

Evaluación del riego por superficie mediante el uso de sensores en el Alto Valle del Río Negro y Neuquén

Resumen. El Alto Valle de Río Negro y Neuquén (AVRNyN) representa un área productiva que abarca los valles aluviales del bajo Neuquén, bajo Limay y alto río Negro. Los métodos de riego más ampliamente utilizados en la zona son los de tipo gravitacional, por lo que planificar el riego es de suma importancia para lograr que el mismo sea suficiente, oportuno y uniforme. La finalidad de la planificación es conseguir la máxima eficiencia de utilización del agua agregada y el máximo retorno del dinero invertido, evitando la utilización excesiva de agua, que conduce a resultados económicos y ambientales desfavorables. La tecnificación del riego gravitacional o la utilización de tecnologías para su seguimiento es un paso de gran importancia para obtener mejores rendimientos en la producción. Un ejemplo de ello es la utilización de sensores para la determinación de la humedad del suelo en las áreas a irrigar. El objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia de un riego realizado en una parcela frutícola ubicada en General Roca, Río Negro durante el ciclo productivo 2019-2020, utilizando sensores para la determinación de las condiciones de humedad del suelo previas y posteriores al riego. **Palabras clave:** eficiencia de riego, humedad de suelo, frutales.

Introducción

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén (AVRNyN) representa un área productiva que abarca los valles aluviales del bajo Neuquén, bajo Limay y alto río Negro. De esta área productiva de unas 100.000 hectáreas, 37.308 ha se encuentran cultivadas con frutales de pepita y carozo (SENASA, 2017).

Por sus características climáticas, el uso del agua para riego fue fundamental en el proceso de transformación del espacio natural a un territorio agrícola de regadío, que a su vez conformó el perfil socio productivo de la zona. La provincia de Río Negro cuenta con cinco zonas bajo riego, todas ubicadas a lo largo del valle del río Negro con infraestructura de conducción y distribución de agua, que suman un total de 179.773 ha. Si bien en la zona de la meseta no hay registrada superficie bajo riego, un estudio de FAO (2015) estima que la provincia cuenta con un potencial de desarrollo de 854.354 ha, llegando a un total potencial de 1.034.127 ha. Sin embargo, dentro del sistema de riego del Alto Valle, hay un gran porcentaje de la superficie sistematizada que no se encuentra actualmente en producción.

Lo anteriormente descripto, ubica a las prácticas de riego como tareas centrales en el desarrollo de las áreas productivas y destaca la importancia de la planificación para la adecuada ampliación de áreas bajo riego y el manejo de las actuales. El incremento de la eficiencia del riego, además de racionalizar el uso de los recursos hídricos y evitar la degradación de los ambientes productivos, contribuye al aumento del rendimiento de los cultivos y mejora de la calidad.

Son tres los factores que influyen sobre el momento más oportuno de dar un riego: las necesidades de agua de los cultivos, la disponibilidad de agua para el riego y la capacidad de la zona radicular para almacenar el agua. En los regadíos, la necesidad de agua de cada cultivo durante su periodo de

desarrollo es de capital importancia para la determinación del momento de riego (Israelsen *et al*, 2003).

Los métodos de riego más ampliamente utilizados en la zona son los de tipo gravitacional y la distribución del agua es por turnos rotativos (Galeazzi *et al*, 2018) que junto con el manejo cultural de los montes frutales suele determinar el momento de aplicación de agua más que la programación de los riegos.

La característica principal del riego por superficie es que el agua se distribuye en el campo por gravedad. Esta característica, bastante obvia, hace que el riego por superficie se mantenga vigente y resulte, cuando está bien diseñado y operado, un método adecuado para distintos tipos de producciones. El hecho de que la fuerza de la gravedad realice la distribución del agua evita la instalación de tuberías de distribución o presurizadores de agua (Faci y Playan, 1996).

Un riego de superficie que opere de manera idónea debe tener un equilibrio entre los procesos de avance e infiltración para que la lámina infiltrada en cada punto de la melga sea similar, todas las plantas de la parcela dispongan de aproximadamente la misma cantidad de agua y esta cantidad de agua coincida con las necesidades de las plantas.

En las condiciones productivas del AVRN, debe considerarse además la presencia de una capa freática superficial, que en general no suele incorporarse a los balances hídricos al momento de realizar la programación del riego y que puede ser una valiosa fuente de agua para los cultivos o bien transformarse en un agente de estrés por anegamiento y salinidad (Galeazzi y Aruani, 2019; Mañueco *et al*, 2018; Apcarian *et al*, 2014).

El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales, bajar costos asociados a la producción y tomar mejores decisiones en la programación del riego, aportando información clara para la determinación de la cantidad de agua a aplicar y el momento oportuno para aplicarla. La utilización de sensores para el control del riego es una herramienta de gran utilidad que muchas veces solo se asocia a los métodos presurizados. Sin embargo, el riego por superficie es en sí mismo una tecnología apropiada para muchas producciones y condiciones de la región del Alto Valle, que puede optimizarse conociendo las características de su operación a partir del análisis de oportunidad, suficiencia y uniformidad.

En términos generales, la eficiencia de riego implica el manejo adecuado del agua en el predio agrícola; en otras palabras, implica el grado de habilidad que tiene el regante para manejar el agua. Pero por más cuidado que se tenga en el manejo del agua, siempre van a existir pérdidas, estas pérdidas ocurren principalmente durante la aplicación del agua al suelo y también durante la conducción, tanto en la red de riego externa como en la red interna de distribución del agua a la parcela (FAO, 2001). De esta manera, a la hora de evaluar la eficiencia de riego, son numerosas las variables a contemplar asociadas a la eficiencia de conducción en el canal principal, la eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela. El análisis integrado de todas las eficiencias mencionadas constituye la eficiencia global del sistema.

Al evaluar la aplicación parcelaria de agua, encontraremos parámetros del sistema difíciles de modificar, asociados al diseño original y al marco de plantación del cultivo (longitud de las melgas, pendiente del terreno, velocidad máxima del agua para evitar la erosión) y las características de suelo (características texturales, parámetros de la ecuación de infiltración) y variables del sistema que se

pueden mejorar en la práctica del riego tales como el caudal de manejo y el tiempo de aplicación o corte (Schilardi, 2010 a).

La demanda del cultivo y la humedad del suelo, son variables que también deben ser consideradas. Una herramienta de gran utilidad para el seguimiento de la humedad del suelo en el predio son los sensores, que permiten determinar el contenido de humedad en el perfil en forma continua posibilitando el control de la programación de los riego y aportando información para el balance hídrico.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia de un riego por superficie realizado en una parcela frutícola ubicada en Contraalmirante Martín Guerrico, Río Negro durante el ciclo productivo 2019-2020, utilizando sensores de humedad para el monitoreo de la condición de humedad del suelo antes, durante y después del evento evaluado. Para el análisis de la eficiencia de aplicación y almacenaje de agua en la parcela bajo estudio se considerará si el momento del riego fue oportuno y si la lámina de agua aplicada resultó adecuada de acuerdo a las necesidades del cultivo y las características del suelo.

Materiales y métodos

El área de estudio se encuentra en el AVRN y Neuquén, que abarca los valles bajos de los ríos Limay y Neuquén y el valle alto del río Negro. Dicha área se corresponde según la clasificación de Thornthwaite, con la región climática: árido mesotermal, con poco o ningún excedente de agua (precipitación media anual de 243,7 mm) y baja concentración térmica en verano (INTA, 2009). La humedad atmosférica influye en el balance térmico, regula el proceso de transpiración en las plantas y la velocidad de pérdida de agua desde el suelo. Las lluvias, el viento y la temperatura condicionan los valores de humedad. Los valores más bajos de humedad se dan en el período primavera-estival (de noviembre a febrero) y coinciden con el crecimiento vegetativo y desarrollo de los frutos, afectando la transpiración y balance hídrico del cultivo. La evaporación mensual en el período primavera-estival excede ampliamente lo aportado por las precipitaciones, por lo que no es posible el desarrollo de cultivos de secano. En tal sentido, se han desarrollado técnicas de sistematización, distribución y manejo del agua para riego gravitacional y mecanizado en toda la región, dando origen a extensas áreas bajo riego.

Las determinaciones se realizaron en una parcela de pera Williams sobre pie franco, plantada en 2003 y conducida en espaldera con distancia entre filas de 4 m y distancia entre plantas de 2 m. La altura de las plantas es de aproximadamente 4 m. La distribución de las raíces de los frutales se da en forma radial y extensión variable, dependiendo del tipo de suelo, su manejo y estratificación, la presencia de capas limitantes y la fluctuación de la capa freática (Aruani, 2009). Se estima que las raíces más activas en el sitio de estudio, se encuentran entre los 0,6 y los 0,80 m (Aruani, 2009; Nolthing, 1976). La parcela, ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle de INTA (General Roca, Río Negro, Argentina), cuenta con tres sensores de humedad de suelo ECH₂O EC-5 (METER Group, Inc. USA), que registran el contenido volumétrico de agua (VWC) midiendo la constante dieléctrica del medio usando tecnología de capacitancia. Los sensores están ubicados al pie de la melga para el monitoreo del contenido de agua del perfil a 0,20 m, 0,40 m y 0,60 m de profundidad, con mediciones horarias y registro continuo de los datos. Los niveles freáticos de toda el área, presentan variaciones estacionales que durante algunos periodos resultan en napas muy superficiales con aportes de agua capilar hacia la zona radicular (Galeazzi y Aruani, 2019; Mañueco *et al.*, 2018). Al momento del estudio, el nivel freático registrado era de 1,2 m. Es de resaltar que los niveles de la napa freática están sujetos a fluctuaciones con distinta intensidad.

A partir de los datos relevados a campo y de los estudios de suelo disponibles para el área de estudio (CFI *et al*, 2008), se determinaron las constantes hídricas del suelo. La capacidad de un suelo de retener agua está en función, principalmente, de su textura, contenido de materia orgánica, densidad aparente y composición mineralógica, conjunto de propiedades que define las características del espacio poroso que puede contener agua y la fuerza con la que ésta queda retenida. Las constantes hídricas del suelo son entonces valores empíricos que caracterizan el contenido de agua (Pereira *et al*, 2010). La génesis de suelos aluviales como los del Alto Valle, ha dado como resultado la presencia de perfiles con escaso desarrollo pedogenético (perfiles isotrópicos) vinculados en cortas distancias a otros con horizontes contrastantes (perfiles anisotrópicos), lo que lleva a presuponer comportamientos diferentes frente a los aportes de agua de riego (Mendía e Irisarri, 1995). Esta enorme variabilidad se verifica en la parcela de estudio de acuerdo a lo observado por CFI *et al*, (2008), que identificó tres unidades cartográficas diferentes (UC5, UC6 y UC7).

Para establecer el porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC), se adaptó la metodología descrita por Murray y Shanmugham (1964) de “determinación de capacidad de campo a campo” utilizando el registro de los sensores. Para ello, se graficaron los datos horarios de humedad de suelo luego de un riego y se determinó el punto de inflexión de la curva en que la tasa de pérdida gravitacional de agua se estabilizaba, alcanzándose capacidad de campo al 40% ($m^3.m^3$), valor que podría asociarse a suelos de textura franco-limo-arcillosa de acuerdo a los valores orientativos de contenido de humedad de Santos Pereira (2008). A partir de ello y utilizando la información de referencia para ese tipo de suelo, se estableció el punto de marchitez permanente (PMP). El factor p o factor de agotamiento para determinar el agua fácilmente aprovechable (AFA) se consideró como el 50% del agua disponible total ($ADT = CC - PMP$).

Por otro lado, para realizar la evaluación de riego y determinar la eficiencia de aplicación, se llevaron a cabo las siguientes determinaciones:

- Aforo del caudal ingresado a la unidad de riego. Los datos obtenidos permiten conocer el caudal de manejo y unitario y el volumen de agua aplicado, escurrido e infiltrado, mediante el cálculo de los hidrogramas de entrada y salida de la parcela.
- Medición del tiempo de avance del frente de agua. La medición se utiliza para determinar la ecuación de avance que permite caracterizar el evento de riego evaluado.
- Medición de la pendiente longitudinal de la parcela de riego. Se determina la pendiente parcial y total de la unidad de riego
- Medición de las dimensiones de la unidad de riego. Mediante cinta métrica se mide el largo y ancho de la melga.
- Registro del número de melgas regadas simultáneamente.
- Registro del tiempo de aplicación. Se mide el tiempo total de ingreso de agua a la parcela regada.
- Toma de datos de humedad de suelo. Se extraen los datos horarios almacenados en la memoria del sensor instalado en la unidad de riego para luego ser procesados como datos medios diarios. El registro de humedad de suelo permite conocer el contenido volumétrico de agua del suelo antes, durante y después del riego.

Para el estudio de la eficiencia de riego en melgas sin desagüe al pie se ha utilizado la metodología basada en la relación o cociente de láminas para definir las eficiencias parcelarias de almacenaje y aplicación que permiten calificar al método de riego utilizado y el grado de satisfacción

del requerimiento hídrico de los cultivos en un momento dado de su ciclo biológico. Este conjunto de métodos ha sido desarrollado por Chambouleyron y Morábito (1982) en el Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (INA).

Para la determinación de la infiltración se tomaron las referencias de Walker (2006), en función de la definición textural del suelo presente en la parcela, que se corresponde con la familia de infiltración moderadamente lenta (infiltración base de 12,5 mm.h⁻¹). El valor de infiltración nos da información sobre la velocidad con que infiltra el agua en el suelo, ajustados los caudales al tipo de suelo y minimizando el aporte de agua a la freática.

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar.

En el caso del riego por superficie o a manto, ampliamente adoptado en el AVRN, la unidad de riego en frutales es la melga. En este caso debido a las condiciones de suelo y los cultivos que se realizan en la zona se recomiendan longitudes que no superen los 80 m en suelos arenosos y 120 m en suelos franco limosos (Nolting *et al*, 2011). La parcela en estudio presenta una longitud de 72 m, que resulta adecuada para el manejo del agua.

Los datos de la ecuación de avance se utilizaron para la determinación de la curva potencial de avance. El avance es la fase del evento riego que implica el escurrimiento del flujo de agua sobre la superficie del terreno, es importante para las consideraciones del manejo del riego por superficie.

La trayectoria de avance no tiene una descripción matemática concisa, pero puede aproximarse razonablemente a una función potencialmente simple (Walker, 1989):

$$x = pt^r$$

Donde:

x: distancia alcanzada por el frente de agua a tiempo t (m);

t: tiempo de avance en minutos;

p: coeficiente empírico que representa la distancia que avanza el frente del agua en el primer minuto;

r: exponente empírico que toma valores menores a 1.

Con la información obtenida a campo se obtuvieron los datos necesarios de la parcela bajo estudio para proceder a la cuantificación de los distintos parámetros de desempeño del riego. Para ello se calculó la lámina de reposición (dr), definida como la diferencia del contenido de humedad del suelo antes del riego respecto de la capacidad de campo y la lámina bruta (db) que resulta de la relación del volumen de agua ingresada a la parcela regada y su superficie. La lámina infiltrada (dinf), se obtiene a partir de la diferencia de la lámina bruta aplicada y la lámina escurrida al pie de la parcela, y en nuestro caso de estudio resultará equivalente a la lámina bruta por no haber desagüe al pie. Finalmente, la lámina almacenada (dal) es la diferencia del contenido de humedad del suelo antes y después del riego.

Lámina de Reposición u Objetivo

$$dr = \frac{(Wc - Wa)}{100} * D * 1000$$

Donde:

Wc: capacidad de campo (%m³/m³)

Wa: humedad del suelo antes del riego (%m³/m³)

D: profundidad exploración radicular

Lámina Bruta

$$db = \frac{V}{S} = \frac{(Qt)}{S}$$

Donde:

V: volumen de agua ingresada a la parcela regada

S: superficie regada

Los parámetros utilizados para la evaluación del desempeño del riego en el caso fueron:

- i- Eficiencia de Aplicación (EAP), definida como el cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil del suelo explorado por las raíces de los cultivos y el volumen de agua entrado a la parcela regada.
- ii- Eficiencia de Almacenaje (EAL), lámina almacenada en el perfil del suelo luego de un evento de riego respecto a la lámina que se necesita almacenar.
- iii- Eficiencia de Distribución (ED), siendo la lámina media infiltrada del cuarto más perjudicado respecto a la lámina media infiltrada en todo el perfil.
- iv- Percolación Profunda (Pp), es la relación entre el volumen de agua percolado, respecto al volumen de agua aplicado.

Tomando como referencia los indicadores propuestos por Burt *et al* (1997), Walker *et al* (1987) y Morábito (2003) se procedió al cálculo de las eficiencias.

La **eficiencia de aplicación (EAP)** se calculó comparando la lámina de reposición u objetivo (dr) con la lámina de riego aplicada (db).

$$EAP = \frac{db}{dr} 100$$

El Centro Internacional de riego EEUU, ha clasificado la eficiencia de aplicación de acuerdo a los métodos de riego, pudiendo obtener un manejo bueno o manejo pobre (Ver Tabla 2). A partir de esta tabla se procederá a clasificar el riego en estudio.

Tabla 2: Eficiencia de aplicación según método de riego y grado de manejo, %. Fuente: Centro Internacional de riego EEUU, citado por FAO (2001).

Método de riego	Eficiencia de Aplicación	
	Manejo Bueno	Manejo Pobre
Surcos	50-75	30-50

Melgas	50-85	30-50
Aspersión	60-85	40-60
Goteo	60-85	50-60

La **eficiencia de distribución (ED)** se calculó como el cociente entre la lámina infiltrada promedio del cuarto más perjudicado y la lámina infiltrada promedio.

$$ED = \frac{d_{1/4}}{d} 100$$

La **eficiencia de almacenaje (EAL)** resulta de la comparación de la lámina infiltrada y almacenada con respecto a la lámina objetivo.

$$EAL = \frac{d_{inf}}{dr} 100$$

Con estos tres parámetros de desempeño (EAP, EAL, ED) tenemos la información necesaria para evaluar la eficiencia del riego de acuerdo a la propuesta de Roscher (1985) (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Calificación de eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcela para métodos de riego en superficie (Roscher, 1985).

Parámetro	Malo	Satisfactorio	Bueno
EAP	≤60	60-75	≥75
EAL	≤80	80-90	≥90
EDI	≤80	80-90	≥90

Finalmente, el último parámetro utilizado es el **porcentaje de percolación profunda (Pp)** se obtiene comparando la lámina de agua percolada y la lámina de riego aplicada.

$$Pp = \frac{d_{per}}{db} 100$$

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los distintos parámetros evaluados a fin de poder determinar la eficiencia del evento riego que se realizó en una parcela frutícola del AVRN. La particularidad a considerar en el presente trabajo, es el uso de sensores de humedad de suelo como herramienta de trabajo, lo cual permite evaluar de manera rápida las condiciones de humedad en el perfil del suelo y con ello definir la aplicación o no del agua. Asimismo, una vez realizado el riego, el seguimiento de la humedad del perfil del suelo nos permitió evaluar la eficiencia del mismo.

Para nuestro caso analizado se observa que el avance es uniforme, de acuerdo al R^2 de los puntos que ajustan a la curva con una baja dispersión (Figura 1).

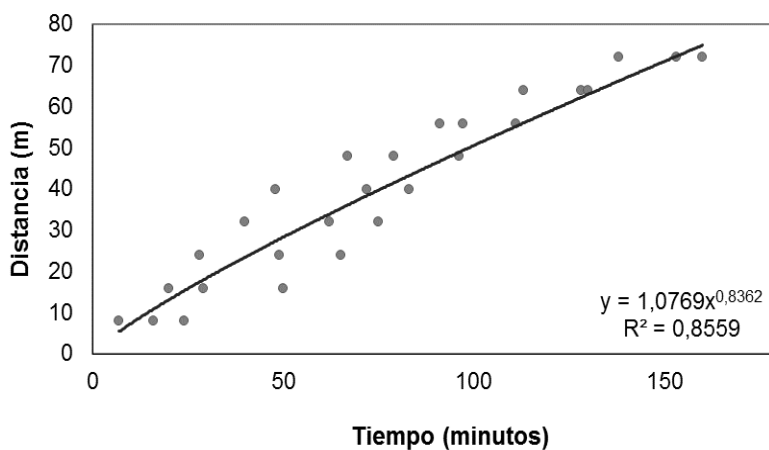


Figura 1: Avance del frente de riego en las tres melgas evaluadas.

Este resultado se puede comparar con otros ensayos de riego realizados por Schilardi *et al* (2010) en condiciones de evaluación similares, con avances similares ($R^2=0,91$) aunque con mayor cantidad de melgas evaluadas.

Nivelación

En el riego por superficie e independientemente del método, la nivelación del terreno es un factor clave para obtener una aceptable eficiencia de riego. La parcela en estudio fue nivelada con pendiente cercana a cero en el momento de plantación. A partir del relevamiento planialtimétrico en el terreno se confeccionó el gráfico que muestra la nivelación actual del mismo. Esta información nos permite observar que el terreno cuenta con un sector más bajo en la cabecera de la melga (Figura 2), lo que hace que el agua se acumule en esa zona, provocando saturación y exceso de humedad. En este caso, sería recomendable la corrección del nivel en el sector y lograr de esa manera más uniformidad en el avance y una distribución de humedad homogénea.

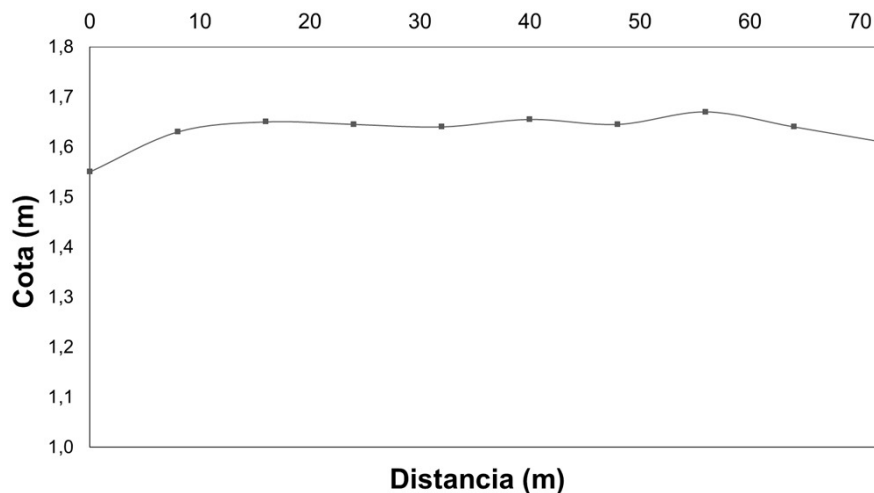


Figura 2: Cota en la dirección del riego en la melga central de cabecera a pie

Humedad del suelo

De acuerdo al registro de los sensores, el contenido volumétrico ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medio de agua del suelo en la zona radicular en el momento previo al riego era de 27 % y 48 horas después era de 38 %. Considerando las constantes hídricas definidas, se observa que la humedad del suelo previa al riego se encontraba por debajo del umbral hídrico (Figura 3), fuera del rango del agua fácilmente aprovechable, por lo que el riego resultó oportuno.

La anisotropía de los suelos complejiza la definición de constantes hídricas que resulten representativas, incluso a escala de parcela, del contenido de agua del suelo. El método descrito para la determinación de la capacidad de campo ha resultado adecuado, aunque debe continuarse con estudios que aporten claridad en la interfase sensor / parcela para la interpretación de los datos de los sensores de humedad de suelo.

Las diferencias de humedad en las distintas profundidades evaluadas podrían explicarse por las variaciones texturales de los horizontes (CFI, 2008), ya que la permitividad eléctrica estimada por los sensores FDR no solo se ve influenciada por el contenido de agua sino también por otras propiedades de los suelos como la salinidad y la textura (Schilardi *et al*, 2015).

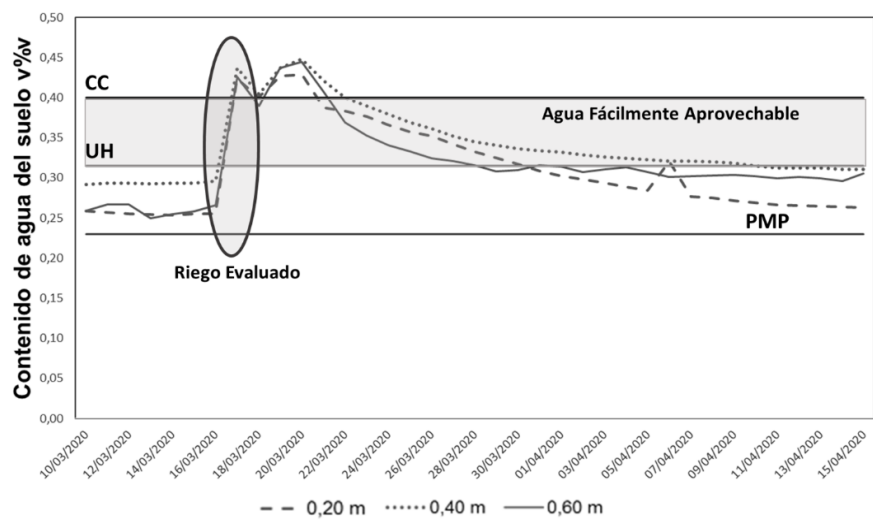


Figura 3: Evolución de la humedad del suelo en el riego evaluado expresada en promedios diarios. Se observa el contenido volumétrico de agua registrado en forma continua por los sensores colocados a 0,20 m, 0,40 m y 0,60 m de profundidad. Las referencias corresponden a las constantes hídricas del suelo capacidad de campo (CC), umbral hídrico (UH) y punto de marchitez permanente (PMP).

Láminas de riego

Lámina de Reposición u Objetivo

$$dr = \frac{(40 - 27)}{100} * 1 \text{ m} * 1000$$

$$dr = 130 \text{ mm}$$

Para nuestro caso de estudio la lámina de reposición es de 130 mm. Este valor nos da la base para determinar el volumen de agua a aplicar en el próximo riego.

Lámina Bruta

$$db = \frac{(0,75 \frac{l}{s} * 182 \text{ min} * 60 \text{ s})}{72 \text{ m} * 1 \text{ min}}$$

$$db = 113,7 \text{ mm}$$

En este caso el valor obtenido fue de 113,7 mm. Como se aprecia este valor es muy próximo al obtenido de dr , por lo que el riego aplicado cubrió la lámina requerida.

Parámetros de desempeño de riego

Eficiencia de Aplicación

$$EAP = \frac{113,7 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} 100$$

$$EAP = 87\%$$

Este valor de eficiencia de aplicación supera lo estimado por el Centro Internacional de Riego de EEUU (1985) (Tabla 2), el cual califica como bien manejado un riego por melgas cuya EAP se ubique entre el 50 y 85%.

Eficiencia de Distribución:

$$ED = \frac{100,73 \text{ mm}}{113,7 \text{ mm}} 100$$

$$ED = 89\%$$

Eficiencia de Almacenaje:

$$EAL = \frac{113,7 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} 100$$

$$EAL = 87\%$$

Porcentaje de percolación profunda (Pp)

$$Pp = \frac{0 \text{ mm}}{113,7 \text{ mm}} 100$$

$$Pp = 0\%$$

A partir de la interpretación de los valores de eficiencia obtenidos y en función de la propuesta de Roscher (Tabla 3) el riego realizado se puede calificar como bueno. No se produjo percolación profunda ya que la lámina aplicada no llegó a cubrir la requerida.

Los valores de eficiencia del caso de estudio, resultan superiores a los registrados para estudios similares en la región (Alvarez *et al*, 1995) y otras zonas del país (Morabito *et al*, 2007; Schilardi, 2010b). Es necesario continuar evaluando el desempeño del riego en distintos sitios y momentos del ciclo productivo.

Conclusiones

En los sistemas de producción actuales la planificación del riego es fundamental para la gestión adecuada del recurso. La misma tiene como objetivo ayudar al productor a la toma de decisión sobre el momento oportuno y la lámina de riego aplicar.

Los resultados obtenidos dan cuenta de una buena eficiencia en el riego realizado y sin pérdida de agua durante el mismo, aunque con una pequeña insuficiencia de aplicación para cubrir el requerimiento. De esta manera, se demuestra que el riego fue oportuno y uniforme, aunque no suficiente.

Existen importantes posibilidades de tecnificar el riego gravitacional en todos sus componentes. El uso de sensores de humedad de suelo permite contar con una herramienta eficaz para el manejo de los riegos, posibilitando hacer un seguimiento de las condiciones de humedad y así determinar el momento oportuno de riego. Sin embargo, para hacer un uso adecuado de estos dispositivos y para que los datos que proveen sean confiables hay que tener en cuenta varios criterios y conceptos técnicos. En el presente trabajo se contó con un solo sensor ubicado en el pie de la parcela irrigada por lo que se cree conveniente instalar otro en cabeza de melga para poder hacer un seguimiento más completo de los riegos en forma experimental y avanzar con recomendaciones de manejo.

Asimismo, resulta muy importante en la zona del AVRNYN, el monitoreo de los niveles freáticos y la cuantificación del aporte de agua capilar, ya que en muchas zonas esto influye directamente en la humedad del suelo y en consecuencia en la eficiencia del riego.

Bibliografía

ALVAREZ, A.O.; GALEAZZI, J.O.; STANGAFERRO, S.; BARTUSCH, A.; POLLA, G. 1995. Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-DPA-ITAC. 93 p.

APCARIAN, A.; SCHMID, P.M.; ARUANI, M.C. 2014. Suelos con acumulaciones calcáreas en el Alto Valle de Río Negro, Patagonia Norte. En P. A. Imbellone, Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina. Buenos Aires: Ediciones INTA, p. 151-181.

ARUANI, M.C. 2009. Raíces: Condiciones del suelo que afectan su crecimiento. [en línea] <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXib2xldGluZmNhdW5jb3xneDoxMzE4MTgwNGU5ZGFjNTZl> [Consulta: diciembre 2019].

CHAMBOULEYRON, J.; MORÁBITO, J. 1982. Evaluación del riego en fincas. INCyTH-CRA, Mendoza, Argentina.

CHAMBOULEYRON, J.; MORABITO, J.A. 2005. El riego en Argentina. Documento INA-CRA. [en línea]. Mendoza, Argentina. 19 p. [https://www.ina.gov.ar/legacy/pdf/INA-CRA-El_riego_en_Argentina.pdf]. [Consulta: octubre 2019].

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES PROVINCIA DE RIO NEGRO. 2008. Estudio del impacto de la producción frutícola sobre la calidad de los suelos del Alto Valle del Río Negro. Informe de Avance Área Piloto 1. [en línea] https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-estudio_suelo_alto_valle_2009.pdf [Consulta: agosto 2020].

FACI GONZÁLEZ, J. M.; PLAYÁN JUBILLAR, E. 1996. Principios básicos del riego por superficie. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. 135 p.

FAO. 2015. Estudio del Potencial de ampliación del riego en Argentina. [en línea] <http://www.fao.org/3/a-i5183s.pdf>. [Consulta: agosto 2016].

FAO. 2001. Manual de Riego Parcelario. [en línea] http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclnat/pdf/MR_cap3.PDF. [Consulta: marzo 2020].

GALEAZZI, J.; MAÑUECO, M.L.; MONTENEGRO, A.; STORTI, C.; SHERIDAN, M. 2018. Gestión Consorciada del Agua de Riego en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Trabajo completo presentado en: I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar. Plottier, Neuquén, 27 y 28 de noviembre de 2018. 309-316.

GALEAZZI, J.O.; ARUANI, M.C. 2019. Manejo del riego en pera (*pyrus communis*) cv. Williams cultivada en suelo con capa freática poco profunda. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 151-162.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. 2009. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de Río Negro. 392 p.

ISRAELSEN, O. W.; HANSEN, V. E. 2003. Principios y aplicaciones del riego. Segunda edición. Barcelona: Reverté.

LOSADA VILLASANTE, A; ROLDÁN CAÑAS, J. 2009. Riego por superficie. Apuntes de curso de posgrado de Maestría de Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza del 30 de marzo al 3 de abril de 2009. 143 p.

MAÑUECO, M.L.; RODRÍGUEZ, A.; MONTENEGRO, A.; GALEAZZI, J.; DEL BRIO, D.; CURETTI, M.; MUÑOZ, A.; RAFFO, M.D. 2018. *Quantification of capillary water input to the root zone from shallow water table and determination of the associated Bartlett pear water status*. En: XIII International Pear Symposium. Montevideo, Uruguay, 4 – 7 diciembre 2018.

MENDIA, J.M.; IRISARRI, J. 1995. Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal. En: Curso internacional de Suelo, Riego y Nutrición. Estación Experimental. General Roca, Río Negro, Argentina, p. 4-1 a 4-40.

MORABITO, J. A.; MIRABILE, C.; SALATINO, S. 2007. Eficiencia del riego superficial, actual y potencial, en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). *Ingeniería del agua*, 14(3), 199-214.

MURRAY, J. M.; SHANMUGHAM C. R. 1964. Field and laboratory determination of field capacity. *Canadian Agricultural Engineering* 6(1):26-28.

NOLTING, J.T. 1976. Estudio sobre la distribución radical del manzano y peral en el Alto Valle de Río Negro. INTA Estación Experimental Regional Agropecuaria del Alto Valle de Río Negro, investigación agropecuaria N° 2.

NOLTING, J; REQUENA, A. 2011. Manejo del riego a nivel de superficie. Boletín de divulgación técnica N° 51. Ed INTA.

ROSCHER, K. 1985. *Surface Irrigation. Characteristics, design and performance*. Department of irrigation and civil engineering. Agricultural University, Wageningen. The Netherlands.

SANTOS PEREIRA, L. 2010. El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla- La Mancha. Segunda Edición en Castellano. España. 296 p.

SCHILARDI, C.; MORÁBITO, J. A.; VALLONE, R. C. 2010 a. Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la Cuenca del Río Tunuyán Superior, Mendoza, Argentina. En *XXI Congreso Nacional del Agua*, p. 14-16.

SCHILARDI, C. 2010 b. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la Cuenca del Río Tunuyán Superior, Mendoza, Argentina (Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias).

SCHILARDI, C.; REARTE, E.; MARTÍN, L.; MORÁBITO, J. 2015. Calibración a campo de sensores FDR. Limitaciones y potencialidades. En: *Jornadas de Riego y Fertirriego*. Mendoza, Argentina.

SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASA). 2018. Anuario Estadístico 2017 - Centro Regional Patagonia Norte. [en línea]. Argentina. 154 p. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_estadistico2017c.pdf]. [Consulta: marzo 2019].

WALKER, R.; PRESTWICH, C.; SPOFFORD, T. 2005. *Development of revised USDA-NRCS intake families for surface irrigation*. *Agricultural Water Management* 85 (2006) 15-164.