

# ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA Y DURACIÓN DEL RIEGO MEDIANTE EL USO DE SENSORES DE HUMEDAD EN UNA FINCA TORDESILLAS.

*J. Benítez-Buelga<sup>1</sup>, L. Rodríguez-Sinobas<sup>1</sup> (p), R. Morillo<sup>2</sup>, M. Gil Rodríguez<sup>1</sup>, R. Sánchez Calvo<sup>1</sup>, L. Juana Sirgado<sup>1</sup>, G. Castañón Lion<sup>1</sup> and F. Laguna Viñuelas<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Hidráulica del Riego de la Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

<sup>2</sup>Asociación de investigación para la mejora del cultivo de la remolacha azucarera (AIMCRA). Ctra. Villabañez, km 2,73, 47080 Valladolid.

## Resumen

Este trabajo presenta los resultados de la campaña de riego 2010 realizada en la finca Villavieja, ubicada en Tordesillas (Valladolid) y perteneciente a la asociación para la investigación y la mejora del cultivo de remolacha azucarera (AIMCRA). El objetivo general es determinar el tiempo y frecuencia de riego óptimos, para mejorar así la eficiencia del riego y reducir el coste de los agricultores. Para ello se considera el manejo del riego tradicional que aplica el regante de la zona al cultivo de remolacha azucarera y se mide el contenido de humedad en puntos determinados de la finca y la distribución del agua en el suelo, a partir de esas medidas. Además, se realizaron varias evaluaciones de las unidades de riego a lo largo de la campaña.

Un sensor de frecuencia FDR (EnviroScan) se utilizó para medir el contenido de humedad en un perfil de suelo de la finca. Previamente se determinó la textura del suelo.

Los regantes de la zona conocían, con cierta aproximación, las necesidades hídricas semanales del cultivo, a partir de la información de la evapotranspiración semanal de la remolacha, recibida vía mensajes cortos de texto de telefonía móvil (SMS). Ésta se determinada a partir de las estación meteorológicas más cercanas (pertenecientes a la red de Inforiego) y de la red de tanques de evaporación repartidos por las diferentes zonas. Sin embargo, y debido a la necesidad de reducir costes, muchos regantes no se ajustan a dichas necesidades y aplican un calendario de riego ajustándose a la tarifa eléctrica mínima. Esta situación puede provocar estrés hídrico, durante algunos días de la campaña y, como consecuencia, riegos excesivamente largos que intentan compensar el estrés acumulado.

Los suelos, principalmente arenosos mostraron valores altos de la infiltración; el tiempo medio de riego, de unas 6 horas, llegó incluso a duplicar el necesario para la saturación de los primeros 60 cm de suelo. Además, la frecuencia de riego no fue siempre la adecuada y, en varias ocasiones, se observaron visualmente síntomas de estrés hídrico en el cultivo.

## **Abstract**

This study aims to analyze the irrigation performance at a farm in Tordesillas (Spain) dedicated to beet root production, during the summer of 2010. This farm is integrated at the Spanish research network for the beet root development (AIMCRA) which regarding irrigation, focuses on maximizing water saving and cost reduction.

According to AIMCRA's perspective for promoting irrigation best practices, it is essential to understand soil response to irrigation i.e. maximum irrigation length for each soil infiltration capacity. The Use of soil water content sensors provides foundations to address soil's behaviour at the irrigation events and, therefore, to establish the boundaries regarding irrigation length and irrigation interval. In order to understand to what extent farmer's performance at Tordesillas farm could have been potentially improved, this study aims to address suitable irrigation length and intervals for the given soil properties and evapotranspiration rates. In this sense, a Frequency Domain Reflectometry (FDR) sensor and several Time Domain Reflectometry (TDR) sensors were installed.

The irrigation programming at this farm entirely depends upon farmer's consideration, where any kind of scheduling is based on local knowledge and, generally, aiming to match off-peak tariffs (generally at the weekend).

The main finding of this research was that the irrigation time in the Tordesillas farm could have been strongly reduced at the different irrigations of the campaign; results from the Sensorica installed showed quick infiltration rates that made soil water content at the first 60 cm depth to reach saturation much earlier than expected—sometimes between two and three hours. Furthermore, the irrigation frequency was not correctly addressed; the need for reducing electricity costs lead farmers to increase irrigation frequency, making beet root plants to suffer from water stress.

## **Introducción.**

La finca de Villavieja, ubicada en Tordesillas (Valladolid), pertenece a la red de fincas de la Asociación para la investigación y mejora de la remolacha azucarera (AIMCRA). Durante la campaña remolachera 2010, se llevó a cabo, en la misma, un seguimiento del manejo de riego llevado a cabo por el agricultor. Desde AIMCRA han salido diversas recomendaciones de riego específicas para las diferentes zonas del territorio (Morillo-Velarde 2001, AIMCRA 2009); éstas se refirieron principalmente, por un lado, a las necesidades hídricas del cultivo, y por el otro, al dimensionamiento y puntos óptimos de funcionamiento del sistema (presión, caudal y Coeficiente de Uniformidad).

El manejo eficiente de los recursos hídricos para regadío pasa por el establecimiento de un calendario de riegos que tenga en cuenta el sistema suelo-planta-atmósfera y evalúe las pérdidas que puedan ocasionarse de escorrentía y filtración profunda. Así es de interés, realizar un balance hídrico específico para cada terreno de cultivo, en donde, se pueda llevar a su vez un seguimiento de la distribución del agua en el suelo. La estimación de las variables implicadas en el balance ha dado lugar al desarrollo de equipos de medida y metodologías que, a lo largo de los años, han ido mejorando la precisión y fidelidad de sus estimaciones.

Por otra parte, la aplicación de balances hídricos de forma generalizada, se haría inviable para la gran variabilidad de suelos existentes; la estructura del suelo determina la capacidad

del mismo para retener y dejar pasar el agua a su través. Así, al margen de la precisión en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo, es necesario, además, establecer la capacidad del conjunto suelo-planta-atmósfera para aprovechar de una forma eficiente los aportes hídricos aplicados con el riego. Se busca reducir al mínimo las pérdidas por filtración profunda y escorrentía de forma que el cultivo encuentre cubiertas todas sus necesidades hídricas a partir de la selección de tiempos de aplicación de riego y frecuencias adecuados.

Una alternativa al balance hídrico, es la programación del riego midiendo *in situ* del contenido de humedad con sensores. Éstos permiten estimar el contenido volumétrico de agua en puntos determinados del suelo y así, en caso de suelos homogéneos, poder extrapolar el comportamiento al conjunto del mismo. Además, el registro continuo de medidas con dispositivos de almacenamiento, permite hacer un seguimiento en tiempo real de la evolución del contenido de humedad. Hoy en día, estos elementos son ampliamente utilizados en la programación de riegos .

De entre los sensores de humedad más utilizados están: sensores TDR (Time Domain Reflectometry) y los sensores capacitivos FDR (Frequency Domain Reflectometry). Ambos miden la constante dieléctrica del suelo, que se ve afectada al variar la proporción de aire-agua. El estudio de dichos sensores, así como de sus variantes ha sido ya abordado por otros autores y la bibliografía al respecto es amplia (Watson et al, 1995, Walker et al, 2004, Regalado et al, 2009, Ventura et al, 2010).

En nuestro caso, se instaló un sensor capacitivo EnviroScan de la casa Sentek, que medía la variación en voltaje de un condensador que usa el suelo como medio dieléctrico, y al que se le aplica una corriente inicial.

Los sensores capacitivos tienen la limitación de un radio de acción pequeño, en torno a los 100mm, y de ser muy sensibles a la presencia de aire, piedras y elementos extraños. Además, necesitan un riguroso proceso de instalación y calibración

### Objetivos

El objetivo de este trabajo es realizar el seguimiento del contenido de humedad en el suelo a lo largo de la campaña de riegos de la remolacha azucarera en 2010, con el fin de estimar la dosis, el tiempo de riego óptimo y su frecuencia, intentando mejorar la eficiencia del riego.

## **2. Materiales y métodos**

La finca de Villavieja, de 7 ha de superficie, se sitúa en un suelo bastante irregular y poco homogéneo, en donde la textura del suelo varía entre franco arenosa y arcillo-arenosa. En la parte baja de la finca, se instalaron los sensores y se tomaron muestras gravimétricas a 5, 25 y 35 cm de profundidad. Posteriormente en el laboratorio, siguiendo el método del densímetro de Bouyoucos(Day, 1965), se determinó su textura . El contenido de humedad correspondiente al punto de marchitez (P.M) se determinó según la metodología Gardner (USBR, 1964), por la cual, mediante la proporción de arena, limo y arcilla, se establece el límite para el cual el agua deja de ser fácilmente asimilable para la planta.

$$P.M = 0,555 * (\%Arcilla) + 0,187 * (\%Limo) + 0,027 * (\%Arena)$$

La finca se dedica al cultivo de remolacha azucarera y se riega por aspersión con cobertura total bajo un marco de 12m x 15 m, y aspersores de boquilla simple. La campaña de riegos

comenzó en Mayo y acabó a finales de Septiembre. En el mes de Agosto se llevaron a cabo dos evaluaciones de la unidad de riego. Para ello, se cubrió una malla rectangular con

pluviómetros separados 3 m que recogía la lluvia de varios aspersores. Para un marco de 12 m X 15 m se colocaron un total de 20 pluviómetros. Se midió la presión en el aspersor situado a 1/3 del ramal con un manómetro tipo Bourdon. Se determinó la uniformidad de aplicación del agua mediante el coeficiente de uniformidad CU (Christiansen, 1942). Las evaluaciones se llevaron a cabo de noche y, por lo tanto, las pérdidas por evapotranspiración y por presencia de viento, no están incluidas. Se esperan índices de eficiencia altos (Pluviosidad recogida con pluviómetros / Pluviosidad del aspersor recogida con garrafa)

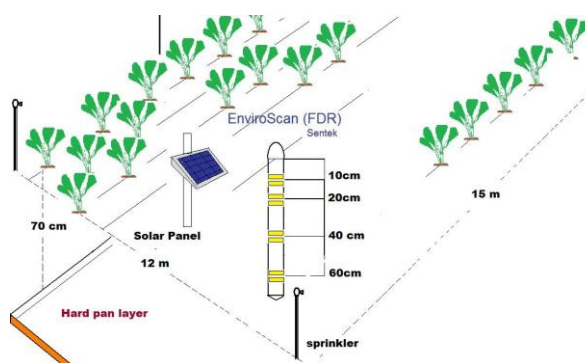


Figura. 1 Representación esquemática del emplazamiento de los sensores instalados.

EL sensor EnviroScan se instaló la última semana de Junio. Contaba con 4 sondas que median el contenido volumétrico de agua (%) a 10, 20, 40 y 60 cm de profundidad. SU instalación se llevó a cabo utilizando una barrena de 10 cm diámetro, tratando de asegurar la mayor verticalidad posible de la perforación efectuada. La textura del suelo era franco-arenosa para esa localización, y cabe destacar que, a partir de los 70 cm de profundidad, se encontró un horizonte impermeable de gran compactación y dureza que impedía que la barrena accediera a horizontes inferiores. Los sensores quedaban alojados en tubo protector de PVC, que estaba en contacto directo con el medio circundante. El radio de influencia del sensor determinaba un volumen cilíndrico de suelo de 100 mm de radio desde el tubo de PVC y 100mm de altura. Para una frecuencia de lectura de 30 minutos, los datos se almacenaban en un logger y se descargaban a un ordenador por medio de un sistema GPRS. El conjunto se alimentaba con un sistema formado por una batería recargable y un panel solar

Para el seguimiento del contenido de humedad en la campaña 2010, se tuvieron en cuenta 15 riegos consecutivos, desde el 24 de Junio al 17 de Septiembre. Con la frecuencia de lectura citada, se estimó que el comienzo de cada riego quedaría establecido en el momento que se iniciara la lectura del sensor situado a 10 cm. A partir de este momento y hasta las 6 horas siguientes (tiempo de aplicación de riego), correspondería la fase de infiltración. Debido a la predisposición del regante por regar en horario con tarifa eléctrica reducida, la mayoría de los riegos se efectuaron en fin de semana y con un tiempo de aplicación de medio de riego medio de 6 horas. Cabe destacar que, desde la segunda mitad de agosto, el regante decidió reducir el riego 1 h.

Según Doorenbos (1979); Uçan (2004), para alcanzar valores máximos de rendimiento en remolacha azucarera, se aconseja efectuar el riego una vez agotado el 50-60% del rango de agua fácilmente asimilable por la planta.

## Resultados Y Discusión

Las muestras de suelo, tomadas en el lugar de emplazamiento del sensor, dieron como resultado una composición textural tal y como se indica en Tabla.1.

	(0-10 cm)	(10-20 cm)	(30-40 cm)
ARENA (%)	79,2	76,0	76,4
LIMO (%)	13,3	13,9	16,0
ARCILLA (%)	7,6	10,1	7,6
Pnt. Marchitamiento (%)	8,8	10,3	9,3

Tabla. 1 Análisis textural en el lugar de emplazamiento del sensor.

### Evaluaciones de Riego

En la Tabla.2 se muestran los resultados obtenidos en las evaluaciones de riego. En las dos evaluaciones realizadas el 15 y 31 de Agosto, se observa que la pluviosidad, presión del aspersor y la eficiencia fueron similares. Asimismo, se observa que el coeficiente de uniformidad en la aplicación del agua, con un valor CU= 70, puede calificarse como bajo. Por otra parte, la presión del aspersor y pluviosidad están por debajo de las recomendaciones dadas por AIMCRA que son: pluviosidad mayor a 6 mm/h y presión del aspersor entre 3-4 kg/cm<sup>2</sup>, lo que justifica la falta de uniformidad en el marco de riego de 12X15 m. En cuanto a la eficiencia de riego se observan valores muy altos en ambos ensayos; la ausencia de viento y el hecho de realizarse por la noche, donde la Evaporación es mínima, justifican estos valores.

Tabla 2. Resultados de las evaluaciones de riego

		15-ago	31-ago
Caudales			
Pluviosidad del sistema (mm/h)		5,4	5,43
t.1 llenado garrafa 34 L (seg)		125	125,2
t.2 llenado garrafa 34 L (seg)		--	125,2
Pluviosidad media recogida pluviómetros(mm/h)		5,1	5
Presión (Kg/cm2)			
Cabeza		2,95	2,95
1/3		2,6	2,6
Cola		2,1	2,1
Coefficiente Uniformidad CU	$\frac{1 - \sum(xi - Xmedia)}{(Xmedia * n)}$	69,12	70,69
Eficiencia E	$\frac{Pluviometría Media Recogida}{Pluviometría del Sistema}$	0,94	0,92

### Evolución del contenido de humedad

A continuación se muestra la evolución del contenido de humedad para cada uno de los 15 riegos de la campaña (del 24 de junio hasta el 17 de septiembre). La figura 3 corresponde a las profundidades 10 y 20 cm, y las figuras 5a, 5b a profundidades 40 y 60cm respectivamente. Asimismo, la Figura 4 muestra la variación del contenido de agua durante la campaña de riegos a las profundidades 10-20 cm y, la figura 6 a las profundidades 40-60 cm. El periodo entre riegos no ha sido incluido y sólo se muestran los puntos iniciales y finales de cada riego.

Se ha considerado que el sensor detecta el contenido volumétrico máximo cuando, en un riego, dicho contenido, para un determinado horizonte, no aumenta más y se estabiliza. En ese momento se establece el tiempo ( $t_{max}$ ) necesario para alcanzar el Contenido Volumétrico máximo ( $\Theta_M$ ). En cuanto al  $\Theta_{min}$ , se establece el punto de marchitamiento,  $\Theta_{min} = P.M = 9,44\%$

Se define el momento óptimo de riego como aquel en donde el 60 % de agua fácilmente disponible para la planta se ha agotado.  $\Theta_{Riego} = 19,44\%$

Los resultados se han agrupado en dos grupos: perfiles 10-20 cm y perfiles 40-60cm.

### Perfiles 10-20 cm

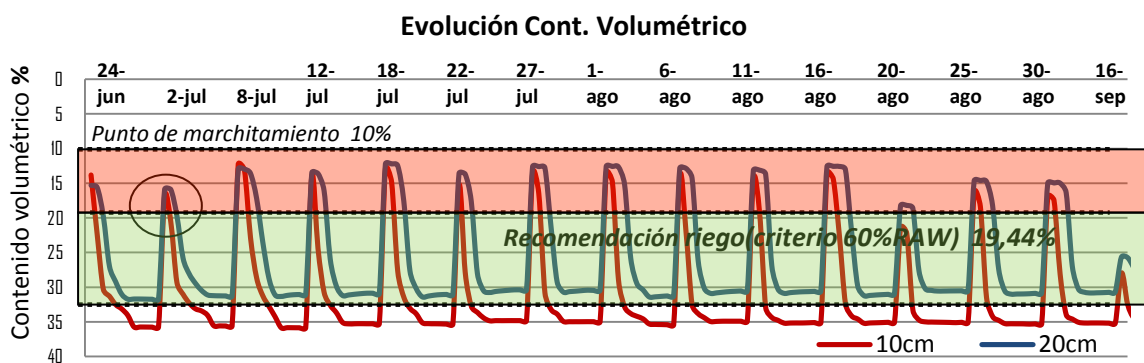


Figura. 4 Evolución del contenido de humedad desde el 24 junio hasta el 17 de Septiembre en las profundidades 10-20cm. Representación del valor de  $\Theta$  límite que determina el criterio de riego del 50-60% del intervalo de agua fácilmente disponible (RAW)

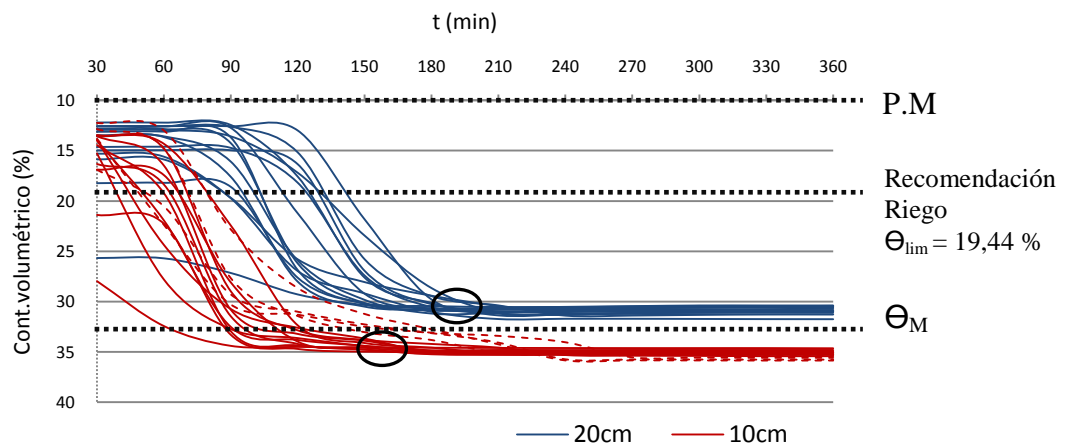


Figura. 3 Evolución del contenido de humedad en cada uno de los 15 riegos a las profundidades 10-20cm

Como se puede observar en la Figura 3 que el desfase entre los frentes de humectación, a las profundidades 10 y 20 cm, es de unos 30 minutos aproximadamente, variando el incremento del contenido de humedad tal como se muestra en la Tabla.3. Se ha considerado que el contenido de agua máximo registrado por las sondas, para las profundidades 10-20cm, es  $\Theta_M = 33\%$ .

**Tabla 3. Contenido humedad inicial, incremento del contenido de agua s y tiempo en el que se alcanza la saturación durante la campaña de riegos.**

		r.1	r.2	r.3	r.4	r.5	r.6	r.7	r.8	r.9	r.10	r.11	r.12	r.13	r.14	r.15
<b>Contenido agua Inicial (<math>\Theta_0</math>) %</b>	10cm	13,8	16,9	12,2	13,9	12,9	15,3	13,5	13,5	14,0	14,4	13,5	21,4	16,3	16,9	28,0
	20cm	15,3	15,9	12,9	13,5	12,2	13,6	12,6	12,6	12,8	13,1	12,6	18,2	14,6	15,0	25,7
<b>Incremento contenido agua (<math>\Delta\Theta</math>) %</b>	10cm	22,0	18,7	23,6	21,3	22,5	19,6	21,4	22,0	20,9	20,7	21,6	13,7	19,0	18,3	6,7
	20cm	16,5	15,4	18,1	17,5	18,9	16,8	17,8	18,7	17,7	17,4	18,4	12,3	16,2	15,7	5,2
<b>Tiempo hasta la saturación (<math>t_s</math>) min</b>	10cm	210	240	240	150	150	150	150	210	150	180	180	150	180	180	90
	20cm	210	240	210	180	210	180	180	240	180	180	210	180	210	210	180

Así, en el perfil de 10 cm obtenemos un incremento medio del contenido de humedad de  $\Delta\Theta = 20,37$  % agua, con una desviación estándar  $\sigma_{10} = 2,46$  %. Para el perfil de 20 cm,  $\Delta\Theta = 16,96$  % y  $\sigma_{20} = 1,72$  %. Estas diferencias son debidas a la variabilidad textural que se produce en los diferentes horizontes. Las sondas capacitivas tienen un radio de acción menor de 10 cm y se ven fuertemente afectadas por cambios estructurales y variaciones del ratio suelo/aire (falta de contacto entre tubo-suelo, compactación, crecimiento radicular).

El tiempo medio de riego para alcanzar el contenido volumétrico máximo en los horizontes 10-20cm ( $\mu t_{\Theta_M}$ ) es de 200 min, y siempre menor de 240 min (ver Tabla.3).

En la figura 3 se observa que la mayoría de los riegos se aplicaron cuando los horizontes se encontraban por encima del punto de marchitez. Sin embargo, según el criterio establecido FALTA ALGO Concretamente, en los riegos que van desde el tercero (8-julio) al DECIMOPRIMERO (16-agosto), se rebasó dicho límite y pudo haberse producido estrés hídrico.

### Perfiles 40-60 cm

En los perfiles de 40-50 y 50-60 cm, a diferencia de los anteriores, la evolución del contenido de humedad en los riegos de la campaña, es más variable y no se puede establecer una tendencia generalizada ver figuras 5a y 5b. Esta tendencia es más acentuada en el perfil de 60cm. Se han distinguido tres comportamientos diferentes correspondientes a los riegos de principio, mediados y final de campaña.

En los primeros riegos de campaña, el contenido inicial de humedad  $\Theta_0$  está próximo a saturación (ver figura 6 y Tabla. 4). En el perfil 40-50 cm sólo existe actividad a partir del tercer riego (8 de julio), momento en el cual las raíces han alcanzado dicha profundidad y comienzan a extraer agua. En el perfil 50-60 cm, la acción de las raíces no se observa hasta el quinto riego (18-julio).

Los riegos de mitad de campaña (3º hasta 8º) se caracterizan por presentar una tendencia más general. En el perfil más superficial, la evolución del contenido de humedad desde el 18 de julio (quinto riego) hasta el 20 de agosto (onceavo riego) presenta un  $\Delta\Theta$  medio=18,4 % y un  $\sigma_{40}= 2,67$  % (ver Figura 6 y Tabla.4). Su comportamiento es similar al observado en el perfil 10-20 cm; un ciclo repetitivo en el que el agua almacenada se agota, aunque el contenido de humedad está lejos del punto de marchitamiento, y se repone. Sin embargo, el perfil de 60 cm, que había permanecido saturado y sin variación durante los primeros 4 riegos, empieza a incrementar, progresivamente, su contenido de humedad (ver Tabla. 4).

Los últimos riegos de campaña apenas afectan al contenido de humedad de los estratos profundos; el  $\Delta\theta$  medio en el perfil de 40 cm fue de 3,8 %, sin que en ningún momento se llegara a alcanzar la saturación, dicha variación fue insignificante en el perfil de 60 cm. En éste último, el contenido de agua se mantuvo estable entre 28-32 % desde el 6 de agosto. En resumen, se observa que al final de la campaña, coincidiendo con el cultivo en fase de engrosamiento de raíz, los riegos realizados no tuvieron apenas efecto en el contenido de humedad de los perfiles profundos.

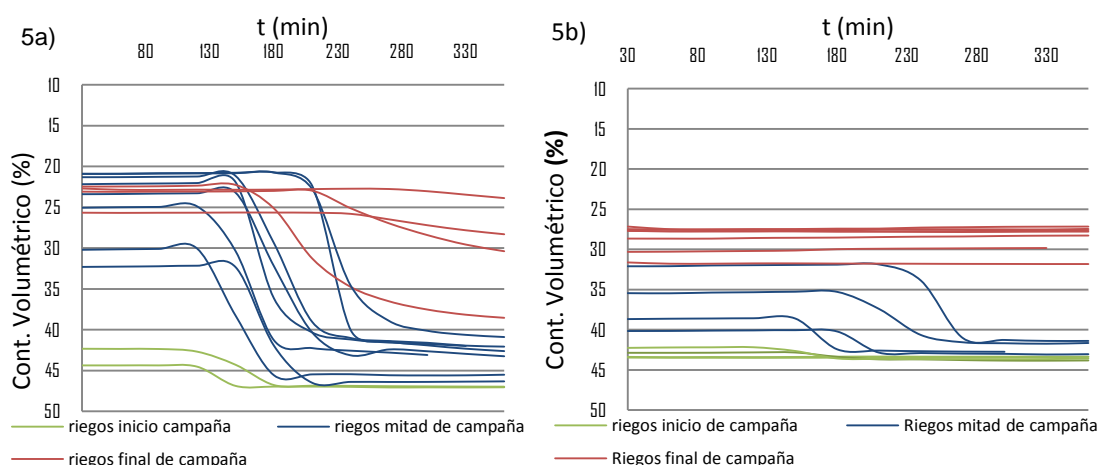


Figura 5. Evolución del contenido de humedad, en la campaña de riegos, Figura. 5a horizonte 40 cm y Figura.5b para horizonte 60cm.

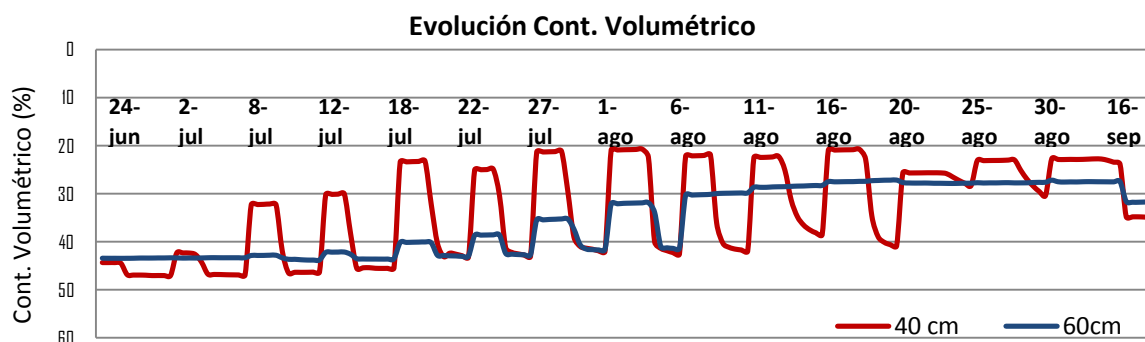


Figura.6 Evolución del contenido de humedad, desde el 24 junio hasta el 17 de Septiembre en las profundidades 40-60cm

		r.1	r.2	r.3	r.4	r.5	r.6	r.7	r.8	r.9	r.10	r.11	r.12	r.13	r.14	r.15
<b>Contenido volumétrico Inicial (<math>\theta_0</math>) %</b>	40cm	44,4	42,3	32,3	30,2	23,4	25,1	21,3	20,9	22,2	22,5	20,9	25,7	23,1	22,7	34,8
	60cm	43,4	43,4	42,9	42,2	40,2	38,7	35,4	32,1	30,3	28,6	27,5	27,7	27,7	27,2	31,6
<b>Incremento contenido Volumétrico <math>\Delta\theta</math></b>	40cm	2,7	4,6	14,0	15,3	19,8	18,0	20,7	21,7	19,8	16,1	20,0	2,7	7,3	1,1	4,1
	60cm	-0,1	0,0	0,9	1,3	2,9	4,1	6,2	9,3	-0,5	-0,4	-0,3	0,1	-0,1	0,3	0,2
<b>Tiempo de saturación (<math>t_s</math>) min</b>	40cm			210	180	210	240	270	270	270	360	360	VARIACIÓN MODERADA			
	60cm	SATURADO				210	210	270	270	NO EXISTE VARIACIÓN						

Tabla 4. Contenido de humedad, incremento del contenido de agua y tiempo en el que se alcanza la saturación en los perfiles 40 y 60 cm para los 15 riegos considerados. Las zonas sombreadas en verde, azul y rojo representan los riegos de inicio, mitad y final de campaña respectivamente.



Los resultados muestran como el suelo responde de forma diferente a lo largo de los riegos de una campaña de riego. El contenido de humedad inicial del suelo y el estado fisiológico de la planta afectan a la infiltración y redistribución del agua en el perfil del suelo. A la vista de los resultados, parece necesario establecer un calendario de riegos que tenga en cuenta estas diferencias.

Atendiendo a la Figura 4 y Figura 6, las variaciones hídricas producidas al principio de la campaña afectaron, fundamentalmente, a los estratos superficiales, mientras, los profundos permanecieron inalterados y saturados. Al activarse la acción de las raíces, los sensores detectaron variaciones hídricas; el 8 julio en el horizonte de 40 cm y el 18 julio en el de 60 cm (ver Tabla. 4). Hasta ese momento, la evapotranspiración se habían localizado en los 30 primeros cm de suelo por lo que, los riegos iniciales deberían haber estado orientados a cubrir las necesidades hídricas de esos horizontes. Considerando que el  $t_s$  para los horizontes 10-20 cm fue menor de 4 h, en los 5 primeros riegos, se recomienda aportar dosis de riego donde  $t_{\text{riego}} = t_{\Theta_M 10-20\text{cm}}$ . Asimismo, se observa que hasta el octavo riego de la campaña (1 agosto), el  $t_{\Theta_M}$  para los 60 cm fue menor de 4 h por lo que se recomiendan dosis de riego donde  $t_{\text{riego}} = t_{\Theta_M 40-60\text{cm}}$ .

Desde el noveno riego (6 agosto) y hasta el último riego (16 septiembre), la actividad radicular afecta al contenido hídrico de los perfiles profundos. Se observa en Figura 6 y Tabla 4 que, que en cada riego, el incremento del contenido de humedad es mínimo ( $\Delta\Theta_{\text{medio } 60\text{cm}} = -0,09$ ). Este efecto se produce, especialmente, en el horizonte de 60 cm. En el horizonte 40 cm observamos, desde el decimosegundo riego (20 agosto),  $\Delta\Theta$  cada vez menores (ver Tabla. 4). En resumen, se observa como llegada la fase de maduración de la remolacha, donde se produce el engrosamiento de raíz, la demanda hídrica es tan grande que, incluso durante el riego, los sensores apenas registran  $\Delta\Theta$  en los horizontes profundos. No obstante, su contenido de agua se mantiene dentro del rango de agua fácilmente asimilable por la planta.

## Referencias

El sensor de humedad capacitivo EnviroScan puede resultar de gran ayuda en el seguimiento del contenido de humedad durante una campaña de riegos. Mediante su utilización conocemos, con mayor precisión, cómo se desarrolla la zona radical y su influencia en los horizontes que va alcanzando.

En la campaña de riegos de la remolacha azucarera, con las condiciones de manejo del sistema de riego del regante y en el suelo del trabajo, se aconseja reducir la dosis de riego en los ocho primeros riegos de campaña a riegos de 4 h. A partir de ese momento, queda justificada la decisión que tomó el regante de reducir una hora la duración del tiempo de riego.

La frecuencia de riego debe ser seleccionada atendiendo a criterios que no disminuyan la producción potencial; por ejemplo, mantenerse dentro del 60% de intervalo de agua fácilmente asimilable por el cultivo. En este sentido, se recomienda reducir el intervalo de riegos para toda la campaña en 1-2 días.

Se puede mejorar la uniformidad de aplicación del agua ajustándose a las presiones de trabajo recomendadas por el fabricante para el marco de riego 15 X 12 m. Asimismo, para una buena uniformidad, los resultados del riego pueden a su vez ser mejorados al modificar el tiempo de aplicación ajustándose a la distribución del agua en el suelo.

## Referencias

- Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M.S., Femminella, K. and Muñoz-Carpena, R. (2011). Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 137(2), p.73-81.
- Regalado, C., Ritter, A., García, O. (2009). Caracterización de Sensores Electromagnéticos de Humedad de Suelo con Fluidos Estándar de Permisividad Conocida. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo, 18 a 20 de Noviembre Barcelona.
- Watson, K., Gatto, R., Weir, P., Buss, P. (1995). Moisture and salinity sensor and method of use. *United States Patent number* 5,418,466. USA
- Ventura, F., Facini, O., Piana, S., Rossi, P.P. (2010). Soil Moisture Measurements: Comparison of Instrumentation Performances. ASCE (0733-9437), p136-281
- Morillo-Velarde R., Delicia, H., Martínez J.C. (2001). Técnicas de riego en la remolacha azucarera. *Caja España*. Valladolid, España. 134 pp.
- Jeffrey P.W., Garry R.W., Jetse D. K. (2004). In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. *Journal of Hydrology*. (293), p. 85–99
- AIMCRA (2009). *Memoria de los Trabajos Efectuados en la Siembra Primavera 2009*. Asociación para la Investigación y el Desarrollo de la Remolacha Azucarera, Valladolid, España
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. (1979). Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage paper No. 33*, FAO, Rome, Italy, p. 193.
- Porta, J., López, M., Roquero, C. (2003). Edafología. Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa
- Uçan, J., Gençoulan, C. (2004). The Effect of Water Deficit on Yield and Yield Components of Sugar Beet. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, (18), p. 163-172.
- Camposeo, S., Rubino, P. (2003). Effect of irrigation frequency on root water uptake in sugar beet. *Plant and Soil* (253), p.301–309