

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

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

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

Recibido: 26/06/2018
Aceptado: 29/01/2019

*Autor de correspondencia

Resumen

Según la UNESCO, cerca de una quinta parte de la población mundial habita en áreas que enfrentan escasez de agua, y otro cuarto de la población mundial, enfrenta recortes en el suministro de este recurso por insuficiencia de infraestructura para abastecerse de agua de los ríos y acuíferos. Por estas razones, es de suma importancia la implementación de programas que apunten a la protección del medio ambiente natural, la conservación de los recursos hídricos y su eficiente gestión. En las temporadas 2016 y 2017, el equipo de trabajo del Centro Regional de Estudios Agronómicos de la Universidad de Chile, desarrolló una estrategia para optimizar el tiempo y frecuencia de riego con información objetiva y específica de cada predio, utilizando modernas tecnologías para la monitorización del contenido de agua del suelo, tales como sondas de lectura continua y discontinua, telemetría y plataforma *on line* de gestión *Dropcontrol* para el control de riego en tiempo real. Además, se complementó con el uso de sondas de lectura discontinua en calicata, el uso de la cámara de presión para el seguimiento del estatus hídrico de la planta y el acompañamiento permanente a los productores por parte de técnicos especialistas, a través de la transferencia tecnológica. Se logró una reducción promedio del gasto hídrico en un 21%, con máximas de hasta un 50% de ahorro del recurso, incrementando el uso eficiente del agua de riego en conjunto con una disminución proporcional en el gasto energético. Se destaca la formación de una red de monitorización y de trabajo asociativo permanente, fortaleciendo la capacitación de los agricultores y el equipo técnico de la cooperativa, quienes se encuentran mejor preparados para enfrentar posibles problemas de disponibilidad hídrica, la estimación de las necesidades reales por parte de la vid pisquera y la identificación de las distintas situaciones de mal manejo en el riego que podrían provocar alteraciones en el estado general de sus cultivos y su productividad.

Palabras clave: Sonda de capacitancia, FDR, sequía, uva para pisco.

Abstract

According to the UNESCO, about one fifth of the world's population lives in areas with water scarcity, and another quarter of the world's population face supply restrictions of this resource due to insufficient infrastructure to supply water from rivers and aquifers. For these reasons, it is very important to implement programs that aim to protect the natural environment, the conservation of water resources and their efficient management. In the 2016 and 2017 seasons, the work team of the Regional Center for Agronomic Studies of the University of Chile, developed a strategy to optimize the time and frequency of irrigation with objective and specific information of each farm, using modern technologies for the monitoring of soil water content, such as probes continuous and discontinuous reading, telemetric transmission and Dropcontrol management platform for irrigation control in real time. In addition, it was complemented by the use of probes with discontinuous readings in pits, the use of the pressure chamber for monitoring the water status of the plant and permanent accompaniment to the farmers by specialized technicians, through technology transference. An average reduction in water expenditure was achieved by 21%, with maximums of up to 50% of resource saving, increasing the efficient use of the resource together with a proportional decrease in energy expenditure. The formation of a technological network and permanent associative work is emphasized, the training to the farmers and the technical team of the cooperative was strengthened, who are better prepared to face possible problems of water availability, to estimate the real needs of the pisco vine and the recognition of different situations of poor management in irrigation that could cause alterations in the general state of their crops and their productivity.

Keywords: Capacitance probes, FDR, drought, grape for pisco.

1 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Centro Regional de Estudios Agronómicos, UCHILECREA. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile. rcalleja@uchile.cl

2 Centro Regional de Estudios Agronómicos UCHILECREA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El pisco chileno es un aguardiente con denominación de origen amparada en la Ley N° 18.455 y producido mediante la destilación del vino de algunas variedades de vid (*Vitis vinifera*), en las regiones desérticas de Atacama y Coquimbo (Almazán, 2007). El 84% de los productores poseen menos de 5 ha bajo producción (INE, 2007) y un gran número de ellos se encuentran asociados a la Cooperativa Agrícola Pisquera Elqui Ltda (CAPEL). Uno de los principales problemas es la progresiva escasez de agua en sus zonas productivas (figura 1) (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015), la que fue muy grave entre los años 2010 y 2015, por lo que la región ha sido catalogada como la más afectada por la mega-sequía presente en Chile (Orellana, 2017). Informes de la Sociedad Agrícola del Norte y la Federación Gremial Nacional de Productores de Frutas de Chile, determinaron pérdidas por US\$ 1.000 millones y aproximadamente 40 mil puestos de trabajo (SAN y Fedrefruta, 2015). Adicionalmente, para el caso de la uva pisquera, no existe certeza de sus requerimientos hídricos en las condiciones de la Región de Coquimbo, con limitaciones de suelo y manejos culturales de baja tecnología (Ferreira *et al.*, 2010).

En esta región, la superficie de uva para pisco alcanza un total de 8.053 ha (ODEPA, 2017), las que se distribuyen en tres valles transversales conocidos como Elqui, Limarí y Choapa. De acuerdo a Ayala, Cabrera y asociados (2003), Choapa es el valle con la menor eficiencia de uso de agua de riego en la región, equivalente a un 37%, estimándose que la demanda anual de agua por la actividad agrícola asciende a 70 millones de m³ y se proyecta para el año 2030, un incremento a 120 millones de m³ anuales (Ayala, Cabrera y asociados, 2007), acentuándose la diferencia entre la disponibilidad hídrica de la cuenca y la demanda por este recurso. Frente a esta problemática, la cooperativa CAPEL solicitó al Centro Regional de Estudios Agronómicos de la Universidad de Chile desarrollar y poner en práctica su paquete tecnológico para la gestión del riego en la uva pisquera (Callejas *et al.*, 2014a), pero adaptado a

las fortalezas del trabajo asociativo que permiten las cooperativas. Sin embargo, la generación de una estrategia para enfrentar las consecuencias del cambio climático no estuvo libre de cuestionamientos, dado el gran desafío de integrar las últimas tecnologías para el control del riego en el sistema productivo de pequeños agricultores, muchas veces no considerados por no poseer la formación necesaria o creer que este tipo de sistemas son caros y no están a su alcance. Por otro lado y bajo el supuesto de lograr el objetivo, se estimó que la implementación de la moderna estrategia basado en el concepto de la internet de las cosas, incentivaría a un menor flujo de jóvenes desde el mundo rural a la ciudad y permitiría la diferenciación del pisco de la cooperativa, por los esfuerzos de implementar un manejo sustentable de los viñedos.

1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo fue desarrollar e implementar, para pequeños agricultores asociados a una cooperativa, un paquete tecnológico basado en el internet de las cosas destinado a la gestión del riego y que permitiera incrementar la eficiencia en el uso del recurso hídrico en la producción de uva destinada a la elaboración de pisco. Los objetivos específicos fueron: 1) Desarrollar un paquete tecnológico de gestión del riego de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas, productivas y características de los productores de la zona, 2) Cuantificar el ahorro del recurso hídrico, evaluando el incremento en la eficiencia del uso del agua de riego y 3) Capacitar al equipo técnico de la cooperativa, asegurando la transferencia del paquete tecnológico y la sustentabilidad en el tiempo.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La intervención se realizó en la Provincia del Choapa, Región de Coquimbo (figura 1), ubicada entre los 31° 40' y 32° 15' de latitud sur y entre 71° 15' y 70° 15' longitud oeste y a una altitud media de 510 msnm. Se consideró una superficie de intervención de 75 ha de vides para la producción de pisco, pertenecientes a productores de la cooperativa CAPEL, de un potencial total equivalente a 900 ha.

El principal cauce de la cuenca del Choapa es el río Choapa que tiene una extensión de 148.828 m² y un caudal medio anual en la estación Choapa Cuncumén de 9,6 m³ h⁻¹, el que recibe aportes de los ríos Cuncumén, Manque, Chalinga e Illapel (MOP, 2003). Según la Junta de Vigilancia del Río Choapa (JVRCH, 2013), la superficie de ésta cuenca destinada para la agricultura de riego corresponde al 1,4% (15.000 ha) del total de la superficie (1.060.000 ha). La comuna de Salamanca posee una superficie cultivada estimada de 3.436 ha, siendo en su mayoría destinada a viñas, parronales viníferos y frutales (Consortio Cuenca Ingenieros Consultores Ltda. y Maren Consultores Ltda., 2004). La superficie plantada en el Valle del Choapa asciende a 1.370 ha (SAG, 2012), de las cuales aproximadamente 900 ha pertenecen a los más de 300 productores de la cooperativa CAPEL ubicados en este valle, en su mayoría pequeños productores.

En esta zona existen 92 comunidades de agua con una longitud de canales de 660 km y aproximadamente 3.500 usuarios (JVRCH, 2013). La Dirección General de Agua (DGA) menciona que en términos de capacidad de almacenamiento hídrico, el Embalse Corrales es la principal obra de regulación en la cuenca, con una capacidad de almacenamiento de 50 millones de m³, constatándose en los años 2011,

2012 y 2013 un total de 25, 22 y 19 millones de m³, respectivamente. La situación más crítica tuvo lugar en el año 2015 entrando en la época invernal, donde solo había 2,5 millones de m³ acumulados. En el año 2016, el embalse logró nuevamente su nivel máximo debido al aumento de los eventos de lluvias y nieve en la alta cordillera, situación favorable que se ha mantenido hasta la fecha, contabilizándose en abril del 2017 un 91% de su capacidad total. Por otra parte, el embalse El Bato contiene a la fecha un 94% de su capacidad total, que equivale a solamente 25,5 millones de m³ (DGA, 2017).

Respecto al clima, se clasifica como estepa cálida con precipitaciones invernales, sequedad en el aire y ausencia de nubosidad, la cual se incrementa a medida que aumenta la proximidad a la costa. Posee una temperatura media anual promedio de 14°C y un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales, con un período seco de 8 a 9 meses (MOP, 2004).

Los suelos corresponden a rellenos aluviales en posición de terraza, mayoritariamente clasificados como Aridisoles, con texturas medias a gruesas en las terrazas bajas y un incremento de arcilla en profundidad en las terrazas altas, con pendientes variables, desde menos de 3% hasta valores entre 15 a 20% (Luzio *et al.*, 2010).

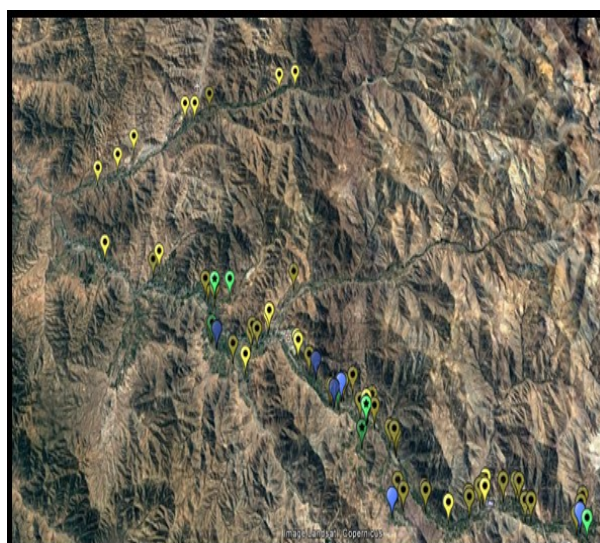
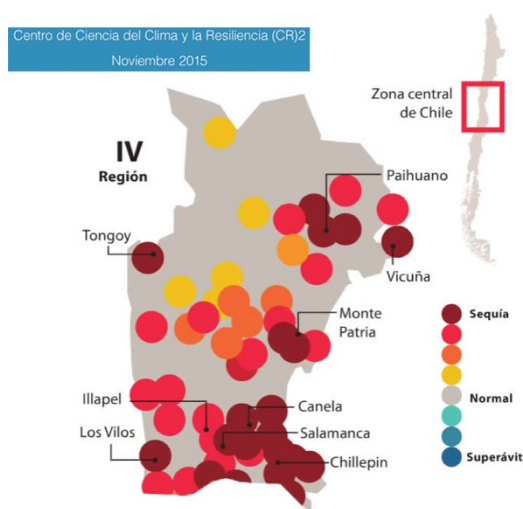


Figura 1. Izquierda: Condición de sequía en la IV Región, del lugar donde se desarrolló el proyecto Salamanca. Derecha: Emplazamiento de unidades de control dentro del Valle del Choapa; sondas de capacitancia de medición continua (verde), discontinua (amarillo) y estaciones meteorológicas (azul)

3. METODOLOGÍA

Las tecnologías que se integran en el paquete tecnológico para optimizar el riego y las metodologías de instalación, se detallan en Callejas *et al.*, (2014 a y b). Unidades de control del riego de lectura continua y uso de telemetría. Se instalaron a través del Valle del Choapa (figura 1 derecha), 15 unidades de monitorización utilizando dispositivos con tecnología *Frequency Domain Reflectometry (FDR) (Drill & Drop, Sentek Sensor Technologies MR)* conformadas por 6 sensores ubicados cada 10 cm, permitiendo evaluar 60 cm de profundidad de suelo (figuras 2, A). Las sondas de lectura continua (cada 15 minutos), se ubicaron en la sobrehilera a 30 cm del tronco de las vides, administrada por telemetría en una plataforma on line de gestión del riego (*Dropcontrol, Wiseconn MR*). Para esto, se montaron nodos *gateway* (concentrador y transmisor de datos) y nodos transmisores en un poste por sobre el parrón, a una altura de entre 4 a 8 m (figura 2, B). Se usaron antenas direccionales de largo alcance si la visión entre nodos se presentó con interrupciones o la distancia, entre las antenas, fue mayor a un kilómetro. Los criterios a considerar para definir el lugar de instalación fueron la productividad de los cuarteles y el tipo de suelo predominante, seleccionando el sector que representa la expresión vegetativa del viñedo. Las Líneas de Gestión o indicadores de referencia para el uso de las sondas de capacitancia, requeridas para determinar el tiempo y la frecuencia de riego, se definieron de acuerdo a Callejas *et al.*, (2014b). El primer componente es la capacidad de campo sonda (CCs), obtenida después de un riego profuso (mínimo 250 m³ ha⁻¹ para riego por goteo) o lluvia abundante (superior a 50 mm), siendo dependiente de las características físicas del suelo. En este caso, se definieron aprovechando las lluvias invernales, considerando 1 día después de la lluvia para las texturas gruesas, 2 días para texturas medias y entre 3 a 4 días para texturas finas, esperando que se produjera el drenaje natural y se estabilizara el contenido de agua del suelo. El punto de recarga o punto que marca el “déficit admisible”, corresponde al momento en que hay que volver a regar, evitando provocar problemas

fisiológicos y disminución del potencial productivo de las plantas (Callejas *et al.*, 2013).

Unidades de control ampliado y de lectura discontinua o eventuales. Las unidades descritas anteriormente se complementaron con la instalación de 50 unidades de lectura discontinua, conformadas por un tubo de acceso de PVC (Arregui y Quemada, 2006) y el uso del equipo *Diviner 2000 (Sentek Sensor Technologies MR)* (Callejas *et al.*, 2014b). El tubo de acceso se instaló en la sobre hilera, a 30 cm del tronco de la planta de acuerdo a la experiencia del equipo de trabajo (figura 3, B).

Evaluaciones en calicata. Para la validación de la información obtenida con las sondas, se realizaron evaluaciones del contenido de agua del suelo y su distribución lateral, utilizando calicatas (figura 3 A) y el equipo TDR100 (*Spectrum Technologies, Inc. MR*).

Condición hídrica de las plantas. En forma paralela y sobre todo para validar las Líneas de Gestión, se realizaron evaluaciones del estado hídrico de las plantas con 4 repeticiones, utilizando la cámara de presión tipo Bomba de *Scholander* modelo *Pump up (PMS Instrument Company MR)* (figura 3, C). El potencial hídrico xilemático se evaluó de acuerdo a Navarrete, (2012) y Gálvez *et al.*, (2014).

Estaciones meteorológicas. Se contempló la instalación de una red de estaciones meteorológicas (*Davis, Vantage Pro2 MR*) (figuras 2C y figura 1), obteniéndose los registros de evapotranspiración potencial del sector (ET0).

Evaluaciones. Las principales evaluaciones fueron: a) descripción de los suelos utilizando calicatas, b) presencia de raíces en la zona de mojamiento de los sistemas de riego, para validar la ubicación de las sondas de capacitancia, c) volumen de agua de riego anual en m³ h⁻¹, d) costo de la energía eléctrica ocupada para regar, e) contenido de agua en calicata (TRD100), f) evolución del contenido del agua en el suelo (sondas), g) potencial hídrico xilemático, h) producción por hectárea y i) calidad de la uva, cuando se requirió.



Figura 2. Instalación de sonda *FDR Drill & Drop* (A), telemetría (B) y estación meteorológica (C)



Figura 3. Calicata para la descripción morfológica y prospección del contenido del agua del suelo con TDR100 (A). Instalación de tubo de acceso para *Diviner 2000* (B). Seguimiento del estado hídrico de la planta a través de la evaluación del potencial hídrico xilemático (C)

4. RESULTADOS

Los resultados que se presentarán a continuación, fueron logrados gracias al trabajo en conjunto con el equipo técnico de la cooperativa y el compromiso adquirido por los productores de uva pisquera. Se realizaron 5 reuniones generales de motivación y capacitación en el uso de tecnologías basadas en el internet de las cosas. Esto se fortaleció con 10 reuniones, a modo de días de campo masivos, y de a lo menos 20 visitas por año en forma

personalizada a cada productor, principalmente entre primavera y verano. Se hace hincapié en mencionar estas actividades, dado que a diferencia de las investigaciones clásicas en pequeñas unidades de estudio (grupo de plantas), la intervención de cuencas, y sobre todo cuando el público objetivo son pequeños agricultores, requiere de un trabajo de socialización y de adopción de la tecnología que se quiere instalar, de manera de asegurar su sustentabilidad en el tiempo.

4.1 Diagnóstico de la situación técnica y productiva

La producción promedio de los miembros de la cooperativa suscritos al proyecto fue de 26.500 kg ha⁻¹ en la vendimia 2015/16, rendimiento de nivel medio considerando el potencial productivo de la principal variedad plantada en el Valle, Pedro Jiménez, equivalente a 50.000 kg ha⁻¹ (CEAZA e INIA, 2010). Respecto al manejo hídrico, un 62% de los cooperados cuenta con riego tecnificado y de esa proporción, un 29% utiliza bomba eléctrica y un 33% utiliza el riego gravitacional. El 38% restante utiliza riego tradicional, principalmente por surco bajo la condición de turnos, del cual el 70% tiene disponibilidad del recurso hídrico una vez por semana y el 30% restante, cada 15 o 20 días. Previo al inicio del estudio, el volumen promedio de agua utilizada para riego era de 10.240 m³ ha⁻¹, con valores máximos de 36.600 m³ ha⁻¹. Los productores con goteo promediaron 8.090 m³ ha⁻¹, un 42% menos del agua utilizada por el sistema tradicional por surcos. Respecto a las horas anuales ocupadas para regar, el sistema por surcos promedió 132 horas, mientras que el tecnificado 440 horas al año. La diferencia se debe a la menor oportunidad de riego de los no tecnificados (cada 7 días, incluso cada 15-20 días), pero con mayores volúmenes nominales por hora. Respecto a la eficiencia de uso del recurso hídrico, se detectó un promedio de 4,18

kg de uva por m³ de agua, con un 43% más de eficiencia que cuando se regó por goteo (4,70 kg/m³) en comparación con el riego por surco (3,30 kg/m³). Respecto a los manejos de suelo realizados en los viñedos, el 48% efectuaba aplicaciones regulares de materia orgánica, ya sea estiércol, compost o incorporación de restos de poda. Esta tendencia también se repite para el laboreo mecánico del suelo.

4.2 Condición edafoclimática

Las temperaturas máximas y mínimas para el mes más cálido (enero) fueron de 25 y 14°C, respectivamente, y para el mes menos cálido (julio), estos valores corresponden a 17 y 6°C, respectivamente. Las precipitaciones no fueron tan abundantes y se mantuvieron los períodos de sequía, tal como lo señalaba Cade-Idepe, (2004). De acuerdo a la información entregada por el equipo técnico de la cooperativa, la precipitación media osciló en torno a los 185 mm anuales, concentrada en el invierno, meses de junio y julio, con un aumento a partir de abril y declinación en agosto. Existen eventos excepcionales de lluvia en septiembre o noviembre, que van acompañados con el aumento de las temperaturas hacia la época estival. La tabla 1 explica la situación crítica de las temporadas 2013/14 y 2014/15, con un déficit de hasta un 50% de precipitaciones. En la temporada 2015/16 hubo una recuperación de las precipitaciones.

Tabla 1. Precipitaciones anuales registradas en las principales zonas productivas

Año	Illapel (mm)	Salamanca (mm)
2011	191,2	Sin dato
2012	77,5	Sin dato
2013	90,5	97
2014	112,0	126
2015	221,0	248

Adaptados de: <http://www.agroclima.cl/>, <http://www.ceazamet.cl>

Respecto a los tipos de suelo, son del orden de los Aridisoles y aptitud frutal variable

(Consorcio Cuenca Ingenieros Consultores Ltda. y Maren Consultores Ltda., 2004), donde

predominan las clases texturales francas (36% de los suelos) y franco arenosas (37%) y en menor proporción, aquellas con mayor contenido de arcilla (26%). Como patrón frecuente, los suelos cercanos a cursos de agua son delgados, pedregosos y de textura gruesa, correspondiente a menos del 5%, capacidad de uso II y aptitud frutal B. Características análogas poseen los suelos ubicado en las laderas, con mayores pendientes (hasta 30%), lo que genera riesgos de erosión, limitando los suelos a clase de capacidad de uso VI y sin aptitud frutal, sin embargo, dadas las condiciones climáticas igualmente se realizan actividades agrícolas (Casanova *et al.*, 2013). Por su parte, los suelos

ubicados en las terrazas altas son profundos, de texturas arcillosas. Las pendientes son variables, lo que define distintos riesgos de erosión, con capacidad de uso que varía en las categorías III, IV y VI, en tanto la aptitud frutal va de la C a la E.

En la figura 4 se presenta la evapotranspiración potencial y la temperatura media de la temporada 2016/2017, de dos localidades del sector de trabajo. Chillepín corresponde a la zona de Salamanca, presentando cerca de un 20% más de ETO que Illapel. Esta información es muy importante en la definición de las Líneas de Gestión y ajustes de las estrategias de riego.

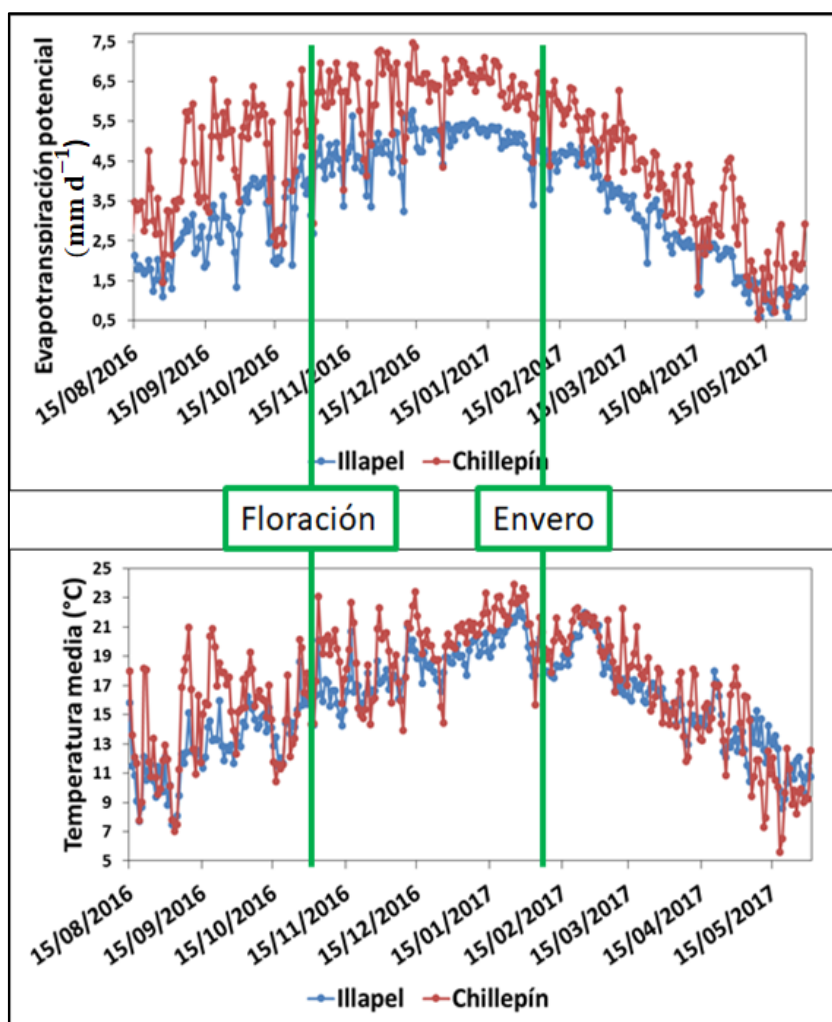


Figura 4. Evapotranspiración potencial (superior) y temperatura media (inferior) en dos localidades de trabajo durante la temporada 2016/2017

4.3 Control del contenido de agua del suelo

Para cada unidad de monitorización con sonda, se pudo definir la CCs (figura 5A) y el punto de recarga (figura 5B), una vez estabilizada la variabilidad de las evaluaciones del equipo por efecto de la instalación. Con esta información y el uso del gráfico “sumado”, fue factible determinar la frecuencia de riego. Posteriormente y analizando el comportamiento

individual de cada sensor (gráfico “apilado”), se pudo obtener el tiempo de riego de cada productor, evitando la pérdida excesiva de agua de riego por percolación profunda (Callejas *et al.*, 2013). En resumen, las sondas de todos los sitios quedaron funcionando y en línea, mostrando buena actividad del sistema radical en relación a la ET0 diaria del lugar, tal como se muestra en la figura 5B.

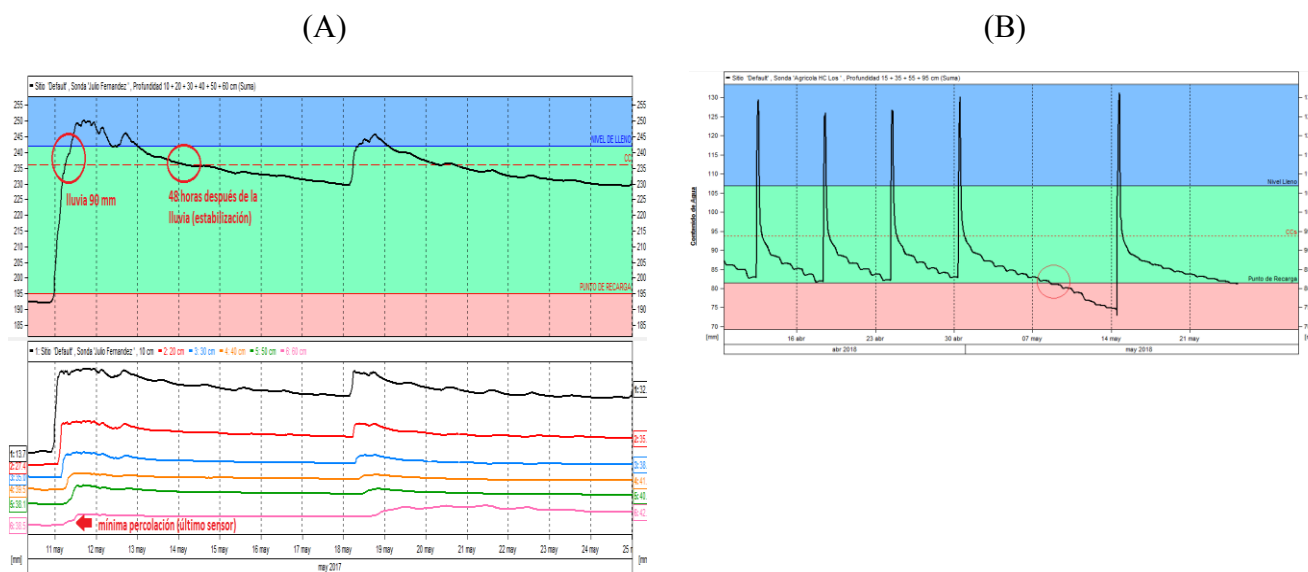


Figura 5. Establecimiento de la capacidad de campo según sonda (A)
Establecimiento de punto de recarga según sonda (B)

Para la estimación de los tiempos de riego de los usuarios con *Diviner 2000*, se realizaron evaluaciones antes y después del riego, corroborando una óptima condición hídrica del bulbo húmedo y evitando la percolación profunda. Los criterios de riego para cada caso fueron corroborados a través de las evaluaciones en calicata usando el equipo TDR100, generando una prospección del bulbo húmedo, sobre todo el desplazamiento lateral del agua de riego. A modo de ejemplo, se muestra en la figura 6A un suelo franco arenoso de la zona de estudio con 1,2% materia orgánica, quedando de manifiesto que el mojado generado por los goteros era insuficientes para lograr un adecuado bulbo húmedo, formándose una zona seca con escaso desarrollo de raíces. En estos casos, se recomendó incrementar los volúmenes de

aplicación de materia orgánica para permitir una mejor abertura de la zona de mojado del gotero e incrementar la capacidad de retención. Otro ejemplo se puede observar en la figura 6B, en un suelo franco arcilloso con un contenido de materia orgánica equivalente al 3%, donde se aprecia una adecuada distribución del agua en forma lateral y en profundidad, con una zona central con un alto contenido de agua de riego.

Si bien los equipos de lectura continua, son una potente herramienta de trabajo, la experiencia deja de manifiesto que las evaluaciones en calicata con equipos TDR100 son fundamentales para ir conociendo y registrando en los estudios, el comportamiento del agua en su interacción con el sistema de riego, la condición química del suelo, las plantas y la demanda atmosférica (Callejas *et al.*, 2014b).

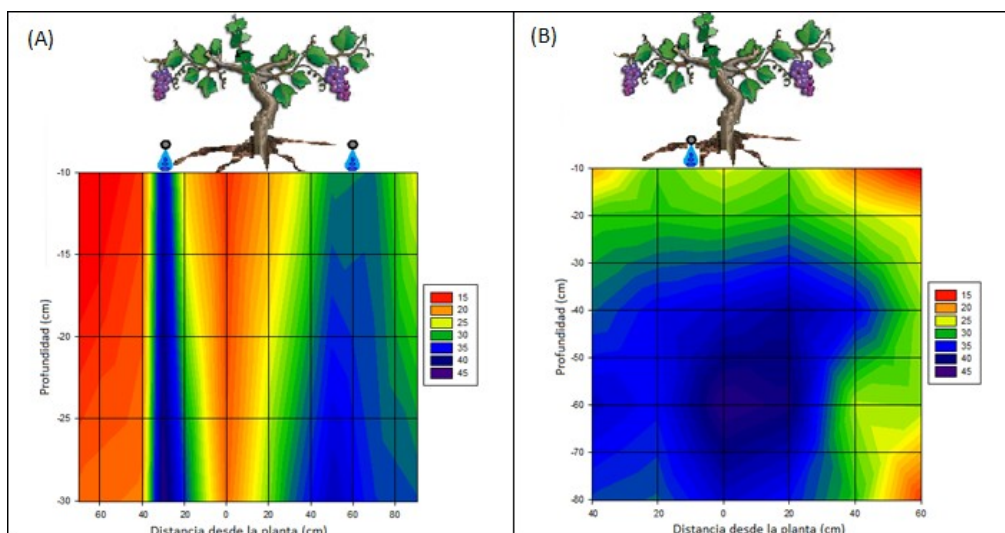


Figura 6. Contenido volumétrico de agua del suelo evaluado con equipo TDR100 en calicata. A: Suelo franco arenoso (2 líneas de riego, goteros de 2,3 L h⁻¹ de descarga). B: Suelo franco arcilloso (1 línea de riego, goteros de 4 L h⁻¹ de descarga). A cada lado del gráfico se muestra una escala (15 a 45%) indicando el contenido volumétrico de agua en el suelo

4.4 Control del estado hídrico de las plantas

La evaluación del potencial hídrico xilemático tuvo el propósito de validar el establecimiento de las Líneas de Gestión del Riego, asegurando la adecuada condición hídrica de las vides regadas a punto de recarga según las sondas de capacitancia. En términos generales, los valores promedios del potencial hídrico xilemático variaron entre -0,5 a -0,85 MPa, tal como se muestra para un grupo de productores del estudio (figura 7, productores A, B, C, caso 1 y 2) e

incluso durante el periodo de mayor demanda atmosférica en verano (enero-febrero), valores que se interpretan como adecuados según Williams y Trout, (2005), Patakas *et al.*, (2005), Williams y Baeza, (2007) y Gálvez *et al.*, (2014). Una excepción la presentó el productor D, cuyos volúmenes de agua fueron insuficientes para suplir la demanda de la temporada, sumado a las restrictivas condiciones del suelo (50 cm de profundidad en pendiente y estrata dura que dificulta buen drenaje), lo que generaban un escaso desarrollo de las raíces.

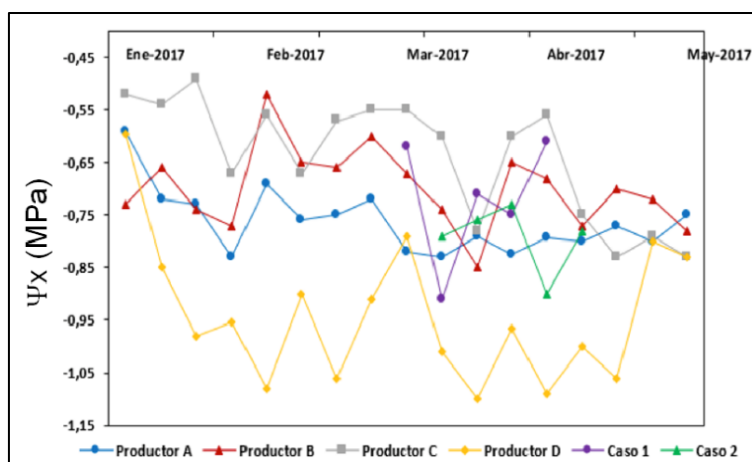


Figura 7. Seguimiento del potencial hídrico xilemático (MPa) en 6 productores del proyecto. Las evaluaciones se ejecutaron hasta la fecha de cosecha

4.5 Descripción de la estrategia de riego resultante

La estrategia de riego, fruto de la integración de todas las tecnologías antes mencionadas que involucraron el sistema suelo, planta y atmósfera, se describe a continuación: 1) Durante el período de salida de invierno y pre-brotación, correspondiente a las primeras semanas de septiembre, se suministró un riego abundante ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) debido a las bajas precipitaciones invernales, buscando tener un adecuado contenido de agua de riego en el bulbo de mojamiento al momento de brotar. Obviamente, en años de altas precipitaciones invernales, este riego no es necesario. Posteriormente, principalmente en la última semana de septiembre, se comenzó a organizar el programa de riego de la temporada. 2) Brotación a floración: la necesidad fue mínima y pudo suplirse con el agua de lluvia o aquella almacenada en el suelo durante el invierno. La demanda hídrica aumentó acorde al crecimiento del brote y el desarrollo de las hojas adultas, estimándose que el volumen promedio de agua utilizada correspondió a un 10% del total. 3) Floración a pinta o envero: el follaje se desarrolló en su totalidad y las temperaturas más altas se registraron en los meses diciembre-enero, por lo que la demanda hídrica fue máxima. Este es el periodo más sensible desde el punto de vista del riego en la producción (Ferreyra *et al.*, 2010). El volumen de agua utilizado en promedio ascendió al 53% del total. 4) Pinta a cosecha: las condiciones ambientales que favorecen la evapotranspiración fueron paulatinamente disminuyendo a medida que se acercaba el otoño, implementándose una reducción en los riegos para alcanzar una correcta madurez de la fruta (Williams, 2000; Grimes y Williams, 1990). El volumen de agua utilizada fue en promedio 37% del total.

5. DISCUSIÓN

5.1 Ahorro hídrico y eficiencia en el uso del agua

Se logró un ahorro promedio de un 21%, equivalente a $2.150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respecto de la línea base obtenida en los diagnósticos. Por separado se constató que el riego tecnificado disminuyó un 23% y el riego por surco un 19%, evidenciando la mayor eficiencia y control de los volúmenes de agua de riego en el tecnificado (figura 8).

Respecto a la eficiencia de uso del agua de riego, se logró un aumento significativo del 45% equivalente a 1,34 kg más de fruta por m^3 de agua utilizada u 80 litros menos por kg de fruta producida, acercándose a los valores estimados por Osorio y Poblete, (2013) para las zonas de alta productividad equivalente a 330 litros por kg de fruta. El riego tecnificado es el sistema que muestra mayor eficiencia con 6,23 kg de fruta por m^3 de agua y un incremento del 33% respecto a la temporada diagnóstico, mientras que el riego por surco logró una eficiencia de 4,37 kg de fruta por m^3 de agua con un aumento del 27% (figura 8). La mayor eficiencia puede ser explicada por:

a) Productores que normalmente comenzaban a regar en el mes de septiembre de cada año, con brotes de 5 a 10 cm y con excedentes de agua de lluvia almacenada de suelo, lo iniciaron de acuerdo a la información de las sondas (cerca a la floración), lo que significó iniciar el riego más de un mes después de lo tradicional (figura 9A) y sin generar estrés en las plantas por exceso de agua en el suelo.

b) Ajuste de la frecuencia y tiempo de riego durante la temporada, lo que guardó relación con los cambios en la necesidad hídrica de la planta en relación a la demanda atmosférica y las características del suelo (figura 9B). Esto permitió riegos menos frecuentes y de menor volumen, evitando la percolación profunda más allá de la zona poblada de raíces.

c) Riego controlado hacia el final de la temporada, entorno al periodo de cosecha, tal como lo muestra la figura 10, lo que permitió adelantar el proceso de maduración de la fruta y la cosecha.

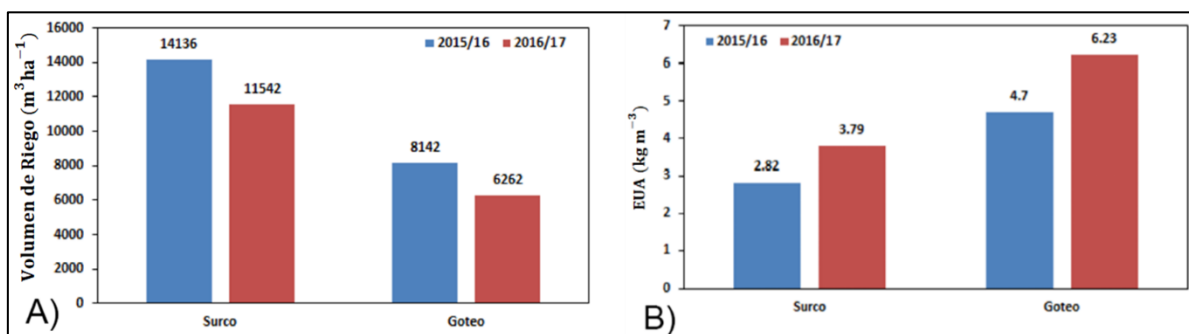


Figura 8. Comparación del ahorro del recurso hídrico en m³ ha⁻¹ (izquierda) y de la eficiencia del uso de agua, EUA, en kg m⁻³ (derecha), entre los dos sistemas de riego, surco y goteo

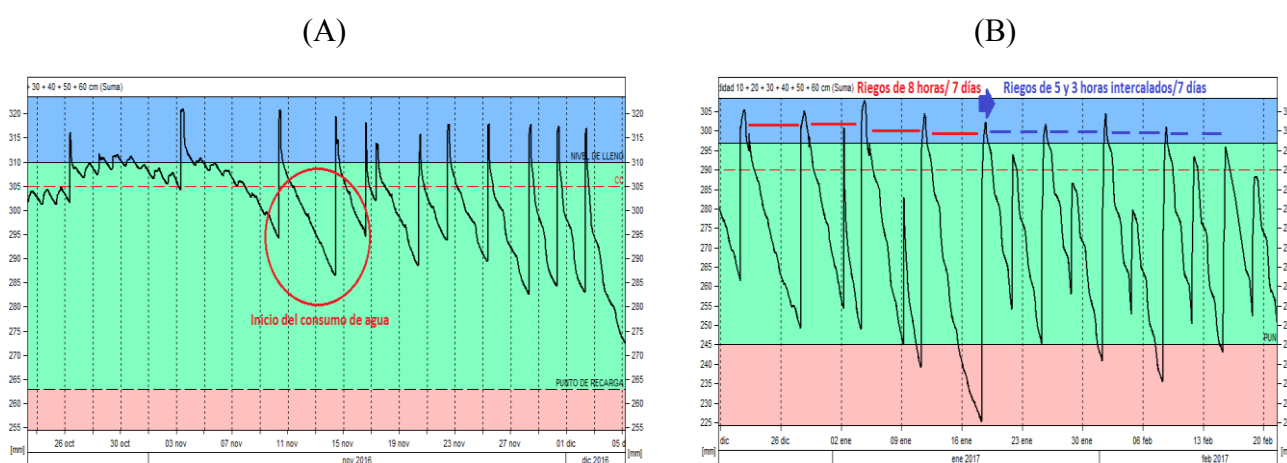


Figura 9. A: Inicio del consumo de agua por las vides, evaluado como el déficit diario del contenido de agua en el suelo a partir del mes de noviembre (círculo rojo). B: Ejemplo de la expresión gráfica del comportamiento del contenido de agua de suelo manejado con sondas (Irrimax^{MR})

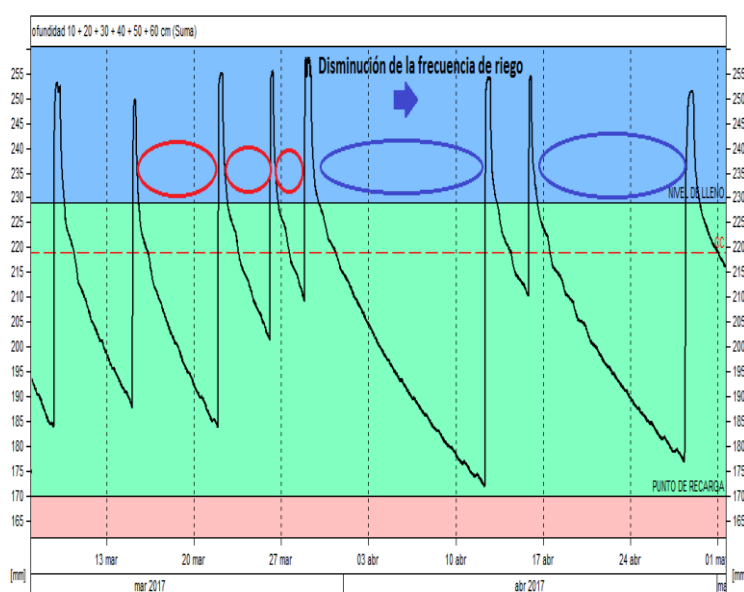


Figura 10. Reducción de la frecuencia de riego hacia el final de la temporada, de acuerdo a la necesidad hídrica de la planta

Estos resultados dejan de manifiesto que para enfrentar la sequía, el complemento entre el paquete tecnológico para el control y gestión del riego, unido al riego tecnificado, es lo que permitiría los mejores resultados en el camino del ahorro del recurso hídrico. En la figura 11, se muestra que para lograr un mayor EUA, es fundamental trabajar en paralelo tanto en el incremento de los rendimientos, o potencial productivo de los viñedos, así como la implementación de técnicas que permitan un riego eficiente.

5.2 Ahorro energético

Para el caso del riego tecnificado, se relaciona con dos factores de gasto, las horas de riego y los kilowatts de energía eléctrica utilizados para mover el agua a los goteros. En la figura 12, Goteo, se muestra la relación del volumen de agua utilizada y el gasto energético en la temporada 2016/17. Para los 24 productores que utilizan bomba de riego, se estimó una disminución del 20% en los kW ha-1, equivalentes a 60-90 US\$ ha-1 de acuerdo a la tarifa de la empresa eléctrica. En relación al riego por surco (figura 12, Surco), se obtuvo una reducción promedio del 19% lo que correspondió a un total de 75 horas de trabajo, generando una disminución de 10 jornadas hombres lo que se traduce en un ahorro de US\$ 241 por hectárea, considerando el valor promedio de una jornada equivalente a US\$ 24,2 por día.

5.3 Validación de la estrategia de riego

El mayor EUA se logró principalmente por un importante ahorro de agua de riego, sin embargo, siempre hemos planteado que la validación comercial de los paquetes tecnológicos pasan por un incremento de los rendimientos y/o la calidad del producto. En la figura 13, se muestran los resultados de seis productores a los cuales, adicionalmente a las sondas, se les realizó un seguimiento complementario del potencial xilemático con la Bomba de *Scholander*. Se pudo constatar que los rendimientos, a pesar de la reducción de los volúmenes de riego, se mantuvieron dentro del promedio histórico o se incrementaron, validando la estrategia aplicada.

Es importante mencionar que las comparaciones se realizaron respecto de los años 2013/2014 y 2014/2015, debido a que en la temporada 2015/2016 se produjo un fuerte ataque de oidio en las vides (*Uncinulo necator*) y botrytis (*Botrytis cinerea*) al final de la temporada, producto de una fuerte lluvia (53,6 mm) previo a la cosecha.

En general, el incremento de los rendimientos osciló entre un 2 y un 28%, con excepción del productor B, cuya variedad Moscatel Rosada presenta en esta zona seca reiteradamente problemas de cuajadura. Respecto a los volúmenes de agua utilizados, se redujeron entre un 13 y un 33% respecto de la temporada de diagnóstico, siendo más notorio en los productores con riego tradicional (productores A y C) respecto de los otros con riego tecnificado. Un comentario particular se rescata del productor D que, por restricciones de disponibilidad hídricas, utilizaba tradicionalmente solamente 3.200 m³ ha-1. Las evaluaciones del potencial xilemático evidenciaron los valores más negativos de todo el grupo (menor a -1 Mpa; figura 7), dejando de manifiesto que con este volumen de agua de riego no se alcanza una adecuada condición hídrica de las plantas, situación que estaría explicando los menores rendimientos que anualmente obtiene en su viñedo.

Para un sub sector de los casos 1 y 2, se utilizó, adicionalmente a las sondas, el potencial hídrico xilemático en el período cercano a cosecha, para restringir aún más el aporte de agua de riego, pero en forma controlada. En estos casos y manteniendo un potencial hídrico menor o igual a -0,95 MPa o riegos aproximados cada 15 días, se favoreció la acumulación de los grados alcohólicos probable (GAP), se adelantó la cosecha y en paralelo, permitió disminuir los riesgos de enfrentarse con lluvias al inicio del otoño.

Finalmente, bajo una mirada macro y enfrentando el futuro, esta información permite realizar importantes proyecciones respecto al agua de riego en relación al cultivo de las vides para pisco. Considerando, hipotéticamente, que las 900 ha de los productores de la cooperativa de la zona de estudio implementan esta

tecnología, y todos invierten en riego tecnificado, se estima un ahorro anual de 3.741.948 m³ de agua dulce al año. Aún más importante, si se consideran las 15.000 ha cultivables de la cuenca y un ahorro de solamente 2.150 m³ ha⁻¹, promedio obtenido en este estudio y sin cambio del sistema de riego,

arrojaría un volumen de 32.250.000 m³ anuales, equivalente a 1,3 veces el embalse El Bato y casi un 65% del embalse Corrales, dejando de manifiesto lo importante del uso de la tecnología bajo el concepto del internet de las cosas, cuando se requiere enfrentar el cambio climático y períodos drásticos de sequía.

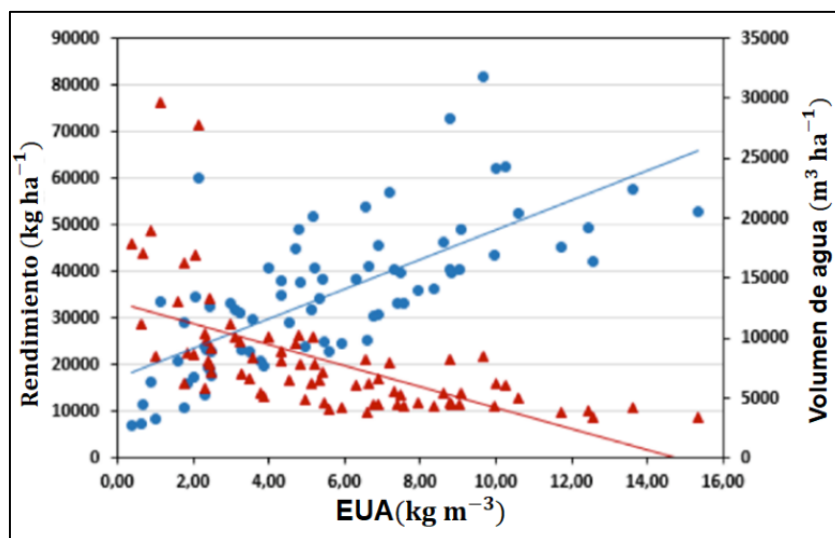


Figura 11. Rendimientos de uva en kg ha⁻¹ (azul) y volumen de agua de riego en m³ ha⁻¹ (rojo), para los distintos valores de EUA

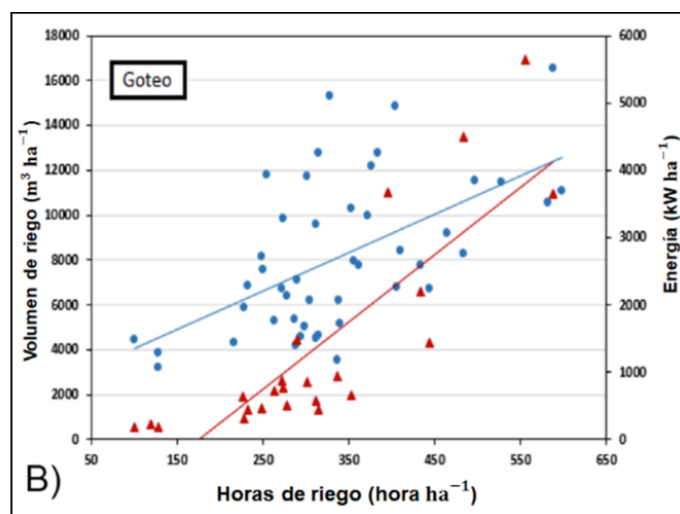
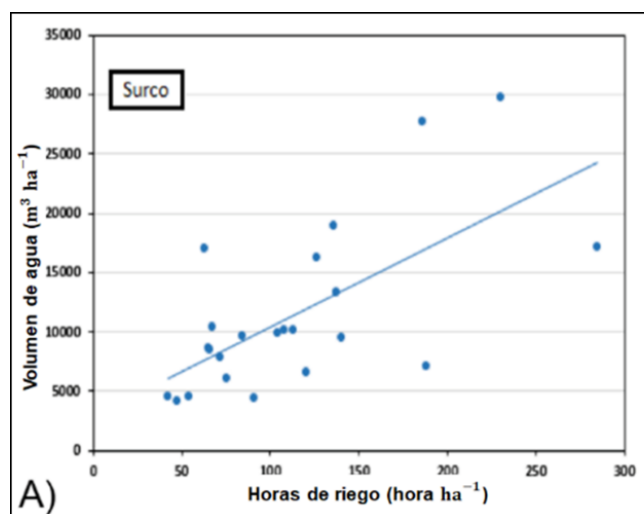


Figura 12. Horas de riego y su relación con el volumen de agua aplicado para cada sistema, surco (izquierda) y goteo (derecha). En el sistema tecnificado, se incluye la energía requerida para operar las bombas

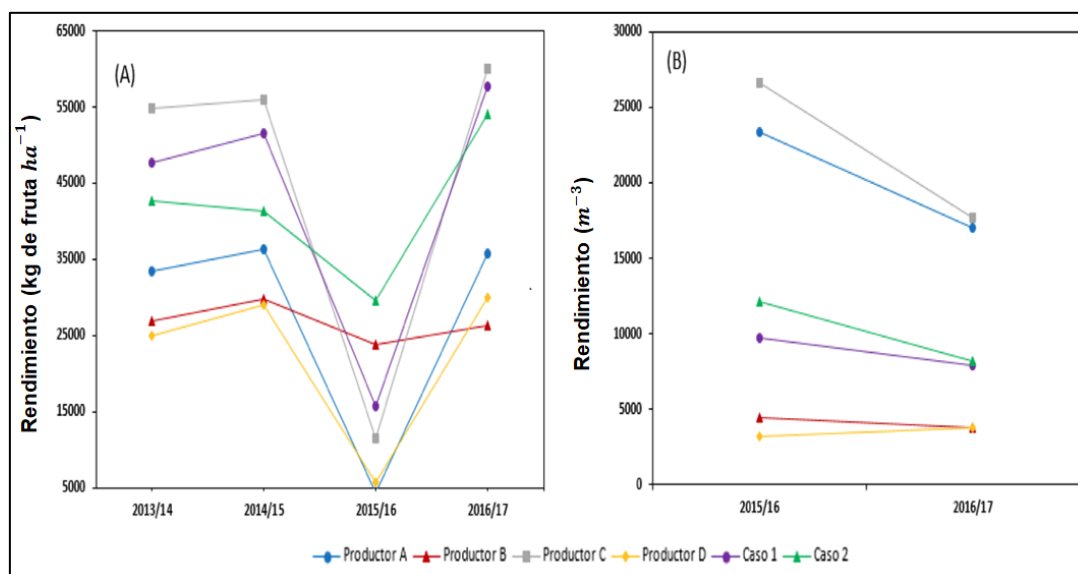


Figura 13. Rendimientos alcanzados en las últimas 4 temporadas (A) y volúmenes de agua usados en dos temporadas para los 6 productores (B)

6. CONCLUSIONES

Se implementó una moderna estrategia para la gestión del riego en uvas destinadas a la producción de pisco, basado en el uso de nuevas tecnologías y bajo el concepto de internet de las cosas.

Se demostró la factibilidad técnica del uso del paquete tecnológico para pequeños productores, asociados en la cooperativa CAPEL y apoyados por su equipo técnico.

Se logró un ahorro del 21 % del agua de riego sin afectar negativamente el potencial productivo de los viñedos, sino por el contrario, en la mayoría de los casos se incrementó. Se estimó un ahorro anual de 161.300 m³ de agua de riego, considerando las 75 ha implicadas directamente en el estudio.

El paquete tecnológico permite un significativo aumento de la EUA (45%), valorándose el esfuerzo de la cooperativa Capel para enfrentar

el cambio climático y la mega sequía que afecta la zona centro norte de Chile.

El equipo técnico de la cooperativa quedó capacitado para mantener en el tiempo la transferencia tecnológica y el funcionamiento de la red de monitorización, tanto de las sondas de capacitancia como la información obtenida desde las estaciones meteorológicas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno y Consejo Regional de Coquimbo (BIP 30404130-0), por haber financiado este proyecto a través del Fondo de Innovación para la Competitividad. A los productores que apoyaron en todo momento la correcta ejecución de las actividades comprometidas, al equipo técnico de la cooperativa CAPEL y a los profesionales de UCHILECREA.

REFERENCIAS

- Almazán, V. (2007). *Protección internacional de la denominación de origen pisco chileno*. Memoria de Prueba para optar al grado de Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad de Chile. Escuela de Derecho, Departamento de Derecho Internacional. Santiago, Chile, 206 p.
- Ayala, Cabrera y asociados Ltda. AC Ingenieros Consultores Ltda. (2003). Informe final. *Diagnostico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección*. Resumen ejecutivo: Diagnóstico del riego y drenaje en la IV Región. Comisión Nacional de Riego (CNR). Gobierno de Chile.
- Ayala, Cabrera y asociados Ltda. AC Ingenieros Consultores Ltda. (2007). Ministerio de obras públicas. Dirección General de Aguas (DGA). *Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte, Regiones I a IV*. Informe final.
- Arregui, L., Quemada, M. (2006). Drainage and nitrate leaching in a crop rotation under different N-fertilizer strategies: application of capacitance probes. *Plant Soil* 288: 57-69.
- Cade-Idepe, Consultores en Ingeniería. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Choapa*. Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (DGA).
- Callejas R., Navarrete, J., Maximiliano, R. (2013). *Líneas de gestión del riego: umbrales para interpretar los datos de humedad del suelo registrados por sondas de capacitancia*. 17 p. (enero 21, 2018): http://www.agren.cl/antumapu_profesional/articulos/7/Lineas_de_gestion_para_el_riego.pdf.
- Callejas R., Vera, J., Rioseco, M., Prohens, F., Osorio, H., Pino, P., Navarrete, J., Gálvez, R. (2014a). Generación e integración de tecnologías destinada al ahorro de agua de riego en dos regiones productoras de fruta en Chile. *Aqua-LAC* Vol. 6(2), pp. 71-83.
- Callejas, R., Vera, J., Kremer, C. (2014b). *Riego de precisión en frutales con sensores de suelo*. Serie Ciencias Agronómicas n° 28, Universidad de Chile. 112 p.
- Casanova, M., Salzar, O., Seguel, O., Luzio, W. (2013). *The soils of Chile*. Publisher: Springer Netherlands. 183 p.
- CEAZA (Centro de estudios avanzados en zonas áridas) e INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). (2010). *Zonificación del territorio de la denominación de origen Pisco*. La Serena, Chile.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (2015). *Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. 26 p. (mayo 5, 2018) <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>.
- Consorcio Cuenca Ingenieros Consultores Ltda. y Maren Consultores Ltda. (2004). Comisión nacional de riego. *Diagnóstico base de los embalses el Bato y Corrales, IV Región*.
- DGA (Dirección General de Aguas), División de hidrología. (2017). *Pronóstico de caudales de deshielo temporada de riego 2017-2018*. División general de aguas. Santiago. 19 p.
- Ferreira, R., Sellés, G., Burgos, L., Villagra, P., Sepúlveda, P., Lemus, G. (2010). *Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica 2010*. Boletín INIA N°214. Instituto de investigaciones agropecuarias. 100 p.
- Gálvez R., Callejas, R., Reginato, G., Peppi, M. (2014). Irrigation schedule on table grapes by stem water potential and vapor pressure deficit allows to optimize water use. *Ciência Téc. Vitiv.* 29(2) 60-70.
- Grimes, D., Williams, L. (1990). Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. *Cropscience*. 30: 255-260.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). (2007). *Censo agrícola y forestal 2007*. (enero 10, 2018) www.ine.cl/estadisticas/censos/censo-agropecuario-y-forestal-2007.

- JVRCH (Junta de Vigilancia del Río Choapa). (2013). *Cuenca del Río Choapa: Situación actual, perspectivas y propuestas*. La Serena, Chile.
- Luzio, W., Casanova, M., Seguel, O. (2010). *Suelos de Chile*. Universidad de Chile. 338 p.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas), Dirección General de Aguas. (2004). *Cuenca del Río Choapa: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Santiago, Chile. 131p.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas), Dirección General de Aguas, Chile. (20039). *Información Hídrica de las Cuencas Priorizadas, Fichas Temáticas*. [Santiago, Chile]: MOP. 5p. (abril 3, 2017) http://www.mop.cl/Prensa/Documents/05_Rio_Choapa.pdf
- Navarrete, J. (2012). *Efecto de distintos criterios de riego sobre variables fisiológicas y parámetros productivos de uva de mesa (Vitis vinifera L.) variedad Red Globe*. Tesis de Magíster. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile, 73 p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2017). *Vides superficie y producción*. 02/07/2018. (junio 2, 2017) http://www.odepa.cl/wpcontent/uploads/2017/02/Vides_superficie_y_produccion.xls.
- Orellana, D. (2017). *Análisis de los efectos de una mega-sequía sobre la generación hidroeléctrica en Chile*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago: Universidad de Chile, 68 p.
- Osorio, A. Poblete, R. (2013). *Huella hídrica en uva pisquera*. Instituto de investigaciones agropecuarias: determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. Serie Actas INIA N°50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Patakas, A., Noitsakis, B., Chouzouri, A. (2005). Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106, 253- 259.
- SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). (2012). *Catastro vitícola nacional*. Ministerio de Agricultura. División de protección agrícola y forestal. Sub departamento de viñas y vinos, inocuidad y biotecnología sección viñas y vinos.
- SAN (Sociedad Agrícola del Norte) y FEDEFRUTA (Federación Gremial Nacional de Productores de Fruta de Chile). (2015). *Sector frutícola en Coquimbo pierde US\$1.000 millones por sequía*. (diciembre 10, 2017) <http://www.pulso.cl/empresas-mercados/sector-fruticola-en-coquimbo-pierde-us1-000-millones-por-sequia/>.
- Williams, L. (2000). *Grapevine water relations*. p. 121–126. In: Christensen, L.P. (ed.). *Raisin production manual*. Publication n° 3393. Univ. California, Oakland, C.A.
- Williams, L., Trout, T. (2005). Relationships among vine-and soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response high-frequency drip irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56 (4): 357-366.
- Williams, L., Baeza, P. (2007). Relations among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58 (2): 173-181.