

METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE RIEGO EN UN DISTRITO DEL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO

METHODOLOGY TO IMPROVE IRRIGATION EFFICIENCY APPLICATION IN A DISTRICT OF THE HIGH VALLEY OF RÍO NEGRO

Polla, Gabriela^{1*}

Recibido 17/10/2019
Aceptado 18/07/2020

RESUMEN

El Distrito de riego de Cipolletti (38° 56' latitud Sur y 68° 00' longitud Oeste) es uno de los distritos del Alto Valle del Río Negro. El mismo es gestionado por un consorcio de regantes, cuya función es operar y mantener un sistema que data de principios del siglo veinte, con marcadas deficiencias en su infraestructura y bajas eficiencias de aplicación. El objetivo de este trabajo consistió en mejorar los valores de eficiencia de aplicación en la parcela, a través de un riego controlado, que no produzca estrés en el cultivo de peral. Esta forma de riego consiste en reducir la lámina aplicada en determinados períodos del cultivo asegurando, que para esas condiciones, el potencial hídrico en la zona de raíces se encuentre dentro de los rangos sugeridos para una extracción máxima de agua. La herramienta utilizada fue el modelo de simulación HYDRUS-1D (Simunek et al., 2013). Dicho modelo permitió simular distintas alternativas de riego deficitario, en función del momento y la lámina aplicada. Los resultados indican que la alternativa más conveniente fue aquella que redujo la lámina de aplicación en la etapa I en un 60 % (etapa inicial de crecimiento lento), del 20% en la etapa II (crecimiento rápido) y del 90% en el período de postcosecha.

PALABRAS CLAVE: riego superficial; eficiencia de aplicación; modelos matemáticos;

ABSTRACT

The Irrigation District of Cipolletti (38° 56' South latitude and 68° 00' West longitude) is one of the districts of the Upper Valle del Río Negro, an extensive area of agriculture under irrigation. It is managed by a consortium of irrigators, whose function is to operate and maintain a system dating from the early twentieth century, with marked deficiencies in its infrastructure and low application efficiencies. The objective of this work was to improve the efficiency values of application in the plot, from a deficit irrigation that does not produce stress in the crop. This form of irrigation consists in reducing the irrigation sheet in certain periods of the crop, ensuring that for these conditions, the tensions in the root zone are within the ranges suggested for maximum water extraction. The tool used was the HYDRUS-1D simulation model (Simunek et al., 2013). This model allowed to model different alternatives of deficit irrigation, depending on the moment and the sheet applied. The results indicate that the most convenient alternative was that which reduced the application sheet in stage I by 60% (initial stage of slow growth), 20% in stage II (rapid growth) and 90% in the period postharvest

KEYWORDS: surface irrigation; application efficiency; mathematical models;

INTRODUCCIÓN

El Alto Valle de Río Negro representa un área muy extensa que abarca los valles aluviales superiores del río Negro, formando una faja angosta de 130 km de largo y ancho

variable entre 2 a 12 km. Esta área productiva comprende unas cien mil hectáreas de las cuales el 60% está bajo riego. La fruticultura constituye la principal actividad productiva en el Alto Valle de Río Negro (AVRN) liderando la producción de manzanas y peras del país.

Conceptualmente definir si un riego es suficiente (o adecuado) depende de la cantidad de agua almacenada en la rizósfera, las

Cómo citar este trabajo:

Polla, G. (2020). Metodología para mejorar la eficiencia de aplicación de riego en un distrito del Alto Valle de Río Negro. *Semiárida*, 30(1), 41-48.

¹ Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Cs. Agrarias. Cinco Saltos, Río Negro.

* gabipolla@yahoo.com.ar



pérdidas por percolación por debajo de la zona radical, las pérdidas de agua por escurrimiento al pie de la unidad de riego (solo para el caso de métodos de riego con desagüe), la uniformidad del agua aplicada y del déficit remanente en la rizósfera después del riego (Morabito et al., 2008). La eficiencia de aplicación (EAP) se define como el cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua, aplicado en la parcela (Grassi, 1998).

El método de riego por superficie (melgas y surcos) posee un predominio casi absoluto en los valles irrigados de la provincia de Río Negro, desde los comienzos de la colonización. Si bien con este método de riego, convenientemente diseñado, mantenido y operado, se pueden obtener buenas eficiencias de riego, en el Alto Valle puede alcanzar valores tan bajos como del 20-30% (Requena & Galezzi, 2011). Es decir que el 70-80% restante se pierde, atravesando la zona de raíces del cultivo, acercando la capa freática a la superficie del terreno, creando problemas de drenaje y salinizando los suelos (Requena & Galezzi, 2011). En el Estudio Integral del Río Negro (CAyEE-PRN, 1987) se registraron láminas de riego aplicadas de 158 mm en promedio, cuando la lámina de reposición debería ser de 56 mm, es decir casi tres veces la cantidad de agua necesaria (Nolting, 2004). Si se calcula el volumen anual aportado a partir del riego, se obtiene una lámina de 2500 mm de agua en promedio por temporada, siendo que el requerimiento del cultivo es de alrededor de 1000 mm, por ciclo de cultivo (Horne, 2010).

Estas pérdidas de agua son producto del diseño, mantenimiento y operación del riego superficial, que con el fin de contrarrestarlas se debe agregar una mayor cantidad de agua al suelo.

Una alternativa para mejorar la eficiencia de aplicación, sobre la parcela, sería utilizar el riego deficitario (RD). El concepto de “deficitario” indica que se produce “déficit” sobre alguna variable del sistema: potencial de

agua que están sometidas las raíces o disminución en la lámina aplicada.

“Santa Olalla et al.(2005) definieron esta forma de aplicación como una herramienta para el manejo de los cultivos que se fundamenta en la estrategia de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto sobre la producción”.

“Mitchell et al.(1984), lo detallaron como una alternativa para aumentar la eficiencia del uso del agua”. Existe otro concepto, el riego deficitario controlado (RDC), que consiste en reducir los aportes hídricos sólo en determinados momentos del ciclo de cultivo, en los que dicha reducción no afecta sensiblemente a la producción ni a la calidad de la cosecha y cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo, en particular durante los denominados periodos críticos o estado fenológicos de mayor sensibilidad al déficit hídrico (Chalmers et al., 1986).

“Gurovich & Páez (2004) definieron al riego deficitario controlado, en el caso de producción de uvas (*Vitis vinifera* L.) como una estrategia de riego que aporta menos agua que los requerimientos evapotranspirativos totales, durante algunos periodos en las diferentes etapas fenológicas de desarrollo anual”.

“English & Navaid (1996) sugirieron que es necesario considerar ciertos factores que son capaces de determinar el éxito en la aplicación de una estrategia de RDC y que se pueden dividir en factores ambientales como características del suelo, sistema de riego y clima y en factores propios de la especie como periodos críticos del cultivo, coincidencia entre el crecimiento vegetativo, el fruto y la resistencia a la sequía”.

“Girona (2005) indica que el suelo es el factor más determinante sobre el resultado de éstas estrategias de RDC”. “Sánchez et al. (1995), afirmaron que es necesario que el suelo facilite la generación de un estrés hídrico en forma rápida y que también permita a los árboles una rápida salida de este estado”. En suelos profundos, con una mayor capacidad de retención de agua, las respuestas debieran ser

mucho más lentas, tanto en la restricción como en el humedecimiento (Saavedra, 2000).

En el trabajo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 66, 2012) se utilizó el riego deficitario aplicado en tres etapas fenológicas diferentes y en una combinación de ellas, a un cultivo de peral. Los resultados obtenidos estiman la disminución del porcentaje de agua aplicada, respecto al requerimiento hídrico real en cada escenario. La alternativa elegida es aquella que reduce el uso anual del agua en un 33% y con un impacto menor sobre el crecimiento del fruto que en las otras alternativas estudiadas.

A partir de la gran cantidad de definiciones que posee el término riego deficitario, se entendió que la expresión que mejor expresaba el manejo que se aplicaría sobre el área de estudio sería “riego controlado sin estrés” (RCSE), que consiste en reducir la lámina de riego aplicada en determinados períodos del cultivo con potenciales en la zona de raíces, dentro de los rangos sugeridos por Feddes et al. (1978) de extracción máxima de agua por parte del cultivo.

La simulación de los distintos escenarios de RCSE, se realizó a partir de la aplicación de un modelo de simulación de flujo no saturado. Existen modelos de simulación que pueden ser utilizados para apoyar este tipo de metodologías, sin embargo, requieren la validación adecuada a las condiciones locales, en las que van a aplicarse (Pereira et al., 1995).

La utilización de modelos matemáticos, para la simulación del movimiento del agua en sistemas agrícolas, ha resultado una herramienta útil para desarrollar soluciones a diferentes problemas de manejo agrícola y medioambiental, la precisión de sus resultados puede estar afectada por la simplificación de las representaciones de sus balances de agua (Clemente et al., 1994; Dourado-Neto, 1998).

El objetivo de este trabajo fue definir una lámina de riego sobre las parcelas, que logre eficiencias del 60% (mayores a las actuales), a

partir de la simulación de distintos escenarios que consideren RCSE en algunos períodos del cultivo de peral, a partir de la aplicación del modelo HYDRUS-1D.

La hipótesis que plantea este trabajo es que las pautas obtenidas a través de los resultados conforman una información relevante a los efectos de elevar los valores de eficiencias de aplicación, mejorando así el uso del agua por parte de los encargados de la distribución y principalmente los usuarios o regantes.

El riego controlado sin estrés (RCSE) será la forma de manejo del riego que permita mejorar los valores de la eficiencia de aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en uno de los Distritos del Alto Valle de Río Negro-Provincia de Río Negro, denominado Distrito de riego Cipolletti (38° 56' latitud Sur y 68° 00' longitud Oeste). El mismo se encuentra ubicado en el tramo inferior del valle del río Neuquén, recostándose sobre la margen izquierda del mismo.

En la zona en estudio, el clima es continental, templado y árido. La temperatura media anual es de 15°C por lo que las necesidades de frío invernal de los frutales de hojas caducas son normalmente satisfechas. La precipitación media anual es 190 mm. Los vientos predominantes son del sector O-SO con una velocidad media de 6 km.h⁻¹, su intensidad hace necesaria la implantación de cortinas protectoras.

Los suelos clasificados desde el punto de vista textural se pueden dividir en suelos de barda (arenas muy gruesas), suelos de media barda (textura franco limosa a limosa), suelos de media costa o coluvio (texturas franco arenosa a arenosa-franco) y suelos de costa con textura arenosa (INTA-Estación Experimental Alto Valle, 1987).

Se relevaron datos meteorológicos, edafológicos, contenido de agua en el suelo, distribución de raíces, entre los más importantes, dichos datos son los requeridos para aplicar el modelo de simulación HYDRUS-1. Para obtener los datos meteorológicos se instaló una mini central meteorológica de 4 canales “Meteo-Cavadevices”. Los datos se tomaron durante el período de desarrollo del cultivo de peral

(septiembre-marzo 2013-2014), con una frecuencia semanal. La estación meteorológica posee 5 sensores: temperatura del aire, pluviómetro a cangilones, humedad relativa ambiente, radiación solar, profundidad de la capa freática y dos sensores de humedad de suelo. Los sensores de humedad de suelo de la estación meteorológica y los sensores Watermark fueron calibrados previamente a su instalación, y midieron contenido de agua volumétrico.

La parcela de estudio es propiedad de la Sr. Buschiazzo (38° 53' latitud Sur y 68° 03' 58" longitud Oeste) está cultivada con perales de variedad Williams, en espaldera, con un marco de plantación de 4 m x 2 m y con riego por melgas sin desagüe al pie. Los suelos se pueden clasificar, según su textura, en franco en los primeros 30 cm y franco-arenoso para profundidades mayores.

En dicha parcela se instalaron 2 sensores de la estación-ECH20 y 2 sensores Watermark; en ambos casos para medir humedad de suelo (contenido de agua volumétrico). La ubicación de los sensores fue a 30 y 60 cm de profundidad respectivamente, además se midió la profundidad de la capa freática.

Paralelamente se extrajeron, con igual frecuencia, muestras perturbadas de suelo a 30 y 60 cm de profundidad para determinar agua en el suelo con el método gravimétrico para compararlas con los datos medidos por los sensores. Asimismo se extrajeron muestras de suelo no perturbadas de cada estrato del perfil con el objetivo de determinar la curva de retención hídrica de cada uno de los estratos. Dicha curva se determinó en laboratorio mediante la utilización de platos de presión.

El cultivo implantado en la parcela corresponde a perales de variedad Williams, su período fenológico se extiende desde el 2 de septiembre al 30 de abril, aunque el período de simulación se realizó desde el 12 de setiembre del 2013 al 28 de febrero del 2014, ya que ese era el intervalo donde se contaba información.

La distribución de raíces utilizada fue de 40, 30, 20 y 10%, dichas densidades se distribuyeron a lo largo de profundidades de 0,20, 0,4, 0,6 y 0.8 metros respectivamente,

dicha información es requerida por el modelo HYDRUS-1.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó mediante el método de Penman-Montheit a partir de datos diarios de radiación (o nubosidad), temperatura, humedad y viento aplicando el programa Cropwat 8.0 (FAO, 2000).

Las láminas de riego se aplicaron a lo largo del período 2013-2014, en las fechas que informo el encargado de la propiedad y coincidieron con el turno de riego: 29/9, 13/10, 30/10, 8/11, 24/11, 10/12, 18/12, 26/12, 11/1, 26/1 y 19/2. Su valor fue de 200 mm y se obtuvo como un promedio de las mediciones realizadas a campo. Las observaciones de la profundidad de la capa freática, en todos los casos, superaron la profundidad de 1.70 m.

Modelo HYDRUS-1D

Para alcanzar el objetivo se utilizó el modelo matemático para zona no saturada HYDRUS-1D (Simunek et al., 2013), dicho modelo se basa en la ecuación de flujo de Richards (1), ésta permite analizar la absorción del agua por parte de las plantas y de ésta manera la absorción del agua de la raíz controla la evapotranspiración real y la recarga al agua subterránea.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad (1)$$

Donde:

θ : Contenido volumétrico (m³*m⁻³)

t : variable tiempo (días)

z : coordenada espacial en dirección de z (m)

$K(h)$: conductividad hidráulica no saturada (m*d⁻¹)

h : potencial total de agua (m)

El modelo HYDRUS-1D simula la variación del contenido de agua en el suelo en la zona de raíces considerando un flujo unidimensional, en un medio no saturado y aplicando ecuaciones de advección-dispersión para el transporte de flujo y soluto a través de la ecuación de Richards.

La aplicación del modelo HYDRUS-1D requiere de la definición de condiciones de

contorno y condiciones iniciales, ya que esto permite la resolución de la ecuación de Richards. Se consideró una columna de suelo abierto superior e inferiormente, y que fue representada a partir de la determinación de los estratos existentes en cada situación. Las condiciones de borde dependientes para la parte superior “Atmospheric Boundary Condition with Surface Layer”, en este caso el potencial de agua se controla por las condiciones externas, es decir involucra la dependencia entre el suelo y el exterior (evapotranspiración).

La condición de borde inferior fue “Variable Pressure Head”, donde se considera que la capa freática fluctúa a los largo del período.

Uno de los principales datos que requiere el modelo de simulación HYDRUS-1D, es la curva de retención hídrica, dicha curva es la relación entre el contenido de agua en el suelo y la tensión matricial. En la curva de retención se pueden identificar algunos puntos característicos: θ_s se denomina humedad de saturación y corresponde a la máxima humedad que puede tener el suelo, punto coincidente con la porosidad total, θ_r es el contenido de agua residual, los cuales variarán según el tipo de suelo. El HYDRUS-1D permite seleccionar distintos modelos para ajustar los puntos característicos de la curva de retención, entre los más importantes: Brooks y Corey, 1964; van Genuchten, 1980; Vogel y Císlerová, 1988; Kosugi, 1996; y Durner, 1994. En este trabajo la humedad de saturación (θ_s) y residual (θ_r), así como α y n , se ajustaron al modelo analítico de Van Genuchten con $m=1-1/n$, con la ayuda del programa software RETC (Van Genuchten et al., 1991), dicho modelo fue el que logró el mejor ajuste.

Finalmente con la totalidad de datos ingresados se realizó la calibración de los parámetros del modelo (θ_r , θ_s , n , α , K_s y l), estos permitieron evaluar la confiabilidad de los resultados, dicha confiabilidad se analizó a partir del error medio absoluto (MAE) y el error de la raíz media cuadrática (RMSE).

$$MAE = \frac{\sum_1^N |P_i - O_i|}{N} \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (3)$$

Dónde: P_i son los valores simulados por el modelo, O_i son los valores observados y N el número de pares de datos.

Diagnóstico de la situación actual y simulación de distintos escenarios

Para realizar un diagnóstico del efecto del riego sobre los cultivos, se graficaron la evapotranspiración real y potencial, ambas determinadas por el HYDRUS-1, además se estimó el índice térmico (Crop Water Stress Index-CWSI) Jackson et al. (1981). Este coeficiente CWSI se calcula como el cociente entre la evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración potencial, si ésta relación es igual a 1, el cultivo se encuentra transpirando a su tasa potencial, mientras que cuando se encuentra en condiciones de estrés dicha relación es igual a cero.

Finalmente se simularon distintos escenarios que permitieron analizar la alternativa que mejora los valores de eficiencia de aplicación considerando riego controlado sin estrés (RCSE), manteniendo los valores de tensiones en la zona de raíces que aseguren que el cultivo no sufrirá estrés hídrico (Tabla 1). Cabe aclarar que la Etapa I corresponde a la etapa inicial de crecimiento lento (desde 1 de noviembre a 31 de noviembre, aproximadamente), la Etapa II corresponde a la etapa de crecimiento rápido

Tabla 1: Escenarios simulados con el modelo HYDRUS-1D.

Table 1: Simulated scenarios with the HYDRUS-1D model.

Escenario	Características del escenario simulado
1	Riego controlado sin estrés en la Etapa 1- Se aplica el 40% de la lámina de reposición requerida.
2	Riego controlado sin estrés en Postcosecha-Se aplica el 10% de la lámina de reposición requerida.
3	Riego controlado sin estrés combinando las simulaciones y una mínima reducción en la Etapa II (20%).

-desde el 1 de diciembre al 5 de febrero aproximadamente- (Mitchel et al., 1984) y la tercera la de Postcosecha donde los brotes seguirán desarrollándose a un ritmo más lento.

La eficiencia de aplicación se determinó como el cociente entre la lamina almacenada en el perfil o lámina de reposición y la lámina real aplicada sobre la parcela o lámina bruta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros de la curva de retención, se adoptaron luego de analizar el error absoluto medio (MAE) y el error de raíz media cuadrática (RMSE); dichos resultados se presentan en las Tablas 2 y 3.

Cabe aclarar que los valores de MAE y RMSE dan una medida global de la diferencia entre los datos relevados (agua en el suelo observada) y de las predicciones del modelo (humedad simulada), es decir cuantifican la bondad de la simulación; valores cercanos a cero indican una buena predicción. Los resultados de RMSE obtenidos indican que el contenido de agua esta ligeramente sobreestimado, ya que los resultados del modelo resultaron mayores que los medidos por los sensores.

Al graficar la evapotranspiración potencial y la real (Figura 1), se observa que las curvas se superponen en la mayoría de los puntos.

Por otra parte, el índice térmico calculado alcanzó el 61% de las veces un valor igual a la unidad, indicando que el cultivo -en la mayoría de los casos- está extrayendo el agua a su máxima capacidad de absorción.

La eficiencia de aplicación determinada en los ensayos realizados a campo -previos a este trabajo- fue muy baja, observándose valores entre un 20 y 30% (Requena & Galezzi, 2011). Esto puede deberse a distintos factores, entre los

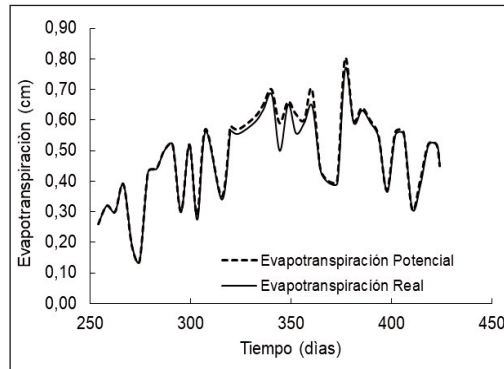


Figura 1: Evapotranspiración potencial y real.

Figure 1: Potential and real evapotranspiration.

más importantes se pueden mencionar: i) lámina aplicada en exceso; ii) parcelas sin la pendiente adecuada; iii) canales sin el dominio necesario sobre las parcelas (poca carga sobre el cuadro donde se riega); iv) caudales de aplicación muy bajos o insuficientes.

Con el objeto de analizar las ventajas de disminuir la lámina aplicada a los cultivos, se utilizó el concepto de riego controlado sin estrés para simular los escenarios 1, 2 y 3 (Tabla 4).

A partir de los resultados obtenidos se graficaron los valores de tensiones en la zona de raíces, únicamente para el escenario 3, dado que fue donde se alcanzó el mayor valor de eficiencia de aplicación (Figura 2). En dicho escenario, se observa que las tensiones en la zona de raíces, se encuentran en el intervalo que define Feddes et al. (1978) como aquel donde se produce la extracción máxima de agua por parte del cultivo; en particular para el caso de frutales de hojas caedizas, ese intervalo se establece en un rango que oscila entre -20 cm y -500 cm.

Estos resultados son similares a los obtenidos en los ensayos descritos por la FAO 66 (2012), donde se concluye que el enfoque más adecuado es aplicar

una combinación de riego deficitario en la Etapa I y en la postcosecha, con una pequeña reducción en la etapa II (Steduto et al., 2012).

Tabla 2: Errores obtenidos en la calibración.

Table 2: Errors obtained in the calibration.

	Valores
MAE	0.009
RMSE	0.011

Tabla 3: Parámetros calibrados del sitio en estudio.

Table 3: Calibrated parameters of the study site

Profundidad (m)	θ_r	θ_s	α	n	l
0-30	0.12	0.43	0.008	1.7	0.5
30-60	0.16	0.41	0.006	1.55	0.5

Tabla 4: Resultados obtenidos con el modelo HYDRUS-1D, para las distintas simulaciones.

Table 4: Results obtained with the HYDRUS-1D model, for the different simulations.

Escenarios	1	2	3
Lámina aplicada con RCSE (mm)	1188	1369	1087
Absorción del cultivo (mm)	721	739	747
Perdida por percolación (mm)	524	671	382
Reducción de lámina respecto a situación original (sin RCSE) (%)	43	34	48
Eficiencia de aplicación (%)	61	54	69

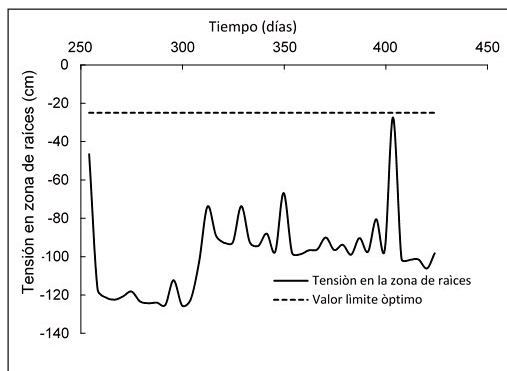


Figura 2: Tensión en la zona de raíces. Escenario 3.
Figure 2: Tension in the root zone. Scenario 3.

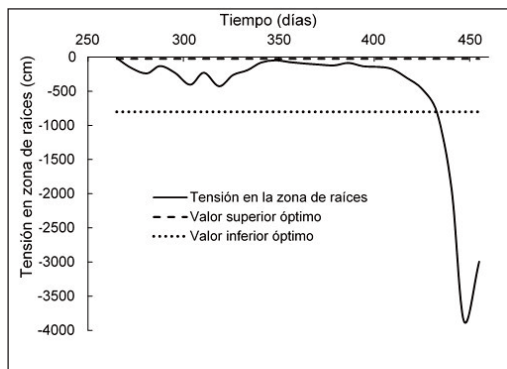


Figura 3: Tensión en la zona de raíces-Escenario 3 suelo limoso.
Figure 3: Stress in the root zone- Scenario 3 silty soil.

Finalmente se aplicó el modelo en el escenario 3, pero ahora considerando que el

suelo era de textura limosa; en este caso se observa que dicha programación de riego sería inviable a partir del mes de marzo, dado que las tensiones se encuentran fuera de los rangos aconsejados por Feddes et al. (1978), (-25-800), (Figura 3).

CONCLUSIONES

El modelo utilizado (HYDRUS-1D) resulta una herramienta potente para determinar las variaciones de tensión y humedades en el perfil radical a lo largo del desarrollo del cultivo.

El modelo HYDRUS-1D, permite determinar las tensiones del cultivo, variable que actúa como indicador de las condiciones productivas y que está directamente relacionada con los rendimientos.

El riego controlado sin estrés produce mejores eficiencias de aplicación (69 %), en un suelo franco y con buenas condiciones de drenaje. En dicho escenario se considera una reducción en la aplicación en la etapa I del cultivo (etapa inicial de crecimiento lento) en un 60% de la lámina, una reducción del 20 % en la etapa II (crecimiento rápido) y una reducción del 90% en postcosecha.

No se podría aplicar el mismo patrón de reducción de lámina, a la programación obtenida para suelos limosos, dado que las tensiones serían superiores a la que exige una extracción óptima por parte del cultivo a partir del mes de marzo.

BIBLIOGRAFÍA

Brooks, R. H. & Corey, A. T. (1964). Hydraulic Properties of Porous Media. Colorado State University, Ft. Collins. CSU Hydrology. Paper N° 3.
CAyEE-PRN-Convenio Agua y Energía Eléctrica-Provincia de Río Negro. (1987). Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Sector drenaje: diagnóstico Alto Valle. CIL-Consorcio Inconas- Latinoconsult.
Chalmers, D. J., Burge, G., Jerie, P. H. & Mitchell, P. D. (1986). The mechanism of regulation of "Bartlett" pear fruit and vegetative growth by

Polla, G.

- irrigation withholding and regulated deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111, 904-907.
- Clemente, R. S., De Jong, R., Hayhoe, H. N. & Hares, M. (1994). Testing and comparison of Three Unsaturated Soil Water Flow Models. *Agricultural Water Management*, 25., 135-152.
- Dourado-Neto, D. (1998). Principles of Crop Modelling and Simulation: I Uses of Mathematical Models in Agricultural Science. *Science Agricultural Piracicaba*, 55 (nro Esp), 46-50
- Durner, W. (1994). Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*, 32(9), 211-223.
- English, M. & Navaid, S. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32(1), 1-14.
- FAO (2000). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>. 64 pp.
- FAO 66 (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO Riego y Drenaje. Roma-Italia.
- Feddes, R., Kowalik, A. P.J & Zaradny, H. (1978). Simulation of Field Water Use and Crop Yield. New York: John Wiley & Sons.
- Girona, J. (2005). Análisis de la respuesta de la vid a la aplicación de la técnica de "Partial Rootzone drying" (PRD) (pp. 18-22). L'innovation en viticulture/oenologie. Station Regionale ITV Midi-Pyrenees.
- Grassi, C. J. (1998). Primera impresión 1988. Fundamentos del riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Gurovich, L. A. & Páez, C. I. (2004). Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos (pp. 175-186). Departamento de Fruticultura y Enología. Facultad de Agronomía e Industria Forestal. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Horne, F., Galeazzi, J. & Polla, G. M. (2010). Capítulo 7 Pera Williams: Manejo del Riego. En ProRioNegro (ed) *Manual para el productor y empacador* (pp. 52-67). Buenos Aires, Argentina: Programa de eslabonamientos productivos (ESPRO) COFECYT.
- INTA-Estación Experimental Alto Valle. (1987). Diagnóstico Regional. Reimpresión financiada por Corpofrut. Río Negro, Argentina.
- Jackson, R. D., Idso, S. B, Reginato, R. J. & Jr. Pinter, P. J. (1981). Canopy Temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4), 1133-1138.
- Kosugi, K. (1996). Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, 32(9), 2697-2703.
- Mitchell, P. D., Jerie, P. E. & Chalmers, D. J. (1984). Effects of regulated water deficits on pear growth, flowering, fruit growth and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109, 604-606.
- Morábito, J., Salatino, S., Angella, G. y Prieto, D. (2008). Evaluación de campo al riego de los agricultores: casos prácticos y ventajas para la difusión de la tecnología apropiada; asesoramiento a los regantes para la modernización de los regadíos y su ambientalidad. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad". La Antigua (Guatemala). Red Riegos. CYTED y AECID.
- Nolting, J. T. 2004. El riego en el Alto Valle. situación actual y algunas propuestas de manejo. *Rompecabezas tecnológico*, 9(39).
- Pereira, L. S., van den Broek, B. J., Kabat, P. & Allen, R. G. (1995). Crop-Water Simulation Models in Practice. Wageningen Pers. Wageningen.
- Requena, A. & Galeazzi, J. (2011). Proyecto INTA-AUDES-CONADEV: Aportes para mejorar la Operación de Distritos de Riego.
- Saavedra, F. (2000). Ensayo de riego deficitario controlado en palto (*Persea americana* Mill). cv Hass en la localidad de Quillota. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía.
- Sánchez, B. M. J. y Torrecillas, A. (1995). Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En Riego Deficitario Controlado, Fundamentos y Aplicaciones (pp. 43-63). Madrid, España: Mundi Prensa.
- Santa Olalla, F. M., López Fuster, P. y Calera Belmonte, A. (2005). Agua y Agronomía. Universidad de Castilla la Mancha. Barcelona, España: Ediciones Mundi Prensa.
- Simunek, J., Sejna, M., Saito, H., Sakai, M. & van Genuchten, M. Th. (2013). The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, versión 4.17. Department of Environmental Sciences. University of California Riverside. Riverside. California. USA.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E. y Raes, D. (2012). FAO66. Estudio Fao: Riego y Drenaje Respuesta del Rendimiento de los cultivos al agua. Roma, Italia.
- van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.
- van Genuchten, M.Th., Leij, F. J. & Yates, S. R. (1991). The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Riverside, California, USA.
- Vogel, T. & Císlarová, M. (1988). On the reliability of unsaturated hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve, *Transport in Porous Media*, 3(1), 1-15.