

MANEJO DE AGUA Y SUELO EN AGUACATE Y SU INFLUENCIA SOBRE LA PUDRICIÓN DE RAÍCES

Ferreira-Espada, Raúl

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Av Santa Rosa - 11.610, La Pintana, Santiago, Chile. Correo-e: rferreyr@inia.cl

Resumen

Una de las causas de los bajos rendimientos de las plantaciones de aguacate en Chile, se debe a que un gran número de huertos está plantado en suelos de baja macroporosidad (suelo de textura fina) que son desfavorables para el desarrollo de las raíces del cultivo, al existir períodos deficientes en oxígeno, el problema se puede agudizar si los huertos se riegan en forma inadecuada. En este artículo se presenta una revisión y análisis de trabajos realizados en este tema en los cuales se encontró que una de las principales causas de los bajos rendimientos, es la asfixia de raíces, ya que el aguacate se desarrolla adecuadamente en suelos que presentan una macroporosidad cercana a 30%, comenzando a presentar síntomas de asfixia de raíces con niveles de aire en el suelo del orden de 17%. Este problema se agudiza si en suelo con baja macroporosidad los huertos se riegan en forma frecuente. También, en estos trabajos se determinó que el aguacate comienza a cerrar estomas cuando se agota un 60% del agua disponible total (ADT), lo cual es una característica que se puede utilizar en el manejo del riego en suelos de baja macroporosidad. Por lo tanto, para realizar un programa de riego en este cultivo, además de considerar los requerimientos hídricos es necesario analizar las características físicas del suelo, como son la aireación (macroporosidad), la retención de humedad y la resistencia mecánica del suelo, temas que se tratan en este artículo.

Palabras clave adicionales: Asfixia de raíces, riego, macroporosidad

WATER AND SOIL MANAGEMENT IN AVOCADO AND ITS INFLUENCE ON ROOT DECAY

Abstract

One of the main causes of low yields of avocado orchards in Chile is due to the large number of sites grown in soils of low macroporosity (soil of fine texture) that are unfavorable for tree root development. In addition, under oxygen-deficient periods, this problem can be aggravated if orchards are not irrigated properly. This article presents a review and analysis of the research carried out in this subject, in which it has been described that one of the main causes of low yields in avocado is root asphyxia. Interestingly, it was found that avocado develops well in soils with a macroporosity close to 30%, and below 17% trees start to show symptoms of root asphyxia. This problem was exacerbated if trees grown in orchards with low macroporosity are irrigated frequently. Also in these studies, it was determined that avocado begins to close stomata when 60% of the total available water (PAW) is exhausted, which is a characteristic that can be used in irrigation management in low macroporosity soils. Therefore, in order to carry out an irrigation program in avocado in addition to water requirements, it is necessary to analyze the physical characteristics of the soil, including soil aeration (macroporosity), moisture retention and soil mechanical resistance, which are discussed in this article.

Additional keywords: Root asphyxia, irrigation, macroporosity

Introducción

En huertos de aguacate en Chile es posible encontrar campos que alcanzan las 25 t ha⁻¹ o más; no obstante, hay plantaciones cuyos rendimientos son inferiores a las 9 t ha⁻¹. Una de las causas de los bajos rendimientos, se debe a que muchos huertos están plantados en suelos cuyas propiedades físicas son desfavorables para el desarrollo de raíces (Ferreyra y Selles, 2007).

El aguacate en sus orígenes evolucionó en suelos Andisoles, caracterizados por presentar baja densidad aparente, alta macroporosidad, alto contenido de materia orgánica y alta pluviometría (Aguilera et al. 1991). Por lo anterior el aguacate se desarrolla en suelos con alta conductividad hidráulica, por ello presenta raíces poco profundas sin pelos absorbentes y muy sensibles a la falta de oxígeno.

Proveer un medio para el crecimiento de las plantas es una de las principales funciones del suelo, por lo que modificaciones en sus características físicas y químicas, tienen un gran impacto en el desarrollo de la masa radical, y en consecuencia sobre el desarrollo vegetativo de la planta (Pierret et al. 2007). Una condición deseable de un suelo es que éste posea una proporción adecuada de agua y aire, en el rango óptimo del funcionamiento fisiológico de los vegetales. Esta proporción puede verse alterada por factores humanos y naturales. En el primer caso, si el huerto se plantó en un suelo de baja macroporosidad; en el segundo, porque el suelo está compactado o por un mal manejo del riego (Ferreyra y Selles, 2007). En suelos con baja macroporosidad es común, incluso con contenidos de agua cercanos a capacidad de campo, encontrar situaciones de aireación deficiente que afectan fuertemente el crecimiento de las raíces. Esto se relaciona a las plantaciones de aguacate en suelos de Franco limosos a Arcillosos donde la probabilidad de generar condiciones de hipoxia es muy alta (Ferreyra y Selles, 2007). En un suelo con alto contenido de aire, el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera es lo suficientemente rápido para impedir la deficiencia de O₂ o la toxicidad del exceso de CO₂ u otros gases.

Normalmente los suelos son descritos según un conjunto de propiedades físicas, tales como estructura, textura, densidad aparente, distribución y tamaño de poros y características morfológicas del perfil. Sin embargo, el efecto de estos factores sobre el crecimiento del sistema radical de las plantas es indirecto. Los factores que directamente afectan el desarrollo de raíces y el nivel productivo son las condiciones hídricas, térmicas, mecánicas y de aireación, que se generan en los suelos como consecuencia de la interacción de los factores indirectos antes mencionados y de las prácticas de manejo utilizadas (Letey, 1985; Wu et al., 2003) (Figura 1).

El contenido de aire en el suelo que no limita el intercambio gaseoso (O₂ y CO₂) y el crecimiento de raíces es de 30% (Ferreyra et al 2008), lo que permite valores de tasa de difusión de oxígeno

sobre $0.2 \mu\text{g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Los valores de resistencia mecánica que no limitan el crecimiento de raíces en aguacate son los que se encuentra bajo 1 MPa (147 PSI).

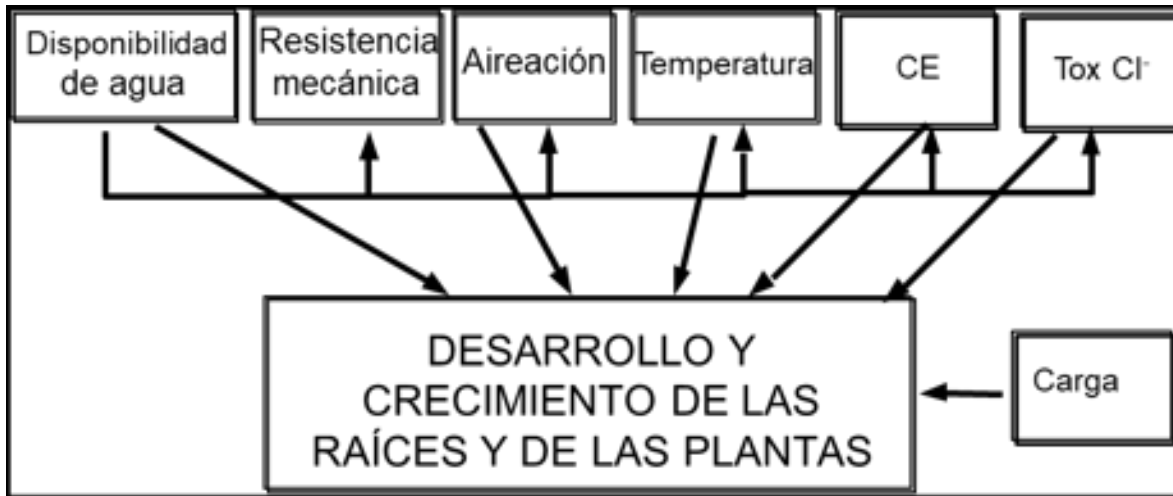


Figura 1. Factores que afectan directamente el desarrollo del sistema radical de las plantas. (Adaptado de Letey, 1985)

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo fue revisar y analizar trabajos sobre manejo de agua y suelo en aguacate y su influencia sobre la pudrición (asfixia) de raíces.

Materiales y Métodos

La falta de oxígeno en el suelo induce trastornos fisiológicos múltiples en las plantas. Se produce cierre de estomas, y un menor crecimiento de las raíces (Lafitte, 2001), y como consecuencia, se inhibe la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos (Kozłowski, 1997). También, se disminuye la absorción de nutrientes debido a la muerte e raíces, a la pérdida de micorrizas, y a la alteración del metabolismo de la raíz (Kozłowski, 1997). En condiciones de baja concentración de oxígeno en el suelo se ha encontrado una alteración del equilibrio hormonal de las plantas, aumentando el etileno (Kozłowski, 1997). Se han observado daños a las raíces debido a la acumulación de éste y otros productos tóxicos originados por la respiración anaeróbica. Se presenta también acumulación de ácido abscísico y auxinas y reducción de los niveles de citoquininas y giberelinas (Lafitte, 2001).

El exceso de humedad en el suelo desplaza el aire del espacio poroso, reduciendo la tasa de difusión de oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2): disminuye la concentración de O_2 y aumenta la concentración de CO_2 , se induce la descomposición anaeróbica de materia orgánica, y el hierro

y manganeso pasan a formas reducidas (Kozłowski 1997), lo que afecta el desarrollo de las raíces.

El aguacate se desarrolla adecuadamente en suelos con un contenido de 15% de oxígeno y 0.03% de dióxido de carbono (Menge, y Marais, 2000). Estudios realizados por Stolzy et al. (1967) mencionan que plantas de aguacate 'Mexicola', que crecen en suelos con una tasa de difusión de oxígeno menor a $0.17 \mu\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ presentan entre 44% y 100% de sus raíces dañadas. Por otra parte, otras variedades de aguacate, como 'Scott', 'Duke' y 'Topa Topa', no crecen cuando la tasa de difusión de oxígeno es menor a $0.20 \mu\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ (Valoras et al., 1964). Según Ferreyra y Selles (2007) en suelos de textura franca, manejados con riegos frecuentes (riegos diarios) y altos contenidos de agua en el perfil del suelo, pueden presentarse tasas de difusión de oxígeno bajo el límite señalado. La tasa de difusión de oxígeno está estrechamente ligada al espacio poroso del suelo ocupado por aire. Ferreyra y Selles (2007), observaron que suelos con 29,87% de macroporos (suelo arenoso) la tasa la difusión de oxígeno (ODR) fue más de 80% superior a la presentada por un suelo franco, con macroporosidad inferior a 17%, donde la ODR es inferior a $0,2 \mu\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$.

En la mayoría de las especies vegetales, el contenido de aire en la zona de raíces debe ser superior al 10% del volumen total de suelo, sin embargo en aguacate se estima que el límite es cercano a 30%, por lo cual, las plantaciones en suelos de textura fina, mal estructurados, o con mal manejo del riego, se puede restringir el desarrollo de raíces, el crecimiento vegetativo de la planta y afectar el estado hídrico de las mismas (Cuadro 1; Figura 2). (Ferreyra y selles (ed) 2007)

Cuadro 1. Efecto de diferentes contenidos de aire en el suelo (CA) en el índice de área foliar (IAF) y la conductancia estomática (gs) medida a las 14 horas en aguacate 'Hass' sobre portainjerto 'Mexícola'.

Tratamiento CA (%)	IAF (m ²)	gs (cm s ⁻¹) Crecimiento vegetativo	
		Bajo	Alto
T0 (7.5)	1.58 a	0.12 a	0.26 a
T1 (29.1)	4.40 a	0.29 b	0.56 b
T2 (20.4)	2.44 a	0.19 a	0.30 a
T3 (14.4)	2.55 a	0.15 a	0.34 a

P < 0.05

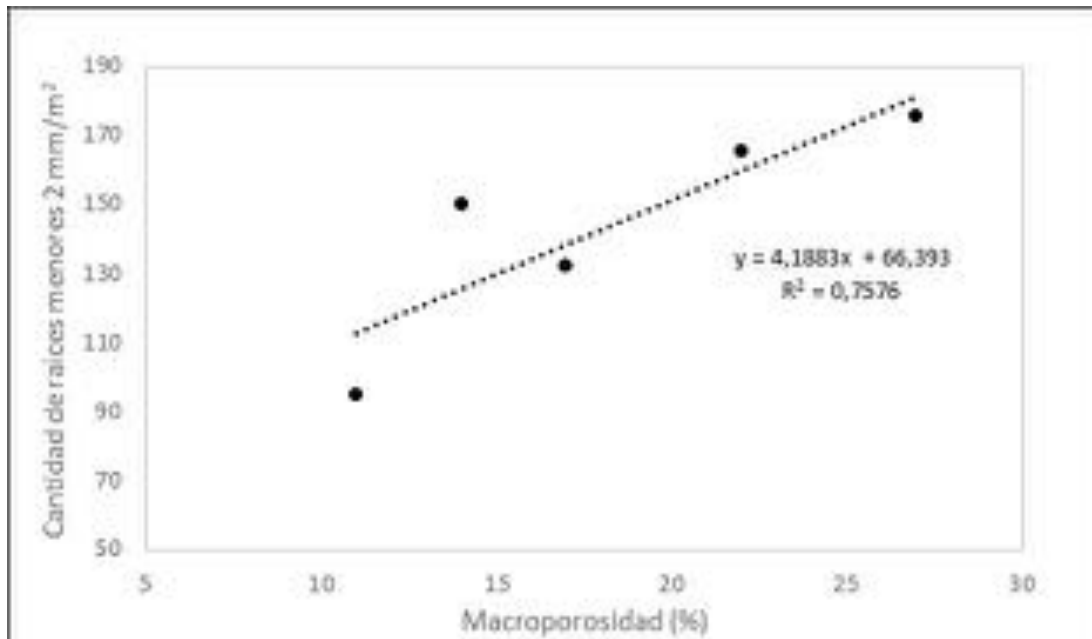


Figura 2. Efecto de contenido de macroporos del suelo en el desarrollo de raíces finas de aguacate ‘Hass’ sobre portainjerto ‘Mexicola’.

De lo anterior, se desprende que para tener un adecuado desarrollo de la parte aérea y de raíces del aguacate es necesario mantener un adecuado equilibrio agua/aire en el suelo. Esta idea que parece tan sencilla es compleja de implementar, sobre todo en suelos de textura fina, ya que cada vez que se riega, aumenta el contenido de agua y disminuye la aireación en forma importante y el drenaje de los poros de mayor diámetro se produce lentamente, hasta llegar a capacidad de campo.

Resultados y Discusión

En condiciones de riego por goteo y microaspersión, hasta hace algunos años, los programas de riego sólo consideraban baja frecuencias de aplicación de agua (riegos diarios), para reponer la evapotranspiración del cultivo, independientemente del tipo de suelo. Actualmente, la experiencia ha mostrado que los riegos de baja frecuencia son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas, de una alta capacidad de aire y delgados. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de humedad y de baja capacidad de aire, los riegos de baja frecuencia (riegos cada 3 a 5 d o más días en verano) se han mostrado más promisorios. Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo pueden significar problemas desde el punto de vista de la aireación de suelo.

En la Figura 3 se presenta una comparación de tres formas de aplicar el agua de riego a las plantas y su efecto sobre el contenido de humedad y la aireación en el suelo. Si se comienza a

regar diariamente cuando el suelo tiene un contenido de agua sobre capacidad de campo (línea con triángulo en la Figura 3), este mantendrá un contenido de aire en el suelo inferior a 18%. Si se repone el riego, en forma diaria, pero cuando el suelo presenta valores de humedad por debajo de la capacidad de campo (línea con cuadrados), cercanos a 40% de la humedad aprovechable, se logra mantener el suelo con contenidos de aire cercanos a 26% (línea con cuadrados de la Figura 3). Si se riega con baja frecuencia, cuando se ha agotado alrededor de un 40% a un 60% del agua disponible total (ADT) se logra que el suelo tenga un contenido de aire de 23%, (Figura 3, línea con círculos). La cantidad de agua aplicada en las tres formas de regar es la misma, cambiando sólo la forma de aplicación. Es necesario indicar que la técnica de baja frecuencia es más simple y segura de implementar en el campo que el riego diario cuando el suelo presenta valores de humedad por bajo capacidad de campo. Además, el riego de baja frecuencia permite un mejor lavado de sales.

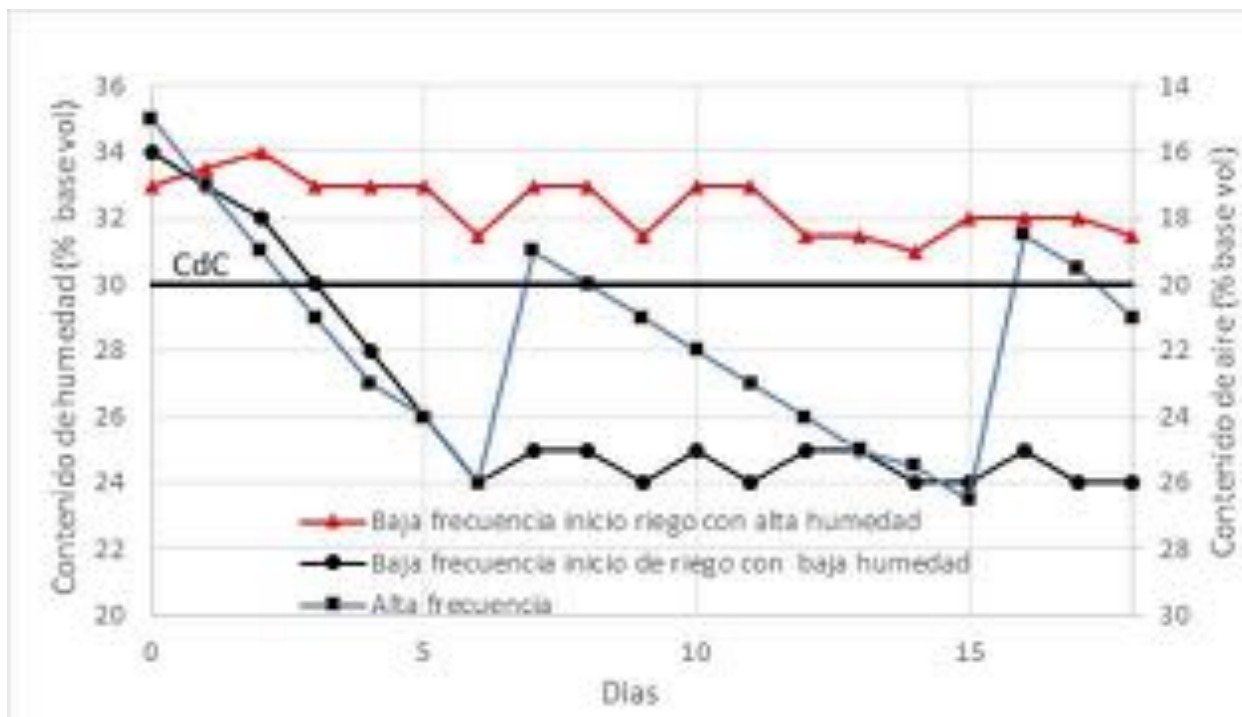


Figura 3. Efecto del manejo de tratamientos de alta y baja frecuencia sobre la aireación del suelo. Porosidad total = 50%; capacidad de campo (CdC) = 30% y macroporos = 20%.

Por otra parte, en aguacate, según experiencias realizadas por Ferreyra y selles (ed) (2007), se puede agotar hasta un 60% del ADT antes de volver a regar sin afectar los rendimientos del cultivo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto del agotamiento de agua disponible total (ADT) o humedad aprovechable (HA) en el suelo, antes de volver a regar, sobre el rendimiento, calibre de fruto y estado hídrico del aguacate 'Hass' sobre portainjerto 'Mexícola', en un suelo franco arenoso.

Trat.	Rendimiento (kg/planta)		Calibre Entre 50 y 32		WSP (MPa)		gs (cm/s)		Agua aplicada m ³ ha ⁻¹	
	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06
T1	40.6 a	45.7 a	33.0 a	47.0 a	-0.57 a	-0.61 a	0.28 a	0.30 a	6,771	10,200
T2	38.7 a	53.0 a	28.0 a	52.7 a	-0.53 a	-0.58 a	0.31 a	0.28 a	6,996	10,241
T3	41.1 a	47.8 a	28.0 a	79.7 a	-0.60 a	-0.68 a	0.35 a	0.25 a	7,116	10,572

Nota: T1 = riego cuando se agotaba el 5% de la humedad aprovechable (HA) (riego pulso). T2 = riego cuando se agotaba el 30% de la HA. T3 = riego cuando se agotaba el 60% de la HA. SWP = potencial hídrico xilemático medido a medio día. gs = conductancia estomática medida a medio día; Marco de plantación 6 x 4 m.

En un ensayo realizado en un suelo franco arenoso (Ferreyra y Selles, 2007; Cuadro 2), donde las plantas fueron regadas con tres diferentes umbrales de riego (frecuencias) a través de microaspersión, se concluyó que disminuciones de 60% de la humedad aprovechable antes de volver a regar no afectan el estado hídrico, rendimiento y calibre del fruto en aguacate. Las plantas que se regaban con un umbral de riego de 60% (riego en verano cada 5 o 6 días) presentaron a medio día, en verano, potenciales hídricos xilemáticos entre -0.53 a -0.68 MPa.

Los mismos autores (Ferreyra et al., 2009), realizaron otro experimento para validar los datos presentados en el Cuadro 2, el cual se hizo en febrero 2006 en un suelo franco arcilloso. En este ensayo se seleccionaron 12 árboles homogéneos de aguacate 'Hass' sobre portainjerto Mexícola, los cuales se regaban en forma diaria por microaspersión. Seis de ellos se dejaron de regar hasta agotar 60% del agua disponible para las plantas. Los árboles que se dejaron de regar continuaron extrayendo agua del suelo a la misma tasa que los que se regaban en forma diaria. Durante todo este período tanto las plantas regadas como sin riego mantuvieron valores similares de conductancia estomática y de potencial hídrico xilemático (Ferreyra et al., 2009).

Por lo anterior, se puede indicar que en suelos de textura fina los aguacates pueden ser regados con baja frecuencia de riego hasta agotar 60% del agua disponible total, optimizando con esto la relación agua-aire en los suelos de baja macroporosidad. Para implementar el riego de baja frecuencia es necesario conocer la capacidad de retención de agua del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente) además de la profundidad efectiva de raíces y el porcentaje de suelo mojado por el equipo de riego (pms).

Un programa de riego, que considere la evapotranspiración de referencia (Eto), el coeficiente de cultivo (Kc) y retención de humedad del suelo permite una buena aproximación a los requerimientos reales de riego del cultivo. Con el uso complementario de sondas de medición

continua de la humedad del suelo (FDR) se puede mejorar la estimación de los requerimientos de agua del cultivo y con esto disminuir los volúmenes de agua que se pierden por percolación profunda, disminuyendo el consumo de energía eléctrica y optimizando la relación agua–aire en el suelo.

En la Figura 4 se observa como a través del análisis de la humedad de suelo, obtenida a través de un medidor FDR, se puede ajustar un programa de riego. En este ejemplo se ajustó la lámina de riego y los requerimientos de lavados. El programa se inició con una lámina de riego de 16 mm (frecuencia de riego cada 4 días) y se terminó ajustándola a 24 mm (frecuencia de riego cada 6 días). Esto no significó un aumento o disminución de la cantidad de agua a aplicar, solo se ajustó la oportunidad del riego, lo que permitió aumentar la extracción de agua del suelo por las plantas (transpiración) ante un mismo volumen de agua aplicado. Esto se podría deber a que cuando los niveles de oxígeno son bajos la planta restringe la transpiración afectando sus procesos metabólicos.

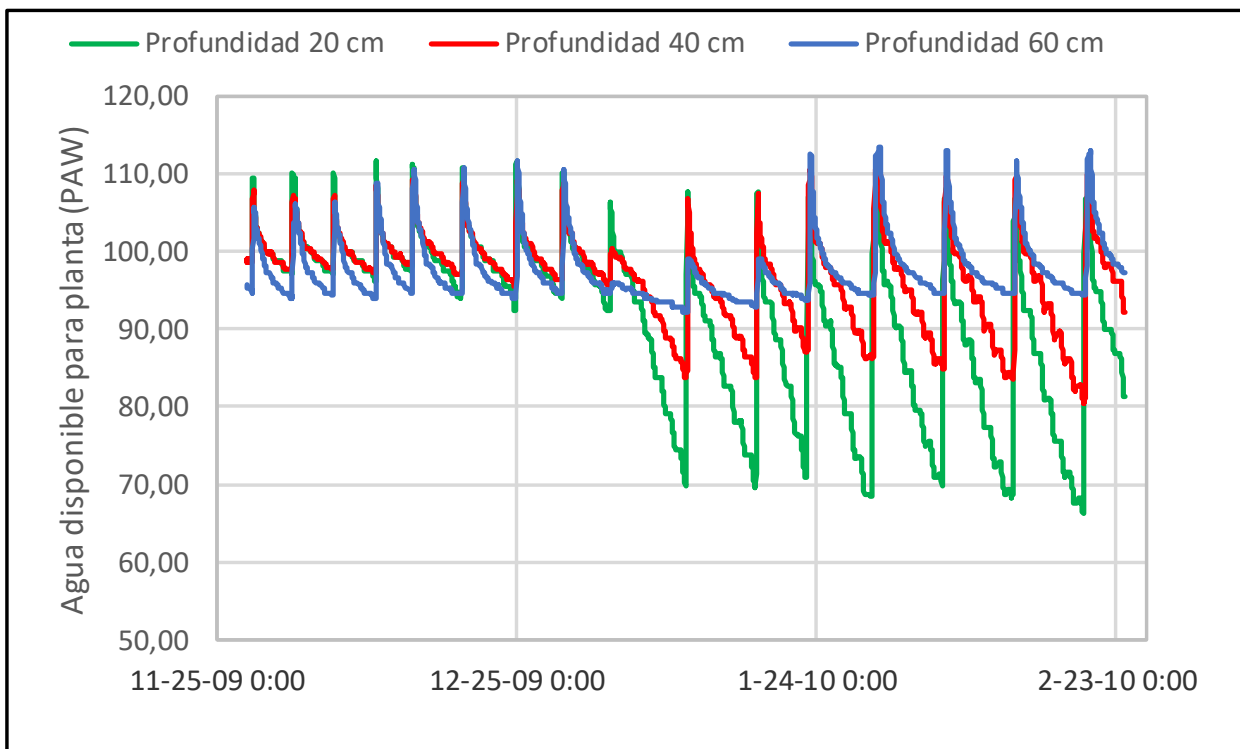


Figura 4. Ejemplo de ajuste de un programa de riego a través del uso de sensores de humedad continuos (FDR). Nota: Línea verde agua disponible para las plantas a los 20 cm profundidad, rojo a los 40 cm profundidad y azul a los 60 cm profundidad. Entre 100 y 60% es el agua útil, la que corresponde al 40% de agotamiento del agua disponible para las plantas.

Literatura Citada

- Aguilera, J. and S. Salazar. 1991. The avocado industry in Michoacán, México. South African Avocado Growers' Association Yearbook 14:94-97.
- Ferreya, R., G. Selles, M. Pinto, M. Morales, and O. Seguel. 2011. Effect of soil air capacity on water relations and vegetative growth of 'Thompson Seedless' grafted on different rootstocks. Preliminary results. Acta Horticulturae 889:145-150
- Ferreya, R., J. Celedón, P. Gil, P. Maldonado, C. Barrera, and G. Selles. 2009. Sensibility and variability of stem water potential (SWP) and maximum daily trunk shrinkage (MDST) in avocado. Proceeding of 8th fruit, nut and vegetable production engineering symposium, Concepción, Chile. pp. 131-139.
- Ferreya, E.R., P. Maldonado, J Celedon, P. M. Gil, A. Torres, and G Selles. 2008. Soil air content effects on the water status of avocado trees. Acta Horticulturae 72 291- 296.
- Ferreya, E., R.; Sellés, van Sch. (ed.) 2007. Manejo del Riego y Suelo en Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 160. 120 p.
- Kozlowski, T.T.1997. Response of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology Monograph 1:1-29.
- Lafitte, H. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Inundación. Consultado 4 de marzo 2005. Disponible en línea:
http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/X7650S/x7650s12.htm
- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Advances in Soil Science 1:276-294.
- Menge, J. and L. Marais. 2000. Soil Environmental Factors and Their Relationship to Avocado Root Rot. University of California. California, EEUU. Consultado 20 junio 2004. Disponible en:
<http://www.citrusresearch.com/documents/58b2544d-bd10-494d-a69dba0591ad05f0.pdf>
- Pierret A, Doussan C, Capowiez Y, Bastardie F, Pages L (2007) Root functional architecture: A framework for modeling the interplay between roots and soil. Vadose Zone Journal 6 (2):269-281.
- Stolzy, L, G. Zentmyer., A. Klotz. and C. Labanauskas. 1967. Oxygen diffusion, water, and *Phytophthora cinnamomi* in root decay and nutrition of avocados. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 90:67-76
- Valoras, N., J. Leteo., I. Stolzy, and F. Frolich. 1964. The oxygen requirements for root growth of three avocado varieties. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 85:172-178.
- Wu L, Feng G, Letey J, Ferguson L, Mitchell J, McCullough-Sanden B, Markegard G. 2003. Soil management effects on the nonlimiting water range. Geoderma 114 (3-4):401-414.