

## CAPA FREÁTICA: SU INFLUENCIA EN LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN FRUTALES DE PEPITA

### WATER TABLE: ITS INFLUENCE ON THE IRRIGATION SCHEDULE IN PEPITA FRUIT TREES

Juan Oreste Galeazzi<sup>(\*)</sup> y María Cristina Aruani

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Río Negro, Argentina

<sup>(\*)</sup>e\_mail: [juan.galeazzi@faca.uncoma.edu.ar](mailto:juan.galeazzi@faca.uncoma.edu.ar)

#### RESUMEN

El objetivo fue analizar cuali-cuantitativamente el flujo capilar y evaluar su influencia en la programación del riego en un cultivo de pera (*Pyrus communis*) cv. William`s. Durante cuatro ciclos consecutivos se midieron con sensores específicos promedios diarios de humedad, potencial mátrico y salinidad del suelo y los niveles y salinidad de la freática. La profundidad de la freática fluctuó entre 1.00 m y 1.10 m y salinidad entre 1.5 y 1.6 dS.m<sup>-1</sup>. Los valores medios de la humedad del perfil de exploración radicular se encontraron en la franja del agua fácilmente disponible con un balance salino equilibrado. Con el programa WinIsareg se ajustó el balance hídrico simulado al contenido de humedad del suelo registrado por los sensores en cada uno de los ciclos. Las láminas de reposición resultantes se contrastaron con los requerimientos hídricos del cultivo y se estimaron los aportes del flujo capilar en 290 a 499 mm según la temporada. Estos representaron entre 1/3 y 2/3 del requerimiento hídrico del cultivo reduciendo la dotación media de riego entre un 35 a 64%. Los riegos realizados permitieron obtener rendimientos similares al valor de referencia en la zona y fueron 50% menos que los programados en condiciones de capa freática profunda.

**Palabras clave:** agua subterránea, flujo capilar, riego sustentable, Patagonia Norte.

#### ABSTRACT

The goal was to quali-quantitatively analyze capillary flow and evaluate its influence on irrigation scheduling in pear (*Pyrus communis*) cv. William`s. During four consecutive cycles, the daily average humidity, the matric potential and salinity of the soil, and the levels and salinity of the phreatic were measured with specific sensors. The depth of the water table fluctuated between 1.00 m and 1.10 m, and its salinity between 1.5 dS.m<sup>-1</sup> and 1.6 dS.m<sup>-1</sup>. The humidity mean values of the root exploration profile were in the band of the easily available water, maintaining a salt balance. By using the WinIsareg software, the simulated water balance was adjusted to the soil moisture content recorded by the sensors in each cycle. The resulting replacement sheets were contrasted with the crop water requirements and the contributions of the capillary flow were estimated to be 290 mm up to 499 mm, depending on the season. These values represented 1/3 - 2/3 of the crop water requirement, reducing the average irrigation provision 35% - 64%. The irrigations carried out allowed to obtain yields similar to the reference value in the area and were 50% less than those programmed in conditions of deep water table.

**Keywords:** groundwater, capillary flow, sustainable irrigation, Northern Patagonia.

## INTRODUCCIÓN

En las regiones de clima árido, el riego a partir del agua superficial ha posibilitado el desarrollo regional de distintas zonas de nuestro país. El Alto Valle de Río Negro y Neuquén es una zona frutícola de producción intensiva bajo riego y está surcada por los ríos Negro, Neuquén y Limay. La superficie implantada con frutales es de 40428 ha, de las cuales el 86.2% corresponde a fruta de pepita (manzanas y peras) y el 13.8% a fruta de carozo (Senasa, 2017).

El método de riego ampliamente utilizado en la zona es el gravitacional, siendo el de melgas de inundación (o riego a manto) el más común, con un sistema de entrega del agua en compuerta por turnos rotativos (Galeazzi et al., 2018). Según el estudio Integral del Río Negro (CIL, 1991) la eficiencia media del sistema es del 30-40% consecuencia del manejo deficiente del riego predial sumado a pérdidas físicas y operacionales en la red de distribución. De esta manera el agrosistema frutícola queda condicionado por el acuífero freático subyacente, cuya dinámica depende de la operación e infraestructura del sistema de riego y drenaje y de los caudales de los ríos Neuquén, Limay y Negro (Marizza et al., 2009).

Los altos niveles freáticos abarcan, con distintos grados de afectación, el 40 % de la superficie regada del Alto Valle (Alvarez, et al., 1995). Los registros existentes en regiones bajo riego superficial, han mostrado alteraciones en el régimen de fluctuaciones de los niveles del agua subterránea (Smith et al., 2009; Pereira, 2010; Ortiz Maldonado y Carmona, 2008). La zona estudiada se caracteriza por la presencia de una capa freática cuya profundidad varía estacionalmente (Galeazzi et al., 2007; Montenegro et al., 2014) y los suelos están sujetos a diferentes niveles freáticos según su posición en el paisaje. En temporada de riego la freática está más cerca de la superficie que en invierno y en algunos sectores del Valle puede llegar a los 0.40 m en primavera-verano y a 1.50-2.00 m en invierno.

El crecimiento de muchas especies que son tolerantes a las condiciones anóxicas puede reducirse cuando las raíces se inundan y pueden reanudar el crecimiento rápidamente una vez restablecida la aireación de las raíces a diferencia de las especies sensibles (Crawford, 1982).

Los valores de salinidad de los ríos Neuquén, Limay y Negro varían entre 0.2 y 0.3 dS.m<sup>-1</sup>, sin

ningún grado de restricción para riego (Ayers y Westcot, 1987), mientras que en el agua freática son muy variables y oscilan entre 0.5 – 2.6 dS.m<sup>-1</sup> (Apcarian et al., 2014). En los estudios de salinidad del suelo, el término profundidad crítica del nivel freático se usa para indicar “la profundidad más allá de la cual el agua que se eleva por capilaridad no causaría la salinización de los horizontes del suelo cultivable” (Saleh y Troeh, 1982). El flujo intenso ascendente del agua desde la freática, aumentará el riesgo de salinización en la superficie del suelo, incluso si el contenido de sal en el agua subterránea es bajo y no hay una capa salina en el perfil (Xiaopeng Li et al., 2013).

En las regiones áridas y semiáridas el agua subterránea poco profunda puede ser considerada un potencial recurso hídrico para los cultivos (Sepaskhah et al., 2003). La incorporación del aporte capilar de la freática en la programación de los riegos disminuiría la cantidad de riegos a aplicar (Soppe y Ayars, 2003) haciendo más sustentable el sistema de riego. La humedad del suelo y la demanda del cultivo son las variables a considerar en la programación de los riegos.

Los sensores de humedad determinan el contenido de la humedad en el perfil del suelo en forma continua y aportan información para el balance hídrico. Con los modelos hidrológicos como el programa WinIsarreg v 1.3.1 se pueden estimar las necesidades de agua de los cultivos y la programación de los riegos mediante la simulación del balance hídrico de los suelos (Pereira et al., 2003). Este modelo ha sido una herramienta útil y sencilla para determinar el balance hídrico en cultivos frutícolas y hortícolas en diferentes regiones (Grasso et al., 2018; Chaterlan et al., 2010; Cancela et al., 2006; Zairi et al., 2003).

En un trabajo previo a este estudio (Galeazzi y Aruani, 2019) se analizó la programación del riego promediando datos decadiarios de humedad del suelo, profundidad freática y evapotranspiración correspondientes a tres ciclos productivos de pera William`s. Esta investigación es una continuación más detallada de la anteriormente mencionada donde se ajusta la humedad del suelo a promedios diarios de cuatro ciclos consecutivos del cultivo y se incorporan al análisis datos del potencial matricial, de la salinidad del suelo y de la freática. Por lo tanto el objetivo de este estudio fue analizar y evaluar cuali-cuantitativamente la influencia del flujo capilar en la programación de los riegos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del sitio

El estudio se llevó a cabo en una parcela comercial de 1 ha con 31 hileras plantadas con perales (*Pyrus communis* L.) cv. William's, conducidos en espaldera en un marco de plantación de 4 m x 2 m (1200 pl.ha<sup>-1</sup>), ubicada a 38°51'11.38" S y 68°2'39.30" O. Se consideraron cuatro ciclos productivos 2013-2014; 2014-2015; 2015-2016 y 2016-2017 que se extendieron de octubre a marzo inclusive. El riego fue por gravedad en 15 melgas de 8 m x 100 m delimitadas por bordos y sin desagüe al pie. Se utilizaron caudales de 30-35 l.s<sup>-1</sup> con un tiempo de riego de 19-20 hs para toda la parcela y con una infiltración básica de 6-8 mm.hs<sup>-1</sup>.

Los suelos son de origen aluvial, el régimen de humedad corresponde al arídico y el de temperatura es térmico, lo que reflejan las condiciones de déficit hídrico durante todo el año (CIL, 1991). La precipitación media anual del período 2013 - 2017 fue de 216 mm y las temperaturas máxima y mínima medias fueron 22°C y 6.6°C respectivamente. En la Tabla 1 se consignan los valores de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) correspondientes a los ciclos del cultivo. Los datos climáticos fueron obtenidos de la estación meteorológica instalada en la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue (38°50'41" S; 68°04'09" O) a 282 msnm, ubicada a 2400 m de la parcela en estudio.

**Tabla 1. Registro de precipitaciones y evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) de los ciclos 2013 al 2017.**

Meses	Registro de precipitaciones (mm)				ET <sub>o</sub> (mm)			
	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17
Setiembre	16.8	25.4	19.0	2.5	84.0	90.0	84.0	81.7
Octubre	40.4	51.6	16.6	186.6	118.3	99.0	98.2	92.5
Noviembre	0.2	9.4	2.4	4.8	99.5	134.0	135.9	125.4
Diciembre	0.2	8.8	0.4	2.8	171.6	145.0	145.9	152.4
Enero	0.0	5.2	21.8	0.0	167.0	155.3	140.7	155.8
Febrero	3.2	8.0	17.8	5.6	113.0	117.8	120.1	108.8
Marzo	0.4	0.4	4.0	12.3	98.4	97.4	86.3	81.4
<b>Total</b>	<b>61.2</b>	<b>108.8</b>	<b>82.0</b>	<b>214.6</b>	<b>851.8</b>	<b>838.5</b>	<b>811.1</b>	<b>798.0</b>

El suelo es de textura franco arcillo limosa en superficie y franco limosa hacia la profundidad, con presencia de capa freática poco profunda, clasificado como Acuicambid típico familia limosa fina, moderadamente bien drenado (Soil Survey Staff, 2014) y la conductividad hidráulica saturada fue  $K_s = 0.6 \text{ m.día}^{-1}$ . Por debajo de 1.50 m de profundidad se encuentra un manto de grava (aluvión grueso) de alta permeabilidad ( $K_s = 80 \text{ m.día}^{-1}$ ) y espesor  $D = 8.50 \text{ m}$  (CIL, 1991). En el perfil de exploración radicular, entre plantas y sobre la hilera de plantación, se colocaron diez (10) sensores Decagon Devices (Pullman, Washington, USA). Se utilizó el modelo EC-5 para determinar el contenido de humedad a 0.20, 0.40 y 0.60 m de profundidad. Con el sensor MPS-2 se midió el potencial mátrico y con el sensor 5TE la salinidad de la solución del suelo, ambos ubicados a 0.40 m de profundidad. Se colocó un sensor específico modelo CTD para medir la profundidad y salinidad de la capa freática. Los sensores fueron calibrados en laboratorio antes de su colocación. En diferentes

sectores del cultivo se realizaron muestreos periódicos a campo con barreno para controlar los valores obtenidos por los sensores. Los datos horarios almacenados en el datalogger fueron transformados en promedios diarios de cada ciclo, en correspondencia con los datos disponibles de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) calculada según Penman-Monteith por una sub-rutina del programa WinIsaregv-1.3.1 (Pereira et al., 2003).

Se determinaron en laboratorio las constantes hidrofísicas para cada horizonte del suelo tales como: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), las curvas de retención hídrica sobre cinco (5) muestras disturbadas (Richards, 1956) y la densidad aparente (método del cilindro). Se realizó el ajuste de la curva de retención hídrica con el modelo Van Genuchten-Mualen ( $m = 1-1/n$ , programa RETC) (Van Genuchten, 1991). Los parámetros del modelo a ajustar fueron: inversa del potencial de entrada de aire  $\alpha = 0.0049$ , distribución de tamaño de poros

$\lambda = -0.292$  y parámetro empírico que afecta la forma de la curva de retención  $n = 1.67$ .

El nivel de agotamiento permisible del agua del suelo (NAP) se determinó teniendo en cuenta las fases de desarrollo del cultivo y la correspondiente evapotranspiración (Allen et al., 2006) fluctuando entre el 40% y 60% del agua útil (CC-PMP). Los valores de NAP tabulados son ajustados por el programa WinIsareg en función del contenido de sales del suelo (Campos et al., 2003) según la ecuación (1):

$$NAP_{aj} = NAP_{tab} [b(CEe - CE_{e_{umbral}})] NAP_{tab} \quad (1)$$

donde CEe es la conductividad eléctrica del extracto saturado de la zona radicular ( $dS.m^{-1}$ );  $CE_{e_{umbral}}$  es el nivel crítico a partir del cual la productividad del cultivo comienza a disminuir ( $dS.m^{-1}$ ); b es la tasa de reducción de la producción por unidad de aumento de CEe [ $\%/(dS.m^{-1})$ ]. Los valores tabulados

(Rhoades et al., 1992) aplicables en el caso de frutales de pepita son (ecuación 2):

$$CE_{e_{umbral}} = 1.7 \frac{dS}{mb} = 21\% \frac{dS}{m} \quad (2)$$

El agua fácilmente aprovechable (AFA) se definió como el contenido de humedad entre CC y el NAP, no produce estrés hídrico y la evapotranspiración del cultivo es máxima (ETm).

En la Tabla 2 se detallan los valores de las constantes hidrofísicas y de los diferentes niveles de agotamiento permisible del agua en el suelo. Los porcentajes de humedad a los diferentes niveles críticos del agua útil correspondieron a los períodos de mínima, media y máxima evapotranspiración del cultivo, siendo del 60% en las fases de brotación-floración y senescencia; del 50% en la fase de crecimiento del brote y desarrollo vegetativo y del 40% en la fase de pleno desarrollo del fruto y de cosecha.

**Tabla 2. Contenidos de agua volumétrica a capacidad de campo (CC), punto de marchites permanente (PMP) y niveles de agotamiento permisible del agua en el suelo (NAP).**

Profundidad (m)	CC (%)	PMP (%)	Densidad aparente ( $Mg.m^{-3}$ )	NAP <sub>tab</sub>		
				0.6	0.5	0.4
0.00 - 0.15	40.5	18.9	1.35	Valor medio (%)		
0.15 - 0.30	47.7	17.9	1.40	26.8	29.4	31.9
0.30 - 0.60	39.8	15.2	1.43			

Se determinó profundidad de enraizamiento colocando en el perfil del suelo un cuadrante de 1 m x 1 m dividido en cuadrículas de 10 cm x 10 cm. La distribución de raíces dentro de cada cuadrícula fue mapeada después de remover una capa delgada de suelo para poner al descubierto las raíces del cultivo. Se cuantificaron raíces menores a 2 mm y entre 2 a 5 mm (Aruani, 2009). Se obtuvo un factor de ponderación con los porcentajes de raíces a diferentes profundidades para definir el contenido medio de humedad en el perfil del suelo.

Se calculó el Potencial Total del agua del suelo (Potencial Hídrico), expresado en kPa, como suma del Potencial mátrico más el Potencial osmótico. Previamente se convirtieron los valores de salinidad de la solución del suelo mediante la expresión de Richards (1956) (ecuación 3):

$$\Psi_o = -0.36 CEe \quad (3)$$

dónde  $\Psi_o$  es el potencial osmótico (bar); CEe es la conductividad eléctrica del extracto de saturación ( $dS.m^{-1}$ ).

Al momento de cosecha, se recolectó el total de frutos de cinco (5) árboles seleccionados al azar en cada ciclo. Se pesaron todos los frutos para determinar rendimiento total y se expresó en  $t.ha^{-1}$ .

### Simulación del balance de agua del suelo

Se utilizó el programa WinIsareg para determinar el balance hídrico y programación de riegos. Los datos de entrada que utilizó el programa fueron variables climáticas: temperatura, humedad relativa, radiación, viento y precipitación; variables del suelo: textura, CC y PMP y parámetros del cultivo: coeficiente de cultivo (Kc) correspondiente a cada fase de desarrollo, profundidad de enraizamiento y NAP<sub>tab</sub>. Las fases del cultivo consideradas fueron: brotación-

floración que se extendió desde la tercera semana de septiembre a la segunda de octubre; la fase de crecimiento del brote y desarrollo vegetativo hasta la última semana de noviembre; la de crecimiento del fruto que se extendió hasta la última semana de diciembre; la fase de pleno desarrollo del fruto y cosecha hasta la última semana de enero, y finalmente la fase de postcosecha y senescencia desde febrero hasta fines de abril (Requena, 2001). Este programa además permitió introducir los datos del contenido de humedad del suelo registrados por los sensores.

El WinIsareg se utilizó en tres escenarios característicos: a) balance hídrico en condiciones reales del sitio con presencia de capa freática poco profunda, b) ajuste de la programación del riego en condiciones reales y c) balance hídrico y programación del riego en condiciones óptimas para el cultivo, sin aporte de flujo capilar.

#### a) Condiciones reales

Para evaluar la bondad del modelo WinIsareg se utilizaron predicciones cualitativas y estrategias estadísticas. Se siguió un procedimiento iterativo que minimiza las diferencias entre los contenidos de agua en el suelo medidos por los sensores y los calculados, ajustando los coeficientes  $K_c$  en función de la humedad presente en el perfil. El grado de asociación entre estos valores fue calculado mediante el coeficiente de correlación ( $\rho$ ) y el coeficiente de variación del error (RMSE) que mide la bondad del ajuste. Los valores de humedad en el perfil del suelo se promediaron ponderados por el porcentual de raíces según profundidad. Para esta simulación se consideraron los riegos realizados, obteniéndose como resultado las láminas de reposición (ETa) y las dotaciones ( $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$ ) media y máxima.

#### b) Ajuste de la programación

Con los coeficientes obtenidos en el inciso precedente ( $K_c$  ajustados), se simuló una re-programación de riegos con la condición que el contenido de humedad del suelo durante el ciclo de cultivo se encuentre siempre dentro del AFA. Se obtuvo la evapotranspiración ETm, la cantidad de riegos y fecha de realización.

#### c) Condiciones óptimas

Se realizó un balance hídrico en condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo, sin estrés hídrico y con

capa freática profunda, utilizando coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) obtenidos localmente en lisímetros (Requena et al., 2016). Dichos coeficientes representan la demanda de agua y varían según las fases fenológicas (Allen et al., 2006). Como resultado se obtuvo la ETc diaria, cantidad de riegos y fecha de realización, lámina neta de aplicación en cada riego y dotaciones media y máxima en cada uno de los cuatro ciclos estudiados.

Conocidas las láminas de reposición (ETa) en la situación real y calculados los requerimientos hídricos del cultivo (ETc), se pudo estimar el aporte capilar ( $q$ ) desde la freática (ecuación 4):

$$q = ETc - ETa \quad (4)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de riegos realizados en el período de estudio fue diferente según los ciclos del cultivo analizados. En todos los casos el primer riego se realizó en la tercera o cuarta semana de octubre. En el ciclo 2013-14 se realizaron seis riegos con intervalos de riegos variables: 30 días entre el 1° y 2° riego y de 11 a 17 días en los riegos subsiguientes. En el ciclo 2014-15 se efectuaron cinco riegos con intervalos de 25 días entre 1° y 2° riego e intervalos de 15 a 20 días en los restantes. En el ciclo 2015-16 fueron cuatro los riegos aplicados con intervalos de 30 y 20 días. En el ciclo 2016-17 se aplicaron 5 riegos con un primer intervalo de 25 días y entre 11 y 20 días los intervalos subsiguientes. En los meses de febrero y marzo, periodo de cosecha para las otras variedades de peras y manzanas, no se efectuaron riegos. El último riego se realizó en abril y es utilizado para el lavado de sales del perfil.

Los valores de contenido de humedad obtenidos por los sensores en condiciones de campo se correlacionaron positivamente con los valores medidos por el método gravimétrico ( $r = 0.75$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 10$ ). Los contenidos de humedad a diferentes profundidades se visualizan en la Figura 1 (para mejor visualización de la figura se presentan los valores de humedad del ciclo 2013-2014). En los cuatro ciclos se repitieron las siguientes situaciones: a 0.20 m de profundidad el contenido de humedad del suelo se encontró siempre por debajo del  $NAP_{aj}$ , a excepción del momento del riego. A 0.40 m de profundidad el contenido de agua en el suelo estuvo siempre dentro del AFA; la excepción fue febrero

del ciclo 2014-15 donde se manifestó algún grado de estrés. A 0.60 m de profundidad el contenido de humedad alcanzó valores superiores a CC, presentando condiciones de semi-saturación durante todo el ciclo excepto en febrero y marzo. Resultados similares fueron obtenidos en un cultivo de manzano

en la zona de Alto Valle (Montenegro et al., 2014). Los altos contenidos de humedad en el suelo al comienzo de cada ciclo se debieron a las precipitaciones ocurridas (Tabla 1) y a las prácticas de control pasivo de heladas primaverales mediante riegos por inundación (Tassara, 2005).

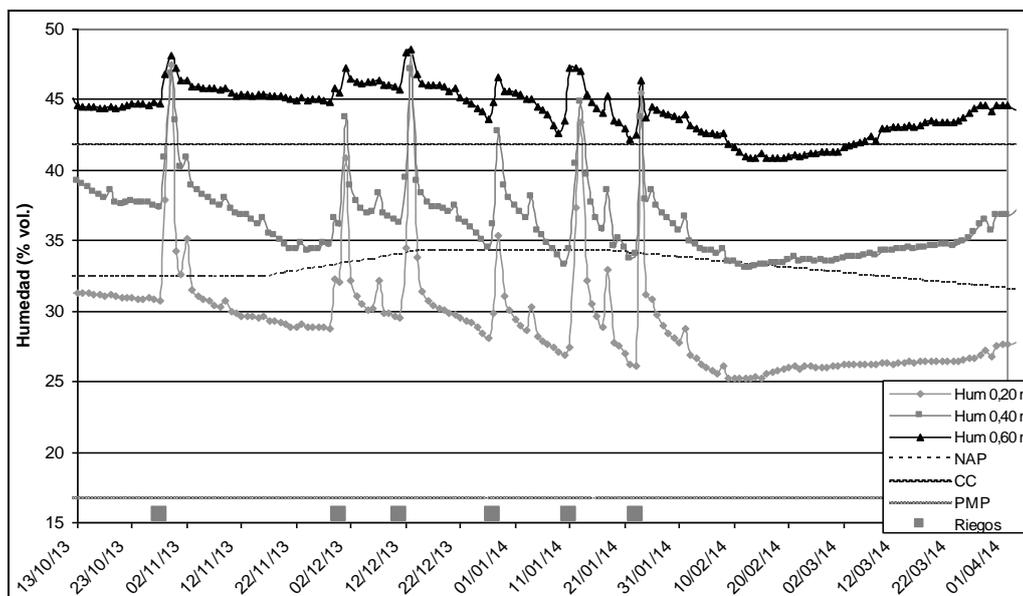


Figura 1. Contenido de Humedad en el perfil del suelo.

Para obtener el contenido de humedad promedio en la zona de raíces se utilizó un factor de ponderación. Las raíces activas del cultivo considerado se encontraron dentro de los 0.70 m (Aruani, 2009) de las cuales, el 30% se distribuyeron a 0.20 m de profundidad, el 32% se encontró a 0.40 m, el 23% a 0.60 m y el 15% restante a 0.70 m. Los valores de humedad obtenidos por los sensores a 0.40 m de profundidad se correlacionaron positivamente con los valores de humedad calculados como promedios ponderados ( $r = 0.97$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 229$ ).

Los datos de potencial mátrico (sensor MPS-2) a 0.40 m de profundidad fueron ajustados en función de las curvas de retención hídrica ( $R^2 = 0.94$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 38$ ). Se asumieron valores de -60 kPa para el periodo crítico (dic-ene) y -100 kPa para el resto del ciclo del cultivo como niveles de agotamiento del agua del suelo que no producen estrés hídrico (Hagan y Stewart, 1972). Los potenciales mátricos se encontraron dentro del AFA en el ciclo 2013-14. En el ciclo 2014-15 solo se presentaron condiciones de estrés con valores de -100 a -170 kPa entre fines de enero y fines de marzo. El ciclo 2015-16 solo presentó condiciones

leves de estrés en la segunda quincena de diciembre. El ciclo 2016-17 acusó datos faltantes de potencial.

Valores de salinidad de la solución del suelo a 0.40 m de profundidad (sensor 5TE) se correlacionaron positivamente con valores de CE<sub>e</sub> (extracto de saturación) medidos en muestras obtenidas a campo ( $r = 0.89$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 6$ ). Se realizó un ajuste por regresión de los datos obtenidos por el sensor ( $R^2 = 0.81$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 6$ ) en función de la porosidad y el contenido de humedad (sensor EC-5). El valor de referencia comúnmente aceptado para definir como salino a un suelo es CE<sub>e</sub> > 4.0 dS.m<sup>-1</sup>. Valores registrados al comienzo y final de cada ciclo como también otros característicos de cada periodo figuran en la Tabla 3.

Las variaciones en el contenido de humedad del suelo debido a los aportes (riego, lluvia, capilaridad) y pérdidas (evapotranspiración) explican la dinámica salina en la rizósfera. Los incrementos observados en la CE de la solución del suelo acusados por el sensor se produjeron, como era de esperar, en los periodos previos a los riegos y/o lluvias. Estos incrementos, variables según el intervalo entre

riegos, oscilaron entre 0.5 y 1.4 dS.m<sup>-1</sup>. Las láminas de percolación permitieron el descenso de la salinidad en los días posteriores a cada riego. La duración de estos ciclos en la dinámica salina fue de 20/25 días en octubre/noviembre y 10/15 días en diciembre/enero.

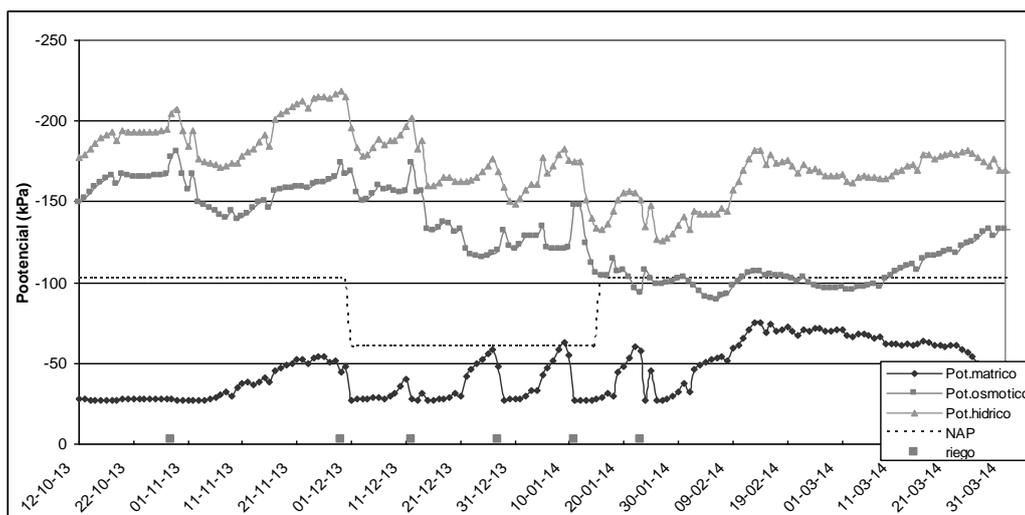
**Tabla 3. Valores de Conductividad Eléctrica del extracto saturado (CEe) a 0.40 m de profundidad.**

CEe (dS.m <sup>-1</sup> )	Ciclos de cultivo			
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
CEe inic.	3.36	2.54	2.78	2.54
CEe fin.	2.78	3.03	2.62	2.29
CEe min.	1.96	1.79	2.12	-
CEe med.	2.87	2.37	2.62	-
CEe max.	4.02	3.03	3.44	-

Los potenciales hídricos obtenidos en todos los ciclos estudiados arrojaron valores inferiores a los de

referencia, afectando en distinto grado la ETc. Al comienzo de la temporada (octubre – noviembre) los ciclos 2014-15, 2015-16, 2016-17 presentaron valores entre -100 y -150 kPa, que representan un grado de estrés leve (Hagan y Stewart, 1972). Según Marsal. et al., (2002) el rendimiento relativo no se ve afectado por déficits de ETc de 15-20 %. En el ciclo 2013-14 los potenciales variaron entre -150 y -200 kPa. Molina-Ochoa et al. (2015) determinaron que disminuyendo el potencial hídrico en la fase de crecimiento rápido del fruto a -100 kPa no se observaron diferencias significativas en los rendimientos.

En diciembre-enero se registraron potenciales entre -150 y -200 kPa excepto en el ciclo 2014-15 y segunda quincena de enero 2013-14 con valores entre -100 y -150 kPa. En febrero-marzo se registraron potenciales de -150 a -200 kPa a excepción del ciclo 2014-15 con valores de -200 a -250 kPa. En la Figura 2 se observa la evolución de los potenciales del agua del suelo en uno de los ciclos estudiados.



**Figura 2. Potencial total del agua del suelo a 0.40 m de profundidad, ciclo 2013-2014.**

Los niveles freáticos (NF) registrados por el sensor CTD mostraron variaciones similares entre los diferentes ciclos productivos. Posterior a cada riego los niveles ascendieron a escasos centímetros de la superficie como consecuencia de las pérdidas por percolación profunda (Figura 3).

La recuperación de los niveles previos al riego se produjo entre los 6 y 10 días de finalizado el riego como consecuencia del drenaje natural, a una velocidad de 10 a 15 cm.d<sup>-1</sup>. Las recargas puntuales debidas a riegos en áreas vecinas y una alta permeabilidad del estrato subyacente inciden en la

dinámica freática de la parcela y explican las variaciones en su velocidad de descenso.

Las mayores profundidades de la capa freática, 1.42 m a 1.49 m según el ciclo de cultivo, se observaron en el periodo comprendido entre la segunda quincena de enero y mediados de marzo, coincidente con la cancelación de riegos en tiempo de cosecha. Las profundidades medias fluctuaron, según la temporada, entre 1.00 m y 1.10 m. La Figura 4 representa la variación de los niveles freáticos a lo largo de todo el periodo estudiado, observándose un equilibrio dinámico como resultado de los procesos de recarga y

descarga del acuífero. Según FAO (1985) y experiencias locales (FCA UNCo-INTA) la profundidad crítica del nivel freático para suelos de textura media y cultivos frutícolas oscila entre 1.40 – 1.60 m. La franja capilar, de espesor variable, es la

zona por encima de la capa freática donde se mantienen las condiciones de casi saturación, va disminuyendo progresivamente hacia la superficie y puede abastecer parcial o totalmente la demanda evapotranspiratoria del cultivo (Grassi, 1998).

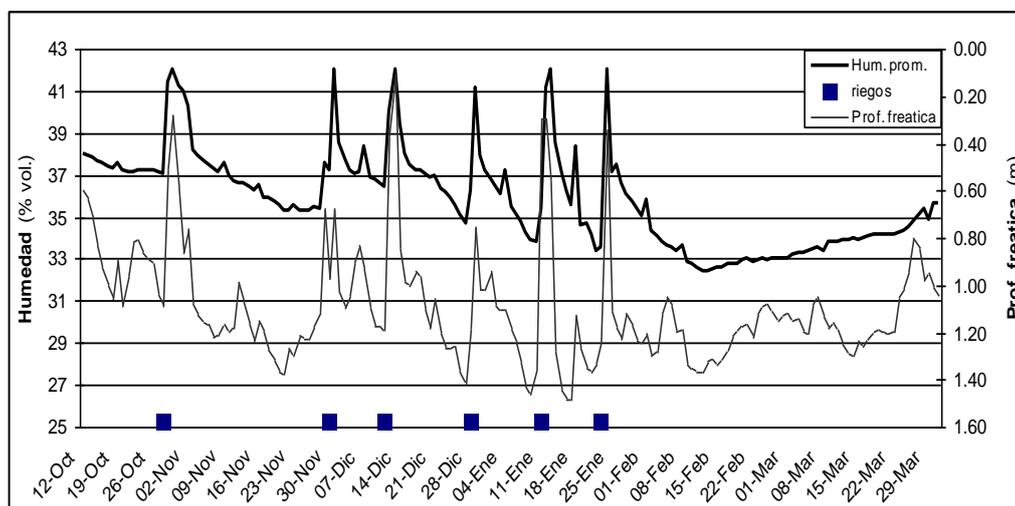


Figura 3. Niveles freáticos y Contenido promedio de humedad en el suelo, ciclo 2013-2014.

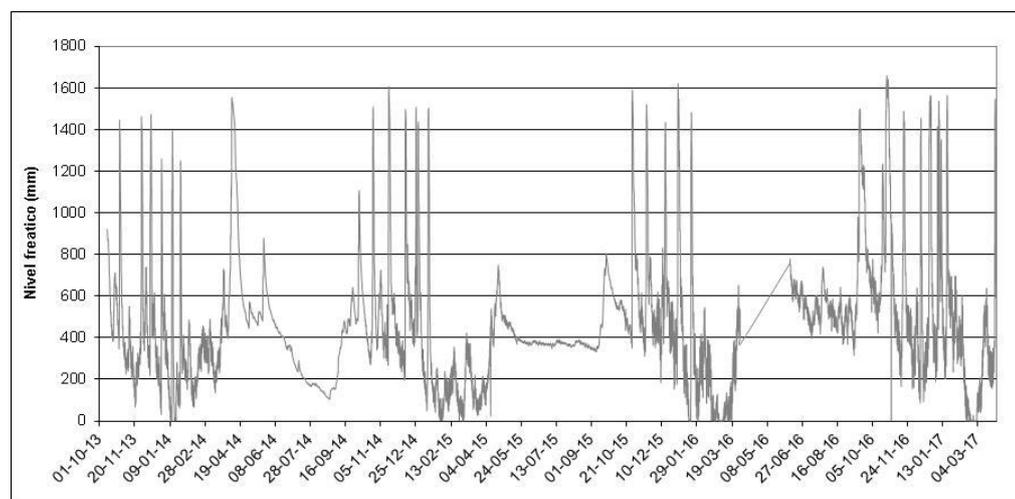


Figura 4. Fluctuación de los niveles freáticos en el periodo 2013-2017.

La salinidad del agua freática fluctuó en función de los aportes por percolación profunda del riego parcelario. Los promedios por temporada variaron entre 1.5 dS.m<sup>-1</sup> y 1.6 dS.m<sup>-1</sup> con máximos que excepcionalmente sobrepasaron los 2.5 dS.m<sup>-1</sup>. A mediados de abril, ya realizado el último riego de temporada, los valores de CE oscilaron entre 1.2 dS.m<sup>-1</sup> y 1.6 dS.m<sup>-1</sup>. A comienzos de cada ciclo la salinidad de la freática fue diferente dependiendo de la mayor o menor ocurrencia de las lluvias otoño

invernales. En la temporada 2013-14 recibió una lluvia excepcional de 140 mm a finales del ciclo y los valores inicial y final de CE fueron 1.8 y 2.4 dS.m<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras que en las otras temporadas los valores de finales de ciclo fueron inferiores a los de comienzo de ciclo: CE = 2.4 – 1.4 dS.m<sup>-1</sup> (ciclo 2014-15), 1.5 – 1.2 dS.m<sup>-1</sup> (ciclo 2015-16) y 3.0 – 1.7 dS.m<sup>-1</sup> (ciclo 2016-17). Como dato de referencia la salinidad del agua de riego presenta una CE = 0.23 dS.m<sup>-1</sup> (CIL, 1991).

**Programa WinIsareg**

Se utilizó el modelo WinIsareg en el cálculo del balance hídrico y programación del riego. En primera instancia se efectuó un balance hídrico teniendo en cuenta los riegos efectivamente realizados y las condiciones del cultivo, suelo y clima ya especificados. El contenido promedio de humedad del perfil del suelo registrado por los sensores permitió ajustar el balance hídrico simulado modificando los Kc experimentales (Requena et al.,

2016). En la Figura 5 se grafica el resultado del ajuste logrado en uno de los ciclos (2013-2014).

Los nuevos coeficientes representan la variación del contenido de humedad del suelo como resultado de los aportes de los riegos, precipitaciones y flujo capilar y el consumo por evapotranspiración. El programa considera el flujo capilar cuando es ingresado como dato al modelo (Liu et al., 2006). Los estadísticos que miden la calidad del ajuste se indican en la Tabla 4.

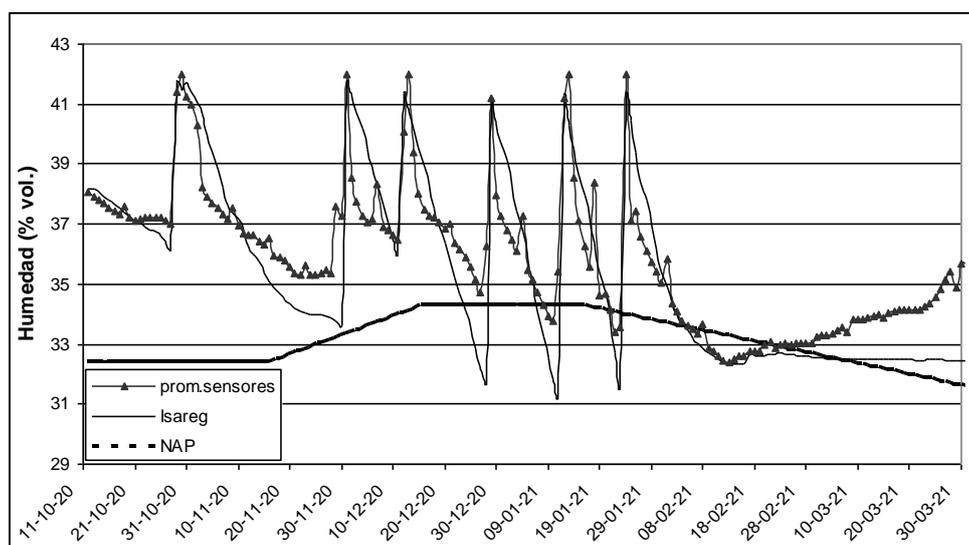


Figura 5. Comparación Balance hídrico simulado vs. Contenido de humedad promedio de sensores.

Tabla 4. Medida de la calidad del ajuste entre valores calculados por WinIsareg y el contenido de humedad promedio en el perfil de exploración radicular.

Ciclo	Error medio (EM)	Coef. VariaciónError (RMSE)	Coef. Correlación (r)
2013-2014	1.44	4.0	0.89
2014-2015	2.15	6.2	0.94
2015-2016	0.89	2.5	0.90
2016-2017	2.16	6.0	0.88

En la Tabla 5 figuran los resultados obtenidos de la simulación del balance hídrico en las condiciones reales de manejo del riego. La relación  $ETa/ETm$  representa la comparación entre la lámina de reposición ( $ETa$ ) que surge de dicha simulación con la esperada ( $ETm$ ) en condiciones de balance hídrico dentro de la franja del AFA (Figura 6).

Se observaron dos situaciones comunes a todos los ciclos a excepción de la que comprende el ciclo 2015-16 con un estrés hídrico leve solo en diciembre:

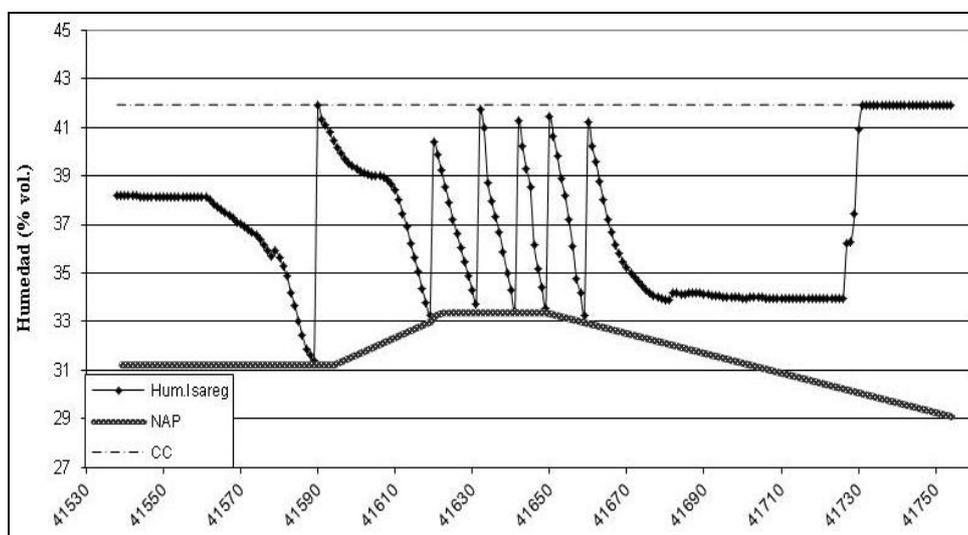
- a) En los meses de octubre, noviembre y diciembre, con los tres primeros riegos efectuados, el agotamiento del agua en el suelo no llegó al límite inferior del AFA (NAP). Este contenido de humedad del suelo, entre capacidad de campo y el umbral de riego, es favorable para que el fruto alcance el 80% de su peso final (Requena, 2001).
- b) A partir de enero y hasta fines de marzo se manifestó cierto grado de stress ya que los niveles de humedad del suelo se encontraron por debajo del NAP. Shaozhong et al., (2002) demostraron que los perales en condiciones de stress de agua y presencia de capa freática poco profunda extraen eficientemente el agua de la franja capilar. Además, se evita un crecimiento vegetativo no deseado al disminuir el consumo de agua al final del ciclo del

cultivo (Requena, 2001). Los resultados obtenidos a partir de estos balances hídricos en condiciones reales considerando los riegos realizados, mostraron frecuencias de riego inadecuadas, ya sea por exceso o por defecto. Seguidamente se realizaron simulaciones bajo condiciones de balance hídrico y programación dentro de la franja del AFA a fin de

ajustar la oportunidad del riego, donde el periodo considerado se extendió hasta el momento posterior a la cosecha. El programa reordenó las frecuencias de riego en base al esquema de riegos efectuado por el productor en los ciclos estudiados. En la Figura 6 se presenta el resultado de la simulación para la temporada 2013-2014.

**Tabla 5. Dotación y lámina de reposición en condiciones reales.**

Ciclo	ETa (mm)	Lam neta media(mm)	Dotación media (l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Dotación máxima (l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	ETm (mm)	ETa/ETm	Cantidad de Riegos
2013-2014	413.2	65	0.24	0.72	419.0	0.99	6
2014-2015	510.9	70	0.30	0.91	534.9	0.96	5
2015-2016	272.1	60	0.16	0.40	272.1	1.00	4
2016-2017	403.4	70	0.23	0.91	411.8	0.98	5



**Figura 6. Reprogramación de riegos.**

Como resultado aumentó a siete el número de riegos, sin modificar la dotación media ya que la relación ETa/ETm fue prácticamente 1 (ver Tabla 5). Una síntesis de los resultados se visualiza en la Tabla 6.

**Tabla 6. Programación de riegos propuesta. Síntesis de las temporadas.**

Riego	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Fecha (semana)	4° oct	4° nov	3° dic	4° dic	2° ene	3° ene	4° ene
Intervalo (días)	30	20	15	10	7	7	

Según Villarreal y Santagni (2004) un monte frutal de pera William's en plena producción y sin restricciones para el desarrollo tiene un rendimiento estándar de 50 t.ha<sup>-1</sup>. En los ciclos analizados se

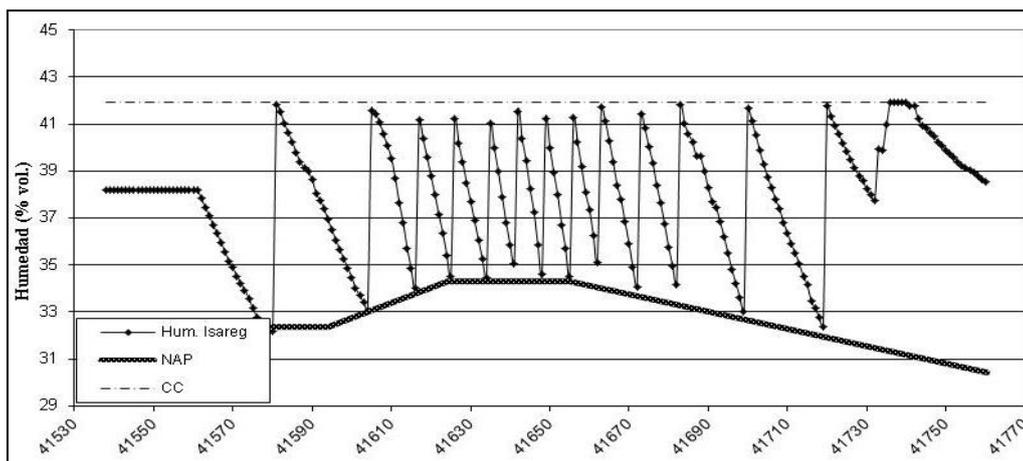
midieron los rendimientos del cultivo (Aruani, 2010; Aruani et al., 2014) que fueron coincidentes con el valor estándar mencionado.

Para conocer los requerimientos hídricos del cultivo en esta situación sin restricciones y considerando al riego como el único aporte de agua al perfil radicular, se ejecutó la opción de balance hídrico y programación de riegos dentro de la franja del AFA. Los Kc utilizados, obtenidos en los lisímetros de la EERA-INTA Alto Valle, de octubre a abril fueron: 0.6, 0.8, 1.14, 1.35, 1.18, 0.97, 0.9 respectivamente.

Los resultados obtenidos en cada ciclo figuran en la Tabla 7 y el gráfico del balance hídrico y programación de riegos correspondiente al ciclo 2013-2014 se observa en la Figura 7.

**Tabla 7. Requerimientos hídricos del peral William's**

Ciclos	ETc (mm)	Dotación media (l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Dotación máxima (l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Cantidad de Riegos
2013-14	811.0	0.47	0.93	13
2014-15	800.7	0.46	0.83	11
2015-16	771.2	0.45	0.75	11
2016-17	760.6	0.44	0.79	11



**Figura 7. Balance hídrico y programación del riego sin Aporte capilar.**

Los aportes del flujo capilar a la rizósfera se estimaron a partir de los balances hídricos obtenidos con las simulaciones realizadas en condiciones de presencia y ausencia de capa freática. A través de los datos de humedad del suelo medidos a campo (Figura 1) se observó que en todos los ciclos estudiados, durante los meses de octubre a enero inclusive, el flujo capilar se manifestó hasta los 0.60 m de profundidad dado que los sensores indicaban condiciones de semi-saturación con porcentajes superiores a capacidad de campo. En el período de cosecha (febrero-marzo), al no registrarse riegos, el ascenso capilar se mantuvo por debajo del nivel mencionado. Este aporte desde la freática conjuntamente con el de los riegos efectuados (Tabla 5), logró mantener el balance de humedad del suelo en condiciones satisfactorias para el desarrollo pleno del cultivo. En la Tabla 8 figura el aporte del flujo capilar calculado en función de la lámina de reposición (ETa) y del requerimiento hídrico del cultivo (ETc).

El análisis de la información presente en las Tablas 5, 6 y 7 permitió contrastar los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas bajo situación real del cultivo con las realizadas en condiciones donde el flujo capilar no ingresa a la rizósfera. El aporte promedio del flujo capilar a la rizósfera fue de 390 mm ± 100 mm y representa

una significativa contribución a las necesidades de agua del peral, llegando a cubrir en algunas situaciones hasta dos terceras partes de las mismas. La incidencia en el calendario de riegos, teniendo en cuenta la reprogramación propuesta, se manifiesta en el número de riegos y en el caudal medio por unidad de superficie (dotación). Los riegos se reducen de 11 a 7 y la dotación media de 44-47 l.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> a 16-30 l.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 8. Cálculo del aporte por flujo capilar.**

Ciclos	ETa (mm)	ETc (mm)	Aporte flujo capilar	
			(q = mm)	% ETc
2013-14	413.2	811.0	397.8	49
2014-15	510.9	800.7	289.8	36
2015-16	272.1	771.2	499.1	65
2016-17	403.4	760.6	357.2	47

**CONCLUSIONES**

La profundidad promedio de la capa freática a lo largo de los cuatro ciclos analizados fue de 1.00 m a 1.10 m, fluctuando entre los 0.10 m después de cada riego y valores cercanos a 1.50 m en post-cosecha. La CE promedio en cada uno de los ciclos fue 1.55 dS.m<sup>-1</sup>. Al final de cada ciclo los valores de CE

fueron inferiores a los del comienzo, excepto en la temporada 2013-2014.

El flujo capilar durante el ciclo del cultivo ascendió hasta 0.60 m de profundidad y ocasionalmente a 0.40 m. El aporte desde la freática significó entre 1/3 y 2/3 de las necesidades de agua del peral y redujo un 36 % el número de riegos.

La condición de suelo no salino se mantuvo al finalizar cada ciclo y el potencial hídrico del suelo medido a 0.40 m de profundidad fue de -100 a -200 kPa, excepcionalmente de -250 kPa.

Los coeficientes Kaj, resultantes de la calibración del modelo, fueron menores a los Kc experimentales en un 50% en promedio durante octubre, noviembre y diciembre; previo a cosecha fueron un 20 % menos y en postcosecha 70 %.

## REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 29 p. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), Roma, Italia.
- Alvarez, O., Galeazzi, J., Stangaferro, S. y Polla, G. (1995). Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro p. 1-93 (Informe técnico), Convenio FCA – DPA. ITAC.
- Apcarian, A., Schmid, P., Aruani, M.C. (2014). Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas en el alto Valle de Río Negro. Patagonia Norte, p. 149-182. En: P. A. Imbelone (Ed.), Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas en Argentina (pp 219). Buenos Aires, Argentina: Editorial INTA.
- Aruani, M.C. (2009). Raíces: condiciones del suelo que afectan su crecimiento. Boletín Electrónico de la FCA – UNCo 1(5):1-5. Disponible en <https://sites.google.com/site/boletinfaunco/numeros-publicados/vol-1-nro-5-dic-2009> (Consulta 19 diciembre 2020).
- Aruani, M.C. (2010). Pera Williams: suelos que la sustentan. Boletín electrónico de la FCA – UNCo 2(7):1-5. Disponible en <https://sites.google.com/site/boletinfaunco/numeros-publicados/vol-2-nro-7-jul-2010> (Consulta 19 diciembre 2020).
- Aruani, M.C., Reeb, P.D. Y Barnes, N.E. (2014). Influence of soil properties on yield and fruit maturity at harvest of ‘Williams’ pear. *Chilean J. Agric. Res.* 74(4):460-467.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1987) La calidad del agua para agricultura. Estudios FAO: Riegos y Drenajes n° 29. Roma: Re. FAO. 1987. 174p.
- Campos, A.A., Pereira, L.S., Goncalvez, J.M., Fabiao, M.S., Liu, Y., Li, Y.N., Mao, Z., Dong, B. (2003). Water saving in the Yellow River Basin. Irrigation Demand Scheduling. *Agricultural Engineering Internacional*, Vol. V. ([www.cigr-ejournal.tamu.edu](http://www.cigr-ejournal.tamu.edu)).
- Cancela, J.J., Cuesta, S., Neira, X. y Pereira, L. (2006). Modelling for improved irrigation water management in a temperature region of Northern Spain. *Biosystems Eng.* 94(1):151– 63. doi:10.1016/j.biosystemseng.
- Chaterlan, Y., Duarte, C., León, M., Pereira, L.S., Teodoro, P.R. y García, R.R. (2010). Determinación de coeficientes de cultivo para cultivos hortícola en Cuba, a través de la simulación de balance hídrico y experimentos de campo. *Rev. Cie. Téc. Agr.* 9(1):90-95.
- CIL. (1991). Estudio para el Aprovechamiento Integral del Río Negro. Etapa II. Informe final. 643 p. Consorcio Inconas Latinoconsult (CIL), Buenos Aires, Argentina.
- Crawford, R.M.M. (1982). Physiological responses to flooding. In: Lange OL, Noble PS, Osmond CB, Ziegler H (eds) Physiological plant ecology. Vol II: water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of plant physiology, new series. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 453–477.
- FAO. (1985). Elementos para el proyecto de drenajes. 40 p. Estudio Riego y Drenaje N° 38. Roma, Italia.
- Galeazzi, J., Pesan, P., Muñoz, J., Signorelli, V. y Quiroga, J. (2007). Análisis del comportamiento de los niveles freáticos en un área piloto del Alto Valle de Río Negro. 10 p. En IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I Mercosur. 19-22 Setiembre. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 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. p. 309-316. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar. Plottier, Neuquén, Argentina.
- Galeazzi, J.O., y 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.
- Grassi, C.J. (1998). Fundamentos del riego. 3era

- ed.393 p. CIDIAT, Venezuela.
- Grasso, J., Cadenazzi, M., Giménez, L. (2018). Evaluación del modelo de simulación WinIsareg para soja en el litoral oeste del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, vol. 221:98-106. ISSN 1510 0839.
- Hagan, R.M., Stewart, J.I. (1972). Water deficits irrigation design and programming. *J of the Ir&Dr Div. ASCE*, 98 (IR2), Proc. Paper 8955, pp 215-237.
- Liu, Y., Pereira, L.S. y Fernando, R.M. (2006). Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils; Parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agric. Water Manage.* 84:27-40. doi:10.1016/j.agwat.2006.01.018.
- Marizza, M., Galeazzi, J., Vives, L., y Nittmann, J. (2009). Modelación del flujo subterráneo en un área piloto del Alto Valle de Río Negro. En VI Congreso Argentino de Hidrogeología. 24-28 agosto. Santa Rosa, La Pampa. Argentina.
- Marsal, J., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J. y Girona, J. (2002). Water stress limits for vegetative and reproductive growth of 'Barlett' pears. *Acta Horticulturae*, 596:659-663.
- Molina-Ochoa, M.J., Vélez-Sánchez, J.V. y Rodríguez, P. (2015). Efecto del riego controlado en las tasas de crecimiento de fruto de pera (*Pyrus communis* L.) variedad Triunfo de Viena. *Rev. Colomb. Cienc. Agric.* 9(2):234-246. doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4179>.
- Montenegro, A., Galeazzi, J., Polla, G. y Aramayo, V. (2014). Manejo del riego en un monte frutal con niveles freáticos críticos. Aplicación del modelo de balance hídrico WinIsareg. 9 p. 2º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH). Santa Fe, Argentina.
- Ortiz Maldonado, G. y Carmona, V. (2008). Comportamiento y clasificación de riesgo freático. Lavalle, Mendoza, Argentina. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XL. N° 2. 25-40. Mendoza – Argentina.
- Pereira, L.S., Teodoro, P.R., Rodrigues, P.N. and Teixeira; J.L. (2003). Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. p. 161-180. In Rossi, G., A. Cancelliere, L.S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, A. Zairi (eds). Tools for drought mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Pereira L. S. (2010). Water balance and irrigation scheduling simulation model. The WinIsareg model. Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon. CEER-Biosystems Engineering. Lisboa, Portugal.
- Requena, A. (2001). Peras, riego y calidad. Lo importante no es la cantidad de agua sino cuando es aplicada. Rompecabezas Tecnológico. *Publicaciones Regionales EEA Alto Valle* 29:18-21.
- Requena, A., Ponce, V., Sánchez, L. y Castillo, E. (2016). Riego por goteo en frutales en producción. Peras Abate Fetel y Beurré D'Anjou. *Revista F&D. Publicaciones Regionales EEA Alto Valle* 78:34-39.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A. y Mashali, A.M. (1992). The use of saline waters for crop production. FAO: Estudio de Riego y Drenaje No. 48. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 133 páginas.
- Richards, L.A. (1956). Sample retainers for measuring water retention by soil. *Soil Sci. Am. Proc.* 20:301-303.
- Saleh, H.H. y Troeh, F.R. (1982). Salt distribution and water consumption from a water table with and without a crop. *Agron. J.* 74(2): 321-324. doi:10.2134/agronj1982.00021962007400020015x.
- Sepaskhah, A.R., Kanooni, A. y Ghasemi, M.M. (2003). Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. *Agricul. Water Manag.* 58:67-79.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2017). Anuario Estadístico 2017 - Centro Regional Patagonia Norte. [en línea]. Argentina. 154 p. [[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario\\_estadistico2017c.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_estadistico2017c.pdf)]. [Consulta: marzo 2021].
- Shaozhong, K., Xiaotao, H., Goodwin, I. y Jerie, P. (2002). Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Scientia Horticulturae* 92(3-4):277-291. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00300-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00300-4).
- Smith, A., Pollock, D. y Palmer, D. (2009). Ord River Irrigation Area annual groundwater elevation and water-table depth 1995 to 2008. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship. Rev. A.
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA.
- Soppe, R.W.O. y Ayars, J.E. (2003). Characterizing ground water use by sunflower using weighing lysimeters. *Agricul. Water Manag.* 60:59-71. doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00149-X.
- Tassara, M. (2005). Defensa contra heladas. *Revista F&D. Publicaciones Regionales EEA Alto Valle*.

45:20-24.

Van Genuchten, M.Th., Leij, F.J. y Yates, S.R. (1991). The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. 85 p. US Salinity Laboratory, Riverside, California, USA.

Villarreal, P. y Santagni, A. (2004). Pautas tecnológicas frutales de pepita: Manejo y análisis económico financiero. Estación Experimental Agropecuario Alto Valle. Centro Regional Patagonia Norte. p 126. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-pautas\\_pepita.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-pautas_pepita.pdf)(Consulta 16 diciembre 2020).

Xiaopeng Li, X. Chang, S. y Salifu, K. F. (2013). Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: *Revisión ambiental* 22(1):1-10. doi:10.1139 / er-2013-0035.

Zairi, A., Amami, H.E.I., Slatni, A., Pereira, L., Rodríguez, P.N. y Machado, T. (2003). Doping with drought: deficit irrigation strategies for cereals and field horticultural crops in Central Tunisia. In Rossi, G., A. Cancelliere, L.S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, and A. Zairi (Editors). *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean*

*Regions*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp 181–201.

### **Tipo de Publicación: ARTÍCULO.**

***Trabajo recibido el 02/08/2021 y aprobado para su publicación el 24/10/2021.***

### **COMO CITAR**

Galeazzi, J. O. y Aruani, M. C. (2021). Capa freática: su influencia en la programación del riego en frutales de pepita. *Cuadernos del CURIHAM*. 27, 9-22. DOI: <https://doi.org/10.35305/curiham.v27i.167>

*Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)*