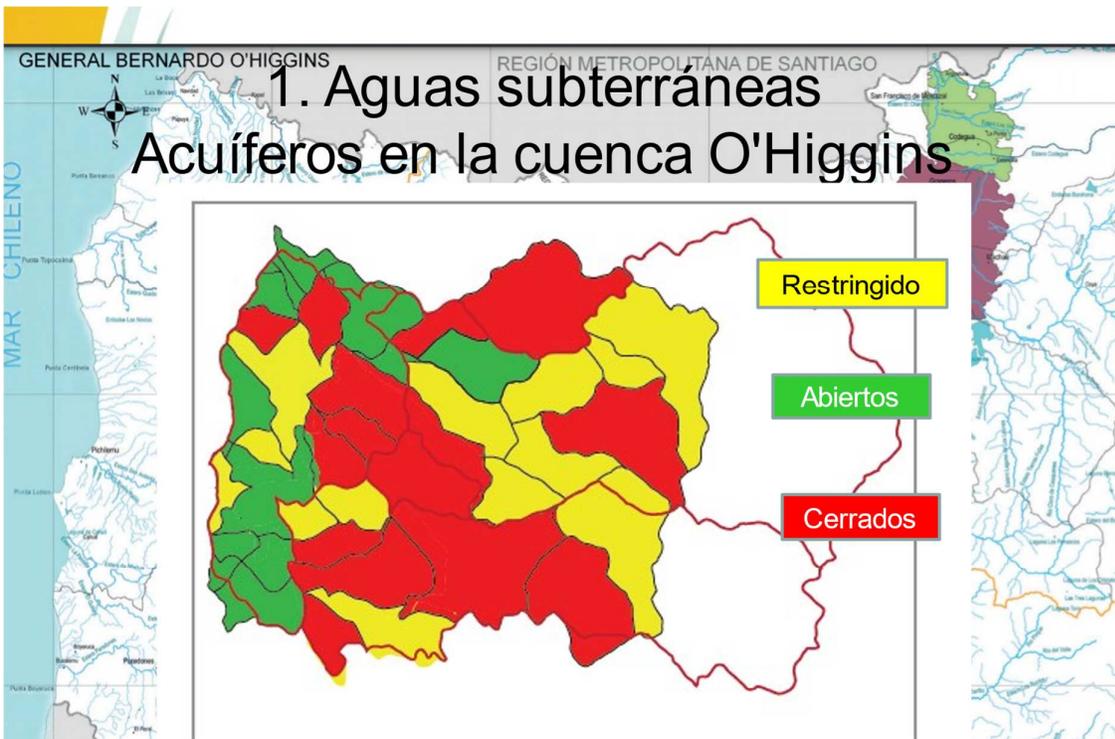
© Créditos: Sócrates Orellana | Agencia UNO

Gobierno decreta emergencia agrícola por escasez hídrica en Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins y Maule

Jueves 26 agosto de 2021 | Publicado a las 12:08



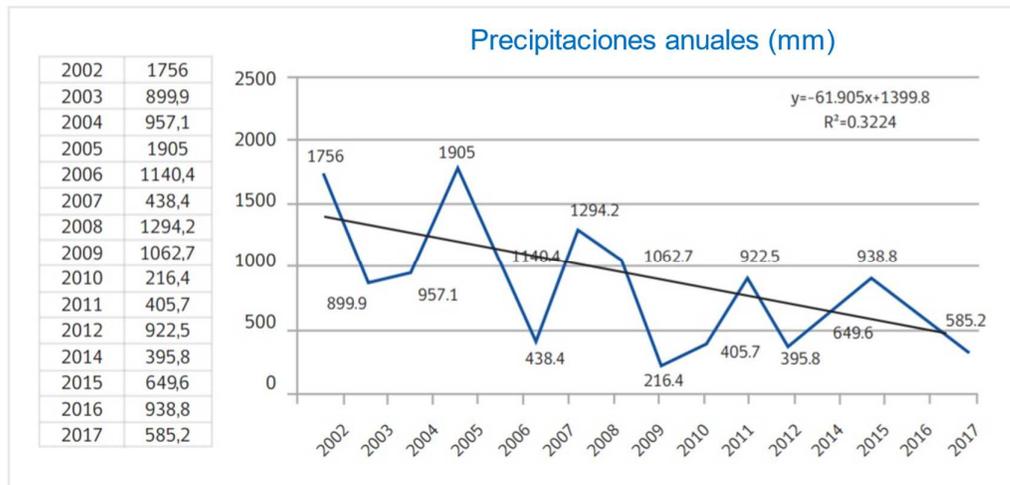
Efecto del Cambio Climático en el tiempo Región O'Higgins



49 Identificados, con escasos estudios

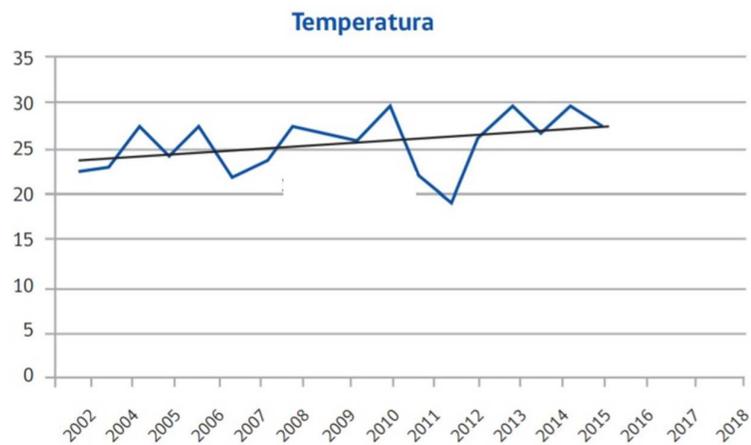
Se debe considerar la demanda, abastecen nivel y lluvia

3. Precipitación Anual precordillera O'Higgins 2002 al 2017 Estación El Pangal



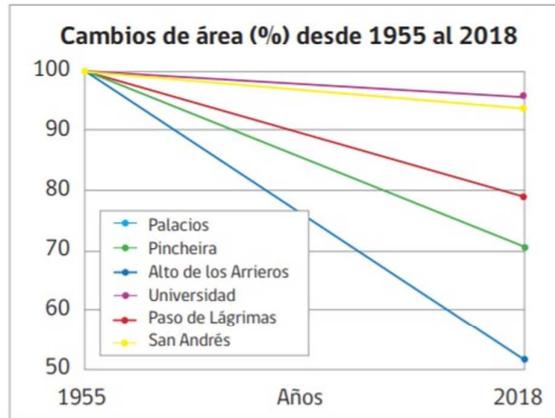
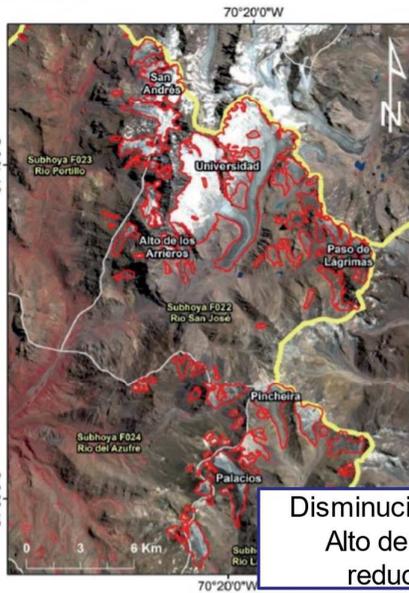
4. Temperatura promedio Estación El Pangal

2000	22.5
2001	23.3
2002	27.3
2003	24.2
2004	27.1
2005	21.6
2006	23.7
2007	27.4
2008	26.5
2009	25.8
2010	29.4
2011	21.9
2012	19.4
2014	25.9
2015	29.7
2016	26.4
2017	29.1
2018	27.7



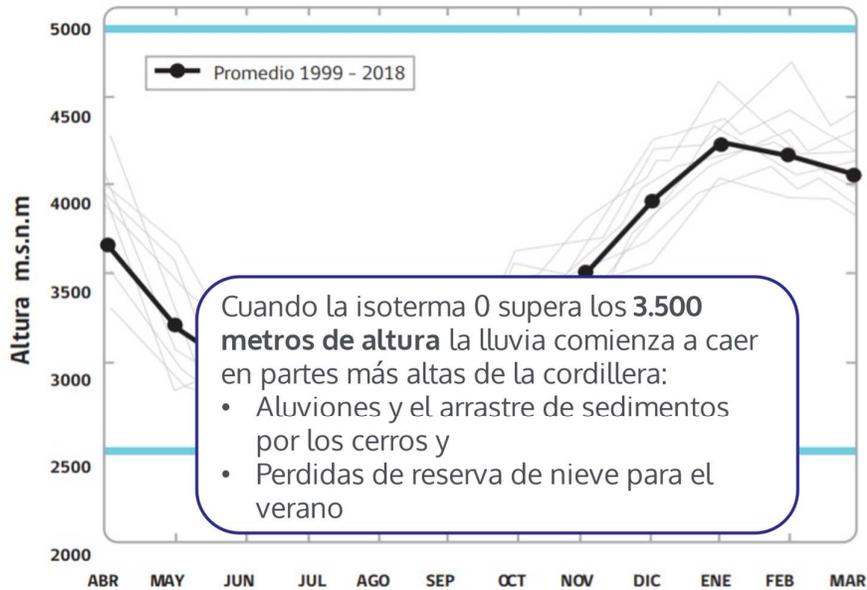
5.Estado de los Glaciares

de mayor importancia



Disminución en todos los glaciares, destacando los glaciares Alto de los Arrieros, Pincheira y Paso de Lágrimas, con reducciones de 49%, 30% y 21%, respectivamente.

Ciclo anual altura isoterma 0°C



Comentarios de contexto

- La pérdida de masa de los Glaciares de nuestra región es preocupante, más si se constata que el nivel de la isoterma va al alza, lo que significa que las reservas de aguas superficiales serán cada vez menores y por lo tanto el **manejo de las aguas subterráneas y su recarga serán vitales** para asegurar la futura disponibilidad del recurso hídrico.



Comentarios de contexto

- La pérdida de masa de los Glaciares de nuestra región es preocupante, más si se constata que el nivel de la isoterma va al alza, lo que significa que las reservas de aguas superficiales serán cada vez menores y por lo tanto el **manejo de las aguas subterráneas y su recarga serán vitales** para asegurar la futura disponibilidad del recurso hídrico.



Comentarios

- A excepción de algunas especies, **no hay almacenamiento de reserva de agua de largo plazo** en el organismo: **su consumo ocurre casi en tiempo real**, en la medida que se necesita. Una planta puede estar en **plena actividad hídrica a las diez** de la mañana y **cuatro horas después** presentar **déficit, si no se mantiene el flujo de agua del suelo**

Conclusiones

- En los últimos 18 años hemos perdido glaciares, menos precipitaciones, menos nieve y aumento temperaturas.
- El 2021 si bien estamos en una situación mejor que el 2019 que fue seco, no así comparado con el 2020 .

Conclusiones

- Estamos frente a una situación crítica y se debe combatir el Cambio Climático (CC)
- 1.Reducir el consumo de carnes , aumenta verduras y frutas
- **2. reducir, reciclar, reutilizar 3R**
- 3. ahorrar energía
- 4. uso transporte público y bicicleta
- 5. Informar y educar
- Para esta temporada para mitigar el impacto de la escasez de agua debemos ser eficientes en el uso de esta- **reducir, reciclar, reutilizarla**- nos permitiría regar adecuadamente hasta marzo en O'Higgins.



- Debemos apoyarnos en el conocimiento, la innovación y la Tecnología



Gracias!



PYT-2018-0068



Las Fuentes de informacion

- DGA/ MOP
- Estaciones particulares reunidas en la Red agrometeorológica de METEORED; INIA:AGROCLIMA
- Juntas de Vigilancia de riego de la región



Optirego: Objetivos, actividades realizadas y resultados

Expone: **Dvoralai Wulfsohn**
Ing. civil agrícola, PhD, PEng
Geco Enterprises Centro de I+D

31 agosto 2021

CODIGO DE INICIATIVA
PYT-2018-0068

www.freepptbackgrounds.net

¿Cuándo y cuánto regar ?

- ❖ Por experiencia – evidencia visual y “tocando” el suelo
- ❖ Experiencia y sistemático – ‘cada 2 días por 1 hora’
- ❖ Evapotranspiración del cultivo ET_c (mm/día)
 - ✓ con tensiómetro
- ❖ Pregúntala a la planta...
 - ✓ Temperatura del follaje y índice de estrés hídrico (CWSI)
 - ✓ Requiere plantas de referencia– bien regada y sin transpiración
 - ✓ **Cámara de presión (bomba de Scholander)**

PYT-2018-0068 “Desarrollo y validación de un prototipo de sensor portátil de fácil uso para establecer oportunidad de riego en frutales y hortalizas midiendo variables alrededor y de la planta”

❖ Objetivo

Diseñar, construir, calibrar y validar un sensor prototipo de fácil uso para monitorear el estado hídrico de la planta, que permita una adecuada gestión del recurso hídrico sin afectar la producción.



1



❖ Desarrollo del sensor

- ✓ Electrónica
- ✓ Casaca
- ✓ Calibración



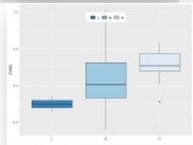
2



❖ Ensayos con tomates en invernaderos y aire libre

- ✓ Determinar valores de tensión hídrico (bScholander) y valores del Sensor que indican nivel de estrés hídrico
- ✓ Modelos matemáticos para predecir las condiciones de Referencia 'Bien regada' y 'Sin transpiración'

3



❖ Índice de Estrés Hídrico 'SI'

- ✓ Proceso de toma de datos e análisis
- ✓ Auto calibración del modelo

4



Desarrollo de la aplicación smartphone

- ✓ Captura de datos
- ✓ Integración del modelo de índice de estrés
- ✓ 3 estrategias de riego y recomendación de riego

5



❖ Validación en campos de productores

- ✓ Recomendación de riego: Optiriego vs bScholander
- ✓ Consumo de agua y rendimiento Optiriego vs Convencional

❖ Análisis económico y operacional

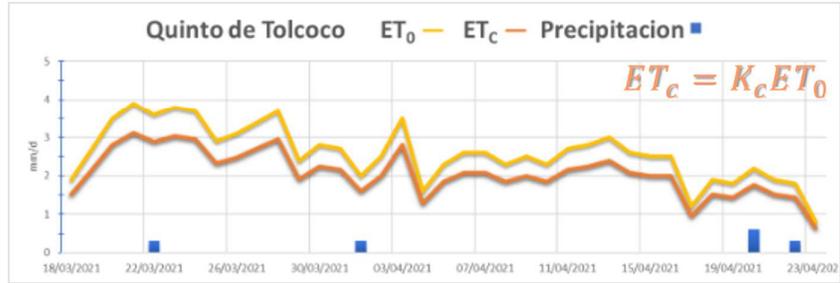
Ensayos para el desarrollo del modelo



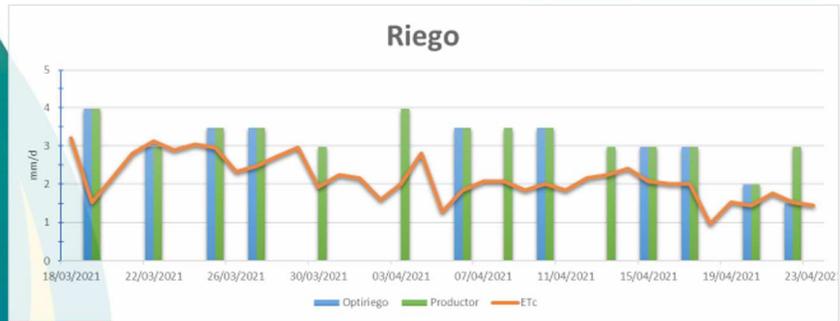
Ensayos de Evaluación y Validación



Comparación riego



<https://www.agromet.cl/datoshistoricos>



Consumo de agua

Variedad	ET_0 (mm/día)	ET_c (mm/día)	Tratamiento	Riego (mm/día)	Riego % ET_c	Ahorro de agua por Optiriego	L / kg 'verde a maduro'
Estrategia: Evitar agua							
Montoya / Fortamina	2,5	2,0	Productor	2,5	122%	-29%	23,8
			Optiriego	1,8	87%		16,5
Estrategia: Ahorro de agua							
Alamina / Kaiser	2,5	2,0	Productor	1,3	64%	-43%	18,3
			Optiriego	0,7	36%		11,9

18 marzo – 28 abril 2021

❖ **Productores:**

- ✓ Fabian Bahamonde
- ✓ Luis Carreño Silva
- ✓ Jaime Iván Lagos, Carla Orellana
- ✓ Samuel Acevedo y Camilo Henríquez, Joselyn Armijo
- ✓ Luis Quintanilla

❖ **Alumnos de practica**

- ✓ Luis Arturo Barra
- ✓ Pablo Briones

❖ **Aporte en terreno y administrativo**

- ✓ Sergio Fuentealba, Ing. civil agrícola
- ✓ Julio Briones
- ✓ Jessica Pavez

Gracias!

Con el apoyo de



PYT-2018-0068

Fotos



Fotos del taller en el restorán El Tambo. Presentaciones técnicas en salón seguidos por una demostración en-vivo del sensor y app, y terminando con un coctel afuera en la terraza.



Optiriego, sensor portátil permitiría ahorrar hasta un 30% de agua en cultivo de hortalizas y frutales

Las pruebas de campo se llevaron a cabo con el apoyo de productores de tomates de la zona de Pichidegua y San Vicente de Tagua Tagua, en la región de O'Higgins.

Presentando una alternativa tecnológica a la incertidumbre del cambio climático y, con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), la empresa GECO Enterprises desarrolló y validó "OPTIRIEGO", un prototipo de sensor portátil de fácil uso para establecer oportunidad de riego en frutales y hortalizas.

Las pruebas de campo se llevaron a cabo con el apoyo de productores de tomates de la zona de Pichidegua y San Vicente de Tagua Tagua, en la región de O'Higgins, quienes facilitaron sus plantaciones donde se establecieron las unidades experimentales al objeto de comparar la toma de decisión del productor bajo su criterio tradicional con el uso del sensor OPTIRIEGO.

El equipo de profesionales de Geco está compuesto por Dvoralai Wulfsohn; Ingeniero civil Agrícola PhD; e Inés Zamora y Jaime Bahamondes, ambos Ingenieros agrónomos.

CONTEXTO

La agricultura es la que tal vez sufrirá los mayores problemas ocasionados por el cambio climático, como usaria de aproximadamente cuatro quintos del agua en la zona que va desde el norte hasta la región de Los Ríos. A medida que se reducen las precipitaciones, la tecnología de riego, las prácticas y el tipo de cultivos deberán responder a esa menor disponibilidad de agua.

"Existen variadas técnicas y tecnologías para establecer los requerimientos de agua de parte de las plantas. La bomba de presión de tipo "Scholander", a la fecha, se considera la herramienta más

precisa ya que determinan el potencial xilemático y por medio de esto el estado hídrico del cultivo. La tensión aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad del suelo y aumenta la demanda evaporativa en la atmósfera. Son muy sensibles a la variación de agua y por tanto exactas", comenta la ejecutora a cargo del proyecto, Dvor Wulfsohn.

No obstante, son de alto costo de adquisición, mantención y uso de mano de obra; estando lejos del alcance de los productores pequeños y medianos, quienes representan el 85% de agricultura chilena. En efecto, el uso de agua de riego en cantidad y tiempo de aplicación es de suma importancia ya que es un recurso determinante en el éxito de un cultivo.

INNOVACIÓN

El proyecto OPTIRIEGO se inició el año 2018 y finalizó 31 de agosto del 2021. Durante todo este periodo se trabajó en el diseño, evaluación y validación del prototipo de sensor portátil, capaz de capturar datos de temperatura (ambiente y hoja), humedad relativa y luz PAR que llega a la hoja; datos con los cuales se calcula un índice de stress hídrico, en este caso para tomates por tratarse de una especie ampliamente plantada en la región y, además, en Chile se cultiva todo el año.

Considerando que la bomba de Scholander es muy precisa, pero de difícil uso, se utilizó para calibrar la decisión del modelo usado en OPTIRIEGO de cuándo regar.

TECNOLOGÍA

"Para usar el sensor se estableció un método de muestreo de fácil aplicación que



La imagen muestra el prototipo del sensor OPTIRIEGO tomando datos desde la planta. Portátil, pequeño y liviano, permite una evaluación directa.

el productor debe seguir para ir evaluando las plantas y hojas que corresponda, es decir, algo así como preguntarle a la planta en qué estado hídrico se encuentra, para lo cual se pone el sensor en contacto tan solo por unos segundos con la hoja siendo éste el encargado de tomar los datos desde la planta y los transmite vía bluetooth a una aplicación instalada en el celular del productor donde se realizan los cálculos del índice de stress de las plantas y lo va comparando con un valor crítico de stress que es para cada especie y que en este caso se hizo para tomates", añade Wulfsohn.

En esa línea, el director ejecutivo de FIA, Álvaro Eyzaguirre, comenta que "Desde FIA estamos muy entusiasmados con este sensor ya que los ensayos mostraron que se podría lograr el 30% de ahorro del agua aplicada en el cultivo, sin afectar el rendimiento y calidad de cosecha de los tomates. Esta una herramienta que se enmarca dentro de la Agricultura 4.0, revolución que poco a poco ha ido empapando a nuestro sector de innovaciones que entregan valor, sobre todo en un contexto de cambio climático y estrés hídrico que urge afrontar".

Por otro lado, la aplicación muestra de forma amigable los datos que van ingresando para que el productor sepa que está realizando el registro. Al termi-

no de las mediciones, el sensor entrega una recomendación de regar o no regar, la cual dependerá de la estrategia hídrica que defina el productor y le asigne al sensor, para esto el OPTIRIEGO cuenta con 3 estrategias: minimizar el stress hídrico, balanceado, y ahorro de agua (sin afectar la producción).

"Todos los que trabajamos en el campo sabemos que hay periodos en que es posible ahorrar agua y lo más probable es que allí se use la estrategia de ahorro de agua y el sensor con todos los datos recopilados en campo le dirá al productor en la pantalla del celular si regar o no", cierra Wulfsohn.

Actualmente, los desarrolladores se encuentran en la búsqueda de capitales para pasar el prototipo a un producto comercial, que gracias al apoyo de FIA es muy poco lo que queda por hacer.

Es importante mencionar que la empresa asociada a la innovación es AURORA SPACE integrada por Alex Becerra y Camilo Rojas, ambos ingenieros civiles eléctricos y los productores Luis Carreño, Fabián Bahamonde, Luis Quintanilla, Jaime Iván Lagos, Samuel Acevedo y Juan Camilo Henríquez.

MÁS INFORMACIÓN:

Si quieres saber más de la tecnología, contactanos al teléfono: +56 9 7769 9291
Correo electrónico: geco@auroraspace.cl
info@auroraspace.cl



Evaluación de cosechas de tomates regados con instrucción del sensor OPTIRIEGO para comparar con indicación tradicional del productor.

APOYADO POR:



Publirreportaje en Reporte Sostenible (29 Agosto 2021)

<http://reportesostenible.cl/blog/optiriego-el-sensor-portatil-que-permitiria-ahorrar-hasta-un-30-de-agua-en-cultivo-de-hortalizas-y-frutales/>

REPORTESOSTENIBLE

Inicio Hidrógeno Verde Energías Sostenibles Conferencias Web Gestión Hídrica Ediciones Especiales Minería Electromovilidad ODS Opinión Últimas Publicaciones

SOSTENIBLE Septiembre 2021

ABB COLABORA PATROCINA INDAP ALADYR ACADES

“Optiriego”, el sensor portátil que permitiría ahorrar hasta un 30% de agua en cultivo de hortalizas y frutales

29/08/2021 Sostenibilidad

Twitter WhatsApp Instagram YouTube



Las pruebas de campo se llevaron a cabo con el apoyo de productores de tomates de la zona de Pichidegua y San Vicente de Tagua Tagua, en la región de O'Higgins.

Presentando una alternativa tecnológica a la incertidumbre del cambio climático y, con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), la empresa GECCO Enterprises desarrolló y validó "OPTIRIEGO", un prototipo de sensor portátil de fácil uso para establecer oportunidad de riego en frutales y hortalizas.

TE PUEDE INTERESAR:



Con "Certificado Azul" empresas contribuirán a la seguridad hídrica del país.



Proyecto que reforma el Código de Aguas: "el Estado debe asegurar el agua para el consumo humano y saneamiento"



Reúso de aguas residuales tratadas y desalinización: la fórmula de Black & Veatch en gestión hídrica

Las pruebas de campo se llevaron a cabo con el apoyo de productores de tomates de la zona de Pichidegua y San Vicente de Tagua Tagua, en la región de O'Higgins, quienes facilitaron sus plantaciones donde se establecieron las unidades experimentales a objeto de comparar la toma de decisión del productor bajo su criterio tradicional con el uso del sensor OPTIRIEGO. El equipo de profesionales de Geco está compuesto por Dvoralai Wulfsohn; Ingeniero civil agrícola PhD; e Inés Zamora y Jaime Bahamondes, ambos Ingenieros agrónomos.



Ediciones Especiales

Conferencia Hidrógeno Verde El nuevo motor de Chile

Últimas Publicaciones

JOHANNA GUZMÁN COORDINADORA NACIONAL APL ACCC

Gestión Hídrica: hasta el 30 de septiembre hay plazo para inscribirse en el APL Certificado Azul, de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático

No para los mismos de siempre

Banco Mundial y WEC Chile firman alianza de colaboración para iniciativas energéticas

Contexto

La agricultura es la que tal vez sufrirá los mayores problemas ocasionados por el cambio climático, como usuaria de aproximadamente cuatro quintos del agua en la zona que va desde el norte hasta Los Ríos. A medida que se reducen las precipitaciones, la tecnología de riego, las prácticas y el tipo de cultivos deberán responder a esa menor disponibilidad de agua.

“Existen variadas técnicas y tecnologías para establecer los requerimientos de agua de parte de las plantas. La bomba de presión de tipo “Scholander”, a la fecha, se considera la herramienta más precisa ya que determinan el potencial xilemático y por medio de esto el estado hídrico del cultivo. La tensión aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad del suelo y aumenta la demanda evaporativa en la atmósfera. Son muy sensibles a la variación de agua y por tanto exactas”, comenta la ejecutora a cargo del proyecto, Dvor Wulfsohn.

No obstante, son de alto costo de adquisición, mantención y uso de mano de obra; estando lejos del alcance de los productores pequeños y medianos, quienes representan el 85% de agricultura chilena. En efecto, el uso de agua de riego en cantidad y tiempo de aplicación es de suma importancia ya que es un recurso determinante en el éxito de un cultivo.

Innovación

El proyecto OPTIRIEGO se inició el año 2018 y finalizó 31 de agosto del 2021. Durante todo este período se trabajó en el diseño, evaluación y validación del prototipo de sensor portátil, capaz de capturar datos de temperatura (ambiente y hoja), humedad relativa y luz PAR que llega a la hoja; datos con los cuales se calcula un índice de estrés hídrico, en este caso para tomates, por tratarse de una especie ampliamente plantada en la región y, además, en Chile se cultiva todo el año.

Considerando que la bomba de Scholander es muy precisa, pero de difícil uso, se utilizó para calibrar la decisión del modelo usado en OPTIRIEGO de cuándo regar.

Tecnología

“Para usar el sensor se estableció un método de muestreo de fácil aplicación que el productor debe seguir para ir evaluando las plantas y hojas que corresponda, es decir, algo así como preguntarle a la planta en qué estado hídrico se encuentra, para lo cual se pone el sensor en contacto tan solo por unos segundos con la hoja siendo éste el encargado de tomar los datos desde la planta y los transmite vía bluetooth a una aplicación instalada en el celular del productor donde se realizan los cálculos del índice de estrés de las plantas y lo va comparando con un valor crítico de estrés que es para cada especie y que en este caso se hizo para tomates”, añade Wulfsohn.

En esa línea, el director ejecutivo de FIA, Álvaro Eyzaguirre, comenta que “Desde FIA estamos muy entusiasmados con este sensor ya que los ensayos mostraron que se podría lograr el 30% de ahorro del agua aplicada en el cultivo, sin afectar el rendimiento y calidad de cosecha de los tomates. Esta una herramienta que se enmarca dentro de la Agricultura 4.0, revolución que poco a poco ha ido empapando a nuestro sector de innovaciones que entregan valor, sobre todo en un contexto de cambio climático y estrés hídrico que urge afrontar”.

Por otro lado, la aplicación muestra de forma amigable los datos que van ingresando para que el productor sepa que está realizando el registro. Al término de las mediciones, el sensor entrega una recomendación de regar o no regar, la cual dependerá de la estrategia hídrica que defina el productor y le asigne al sensor, para esto el OPTIRIEGO cuenta con 3 estrategias: minimizar el estrés hídrico, balanceado, y ahorro de agua (sin afectar la producción).

“Todos los que trabajamos en el campo sabemos que hay periodos en que es posible ahorrar agua y lo más probable es que allí se use la estrategia de ahorro de agua y el sensor con todos los datos recopilados en campo le dirá al productor en la pantalla del celular si regar o no”, cierra Wulfsohn. Actualmente los desarrolladores se encuentran en la búsqueda de capitales para pasar el prototipo a un producto comercial, que gracias al apoyo de FIA es muy poco lo que queda por hacer.

Es importante mencionar que la empresa asociada a la innovación es AURORA SPACE Integrada por Alex Becerra y Camilo Rojas, ambos ingenieros civiles eléctricos y los productores Luis Carreño, Fabián Bahamonde, Luis Quintanilla, Jaime Iván Lagos, Samuel Acevedo y Juan Camilo Henríquez.

Corporativos



Mario Gómez, Presidente TCI Gecomp: “El hidrógeno y la economía circular: energía, agua, alimentos”



Juan Francisco Richards, Gerente Desarrollo Nuevos Negocios, Gasco: “Tecnologías para el Hidrógeno Verde en Chile”



Rebeca Poleo, Líder H2 & Gas Tractebel Engineering SA: “Principales Riesgos y su Gestión en Proyectos de Hidrógeno Verde”



Tags:

Agricultura Sostenible

Agua Limpia (ODS 6)

Especial Gestión Hídrica

Gestión Hídrica